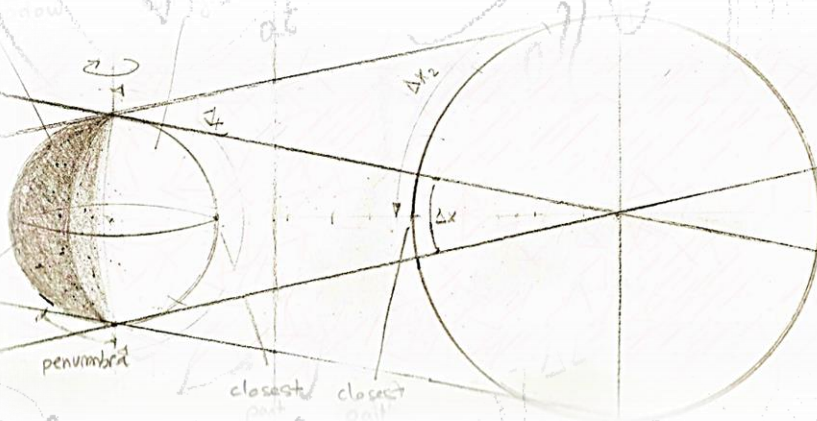


EXOPLANETES

Cerca i metodologia de detecció



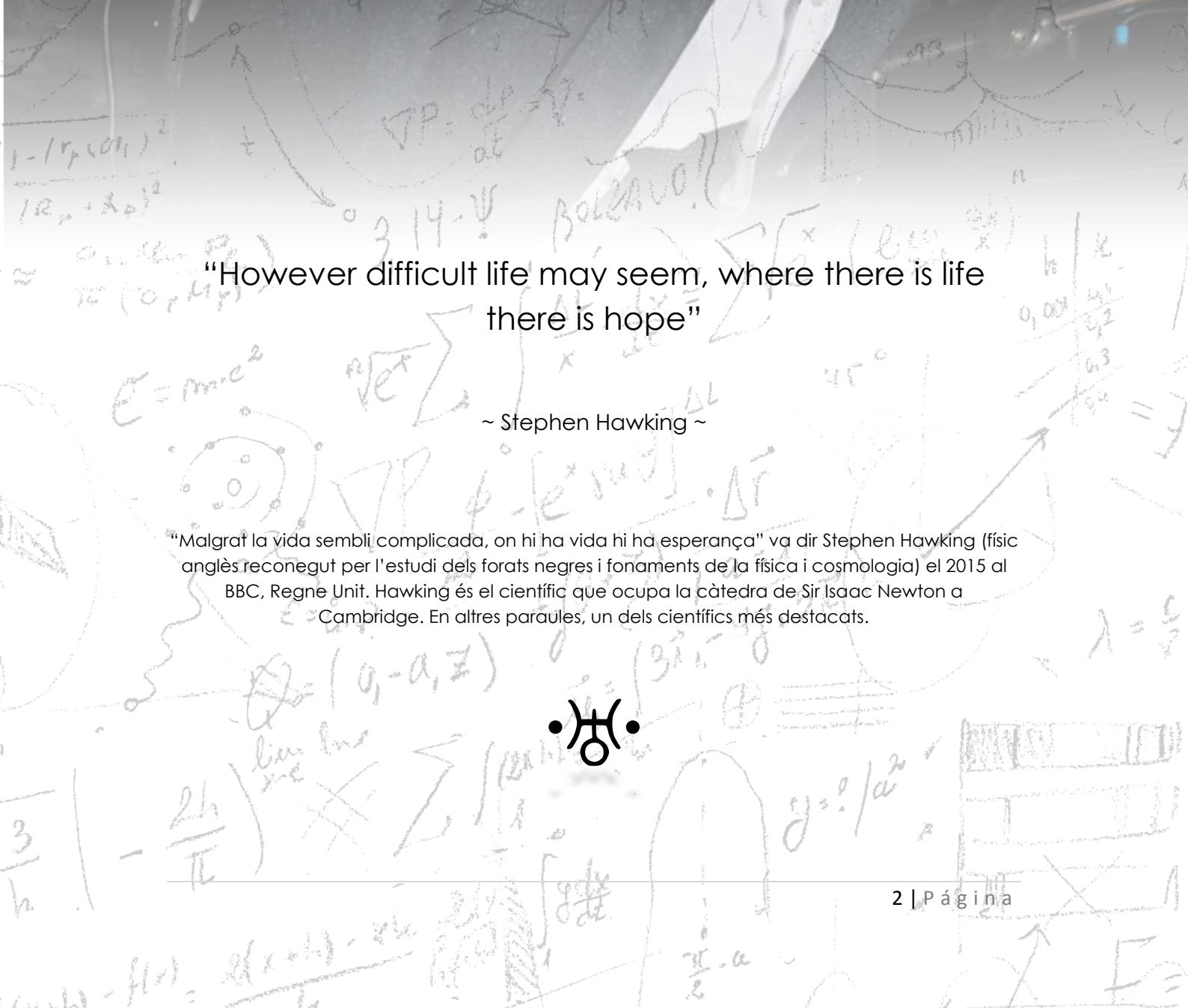
Joel de Palau i Comamala

tutoria: Fina Graboleda

INS Pere Alsius i Torrent

17820 Banyoles, Girona

Curs 2016/2017



~ Stephen Hawking ~

● 𠄎 ●

Al meu avi, Joan de Palau,

Als de casa i tota la família.

Al meu amic Kuba Chara, present per sempre,

i tota aquella gent que, d'una manera o altra

m'han ajudat a tirar endavant.

ÍNDEX

1. Presentació	6
2. Aspectes Generals	8
2.1. Pregunta	8
2.2. Hipòtesi	8
2.3. Temàtica	9
2.4. Objectius	10
2.5. Limitacions i capacitats	10
3. Bloc teòric	11
3.1. Definició planeta extra-solar	12
3.2. Breu història del camp	15
3.3. Troballes i classificacions	17
3.4. Instruments i requisits, característiques del telescopi	18
4. Bloc pràctic	24
4.1. Preparació de la recerca	27
4.2. Mètodes de detecció	28
4.3. Procediment	36
4.4. Recopilació de dades	44
4.5. Anàlisi	60
4.6. Conclusions	63
5. Imatges de l'experiència	64
6. Bibliografia	66
7. Annexes	68

Presentació

Aspectes Generals

Bloc teòric

Bloc pràctic

Imatges de l'experiència

Bibliografia

Annexos

Presentació

Aquest treball està ubicat al camp de l'**astrofísica**, **cosmologia** i **astronomia**. Al mateix temps, no deixa de ser recer a tot nouvingut o desconexedor de la temàtica esmentada anteriorment. Així doncs, és apte per a tots els públics interessats, sense cap excepció. Gràcies als secrets que aquesta recerca m'ha revelat he pogut posar en perspectiva les ciències relacionades, com són la física i la mateixa astronomia.

Us parlo d'exoplanetes, una temàtica recent que molta gent desconeix i que avui dia és clau pel desenvolupament de les ciències del cel. Tenim un coneixement de la ciència en qüestió tan íntim, limitat per la **tecnologia**, discret i simbòlic que no podem afirmar amb tot convenciment qualsevol fet físic que tingui activitat a l'exterior. Almenys de moment.

D'altra banda, però, el caràcter filosòfic ens permet plantejar qualsevol qüestió i pensament sobre la nostra existència respecte l'immens univers que ens envolta i posar-la en perspectiva. Podem raonar i pensar que som insignificants en comparació a l'univers, un univers el qual hi destaquem un bri de llum, gairebé imperceptible. L'ésser humà té com a conducta natural anar a buscar més enllà del que sense fer cap esforç aconsegueix arribar. Continuament i des dels seus inicis l'home s'ha formulat infinites preguntes que mai han pogut estar resoltes. Avui en dia, l'evolució **titànica**, contínua i accelerada de la tecnologia ens ha permès explorar milers de vegades més a fons el nostre món, i així trobar nous horitzons on mai havíem estat capaços d'arribar.

Tornant a la temàtica del treball en si, formulem-nos una pregunta. Existeixen planetes habitables més enllà de casa?" Doncs, bé, la resposta és que sí. En un univers tan infinit com ho és el que coneixem tots, és raonable i lògic que hi hagi més d'un planeta amb vida, ja sigui simple – **nivell molecular** – com complex – **civilització** avançada, com és la Terra – . És possible que hi hagi vida extra-solar la qual encara no hem pogut contactar, percebre o trobar. Més enllà d'aquestes hipòtesis s'hauria de comprovar les possibilitats d'existència viva, ja que són limitades. Aquest punt l'esmentaré posteriorment.

En cas que per una hipotètica raó trobéssim vida i a més intel·ligent a un planeta llunyà, suposaria un gran enrenou, moviment i exaltació per part nostra. Un canvi de plantejament filosòfic, científic, social, polític, tecnològic i militar seria d'esperar al nostre planeta. Els fonaments de la física teòrica i astronomia, així com branques d'aquesta (astrobiologia, astrofísica, astroquímica, cosmologia, mecànica celeste, arqueoastronomia, astronomia extragalàctica, etc.) s'haurien d'adaptar segons les condicions i circumstàncies de l'esdeveniment, la troballa. Un canvi de plantejaments i de principis científics.

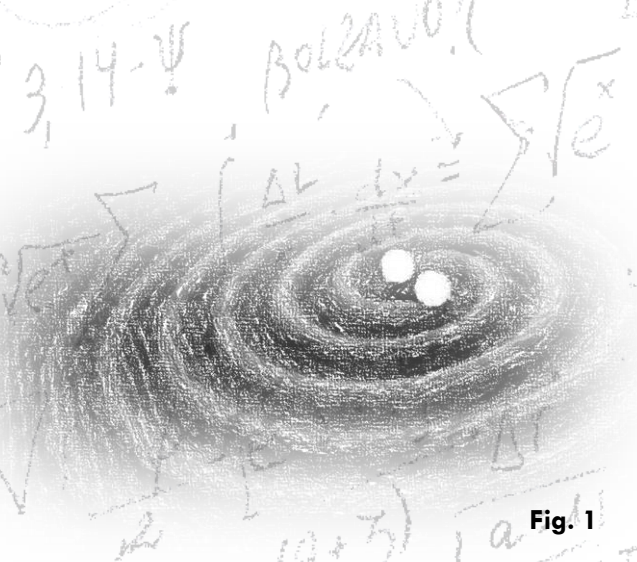


Fig. 1

Fig 1 Simulació en 3D de les **ones gravitatòries**, esdeveniment astrofísic detectat recentment, el 2015 però predit per Albert Einstein durant els principis del segle XX.

Presentació

Aspectes Generals

Bloc teòric

Bloc pràctic

Imatges de l'experiència

Bibliografia

Annexos

Aspectes Generals

Pregunta

El treball va enfocat a una o unes preguntes clau, les quals es plantegen en un bon principi. Aquesta orienta a l'usuari de cares a fer el document fidel als dubtes que es té al començament. Sense un plantejament inicial no es podria dur a terme cap tipus de recerca, ja que sense **rumb** és pràcticament improbable que s'aconsegueixi res. "Exoplanetes: cerca i **metodologia** de detecció" està constituït a partir de la pregunta següent.

- Sóc capaç de detectar i confirmar trànsits de planetes extra-solars utilitzant material amateur i coneixement bàsic?

Hipòtesi

A partir d'unes certes qüestions ens podem plantejar les hipòtesis, que ens guien a orientar la recerca. Proposem una possible solució a les preguntes inicials, tot recollint dades i coneixement previ. Tot i així, en acabar el document redacto més a fons a partir dels resultats obtinguts.

- Puc dur a terme una pràctica d'aquesta magnitud, ja que dispo de material necessari, lloc i coneixements previs.

Temàtica

La inspiració de dur a terme aquesta temàtica va ser gràcies a l'associació d'astronomia i ciència del Pla de l'Estany, AstroBanyoles. El meu oncle juntament amb l'equip de científics, músics així com intèrprets, poetes i ballarins van portar a la llum més d'una interpretació audiovisual on hi havia pinzellades de d'astronomia, dansa, teatre i interpretació, poesia i, per damunt de tot, música. Vaig estar involucrat a una atracció projectada a l'obra, on va ser quan em vaig preguntar "i per què no orientar el treball de recerca a l'astronomia?". A partir d'aquells instants em vaig informar del tema, vaig començar a recopilar informació essencial: articles d'aquí, articles d'allà, fins que vaig tenir llest la preparació del treball, dos anys enrere, el 2014.

Objectiu

No m'interessa anar més enllà, com seria trobar un planeta, o localitzar per atzar un cos desconegut. Així doncs, la meua recerca consisteix en detectar, comprovar i verificar el trànsit dels exoplanetes WASP-2b, HD-189733b, TrES-3b utilitzant material abastable per un estudiant de batxillerat i amateur al tema, així com conèixer per quines fases ha d'estar sotmès el procediment i tot el que comporta.

Per això, compto amb Rafael Balaguer Rosa, membre d'AstroGirona el qual disposa de tot un seguit de material i un bon lloc per dur a terme la pràctica: Centre Cultural de Can Roig, Llagostera (Girona). Allí és on podré resoldre el meu objectiu.



Fig. 2

Fig 2 Esquerre: Logotip de l'associació AstroBanyoles, amb el drac banyolí creat per Joel de Palau, l'any 2008 Dreta: Logotip de l'associació Astra Girona i comarques.

Limitacions i capacitats

Evidentment, un estudiant té un cert **domini** per recórrer. No tots tenim el mateix, ni el mateix marge d'equivocació. Però també és cert que tenim avantatges i via lliure per tirar endavant. Solament cal que un posi a la taula les seves limitacions i les seves capacitats, valorar-ho i decidir què pot fer i on és capaç o es veu en cor de fer. És, sens dubte, essencial per una investigació, ja que sense fronteres un és incapaç d'aprofundir i/o d'arribar als extrems de la temàtica en si.

Al cas de la meua temàtica no és complicat intuir que milers de branques s'alimenten d'ella i que s'ha de posar límits. En el meu cas, estic limitat pel temps i les circumstàncies que hi ha hagut durant la recerca, pels instruments que dispo, la tecnologia, per la ubicació i per la manca d'accés a segons quins centres d'investigació científica del camp. És per aquesta raó que m'he compromès en un treball més humil, però no menys interessant i fascinant.

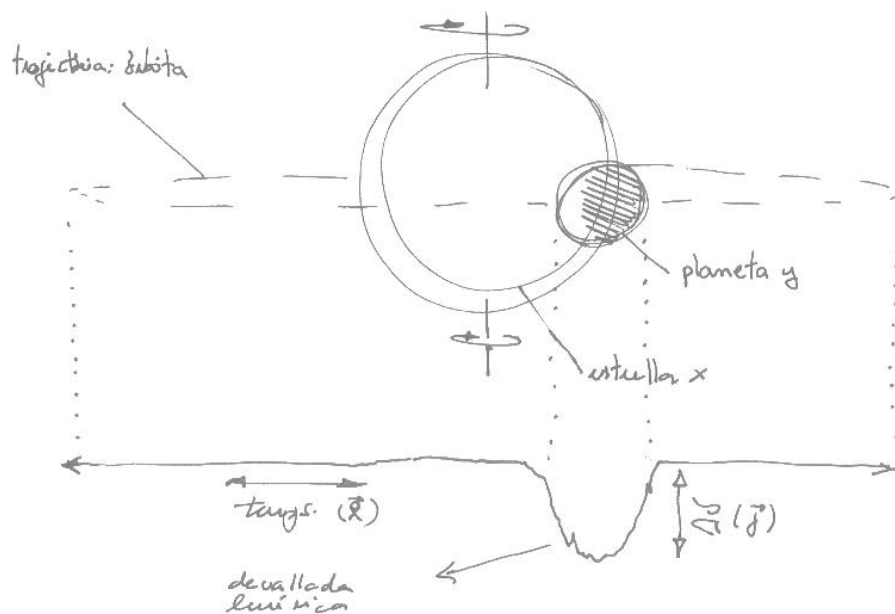
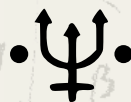


Fig. 3

Fig 3 Esquema trànsit d'un planeta entorn la seva estrella

Presentació	45
Aspectes Generals	
Bloc teòric	
Bloc pràctic	
Imatges de l'experiència	
Bibliografia	
Annexos	

Bloc teòric



Definició planeta extra-solar

Breu història del camp

Troballes i classificacions

Instruments i requisits, característiques del telescopi

Bloc teòric

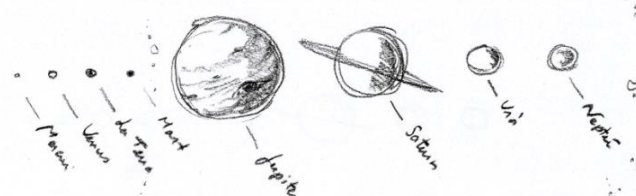
L'abast del treball ocupa gran part de l'astronomia, però em limito a la detecció d'exoplaneta. Per començar, he de concretar el concepte planeta, per després donar a entendre millor el terme exoplaneta.

Un **planeta** no és res més que un cos el qual gira entorn una estrella, tot descrivint **òrbites el·líptiques**. No és una font de llum primària, ja que la opacitat d'aquest és summament densa i no la deixa passar. Pot estar format bé per metalls (ferro, cobalt, níquel, etc.) com per gasos (neó, oxigen, heli, hidrogen, etc.). Segons cada criteri es poden classificar per mida, la composició química i altres propietats.

El **Sistema Solar** és el conjunt de planetes (sistema planetari) que orbiten entorn el Sol. Hi consten 8 planetes: Mercuri, Venus, Terra, Mart, Júpiter, Saturn, Urà i Neptú, respectivament per ordre decreixent a la proximitat al Sol. A més d'aquests planetes hi podem trobar altres cossos, com el Cinturó d'asteroides (ubicat entre Mart i Júpiter), el Cinturó de **Kuiper** (després de Plutó), satèl·lits naturals, etc. El sistema solar és un sistema entre milers d'altres ubicats a la Via Làctia. Aquesta és una galàxia entre milions d'altres en tot el **cosmos**.

Un **exoplaneta** o **planeta extra-solar** és un planeta que orbita fora del Sistema Solar, per tant, l'estrella del qual no és el Sol, sinó qualsevol altra.

Fig. 4



La detecció d'aquests cada vegada augmenta, coincidint amb el desenvolupament progressiu i accelerat de la tecnologia. Tot i així no és fàcil detectar-ne, ja que cal instruments adequats per dur a terme la pràctica. Heus aquí una representació gràfica on hi trobem, al llarg dels anys (eix d'absisses) la quantitat de planetes extra-solars descoberts (eix d'ordenades), mitjançant els diferents mètodes per detectar-ne:

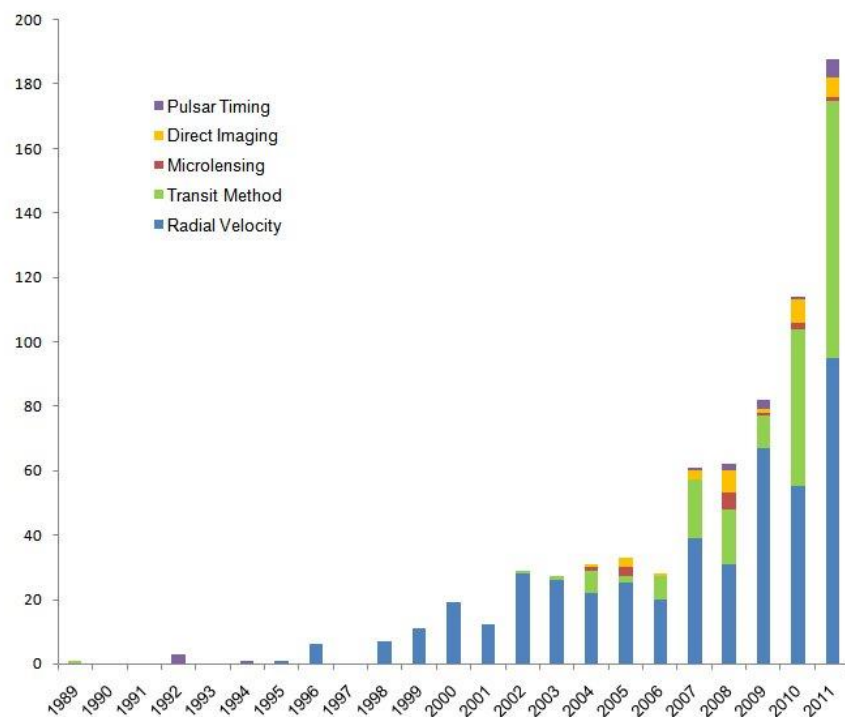


Fig. 5

Fig 4 Esquema de la distribució de planetes al Sistema Solar d'acord amb la distància respecte l'estrella, el Sol, ordenats respectivament des de la distància més curta (Mercuri, esquerra) fins a la més extensa (Neptú, dreta).

Fig 5 Diagrama de la **NASA** (2014) on hi trobem el nombre d'exoplanetes descoberts al llarg de les últimes dues dècades (1989 – 2011). Els diferents colors ens mostren el tipus de metodologia que ha estat usada de cares a la recerca dels cossos.

Breu història del camp

Per introduir el terme planeta extra-solar no cal anar a trobar els filòsofs, pensadors i savis del segle VII aC., ni tan sols a l'època del renaixement, ni el barroc. Tot i haver esmentat algunes pinzellades a la antiguitat, el **boom** de les troballes no és fins a finals del segle passat, quan la tecnologia és capaç d'arribar a nous horitzons que, fins aquells anys no havia pogut abastar. Tot i així, abans del primer planeta descobert oficialment parlant, ja s'havia anunciat alguna detecció de cossos més enllà del **núvol d'Oort**, però no es va tractar d'un exoplaneta en el sentit més estricte.



Fig. 6

Fig. 6

Imatge creada per un software de gràfics 3D on ens fa una idea del 51 Peg. b amb l'estrella la qual hi orbita: (51 Pegasi).

Fig. 7

Kepler Missions per la NASA en plena missió.

El primer planeta fora del Sistema Solar va ser descobert pels astrònoms Michel Mayor, Didier Queloz i el seu equip, l'any 1995. S'anomena 51 Pegasi B, degut a la seva ubicació: la **constel·lació** de **Pegasus**. És el primer cos planetari descobert del qual en sabem més informació. Van utilitzar el mètode de velocitat radial, per l'alta eficàcia i probabilitat alhora d'obtenir resultats quant a l'estudi dels planetes. A posteriori comentaré el mètode esmentat [vegeu pàgina 27].

Aquest va ser el naixement d'un seguit de troballes les quals es van dur a terme una darrere l'altra. Les organitzacions d'investigació, exploració i divulgació governamentals i/o intergovernamentals com l'americana (NASA, des del 1958), europea (ESA, des del 1960) i soviètica (URSS, 1922-1991) han estat competint a nivell científic i tecnològic durant tot el segle XX.

Aquest fou un segle d'or quant a la ciència, ja que ha creat infinits progressos. Malauradament, però, des de l'ús dels quals ha sigut negatiu (bomba nuclear, artilleria militar, etc.) com positiu (medicina i millores del dia a dia i domèstics). És per aquesta raó que, a finals de la dècada dels 90, ens trobem un increment considerable de descobertes a nivell científic. Una d'elles, els planetes extra-solars. Heus aquí una petita part de tots els científics involucrats a la recerca astrofísica que han sigut ressaltats per les seves aportacions al món modern.



**William J.
Borucki**

NASA



**R. Paul
Butler**

U.Maryland



**David
Charbonneau**

U.Harvard



**Michel
Mayor**

U.Ginebra



**Didier
Queloz**

U.Ginebra



**Aleksander
Wolszczan**

U.Nicolaus
Copernicu



**Elisa
Quintana**

NASA



**Debra
Fischer**

U. Yale

https://www.lcsd.gov.hk/CE/Museum/Space/en_US/web/spm/exhibition/specialexhibition/the-shaw-prize-in-astronomy-2015.html (**William J. Borucki**)

<https://alumni.sfsu.edu/hofalumni/hof1997> (**R. Paul Butler**)

<http://legacy.spitzer.caltech.edu/Media/releases/ssc2005-09/bios/charbonneau.shtml> (**David Charbonneau**)

<http://www.tagesanzeiger.ch/wissen/natur/Aus-ScienceFiction-wurde-Realitaet/story/17263674> (**Michel Mayor**)

<http://www.phy.cam.ac.uk/news-images/didier-queloz.jpg/view> (**Didier Queloz**)

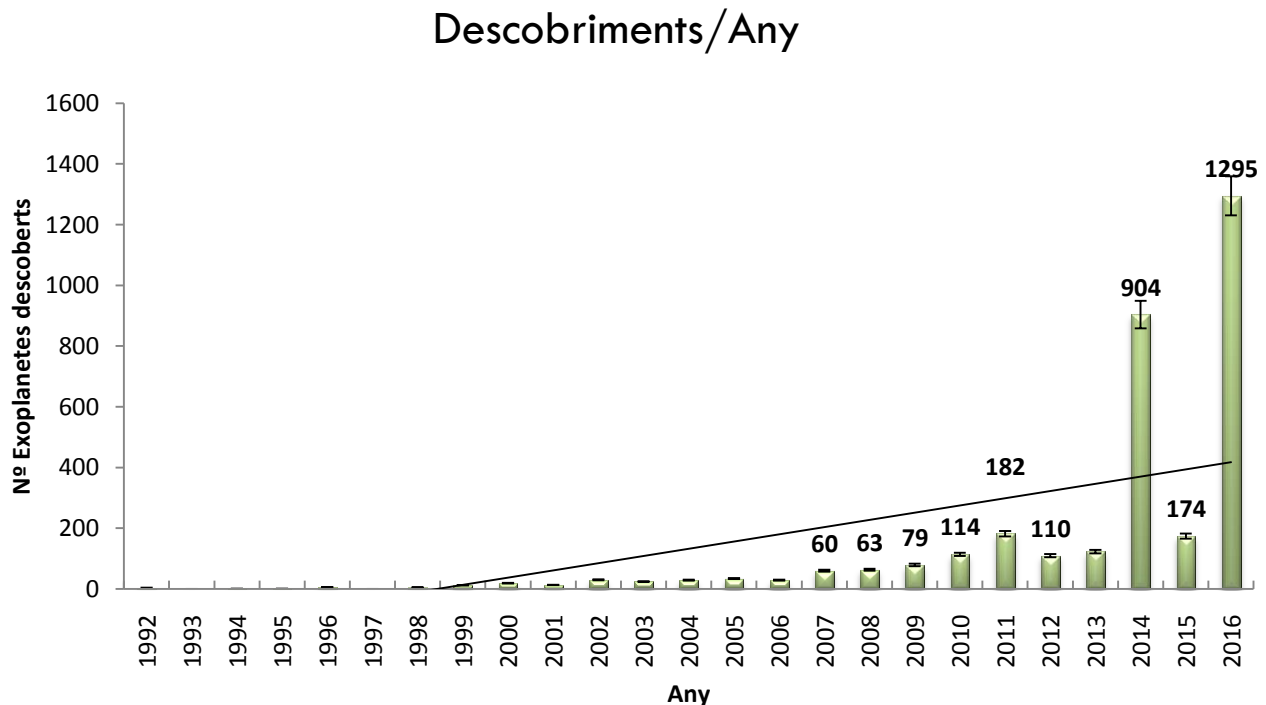
<http://www.chronologia.pl/data-29-4.html> (**Aleksander Wolszczan**)

<http://kepler.nasa.gov/Mission/team/soc/elisaquintana/> (**Elisa Quintana**)

http://exoplanets.astro.yale.edu/people/work_photos.php (**Debra Fischer**)

Troballes i classificacions

Seguidament, presento un diagrama que estableix la relació nombre d'exoplanetes descoberts respecte l'any de l'esdeveniment. He eliminat el nombre de **candidats** des del 1992 al 2006, ja que les dades no són del tot ajustades ni precises a causa de la gran diversitat de fonts d'informació les quals no coincideixen amb els resultats. És per aquest motiu que no m'he volgut arriscar a inserir dades incertes. De totes maneres, però, he pogut ajustar amb precisió els valors obtinguts i així exposar una informació molt orientativa. També hi he insertat una recta la qual ens defineix gràficament la tendència al llarg dels anys.



Per tant, puc confirmar amb seguretat que gràcies als avenços i el desenvolupament accelerat de la ciència i tecnologia, s'ha multiplicat, i amb un bon impuls, el nombre de planetes fora del Sistema Solar que han estat qualificats i oficialment declarats per les organitzacions mundials científiques. Com es pot veure, he afegit el marge d'error que es pot haver comès alhora de comparar resultats, fonts d'informació i documentació. Tot i així, però, és clara la diferència i el pendent que adquireix el gràfic, el qual fa recordar una funció exponencial, malgrat algunes excepcions (2015).

Del 2014 al 2016, les missions astronòmiques de Kepler (NASA) ha sigut la causa del gran increment quant a la cerca de planetes extra-solars. La nau va ser creada per tal d'explorar l'univers més a fons, amb una precisió infinita i amb una gran capacitat de informació i sensibilitat, lo qual permetrà descobrir aproximadament uns 3000 planetes, equivalent al 90% dels descoberts fins avui en dia.

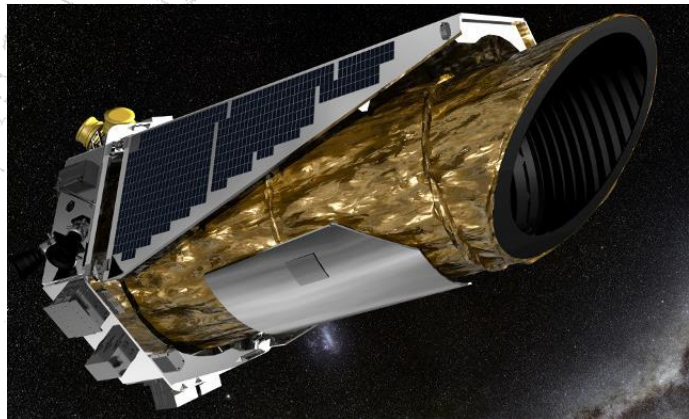


Fig. 7

Com a breu resum de la història m'és permès remarcar la tendència a incrementar els descobriments. Com més candidats localitzem, més possibilitats hi haurà de trobar planetes el qual estigui en una zona habitable i tingui les condicions estrictes que es necessita per trobar vida.

Instruments, requisits i característiques del telescopi

És comprensible que tenint un **telescopi** - com aquell qui diu, en sentit sàtiric - “de fira”, no es pot arribar a detectar gairebé res. Per què? És molt senzill. Els filtres, les càmeres, la precisió, el **refrigerador** i les pantalles del sistema del telescopi i el software informàtic han de ser d'alta qualitat per enfocar bé i percebre una detallada visió.

Per a la pràctica que vaig realitzar vaig utilitzar un telescopi Takahashi Mellow 8, un model molt complex i complet, de casa japonesa i d'alta tecnologia, amb una resolució perfecta. Malgrat no vaig poder assistir al moment que es va preparar el telescopi, és complex muntar-lo, i encara més preparar-lo per la recerca. Això d'una banda. De l'altra, tenim un software (Muniwin – C-Munipack) el qual ens guia i ens realitza i representa gràficament les fotos del telescopi, mitjançant cablejats.

Fig 8 Sistema òptic d'un model de telescopi Takahashi.

Objectiu primari Constituït per desenes de miralls i lents, sistema òptic molt complex. Vegeu Fig. 8. Acompanyat per un filtre altament sensible.

Objectiu secundari Objectiu que permet enfocar amb més detall

Auto-viat Complement del telescopi que permet rotar automàticament segons la direcció i angle de visió a l'objecte estudiat.

Càmera QHY-6 Càmera per fer les fotos de la visió del **camp estel·lar**.

Refrigerador exprés Component que refreda a una temperatura de -30°C per tal de fer les fotografies sense soroll o intervenció de calor, i evitar mala definició i color a la precisió.

Hardware i dispositius addicionals i informàtics Instruments que permeten passar informació a un software i processar les fotos.

Suport estàtic Aquest model no és estàtic però el telescopi usat és fixa, lo qual dóna una precisió extra.

El telescopi representat a la imatge no és el model original de l'experiència, però es pot identificar amb claredat cadascun dels dispositius el qual el caracteritzen. A la Fig.8 podem veure que dins l'objectiu hi figuren diversos miralls de mida petita. Takahashi és una empresa japonesa que fabriquen material astronòmic, altament recomanat per a les experiències semblants o idèntiques.

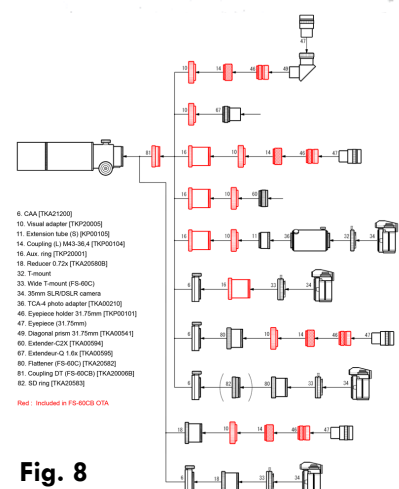
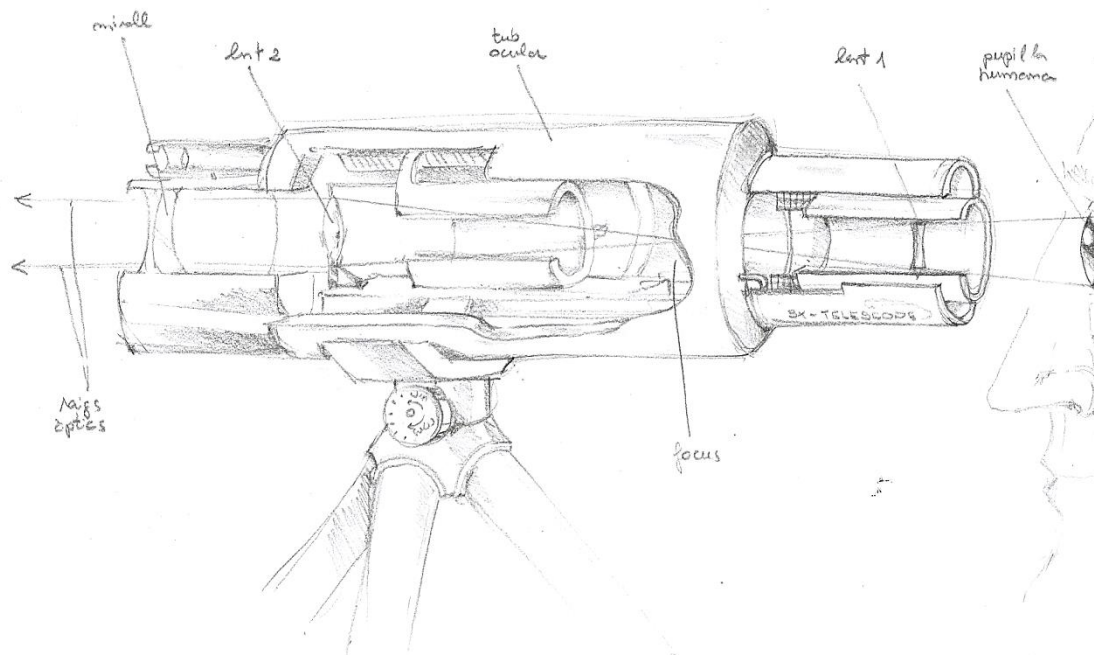


Fig. 8

Seguidament, per presentar el telescopi en sí, convé veure el funcionament d'aquest en genèric, els processos físics que el constitueixen i el caràcter matemàtic i físic d'aquest.



$$f = \left(\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} \right)^{-1} = \frac{2}{R}$$

Equació del mirall esfèric

$$A_L = \frac{y'}{y} = -\frac{s'}{s}$$

Augment lateral del mirall esfèric

$$f' = \left(\frac{1}{s'} - \frac{1}{s} \right)^{-1}$$

Equació de la lent prima

$$P = \frac{1}{q'}$$

Potència de la lent prima

$$A_L = \frac{y'}{y} = \frac{s'}{s}$$

Augment lateral de la lent prima

$$\theta = \frac{\lambda}{\phi}$$

Resolució del telescopi

$$L_{mag} = 2 + 5 \cdot \log(D_0)$$

Límit de magnitud d'estrella

Aquestes equacions ens permeten saber les relacions que existeix entre les magnituds físiques relacionades amb un telescopí. Tot sistema òptic consta de les parts: eix òptic (1), mirall o lent (2), cos (3), imatge virtual (4), i elements físics, com els raigs òptics (5), focus (6), distància focal (7), altura del cos (8), altura de la imatge (9), centre del sistema (10) i distàncies del cos o imatge (11):

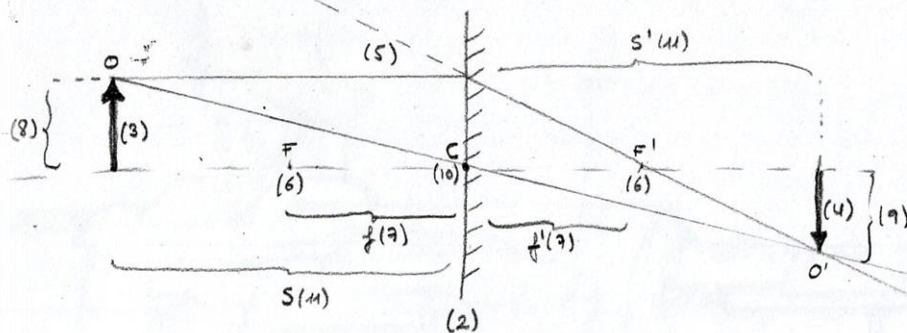


Fig. 9

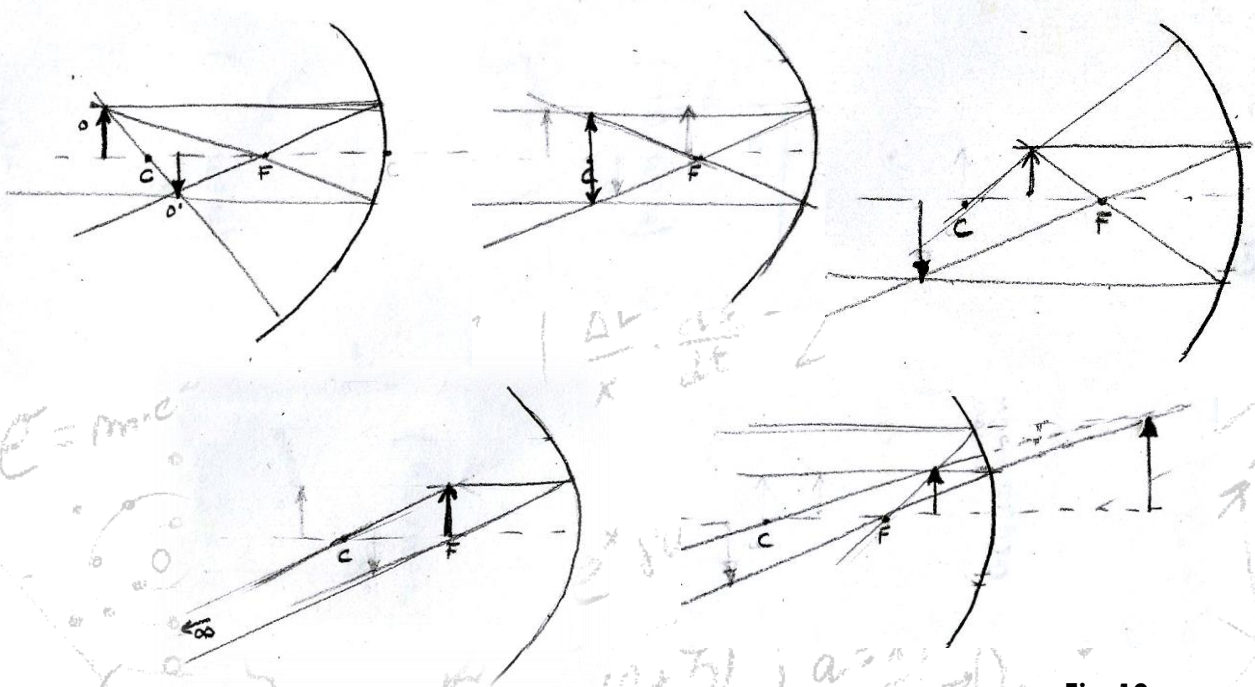


Fig. 10

Fig 9 Gràfic on podem apreciar l'esquema d'un sistema òptic el qual hi consten totes les parts anomenades a la part superior amb els números indicats. Es tracta d'un exemple d'esquema de l'activitat dels raigs òptics en un mirall, juntament amb tots els elements que el caracteritzen.

Fig 10 Conjunt dels 5 casos en un mirall esfèric còncav quant als raigs òptics. Segons la ubicació del cos "O" respecte el mirall "s" la imatge té unes propietats pròpies i unes qualitats diferents. Existeixen dos tipus de miralls esfèrics: el còncav i el convex.

Feta aquesta pinzellada quant a la teoria física i matemàtica dels miralls i lents, podem acordar que el telescopi, com he esmentat anteriorment, té tots aquests elements dels diagrames d'abans. Per tant, podem afirmar que es tracta d'uns processos físics els quals la llum hi està sotmesa. Per diferenciar un model d'un altre, existeixen varis telescopis, es classifiquen segons la seva funció i les seves característiques. Jugant amb la posició de les lents i la constant C que cada telescopi té, podem formar imatges virtuals amb característiques úniques. Heus aquí les categories més usuals:

Telescopis d'iniciació



Telescopis més senzills, abastable pels amateurs. No contenen tecnologia d'alta gamma, lo que permet, al mateix temps, una certa pràctica i maneig ràpid de l'instrument en qüestió.

Telescopis d'Astrofotografia



Telescopis amb la màxima precisió i estabilitat. Perfectes per l'estudi d'astrofotografia i de adquirir perspectives i fotografies de llarga durada perfectes, amb la cromàtica més o menys saturada.

Telescopi catadiòptic



Un dels telescopis més venuts, usats i útils del mercat. Constituït per miralls i lents. La llum viatja a través de tot el tub ocular, sent reflectida i reflex.

Telescopis refractors



Telescopi molt més complex, amb lent prima, la qual està col·locada la part superior de l'objectiu o el tub, el qual refracta els raigs de llum sobre l'ocular.

Telescopi reflector o de Newton



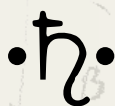
Categoria que conté un mirall que projecta la llum envers a un altre objecte secundari, el qual està col·locat diagonalment. La llum és reflexada a 90°.

Entre d'altres...

No tota persona li interessa arribar a un nivell alt o experimentat d'astronomia i, per tant, l'existència d'infininitats de tipus de telescopis genera una certa comoditat per part d'aquests. És evident, també, que no sols es pot observar un planeta, una estrella, o un cos genèricament parlant; sinó que mitjançant components i instruments a part del telescopi en si, es pot visualitzar fenòmens com galàxies llunyanes, **raigs no-visibles**, espectres, etc. Per tant, també interessa cobrir necessitats com aquestes entorn unes circumstàncies determinades, com l'estudi d'una astrofotografia, o bé la cerca de flux d'energia, determinació i identificació de diferents raigs de l'**espectre electromagnètic**, etc.

Presentació	45
Aspectes Generals	
Bloc teòric	
Bloc pràctic	
Imatges de l'experiència	
Bibliografia	
Annexos	

Bloc pràctic



Preparació de la recerca

Mètodes de detecció

Recopilació de dades

Anàlisi

Conclusions

Bloc pràctic

Preparació de la recerca

Un cop decidida la temàtica del treball de recerca, vaig començar a buscar informació, obtenint llibres, pàgines web, assistint a conferències, des del Museu Darder de Banyoles fins a Llagostera i Girona, contactant amb experts de la ciència en qüestió. Al final, vaig poder recollir tota la informació obtinguda, així com cultura general, la qual em mancava i era necessària per tirar endavant el projecte.

Després d'una llarga i costosa cerca d'un tutor exterior que m'ajudés amb la part pràctica, vaig trobar Rafael Balaguer Rosa, membre de l'equip directiu de l'associació astronòmica de Girona i comarques AstroGirona. Aquest i un meu oncle paternal són amistats, des de ja fa certs anys, i s'avenen tant en nivell personal com professional. Gràcies a en Xavi de Palau, vaig poder contactar amb en Rafael a principis de curs 2015-2016, quan li vaig parlar del treball de recerca. No va ser fins aquest estiu passat, l'estiu del 2016 quan em va convocar amb dos companys més, Arnau Vicens i Maria Dalmau, els quals també tracten el seu treball en l'**exoplanetologia**. De totes maneres, també agraeixo infinitament a Carles Puncernau i Jaume Bayó per la preparació, membres d'AstroBanyoles.

Així doncs, el 23 d'agost a les 23:45 ens va convocar a l'observatori Can Roig. Aquest forma part de l'edifici del Centre Cultural de Can Roig, on també hi ha la biblioteca municipal de Llagostera (Girona). Vaig haver de portar tota la teòrica que tenia ja preparada i així iniciar-me a l'experiència. "Muniwin" o també anomenat "C-Munipack" són els primers **softwares** que vàrem utilitzar de cares a representar gràficament les imatges obtingudes pel telescopi.

D'acord amb les enquestes, vàrem comprovar el trànsit del planeta Wasp-2b, HD189733b i TrES-3b tot utilitzant el mètode de trànsit.

Seguidament esmento els diferents tipus de mètodes per la cerca de planetes fora del **radi Solar**, els quals estan classificats per l'eficàcia i/o facilitat i l'abast. Aquí és on intervenen la física i les matemàtiques per analitzar les dades obtingudes i el seguiment.

Mètodes de detecció

Abans de revelar els diferents camins per la detecció, comentem en genèric i breument el sistema i la mecànica d'un planeta entorn una estrella.

Una estrella, sigui del tipus que sigui i tingui la magnitud que tingui crea a l'espai un **camp gravitatori** sobre el qual cossos com ho són els planetes es veuen atrets per aquest i emprenen un **moviment el·líptic** sobre l'estrella en qüestió, per efecte de la gravetat i les masses. Quan un planeta **orbita** entorn una estrella, descriu una trajectòria bastant regular, en forma d'el·lipse més o menys excèntrica a causa de la seva acceleració que pateix. Vegem la següent imatge com gràficament podem veure la trajectòria que descriu el planeta entorn l'estrella, amb tots els elements més bàsics que la constitueixen:

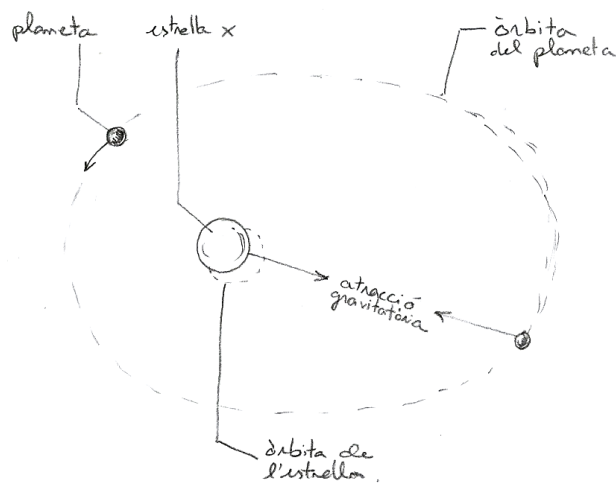


Fig. 11

Esquema senzill de l'òrbita d'un planeta entorn una estrella qualsevol i els conceptes clau per entendre el sistema. És a dir, la detecció més enllà del núvol d'Oort. Aquest és una franja d'astres i cossos que limita el Sistema Solar.

Com a doble efecte de la gravetat, l'estrella també pateix un petit moviment (petit en comparació al període de rotació del planeta) el qual fa entorn ella mateixa, descrivint una òrbita més limitada. Aquests quatre conceptes els hem de tenir en compte per tal d'entendre els mètodes de detecció d'exoplanetes, que no és més que la detecció de planetes com els del Sistema Solar (l'estrella

Fig. 11 Esquema senzill de l'òrbita d'un planeta entorn una estrella qualsevol i els conceptes clau per entendre el sistema.

Fig. 12 Gràfic on es veu la petita oscil·lació de l'estrella (eixos: temps en mili·segons). Aquesta diferència no s'aprecia fàcilment, sinó que és costós ja que gairebé és imperceptible.

Fet aquest petit aclariment, anem a veure els mètodes més destacats per a la detecció de planetes extra-solars:

- ⌘ Astrometria
- ⌘ Velocitat radial
- ⌘ Trànsit
- ⌘ Micro-lents gravitacionals
- ⌘ Detecció directa

1. Astrometria

L'astrometria es coneix com el mètode de l'estudi de la dinàmica i moviment de l'estrella en qüestió, produït pel mateix planeta. Si l'estrella no varia quant a la posició, significa que no existeixen planetes orbitant entorn d'aquesta. Per tal de percebre una mínima cinètica, l'**astre** ha de tenir una massa prou gran per poder alterar el moviment de l'estrella, lo qual resulta dificultós per aconseguir resultats. Malgrat la dificultat que demana, s'ha pogut descobrir fenòmens i cossos titans com el forat negre Sgt. A*.

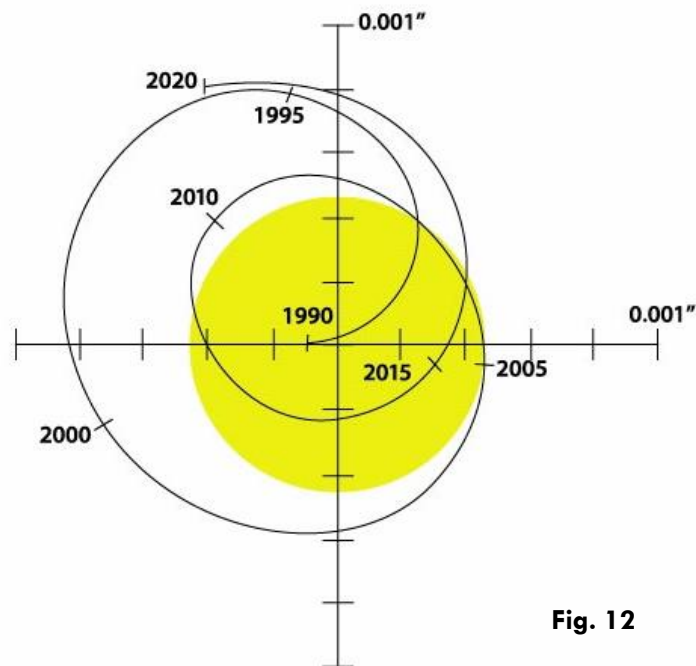


Fig. 12

2. Velocitat radial

La velocitat radial fa referència al període (T) i la longitud d'ona (λ). També té relació amb l'**astrometria**: miden l'alteració de l'estrella i el sistema. Si no hi ha cap planeta entorn d'aquesta, roman quieta. En canvi, com hem vist, si hi ha un planeta, pateix una alteració.

Bé, doncs la velocitat radial es basa a l'efecte Doppler: segons les ones visibles dels espectres electromagnètics, les radiacions amb longitud llarga tendeixen a un color vermellós i les ones amb una longitud més curta i repetitiva s'aproximen més als blaus i violetes, tirant als ultra-violetes (UV). Amb això vinc a dir: si al projectar un feix de radiacions a una estrella, les rebem amb un color rogenc, significa que el cos per sí està a una determinada distància uniforme. No experimenta cap moviment circular. Però si regularment durant el seguiment ens trobem amb una variació quant a la longitud d'ona, voldrà dir que hi ha un cos que està orbitant entorn de l'estrella i que per tant, afecta al moviment d'aquesta. Un exemple del canvi de longitud d'ona és el so de la sirena d'una ambulància, per la distància que hi ha entre l'oient i el focus d'emissió del so. Aquest mètode és un dels més eficaços i, per tant, un dels més usats per dur a terme l'experiència.

Per determinar la velocitat de la radiació transmesa i l'increment del seu valor, s'utilitza la fórmula següent, la qual relaciona proporcionalment la velocitat de la llum (km/h) per l'increment de longitud d'ona (si no hi ha diferència o és nul·la, la velocitat = 0) i inversament proporcional amb la longitud d'ona inicial:

$$v_r = \frac{v_c \cdot \Delta\lambda}{\lambda_0}$$

3. Trànsit

Aquest mètode, a part de ser un altre summament important, és el que he emprat per fer les meves experiències. Demana unes certes característiques estrictes del material, així com precisió.

Consisteix en aplicar al telescopi un cert camp de visió el qual hi consta l'estrella que volem estudiar, i fotografiar aquest camp una vegada i una altra per poder comparar el flux d'energia lumínica o la intensitat de la llum que desprèn l'estrella en qüestió entre les fotos. M'explico.

Per posar un exemple molt senzill, podem projectar una font lumínica, una làmpada, per exemple, que vindria a representar l'estrella. I passem per davant nostre una goma d'esborrar. Quan aquest objecte (el qual està en moviment) es posiciona entre l'estrella i l'observador, la intensitat de llum disminueix i percebem menys claror. Doncs això és el que passa quan un planeta orbita i passa **periòdicament** i regularment entre l'estrella i l'observador; una disminució de llum.

Com s'interpreta? Mitjançant les fotos, amb un software determinat podem compondre una corba de llum tot comparant la llum que emet la nostra estrella en una fotografia i una altra, relacionant el temps i la intensitat de llum. Evidentment les probabilitats de detectar un planeta extra-solar són limitades, ja que si el planeta l'òrbita del qual té un angle perpendicular al

nostre, l'angle de visió, no es pot apreciar cap disminució (Fig. 13).

Aquest factor delimita les probabilitats. Unes probabilitats per cert molt irregulars, segons l'època de l'any i l'observatori on es practica l'observació.

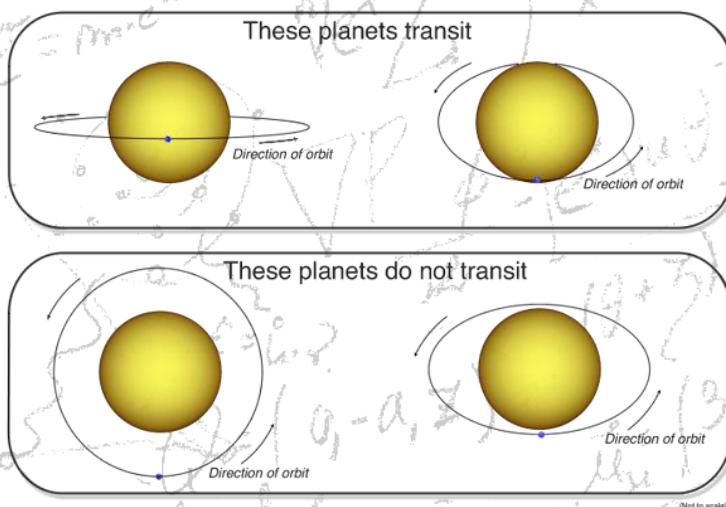


Fig. 13

Gràficament es representa de la forma següent:

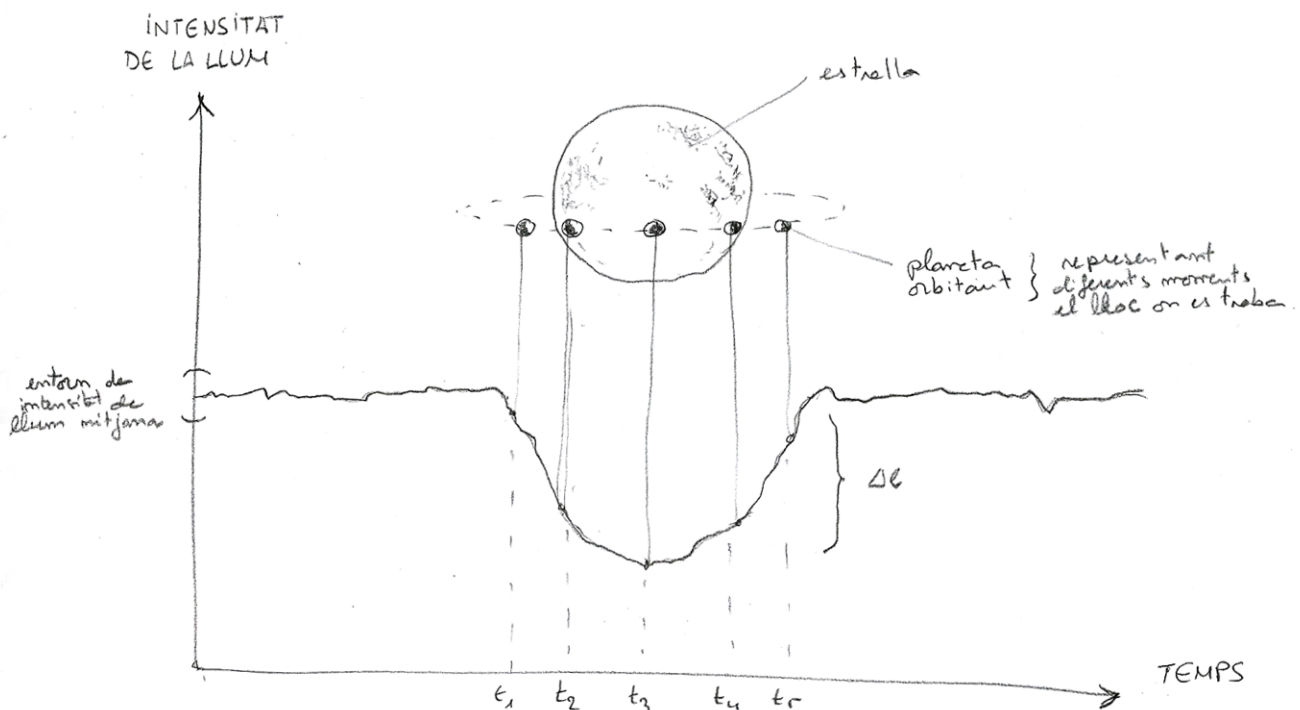
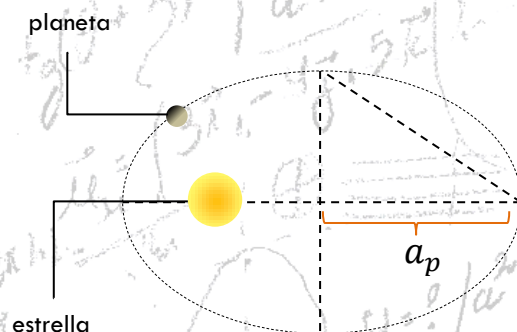


Fig. 14

Hi podem veure la relació respecte el temps i la rotació del planeta vist des de la nostra perspectiva i la intensitat del flux d'energia o llum. Es pot suposar fàcilment que com menys diferència hi hagi entre el radi del planeta i de l'estrella, més variació hi ha de llum, és a dir, no és el mateix detectar un planeta de mida Júpiter com un de mida Terra. Aquest últim és més costós ja que respecte el sol és diverses vegades més petit. Heus aquí una fórmula senzilla on s'interpreta la probabilitat de detecció, on " R_* " és el radi de l'estrella, " a_p " és l'eix semi-major del planeta entorn l'el·lipse i " i_{min} " és l'angle d'inclinació de la seva òrbita:

$$P = \frac{R_*}{a_p} = \cos i_{min}$$



Paral·lelament, l'augment o més ben dit, l'increment de disminució de la llum està representat per la següent equació. "P" és la intensitat lumínica i "R_p" és el radi del planeta.

$$\frac{\Delta P}{P} = \left(\frac{R_p}{R_*} \right)^2$$

I així podria anar ampliant la base matemàtica i teòrica fins a arribar a conceptes com la precisió de la línia de corba o directament dades físiques del planeta, com la densitat, el radi, la distància, la **composició química**, etc.:

$$t = 2 \sqrt{\frac{1 - (r_p \cos i)^2}{(R_p + R_*)^2}} \cdot (R_p + R_*) \cdot \frac{\sqrt{1 - e^2}}{1 + e \cos \phi} \cdot \sqrt[3]{\frac{P}{2GM_*}} \left\{ \Delta t \approx \frac{a_m M_m P_p}{\pi(a_p M_p)} \right\}$$

Tots aquests sistemes, podria interpretar. Malauradament, però, aquest treball de recerca consisteix en verificar el trànsit de tres planetes distints, així que no m'és permès ampliar més la temàtica, ja que és infinitament extensa, complexa i intervenen altres ciències i disciplines les quals no domino i/o desconec. Com a exemple, aquí s'obririen les portes per preguntar-nos si hi pot haver vida a l'exoplaneta i estendre'ns amb aquest tema, tot argumentant les condicions que el planeta ha de tenir per tal de ser un candidat. Segons el radi de rotació respecte la seva estrella, si el planeta es troba en un interval o extensió de x km respecte l'estrella pot estar a una temperatura adient perquè creixi matèria viva anomenada **zona habitable**.

Fig. 13 Aquesta imatge mostra els casos que podem observar el trànsit i els que no, segons les circumstàncies en que el planeta es troba. A sobre les possibilitats d'apreciar una disminució de llum i, a sota quan no podem veure cap canvi, segons el nostre angle de visió.

Fig.14 Esquema de la corba de llum realitzada un cop s'ha recollit totes les fotografies del camp estel·lar. Eix x: temps en hores o dies; Eix y: intensitat lumínica (Hz, U).

ESTRELLA /
FONT DE CALOR

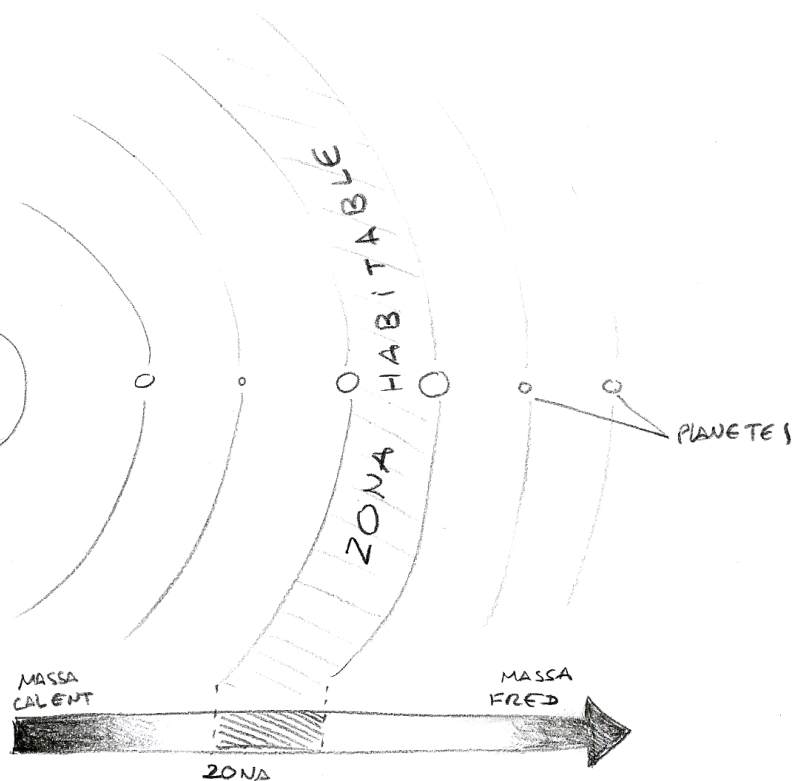


Fig. 15

Fet aquest parèntesi, tornem amb els mètodes de detecció de planetes extra-solars, tot indicant els últims anomenats prèviament.

4. Micro-lents gravitacionals

Aquest sistema de recerca és bàsicament teòric, malgrat ja s'ha dut a terme algunes troballes exteriors. És complicat, ja que s'ha d'apreciar un canvi quant a la intensitat de llum però aquest cop un augment de llum quant el camp de gravetat del planeta i el de l'estrella es complementen. Per ell, s'hauria de considerar una alineació dels tres objectes o punts de referència. Un exemple molt clar és quan col·loques una bombeta encesa darrere una altra també encesa i les mires alienadament. Es percep més claror pel fet de que la densitat de la llum als camps gravitatoris és major.

5. Detecció directa

La detecció directa no és res més que percebre una diferència i activitat lumínica, ja que una estrella i un planeta no tenen el mateix caràcter. Els gràfics a partir de raigs infrarojos o ultraviolats ens revela molta informació sobre l'objecte estudiat i poden arribar a ser bastant detallats. Tot i així no és fàcil ni accessible tecnològicament per a tothom. Això justifica per què aquest no és un mètode molt eficient ni corrent.

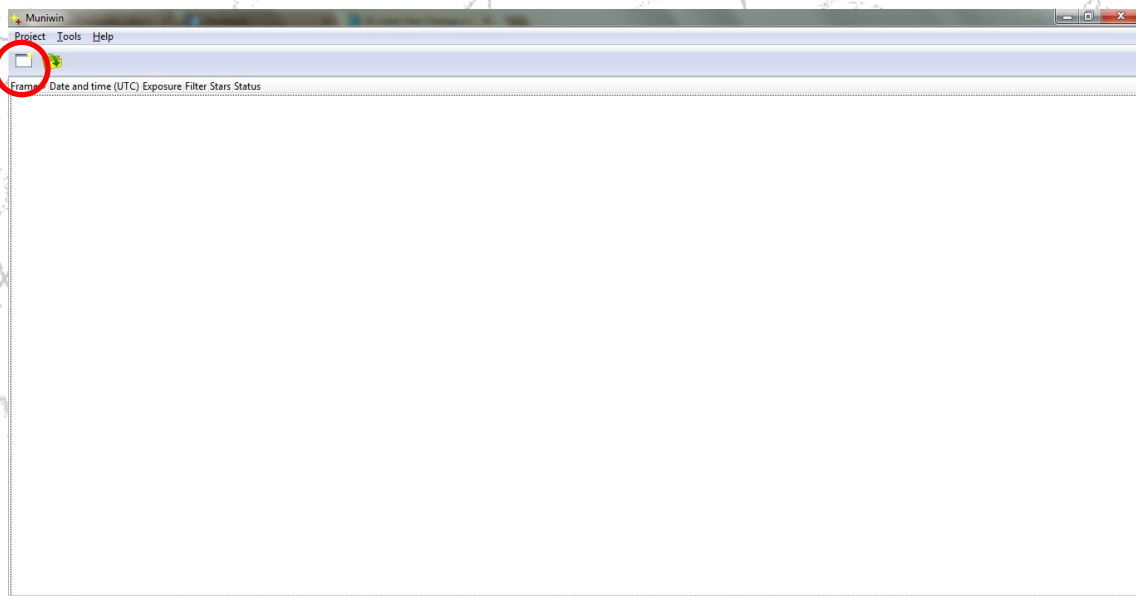
No solament existeixen aquests mètodes de detecció però són principalment els més destacats i usats, així com reconeguts pels resultats obtinguts. Properament, ja deixo la part més teòrica d'aquesta pràctica i mostraré els resultats obtinguts a les experiències a l'observatori de Llagostera.

Els planetes els quals evidenciaré ja van ser descoberts anteriorment, uns anys enrere. És un treball considerablement laboriós, ja que consta de moltes parts i, per damunt de tot, coneixements previs i cultura general. Durant l'experiència he descobert nous mons on mai havia estat involucrat, i és per això que vull detallar-lo el màxim possible. Heus aquí la meua pràctica, cronològicament ordenat segons les diferents parts de la recerca.

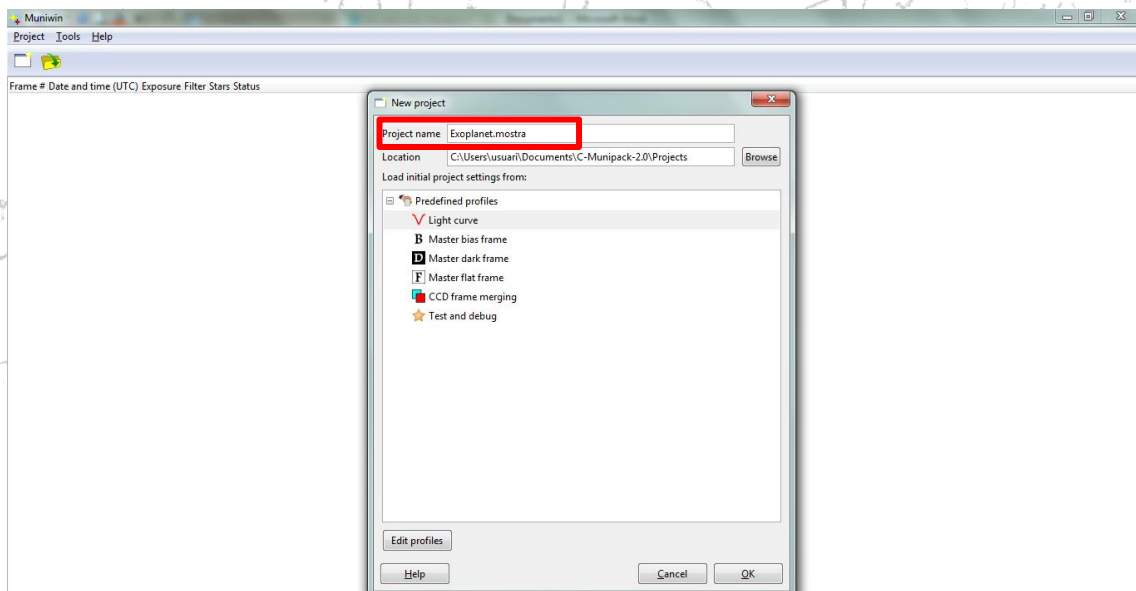
Una vegada obtingudes les fotografies fetes pel telescopi a l'observatori, es guarden en un format tal que sols es pot obrir amb el software Muniwin (arxiu: .fit). Seguidament mostro (Windows 7) el procés per tal d'arribar a la corba de llum a partir de les fotografies, que necessitem per demostrar el trànsit dels planetes.

Procediment

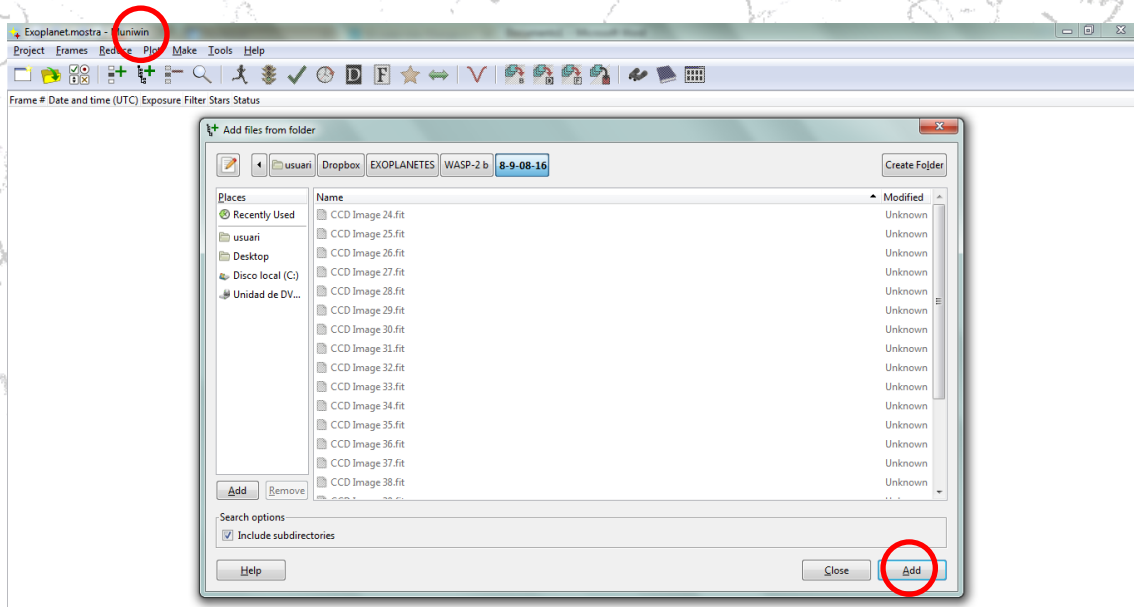
Obrim el programa Muniwin ja prèviament instal·lat a l'Usuari, i premem a la finestra “**Create a new project**” al marge esquerre superior:



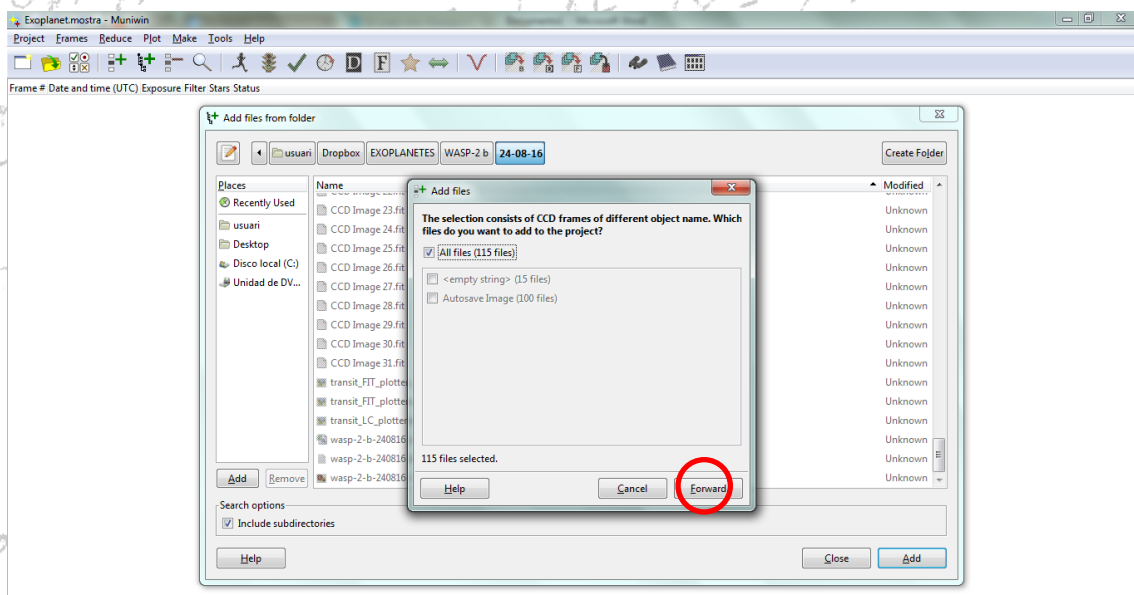
Inserim el nom del projecte, i prenem “**OK**”.



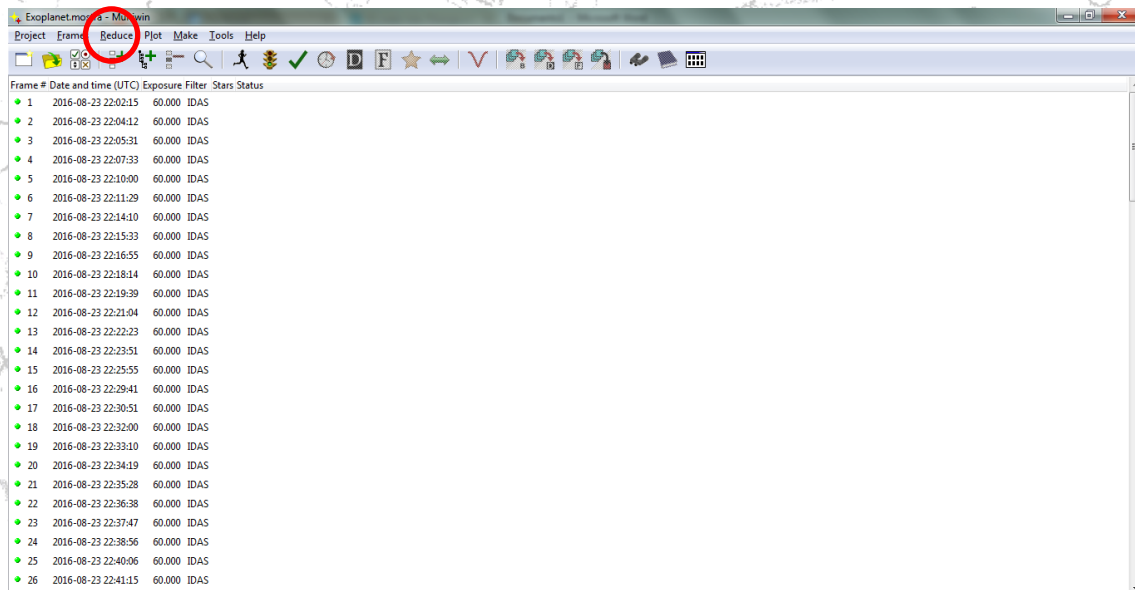
El projecte està creat. Ara fa falta importar les fotografies que prèviament hem guardat al PC o sistema. Per això hem d'obrir una icona a la part superior de la pantalla anomenada “**Add all files from a folder and its subfolders**” tal i com està marcada a la imatge següent i busquem els fitxers.



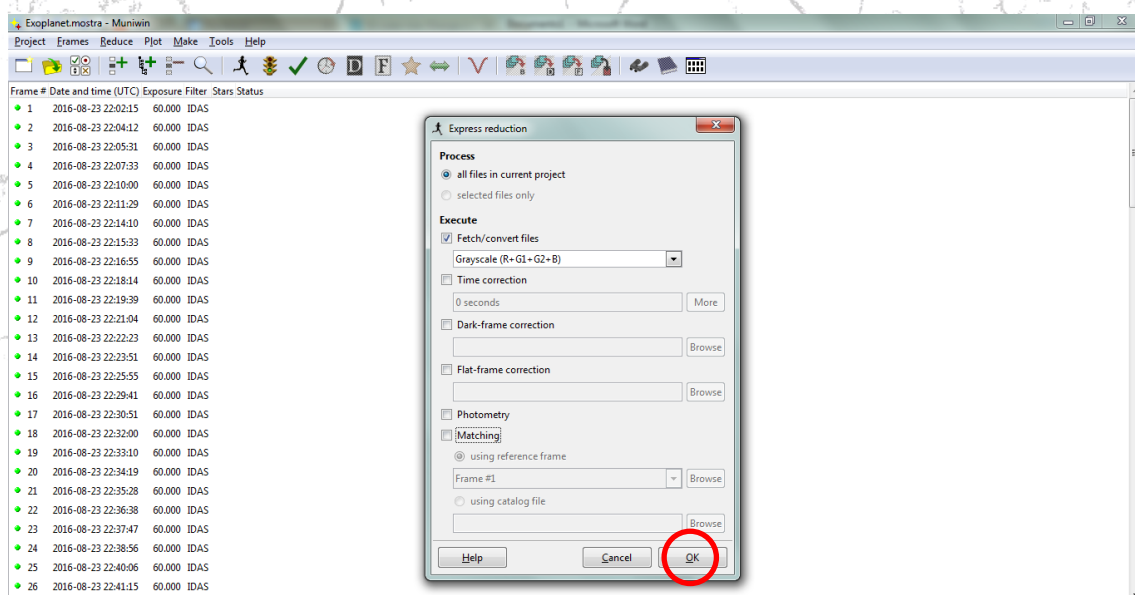
Preguntarà si es vol importar tots els fitxers, efectivament els hem d'inserir tots clicant “**Forward**”



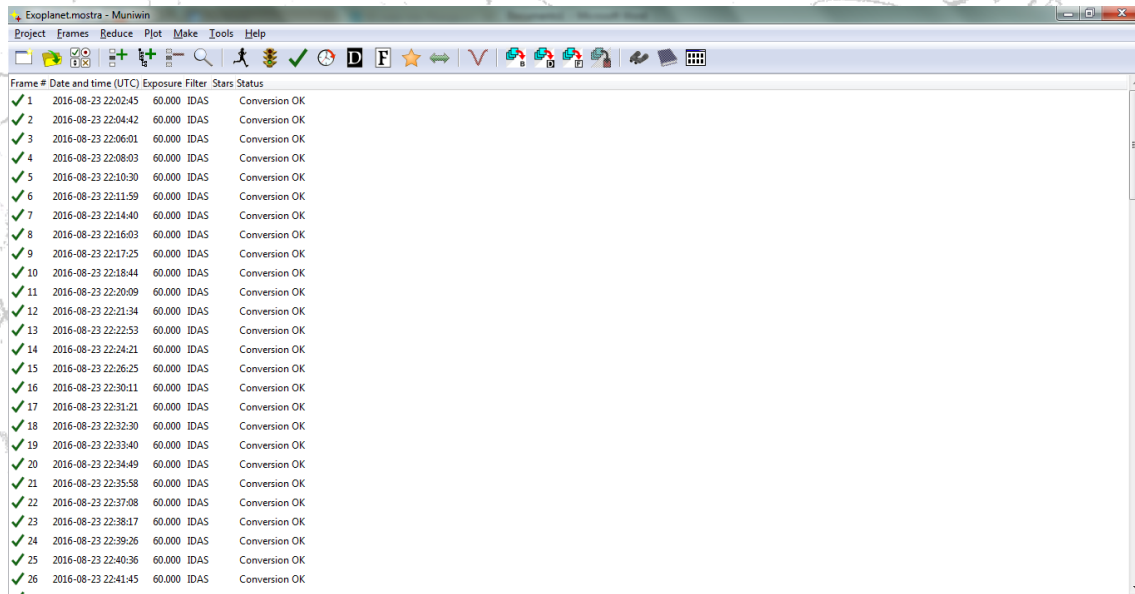
Un cop oberts, hauria d'aparèixer la pantalla inicial de Muniwin amb les x imatges.



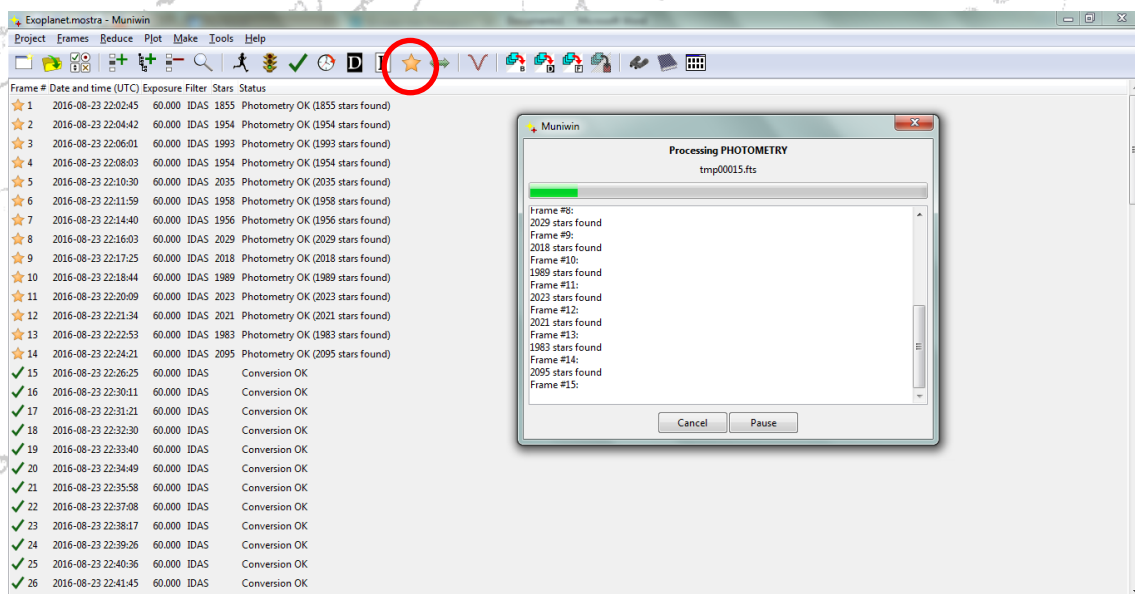
Si és així, procedim. Anem a “**Reduce**”, a la part superior i ho desplaguem. Trobarem una icona tal “**Express reduction**”. Seguidament demana si volem personalitzar les configuracions per defecte, però ens interessa deixar-ho tal i com està.



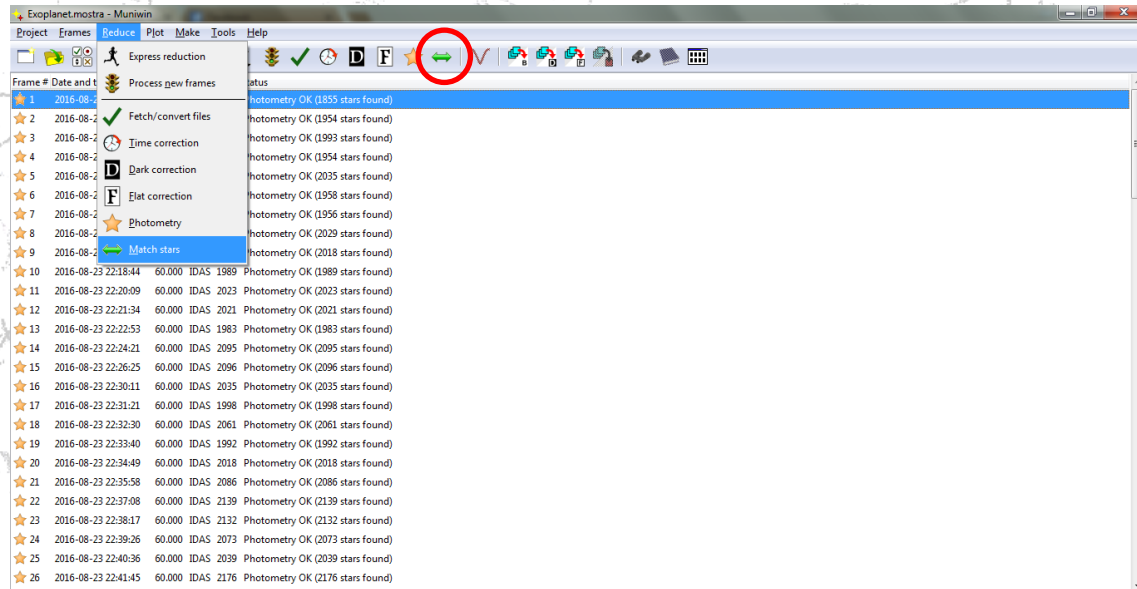
És possible que durant el procés s'hagi suprimit algun arxiu. És normal, ja que automàticament ha descartat aquelles fotografies que, al comparar-les amb la resta, varia desmesuradament quant a la resolució d'aquesta.



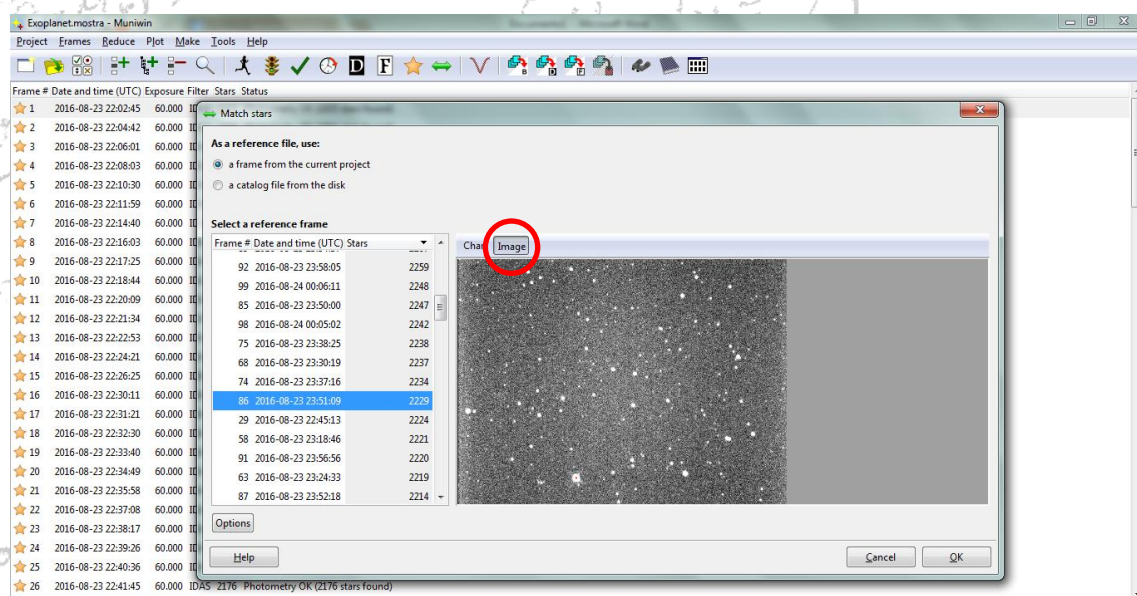
Procedim tot tornant a anar a **“Reduce”**. Aquest cop, però, anem a **“Photometry”**. També es pot anar a la icona de l'estrella **“Photometry”** directament. Aquí el que farà és igualar les compressions de les imatges de manera que permetrà una visualització més compacte i agradable visualment. Premem **“OK”** i començarà a classificar novament els arxius i descartarà aquells erronis. Pot ésser possible que duri uns minuts.



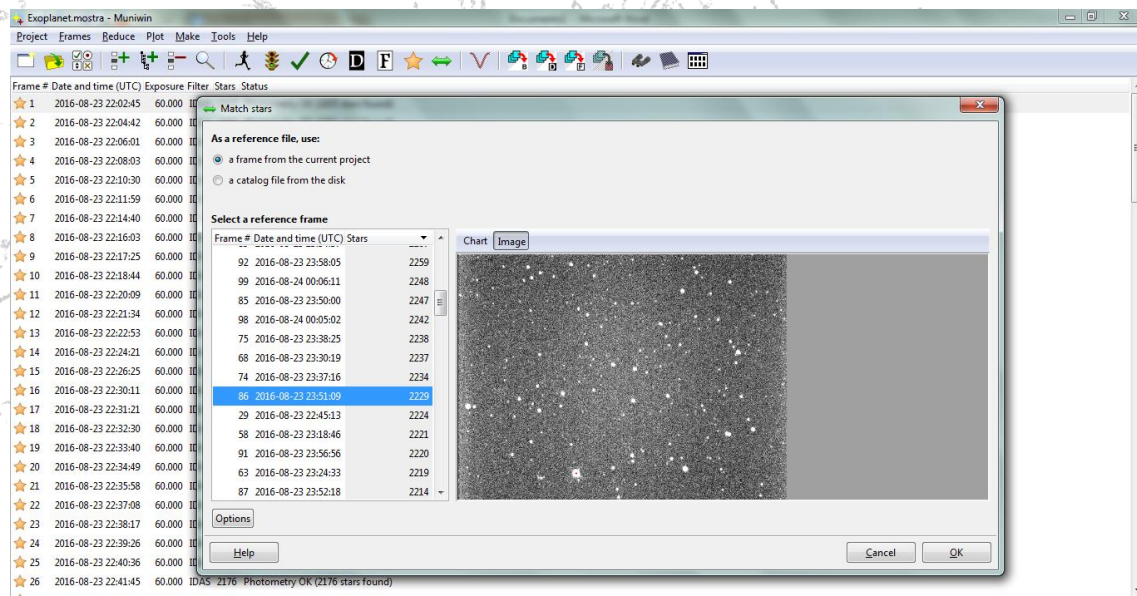
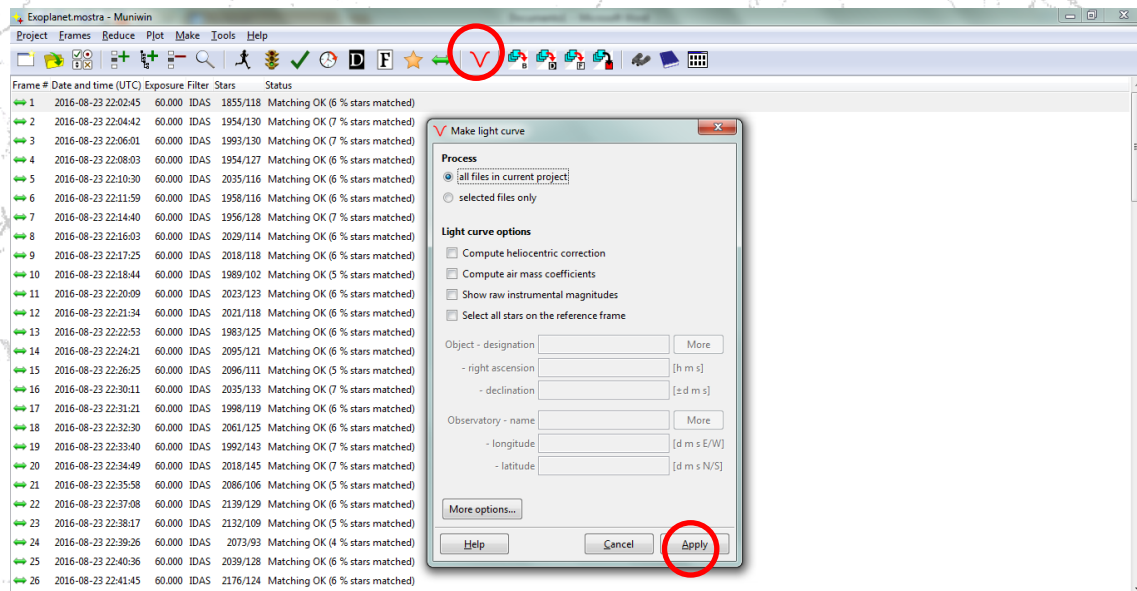
Un cop tenim preparades les fotos, anem a la icona “**Match stars**”, ja que el que volem és comparar l’estrella d’estudi amb altres no-variables quant a intensitat de llum. Així el software veurà la diferència i tindrà en compte els intervals de flux lumínica.



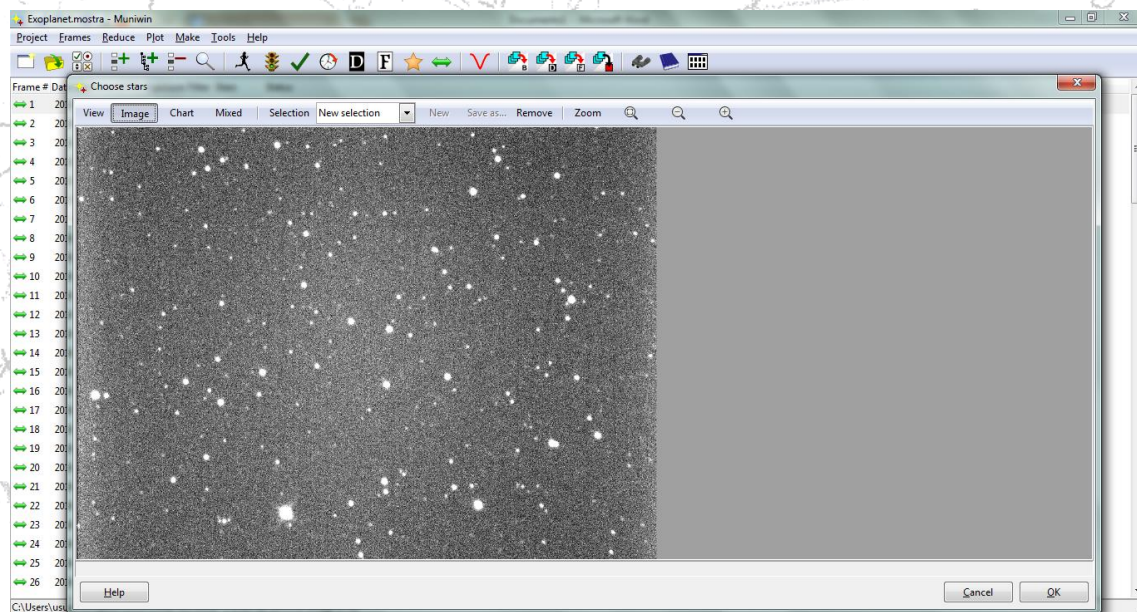
S’obrirà una pestanya la qual ens mostra les fotografies visibles. Per tal de veure-ho més clar i nítid, apliquem “**Image**”. Seguidament triem una fotografia la qual servirà com a referència per fer l’estudi. Premem “**OK**”



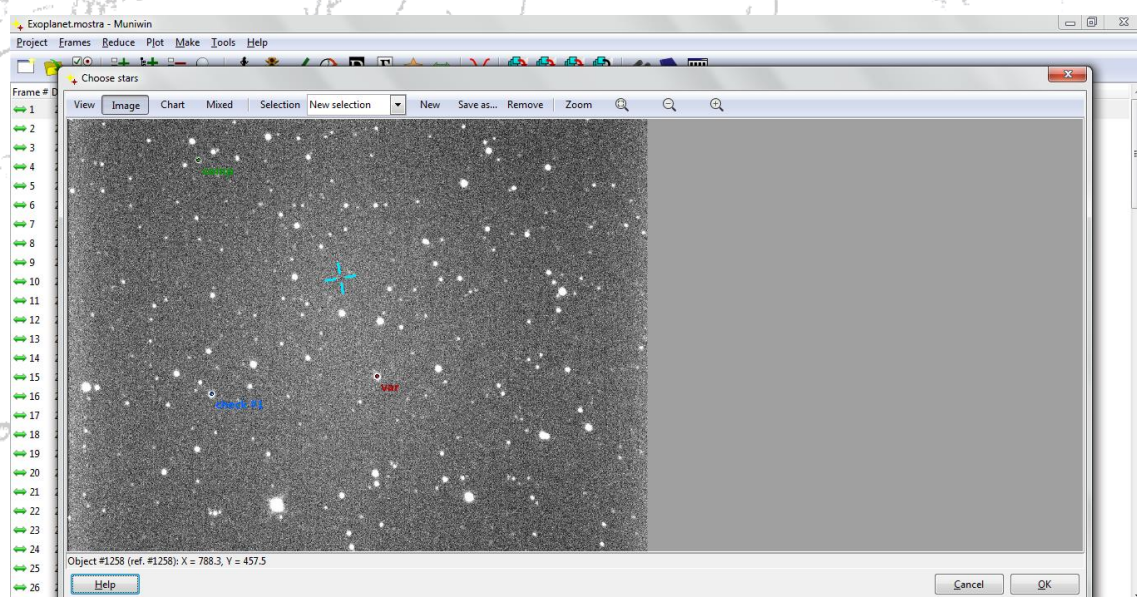
Un cop ha netejat les fotos no-visibles o que han quedat borroses, cliquem el boto “**Light curve**”. Per simplificar-ho, quan apareix una pestanya dient “**Make light curve**” directament premem “**Apply**”. De l'altra manera, tindríem la possibilitat d'adjuntar la informació de l'observatori (coordenades, longitud, latitud, etc).



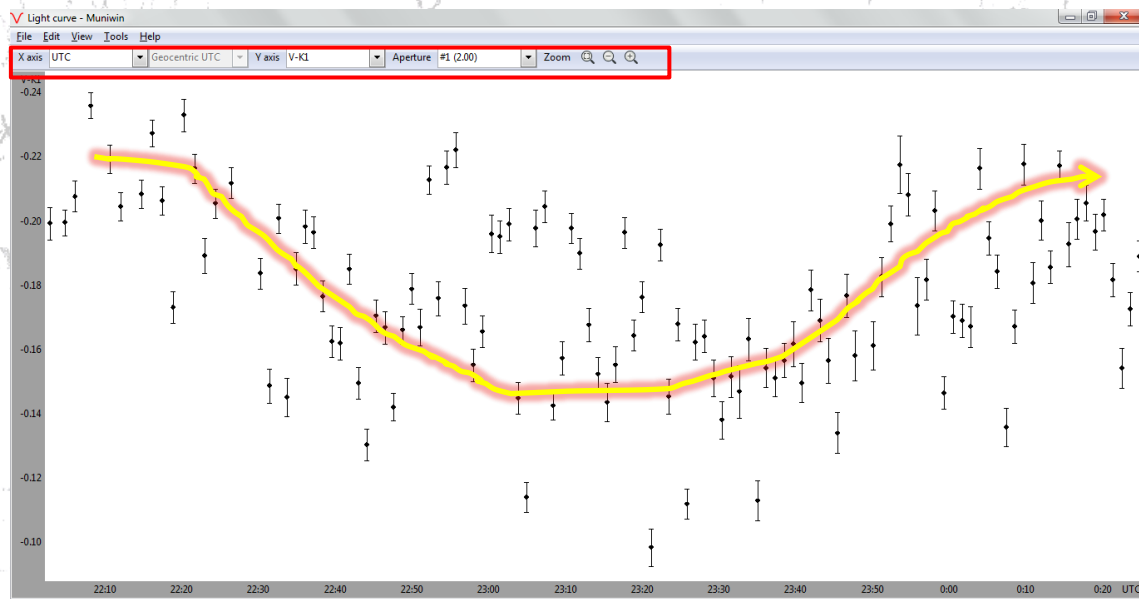
Aquí ens apareix el camp estel·lar que el telescopi ha fotografat durant un interval de temps, programat al principi de l'experiència.



Es tracta d'identificar l'estrella origen o d'estudi, clicar-la i acceptar a "Variable". Ens podem ajudar amb la fotografia de referència de la base de dades a Internet. (www.exoplanetas.es). Així com identificar una segona estrella NO-variable amb "Comparison" i dues últimes que tinguin la mateixa proporció i il·luminació a cop d'ull de la estrella original amb "Check", per tal de tenir una referència lumínica.



Un cop assegurat d'una bona elecció (insisteixo en triar la estrella original adient, una segona estrella no-variable per comparar, i dues últimes per tenir com a referència lumínica algunes estrelles més) seguim i premem el botó “OK”. Aquí ens apareix, si hem escollit bé les estrelles al camp de la pestanya anterior, la corba de llum de la nostra estrella. Podem jugar tot variant la obertura i l'eix de visió a la part superior, així com l'eix d'abscisses en funció de l'hora estàndard i no el **calendari Julià**.



Interpretació del gràfic:

L'eix d'abscisses representa l'hora en què les fotografies han estat creades pel telescopi; pel contrari, l'eix d'ordenades mesura el flux lumínic o intensitat de llum, variable segons la magnitud de l'estrella. Cada element del gràfic correspon a una fotografia, juntament amb el seu marge d'error, de manera que com més nombre de fotos, podem percebre amb més claredat la tendència de la corba (funció groga). Tenim l'opció de guardar el gràfic com a imatge en format .jpg o .jpeg, per tal de compartir-ho amb un format compatible amb tots els usuaris i dispositius.

Recopilació de dades

Per acabar la part pràctica, termino mostrant els resultats que he anat obtenint el llarg de la experiència, amb cadascuna de les estrelles estudiades: WASP-2b, HD189733-b i TrES-3b. La informació general de cada planeta extra-solar pertany a la font d'informació www.exoplanet.eu (Base de dades oficial EU), www.wikipedia.org (Wikipedia) i la base de dades astronòmiques a www.nasa.gov (NASA) i www.esa.int (ESA).

Dades prèvies i aclariments:

$$1g = g_t = 9,81m/s^{-2}$$

AU = unitats astronòmiques

R_j = Radis de Júpiter

M_j = Masses de Júpiter

Les magnituds escalars com massa, radi, període, etc. Tenen les mateixes unitats però no està en escala 1:1, sinó que es compara sempre o bé amb les magnituds de la Terra, de Júpiter o del Sol, per tal d'aconseguir una millor precisió, visió i perspectiva. Pertany al **SI** (Sistema Internacional):

WASP-2b

Data d'observació:	24/08/2016
Hora d'observació aprox.:	22:10h – 2:16h
Durada d'observació aprox.:	4h
Lloc d'observació:	Llagostera (Girona)
Característiques:	

Estrella

Estrella mare:	WASP-2
Constel·lació:	C. Dofí
Inclinació orbital (°):	$i = 20,515$
Declinació orbital (°):	$i' = 6,429$
Distància (anys/llum):	470,000
Excentricitat:	(no identificada)
Magnitud:	K1V

Òrbita

Semi-eix major (AU):	$0,03136 \pm 0.011$
Període orbital (dies):	2,152
Inclinació (°):	84,731

Dades físiques

Temperatura (K):	$1,300 \pm 540$
Gravetat (g):	$3,279 \pm 0.036$
Radi (R _j):	$1,079 \pm 0.033$
Massa (M _j):	$0,847 \pm 0.045$

Descobriment

Data: 29/09/2006

Lloc: SAAO

Mètode: Trànsit

Dades/fotografia (104 f.):

FRAME,JDHEL,V-C,s1,V-K1,s2,V-K2,s3,C-K1,s4,C-K2,s5,K1

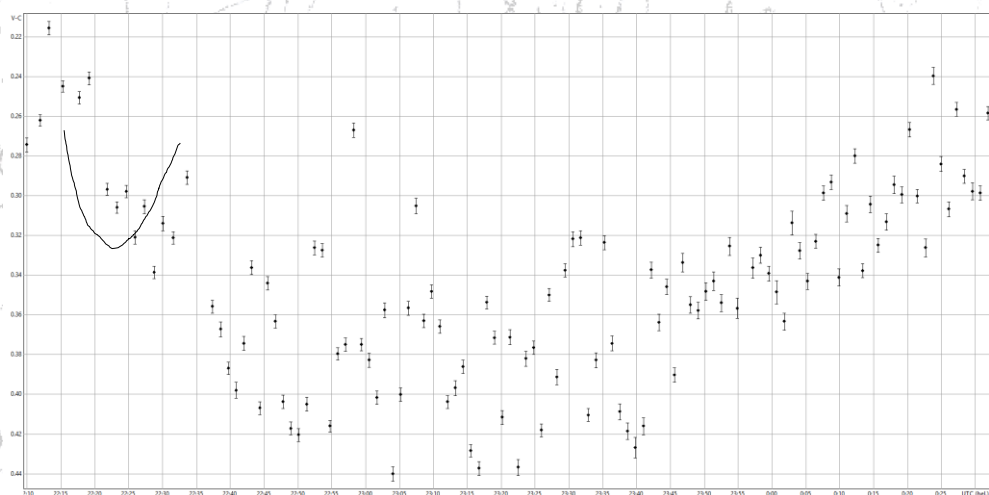
1,2457624.4235914,0.27430,0.00350,-0.67120,0.00531,-2.56582,0.02302,-0.94550,0.00509,-
2.84012,0.02297,-1.89463,0.02332,11.59366,12.53916,0.0050151,1.2261,54.59
2,2457624.4249456,0.26195,0.00286,-0.63611,0.00403,-2.56794,0.01727,-0.89806,0.00385,-
2.82989,0.01723,-1.93184,0.01747,11.31482,12.21288,0.0050150,1.2259,54.60
3,2457624.4258599,0.21555,0.00339,-0.65078,0.00499,-2.60637,0.02270,-0.86632,0.00482,-
2.82191,0.02267,-1.95559,0.02296,11.59780,12.46412,0.0050150,1.2258,54.61
4,2457624.4272719,0.24480,0.00284,-0.67983,0.00416,-2.61546,0.01813,-0.92463,0.00398,-
2.86026,0.01809,-1.93563,0.01834,11.32217,12.24680,0.0050149,1.2257,54.61
5,2457624.4289732,0.25053,0.00306,-0.67041,0.00450,-2.62328,0.01894,-0.92094,0.00429,-
2.87381,0.01889,-1.95287,0.01918,11.43299,12.35393,0.0050149,1.2257,54.61
6,2457624.4300033,0.24083,0.00317,-0.66377,0.00453,-2.60959,0.02014,-0.90460,0.00434,-
2.85042,0.02010,-1.94582,0.02035,11.45829,12.36289,0.0050149,1.2258,54.61
7,2457624.4318667,0.29672,0.00307,-0.66217,0.00462,-2.58572,0.01952,-0.95889,0.00437,-
2.88245,0.01946,-1.92356,0.01977,11.39729,12.35618,0.0050148,1.2260,54.59
8,2457624.4328273,0.30586,0.00290,-0.66001,0.00427,-2.63453,0.01940,-0.96586,0.00405,-
2.94039,0.01936,-1.97453,0.01961,11.31662,12.28248,0.0050148,1.2262,54.58
9,2457624.4337763,0.29783,0.00310,-0.62759,0.00455,-2.62482,0.02085,-0.92542,0.00430,-
2.92265,0.02080,-1.99722,0.02106,11.41840,12.34382,0.0050147,1.2265,54.56
10,2457624.4346906,0.32085,0.00335,-0.62577,0.00497,-2.56333,0.02157,-0.94662,0.00470,-
2.88417,0.02151,-1.93756,0.02182,11.50830,12.45491,0.0050147,1.2267,54.54
11,2457624.4356744,0.30548,0.00346,-0.70334,0.00545,-2.61387,0.02299,-1.00882,0.00520,-
2.91935,0.02293,-1.91053,0.02332,11.55736,12.56618,0.0050147,1.2271,54.52
12,2457624.4366582,0.33850,0.00312,-0.65247,0.00479,-2.55958,0.02091,-0.99097,0.00454,-
2.89808,0.02085,-1.90711,0.02116,11.41086,12.40183,0.0050147,1.2274,54.50
13,2457624.4375725,0.31393,0.00365,-0.66822,0.00555,-2.72629,0.02749,-0.98215,0.00525,-
3.04023,0.02744,-2.05808,0.02775,11.63721,12.61936,0.0050146,1.2278,54.47
15,2457624.4400261,0.29091,0.00342,-0.70536,0.00519,-2.71796,0.02499,-0.99626,0.00496,-
3.00887,0.02494,-2.01260,0.02525,11.53565,12.53191,0.0050146,1.2290,54.40
16,2457624.4426418,0.35585,0.00328,-0.63815,0.00497,-2.60817,0.02282,-0.99400,0.00469,-
2.96402,0.02276,-1.97002,0.02306,11.45663,12.45063,0.0050145,1.2306,54.29
17,2457624.4434519,0.36728,0.00373,-0.59336,0.00549,-2.62060,0.02656,-0.96064,0.00512,-
2.98788,0.02649,-2.02724,0.02679,11.61669,12.57733,0.0050144,1.2311,54.26
18,2457624.4442505,0.38690,0.00312,-0.54684,0.00441,-2.58071,0.02080,-0.93374,0.00411,-
2.96761,0.02074,-2.03387,0.02098,11.35316,12.28690,0.0050144,1.2317,54.22

19,2457624.4450607,0.39803,0.00401,-0.56722,0.00598,-2.53939,0.02731,-0.96525,0.00561,-
 2.93742,0.02723,-1.97217,0.02759,11.71459,12.67984,0.0050144,1.2323,54.18
 20,2457624.4458593,0.37436,0.00349,-0.62758,0.00526,-2.51601,0.02197,-1.00194,0.00494,-
 2.89037,0.02190,-1.88843,0.02225,11.52970,12.53164,0.0050144,1.2329,54.14
 21,2457624.4466579,0.33622,0.00349,-0.64411,0.00524,-2.60841,0.02360,-0.98033,0.00497,-
 2.94463,0.02354,-1.96430,0.02386,11.55934,12.53966,0.0050144,1.2336,54.10
 22,2457624.4474680,0.40700,0.00331,-0.59027,0.00497,-2.51374,0.02071,-0.99727,0.00463,-
 2.92073,0.02063,-1.92346,0.02096,11.42021,12.41748,0.0050143,1.2343,54.05
 23,2457624.4482666,0.34400,0.00334,-0.64330,0.00505,-2.57669,0.02180,-0.98730,0.00477,-
 2.92069,0.02174,-1.93339,0.02207,11.48144,12.46874,0.0050143,1.2350,54.01
 24,2457624.4490652,0.36323,0.00338,-0.59515,0.00496,-2.56248,0.02236,-0.95838,0.00464,-
 2.92571,0.02229,-1.96733,0.02258,11.49473,12.45310,0.0050143,1.2357,53.96
 25,2457624.4498754,0.40369,0.00340,-0.57892,0.00500,-2.55185,0.02297,-0.98262,0.00468,-
 2.95554,0.02290,-1.97293,0.02319,11.48494,12.46755,0.0050143,1.2365,53.91
 26,2457624.4506740,0.41715,0.00314,-0.58960,0.00465,-2.57092,0.02091,-1.00675,0.00432,-
 2.98807,0.02084,-1.98132,0.02112,11.35051,12.35726,0.0050142,1.2373,53.86
 27,2457624.4514841,0.42045,0.00331,-0.55628,0.00494,-2.53273,0.02215,-0.97673,0.00460,-
 2.95318,0.02208,-1.97645,0.02238,11.44952,12.42624,0.0050142,1.2382,53.81
 28,2457624.4522827,0.40494,0.00339,-0.56710,0.00493,-2.53777,0.02148,-0.97203,0.00455,-
 2.94271,0.02140,-1.97067,0.02169,11.44743,12.41946,0.0050142,1.2390,53.75
 29,2457624.4530813,0.32624,0.00352,-0.63887,0.00512,-2.60991,0.02367,-0.96511,0.00482,-
 2.93614,0.02361,-1.97103,0.02390,11.55581,12.52091,0.0050142,1.2399,53.69
 30,2457624.4538914,0.32743,0.00348,-0.62851,0.00519,-2.56408,0.02306,-0.95593,0.00490,-
 2.89151,0.02300,-1.93557,0.02332,11.56621,12.52214,0.0050141,1.2408,53.64
 31,2457624.4546900,0.41602,0.00297,-0.51439,0.00419,-2.50705,0.01830,-0.93041,0.00389,-
 2.92307,0.01823,-1.99266,0.01847,11.27396,12.20437,0.0050141,1.2418,53.58
 32,2457624.4554886,0.37965,0.00303,-0.50926,0.00427,-2.53288,0.01802,-0.88891,0.00397,-
 2.91252,0.01795,-2.02361,0.01820,11.30509,12.19400,0.0050141,1.2428,53.51
 33,2457624.4562988,0.37498,0.00336,-0.53766,0.00478,-2.52876,0.02126,-0.91264,0.00447,-
 2.90374,0.02119,-1.99110,0.02147,11.46689,12.37954,0.0050141,1.2438,53.45
 34,2457624.4570974,0.26696,0.00373,-0.73649,0.00591,-2.64698,0.02678,-1.00346,0.00566,-
 2.91394,0.02672,-1.91048,0.02711,11.69274,12.69619,0.0050140,1.2448,53.39
 35,2457624.4579075,0.37493,0.00310,-0.61420,0.00462,-2.59598,0.02062,-0.98914,0.00435,-
 2.97091,0.02056,-1.98178,0.02085,11.35564,12.34478,0.0050140,1.2459,53.32
 36,2457624.4587061,0.38286,0.00362,-0.61422,0.00545,-2.57981,0.02451,-0.99708,0.00513,-
 2.96267,0.02444,-1.96559,0.02478,11.56769,12.56477,0.0050140,1.2470,53.25
 37,2457624.4595163,0.40174,0.00342,-0.60612,0.00512,-2.54509,0.02290,-1.00785,0.00479,-
 2.94682,0.02283,-1.93897,0.02314,11.46782,12.47567,0.0050140,1.2482,53.18
 39,2457624.4611134,0.44012,0.00374,-0.56164,0.00559,-2.53669,0.02541,-1.00175,0.00517,-
 2.97681,0.02532,-1.97505,0.02566,11.58574,12.58749,0.0050139,1.2505,53.03
 40,2457624.4619236,0.40010,0.00336,-0.56333,0.00494,-2.54654,0.02148,-0.96343,0.00462,-
 2.94664,0.02140,-1.98321,0.02171,11.46100,12.42443,0.0050139,1.2518,52.96
 41,2457624.4627222,0.35662,0.00341,-0.59205,0.00490,-2.60003,0.02314,-0.94866,0.00459,-
 2.95664,0.02307,-2.00798,0.02334,11.48449,12.43315,0.0050139,1.2531,52.88
 42,2457624.4635324,0.30509,0.00391,-0.58236,0.00570,-2.53429,0.02488,-0.88745,0.00538,-
 2.83938,0.02481,-1.95193,0.02516,11.70422,12.59167,0.0050138,1.2544,52.80
 43,2457624.4643309,0.36292,0.00341,-0.62612,0.00513,-2.61971,0.02422,-0.98904,0.00483,-
 2.98263,0.02416,-1.99360,0.02446,11.51509,12.50413,0.0050138,1.2557,52.72
 44,2457624.4651295,0.34812,0.00339,-0.59161,0.00501,-2.55863,0.02248,-0.93973,0.00473,-
 2.90675,0.02242,-1.96703,0.02272,11.50721,12.44693,0.0050138,1.2570,52.64
 45,2457624.4659397,0.36581,0.00335,-0.57882,0.00491,-2.57432,0.02232,-0.94463,0.00459,-

2.94012,0.02225,-1.99549,0.02254,11.46864,12.41327,0.0050138,1.2584,52.56
 46,2457624.4667383,0.40383,0.00323,-0.45996,0.00448,-2.48905,0.02048,-0.86379,0.00414,-
 2.89288,0.02041,-2.02909,0.02065,11.39547,12.25926,0.0050137,1.2599,52.47
 47,2457624.4675484,0.39680,0.00375,-0.59865,0.00558,-2.64351,0.02679,-0.99545,0.00521,-
 3.04031,0.02671,-2.04486,0.02703,11.60544,12.60089,0.0050137,1.2613,52.39
 48,2457624.4683470,0.38603,0.00334,-0.67086,0.00526,-2.58056,0.02265,-1.05689,0.00497,-
 2.96659,0.02259,-1.90970,0.02295,11.46550,12.52239,0.0050137,1.2628,52.30
 50,2457624.4699558,0.43730,0.00348,-0.56485,0.00503,-2.59356,0.02385,-1.00215,0.00465,-
 3.03086,0.02377,-2.02871,0.02404,11.46664,12.46879,0.0050136,1.2659,52.12
 51,2457624.4707544,0.35373,0.00321,-0.62323,0.00489,-2.58002,0.02143,-0.97697,0.00462,-
 2.93375,0.02137,-1.95679,0.02169,11.43746,12.41442,0.0050136,1.2675,52.03
 52,2457624.4715529,0.37152,0.00328,-0.59946,0.00487,-2.58156,0.02207,-0.97098,0.00456,-
 2.95308,0.02200,-1.98210,0.02230,11.43134,12.40232,0.0050136,1.2691,51.93
 53,2457624.4723631,0.41157,0.00348,-0.56434,0.00505,-2.52596,0.02327,-0.97592,0.00469,-
 2.93753,0.02319,-1.96162,0.02348,11.48188,12.45779,0.0050136,1.2708,51.84
 54,2457624.4731617,0.37128,0.00373,-0.58503,0.00548,-2.57665,0.02477,-0.95631,0.00511,-
 2.94792,0.02469,-1.99162,0.02502,11.59979,12.55610,0.0050135,1.2724,51.74
 55,2457624.4739718,0.43677,0.00399,-0.58872,0.00599,-2.49432,0.02643,-1.02550,0.00555,-
 2.93110,0.02633,-1.90560,0.02671,11.66146,12.68696,0.0050135,1.2742,51.64
 56,2457624.4747704,0.38209,0.00376,-0.60532,0.00561,-2.60235,0.02619,-0.98741,0.00521,-
 2.98443,0.02611,-1.99702,0.02644,11.61300,12.60041,0.0050135,1.2759,51.54
 57,2457624.4755690,0.37651,0.00334,-0.61576,0.00496,-2.63414,0.02307,-0.99227,0.00464,-
 3.01065,0.02300,-2.01838,0.02329,11.45983,12.45210,0.0050135,1.2777,51.44
 58,2457624.4763792,0.41816,0.00329,-0.56196,0.00482,-2.52502,0.02163,-0.98013,0.00448,-
 2.94319,0.02156,-1.96306,0.02185,11.41005,12.39017,0.0050134,1.2795,51.34
 59,2457624.4771778,0.34995,0.00325,-0.61751,0.00484,-2.61825,0.02283,-0.96746,0.00459,-
 2.96819,0.02277,-2.00073,0.02305,11.47630,12.44376,0.0050134,1.2814,51.23
 60,2457624.4779764,0.39118,0.00390,-0.54829,0.00577,-2.51079,0.02443,-0.93947,0.00536,-
 2.90197,0.02433,-1.96249,0.02470,11.66631,12.60578,0.0050134,1.2833,51.13
 61,2457624.4787865,0.33765,0.00340,-0.63023,0.00522,-2.63818,0.02375,-0.96788,0.00497,-
 2.97584,0.02370,-2.00795,0.02403,11.53343,12.50132,0.0050134,1.2852,51.02
 62,2457624.4795851,0.32182,0.00371,-0.58082,0.00552,-2.54350,0.02408,-0.90264,0.00521,-
 2.86531,0.02401,-1.96268,0.02436,11.65030,12.55293,0.0050133,1.2872,50.91
 63,2457624.4803953,0.32126,0.00356,-0.60885,0.00522,-2.58290,0.02426,-0.93011,0.00491,-
 2.90416,0.02420,-1.97405,0.02450,11.58472,12.51483,0.0050133,1.2892,50.80
 65,2457624.4819924,0.38283,0.00377,-0.66249,0.00583,-2.53978,0.02539,-1.04532,0.00551,-
 2.92261,0.02531,-1.87729,0.02570,11.62006,12.66538,0.0050133,1.2933,50.58
 66,2457624.4828026,0.32367,0.00347,-0.62754,0.00525,-2.61838,0.02444,-0.95120,0.00498,-
 2.94205,0.02439,-1.99085,0.02470,11.54830,12.49951,0.0050132,1.2954,50.46
 67,2457624.4836012,0.37436,0.00378,-0.54573,0.00546,-2.51238,0.02450,-0.92010,0.00509,-
 2.88675,0.02442,-1.96665,0.02474,11.62641,12.54650,0.0050132,1.2976,50.35
 68,2457624.4843998,0.40881,0.00392,-0.56559,0.00591,-2.56456,0.02726,-0.97440,0.00551,-
 2.97338,0.02717,-1.99897,0.02753,11.67062,12.64503,0.0050132,1.2997,50.23
 69,2457624.4852099,0.41849,0.00417,-0.62175,0.00646,-2.62129,0.03235,-1.04024,0.00605,-
 3.03977,0.03228,-1.99954,0.03265,11.73401,12.77425,0.0050132,1.3020,50.11
 71,2457624.4868187,0.41608,0.00434,-0.56348,0.00653,-2.56066,0.02970,-0.97956,0.00606,-
 2.97674,0.02960,-1.99718,0.03000,11.77987,12.75943,0.0050131,1.3066,49.87
 72,2457624.4876173,0.33741,0.00412,-0.60138,0.00601,-2.64131,0.02988,-0.93880,0.00566,-
 2.97872,0.02982,-2.03992,0.03013,11.75489,12.69369,0.0050131,1.3089,49.75
 73,2457624.4884159,0.36375,0.00408,-0.62068,0.00621,-2.55606,0.02801,-0.98443,0.00583,-
 2.91981,0.02793,-1.93538,0.02832,11.73491,12.71935,0.0050131,1.3112,49.63

74,2457624.4892260,0.34597,0.00389,-0.59829,0.00581,-2.56503,0.02609,-0.94425,0.00546,-
 2.91100,0.02601,-1.96675,0.02637,11.68615,12.63041,0.0050130,1.3137,49.50
 75,2457624.4900246,0.39030,0.00360,-0.57497,0.00536,-2.60052,0.02546,-0.96527,0.00499,-
 2.99082,0.02538,-2.02555,0.02569,11.54004,12.50532,0.0050130,1.3161,49.38
 76,2457624.4908348,0.33370,0.00464,-0.67232,0.00726,-2.67697,0.03535,-1.00603,0.00688,-
 3.01068,0.03527,-2.00465,0.03571,11.93054,12.93657,0.0050130,1.3186,49.25
 77,2457624.4916333,0.35498,0.00410,-0.67799,0.00654,-2.67006,0.03128,-1.03297,0.00619,-
 3.02504,0.03121,-1.99207,0.03162,11.77134,12.80431,0.0050130,1.3212,49.12
 78,2457624.4924435,0.35776,0.00418,-0.64494,0.00643,-2.62473,0.03041,-1.00270,0.00603,-
 2.98249,0.03033,-1.97979,0.03072,11.76958,12.77228,0.0050130,1.3237,48.99
 80,2457624.4940407,0.34302,0.00476,-0.68457,0.00751,-2.86901,0.04338,-1.02759,0.00711,-
 3.21203,0.04331,-2.18444,0.04370,11.93839,12.96598,0.0050129,1.3290,48.73
 81,2457624.4948508,0.35405,0.00420,-0.58389,0.00615,-2.64514,0.03043,-0.93793,0.00574,-
 2.99919,0.03035,-2.06125,0.03068,11.78453,12.72246,0.0050129,1.3317,48.60
 82,2457624.4956494,0.32547,0.00447,-0.63056,0.00676,-2.66552,0.03431,-0.95603,0.00638,-
 2.99099,0.03423,-2.03496,0.03461,11.88509,12.84112,0.0050129,1.3344,48.47
 87,2457624.4996655,0.33920,0.00375,-0.65489,0.00562,-2.55366,0.02484,-0.99409,0.00536,-
 2.89286,0.02478,-1.89877,0.02513,11.62570,12.61979,0.0050127,1.3488,47.78
 88,2457624.5004757,0.34859,0.00575,-0.68290,0.00925,-2.56886,0.04205,-1.03149,0.00874,-
 2.91745,0.04194,-1.88596,0.04256,12.18433,13.21583,0.0050127,1.3518,47.64
 89,2457624.5012743,0.36337,0.00436,-0.64460,0.00649,-2.61217,0.03095,-1.00797,0.00611,-
 2.97555,0.03087,-1.96758,0.03125,11.81135,12.81932,0.0050127,1.3548,47.50
 90,2457624.5020728,0.31364,0.00596,-0.84826,0.01035,-2.79792,0.05122,-1.16190,0.00988,-
 3.11156,0.05113,-1.94966,0.05183,12.22935,13.39125,0.0050127,1.3579,47.36
 91,2457624.5028830,0.32780,0.00418,-0.69092,0.00648,-2.61419,0.03002,-1.01872,0.00615,-
 2.94199,0.02995,-1.92327,0.03036,11.79600,12.81472,0.0050126,1.3610,47.21
 92,2457624.5036816,0.34314,0.00412,-0.68915,0.00642,-2.61512,0.02979,-1.03229,0.00611,-
 2.95826,0.02972,-1.92597,0.03013,11.77123,12.80352,0.0050126,1.3642,47.07
 93,2457624.5044917,0.32294,0.00355,-0.66341,0.00530,-2.60540,0.02393,-0.98635,0.00502,-
 2.92835,0.02387,-1.94200,0.02420,11.54615,12.53251,0.0050126,1.3674,46.92
 94,2457624.5052903,0.29862,0.00354,-0.68636,0.00539,-2.67876,0.02515,-0.98497,0.00513,-
 2.97738,0.02510,-1.99240,0.02543,11.57176,12.55674,0.0050126,1.3707,46.78
 95,2457624.5061005,0.29318,0.00370,-0.68027,0.00565,-2.60927,0.02522,-0.97345,0.00539,-
 2.90245,0.02516,-1.92900,0.02552,11.63872,12.61217,0.0050125,1.3740,46.63
 96,2457624.5068991,0.34108,0.00420,-0.65514,0.00648,-2.58840,0.03051,-0.99622,0.00611,-
 2.92948,0.03043,-1.93327,0.03083,11.79369,12.78991,0.0050125,1.3774,46.48
 97,2457624.5076977,0.30910,0.00414,-0.70165,0.00648,-2.65606,0.03029,-1.01076,0.00615,-
 2.96517,0.03022,-1.95441,0.03063,11.78736,12.79811,0.0050125,1.3808,46.33
 98,2457624.5085078,0.27998,0.00362,-0.68344,0.00544,-2.70761,0.02622,-0.96343,0.00520,-
 2.98759,0.02617,-2.02417,0.02649,11.62066,12.58408,0.0050125,1.3843,46.18
 99,2457624.5093064,0.33774,0.00357,-0.65392,0.00547,-2.60704,0.02477,-0.99166,0.00518,-
 2.94478,0.02471,-1.95312,0.02505,11.56744,12.55910,0.0050124,1.3878,46.03
 100,2457624.5101166,0.30437,0.00413,-0.72367,0.00638,-2.73959,0.03251,-
 1.02804,0.00601,-3.04396,0.03244,-
 2.01592,0.03281,11.75475,12.78279,0.0050124,1.3914,45.88
 101,2457624.5109152,0.32496,0.00359,-0.63613,0.00530,-2.73661,0.02839,-
 0.96109,0.00503,-3.06157,0.02834,-
 2.10048,0.02861,11.58214,12.54323,0.0050124,1.3950,45.72
 102,2457624.5117253,0.31315,0.00417,-0.75198,0.00666,-2.70753,0.03157,-

1.06513,0.00639,-3.02068,0.03151,-
 1.95555,0.03194,11.79070,12.85583,0.0050124,1.3986,45.57
 103,2457624.5125239,0.29452,0.00434,-0.68344,0.00661,-2.65217,0.03252,-
 0.97795,0.00635,-2.94669,0.03247,-
 1.96873,0.03285,11.85261,12.83057,0.0050123,1.4023,45.41
 105,2457624.5141327,0.26662,0.00358,-0.69307,0.00540,-2.63691,0.02476,-
 0.95969,0.00519,-2.90354,0.02471,-
 1.94385,0.02504,11.61148,12.57117,0.0050123,1.4099,45.10
 106,2457624.5149312,0.30013,0.00341,-0.66401,0.00501,-2.61511,0.02320,-
 0.96414,0.00475,-2.91523,0.02314,-
 1.95109,0.02343,11.50027,12.46441,0.0050123,1.4138,44.94
 108,2457624.5165400,0.23966,0.00427,-0.69159,0.00644,-2.60701,0.02912,-
 0.93125,0.00620,-2.84668,0.02907,-
 1.91543,0.02946,11.85585,12.78710,0.0050122,1.4217,44.62
 109,2457624.5173502,0.28403,0.00377,-0.67735,0.00570,-2.56438,0.02471,-
 0.96139,0.00544,-2.84841,0.02465,-
 1.88702,0.02502,11.67531,12.63670,0.0050122,1.4258,44.46
 110,2457624.5181487,0.30671,0.00376,-0.70833,0.00587,-2.65448,0.02743,-
 1.01505,0.00558,-2.96119,0.02737,-
 1.94614,0.02774,11.64816,12.66321,0.0050122,1.4298,44.30
 111,2457624.5189589,0.25646,0.00350,-0.69113,0.00527,-2.61122,0.02210,-
 0.94759,0.00503,-2.86768,0.02204,-
 1.92009,0.02239,11.56351,12.51110,0.0050121,1.4340,44.14
 112,2457624.5197575,0.29017,0.00360,-0.65832,0.00526,-2.58293,0.02397,-
 0.94850,0.00497,-2.87310,0.02391,-
 1.92460,0.02422,11.57613,12.52463,0.0050121,1.4382,43.98
 113,2457624.5205561,0.29773,0.00429,-0.70741,0.00675,-2.63164,0.03030,-
 1.00514,0.00642,-2.92937,0.03023,-
 1.92423,0.03067,11.81726,12.82241,0.0050121,1.4424,43.81
 114,2457624.5213662,0.29869,0.00360,-0.68229,0.00543,-2.60592,0.02453,-
 0.98098,0.00512,-2.90461,0.02446,-
 1.92363,0.02480,11.57871,12.55969,0.0050121,1.4468,43.65
 115,2457624.5221648,0.25848,0.00334,-0.64716,0.00505,-2.59561,0.02259,-
 0.90564,0.00485,-2.85409,0.02254,-
 1.94845,0.02286,11.54473,12.45037,0.0050120,1.4511,43.48



HD189733-b

Data d'observació:	06/09/2016
Hora d'observació aprox.:	19:00h – 21:45h
Durada d'observació aprox.:	3h
Lloc d'observació:	Llagostera (Girona)
Característiques:	

Estrella

Estrella mare:	HD189733-b
Constel·lació:	Guineu menor o Guineueta
Inclinació orbital (°):	$i = 20,001$
Declinació orbital (°):	$i' = 30,156$
Distància (anys/llum):	$63,400 \pm 0,900$
Excentricitat:	0,001
Magnitud:	K1-2V

Òrbita

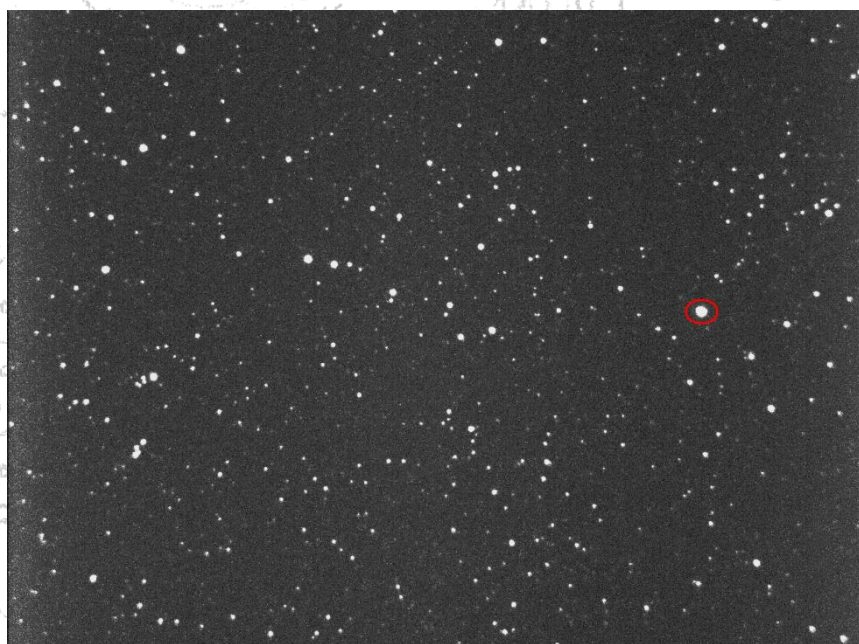
Semi-eix major (AU):	$0,0309 \pm 0,006$
Període orbital (dies):	$2,219 \pm 0,002$
Inclinació (°):	$85,760 \pm 0,290$

Dades físiques

Temperatura (K):	4.939 ± 158
Gravetat (g):	$2,163 \pm 0.003$
Radi (Rs):	0.781 ± 0.051
Massa (Mj):	$0,846 \pm 0.068$

Descobriment

Data: 05/10/2005
Lloc: HPO
Mètode: Velocitat radial



NOTA Les dades de les fotografies del planeta extra-solar HD-189733-b capturades el 06/08/2016 a l'Observatori Can Roig de Llagostera NO estan incloses, ja que no varem disposar de suficient informació ni via per dur-ho a terme.

TrES-3b

Data d'observació:	26/08/2016
Hora d'observació aprox.:	20:55h – 23:15 h
Durada d'observació aprox.:	2,5h
Lloc d'observació:	Llagostera (Girona)
Característiques:	

Estrella

Estrella mare:	GSC 03089-00929
Constel·lació:	C. Hèrcules
Inclinació orbital (°):	$i = 17,869$
Declinació orbital (°):	$i' = 37,546$
Distància (anys/llum):	1600 ± 300
Excentricitat:	0,001
Magnitud:	G

Òrbita

Semi-eix major (AU):	0.023 ± 0.013
Període orbital (dies):	1.306 ± 0.005
Inclinació (°):	82,150

Dades físiques

Temperatura (K):	4.939 ± 158
Gravetat (g):	2,7
Radi (Rs):	1.341 ± 0.081
Massa (Mj):	1.92 ± 0.230

Descobriment

Data: dd/mm/2007
Lloc: Trans-Atlantic Exoplanet Survey
Mètode: Trànsit

FRAME,JD,K1-K2,s6

2457626.3704745,-0.25196,0.00596

2457626.3745833,-0.26656,0.00592

2457626.3751505,-0.26970,0.00603

2457626.3757292,-0.24668,0.00598

2457626.3762963,-0.24656,0.00604

2457626.3768634,-0.24623,0.00606

2457626.3774306,-0.24451,0.00622

2457626.3779977,-0.24561,0.00617

2457626.3785648,-0.23732,0.00603

2457626.3791319,-0.26188,0.00632

2457626.3797106,-0.27285,0.00609

2457626.3802778,-0.23311,0.00628

2457626.3808449,-0.24345,0.00620

2457626.3814120,-0.24009,0.00604

2457626.3819792,-0.25845,0.00612

2457626.3825463,-0.26851,0.00615

2457626.3831134,-0.24942,0.00630

2457626.3836921,-0.25366,0.00609

2457626.3842593,-0.25320,0.00612

2457626.3848264,-0.24368,0.00599

2457626.3853935,-0.24041,0.00600

2457626.3859606,-0.24878,0.00605

2457626.3865278,-0.25416,0.00613

2457626.3870949,-0.24166,0.00600

2457626.3876736,-0.24790,0.00604

2457626.3882407,-0.24735,0.00609

2457626.3888079,-0.25559,0.00609

2457626.3893750,-0.25518,0.00614

2457626.3899421,-0.24971,0.00632

2457626.3905093,-0.25652,0.00633

2457626.3910764,-0.25334,0.00603

2457626.3916435,-0.24699,0.00625

2457626.3922222,-0.27534,0.00613

2457626.3927894,-0.25803,0.00627

2457626.3933565,-0.24284,0.00619

2457626.3944907,-0.26290,0.00616

2457626.3950579,-0.24253,0.00635

2457626.3961921,-0.26787,0.00596

2457626.3967708,-0.24873,0.00609

2457626.3973380,-0.26570,0.00618

2457626.3979051,-0.25236,0.00598

2457626.3984722,-0.25960,0.00619

2457626.3990509,-0.24696,0.00621

2457626.3996181,-0.25747,0.00643

2457626.4001852,-0.26557,0.00633

2457626.4007523,-0.26336,0.00619

2457626.4013194,-0.25653,0.00604

2457626.4018866,-0.25907,0.00598

2457626.4024537,-0.24776,0.00615

2457626.4030324,-0.25578,0.00617

2457626.4035995,-0.23983,0.00612

2457626.4041667,-0.27353,0.00617

2457626.4047338,-0.24603,0.00610

2457626.4053009,-0.27294,0.00614

2457626.4058681,-0.24648,0.00619

2457626.4064352,-0.25853,0.00605

2457626.4070139,-0.24613,0.00618

2457626.4075810,-0.23151,0.00615

2457626.4081481,-0.24979,0.00619

2457626.4087153,-0.27897,0.00617

2457626.4092824,-0.25548,0.00640

2457626.4098495,-0.25269,0.00637

2457626.4104167,-0.27612,0.00632

2457626.4109954,-0.24921,0.00644

2457626.4115625,-0.23896,0.00632

2457626.4121296,-0.25147,0.00626

2457626.4126968,-0.25787,0.00625

2457626.4132639,-0.25428,0.00633

2457626.4138310,-0.23515,0.00632

2457626.4143981,-0.23804,0.00611

2457626.4149653,-0.25368,0.00637

2457626.4155440,-0.17882,0.00586

2457626.4161111,-0.20719,0.00593

2457626.4166782,-0.22141,0.00608

2457626.4172454,-0.22315,0.00704

2457626.4178125,-0.14787,0.00620

2457626.4183796,-0.20063,0.00638

2457626.4189468,-0.12706,0.00593

2457626.4195255,-0.15035,0.00595

2457626.4200926,-0.13704,0.00579

2457626.4206597,-0.14770,0.00588

2457626.4212269,-0.14393,0.00589

2457626.4217940,-0.13400,0.00586

2457626.4223611,-0.14020,0.00597

2457626.4229282,-0.13642,0.00584

2457626.4234954,-0.14863,0.00599

2457626.4240741,-0.12796,0.00595

2457626.4246412,-0.13069,0.00597

2457626.4252083,-0.12657,0.00605

2457626.4257755,-0.11082,0.00620

2457626.4263426,-0.14026,0.00603

2457626.4269097,-0.14107,0.00591

2457626.4274769,-0.13074,0.00608

2457626.4280556,-0.12070,0.00596

2457626.4286227,-0.11958,0.00599

2457626.4291898,-0.17280,0.00597

2457626.4297569,-0.13530,0.00582

2457626.4303241,-0.12683,0.00589

2457626.4308912,-0.12628,0.00588

2457626.4314583,-0.14672,0.00588

2457626.4320255,-0.14487,0.00592

2457626.4326042,-0.15349,0.00584

2457626.4331713,-0.23838,0.00626

2457626.4337384,-0.21541,0.00619

2457626.4343056,-0.24148,0.00628

2457626.4348727,-0.23963,0.00615

2457626.4354398,-0.24008,0.00632

2457626.4360069,-0.24769,0.00620

2457626.4365856,-0.25181,0.00620

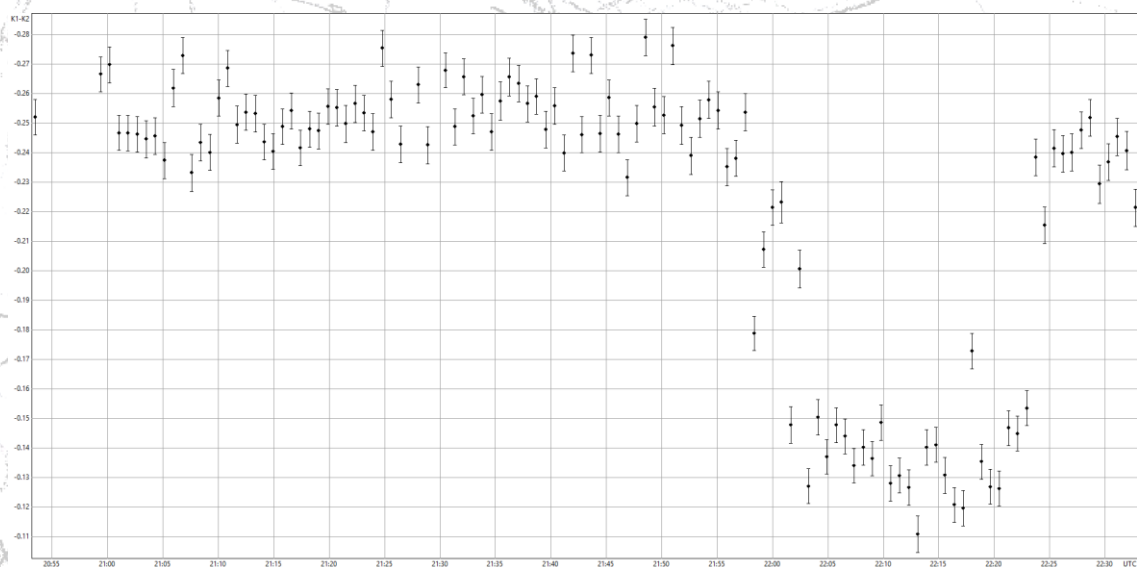
2457626.4371528,-0.22932,0.00644

2457626.4377199,-0.23679,0.00622

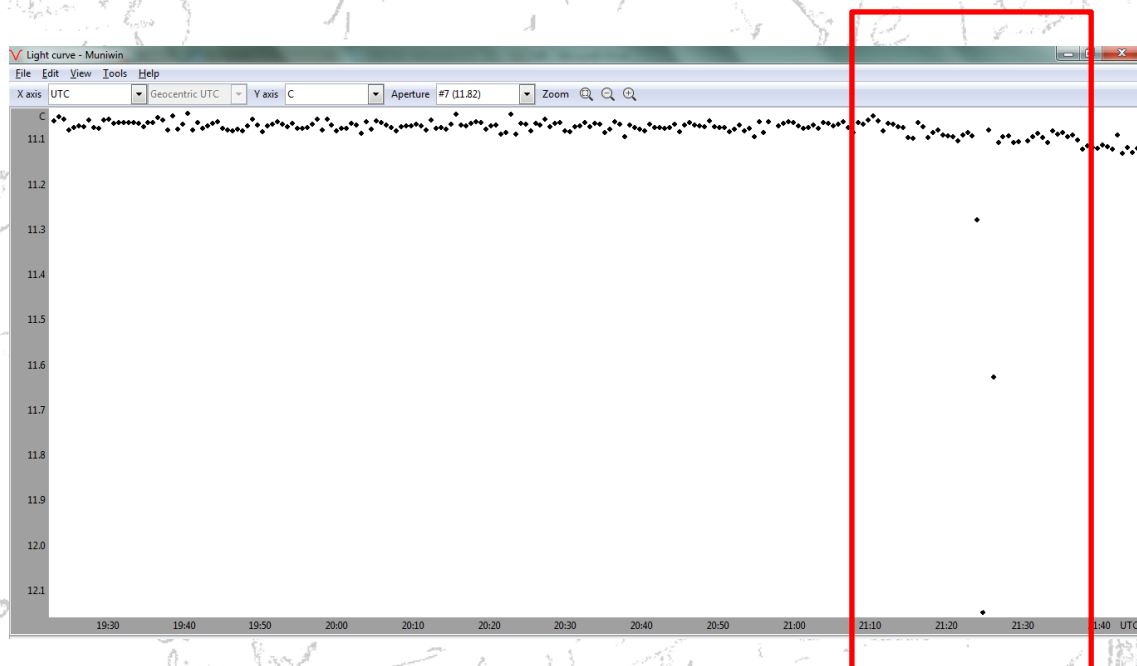
2457626.4382870,-0.24532,0.00630

2457626.4388542,-0.24067,0.00643

2457626.4394213,-0.22136,0.00631



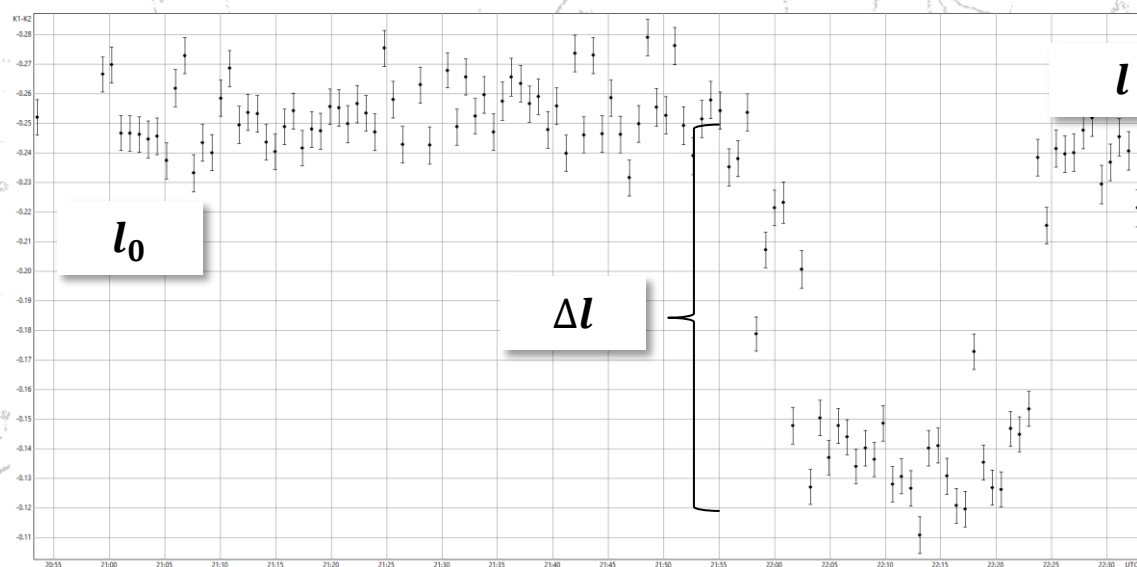
Aquesta és una captura de pantalla on, jugant amb les variables que ofereix el programa alhora d'identificar les estrelles de comparació i referències, vaig aconseguir detectar una davallada immensa durant el trànsit. Aquesta imatge que poso a continuació ens mostra la baixada descontrolada i dubtosa clarament:



Els motius pels quals succeeix són senzills. Es pot tractar bé d'un descontrol puntual del sistema de comandament del telescopi, un fregament alhora de l'observació o fins i tot és possible, evidentment, que algun objecte (sigui un ocell, rat-penat, satèl·lit, roca, deixalles o fragments de matèria) ha passat per davant la nostra estrella i ens ha fet emetre menys lluminositat durant els segles instants que la gràfica de la corba de llum ens revela.

Vista ja tota la part pràctica, amb els resultats obtinguts (gràfics) podem arribar als anàlisis i donar, a partir d'aquests, les conclusions.

Anàlisi



Efectivament tenim les 3 gràfiques dels 3 planetes amb una corba de llum la qual és visible a cop d'ull. Aquest fet demostra clarament que durant un cert interval de temps hi ha hagut un decreixement quant a intensitat lumínica, cosa que vol dir que periòdicament i regularment hi ha un cos el qual orbita entorn l'estrella respectiva. Al passar per davant l'eix de visió el telescopi aprecia una menor intensitat de llum de l'estrella. Al recollir les fotografies i comparar-les, aconseguim gràfiques com aquestes.

$\Delta l = 0$ si el flux es manté constant k . Posem l'exemple de WASP-2b, per trobar Δl . Substituïm els valors corresponents i aïllem el paràmetre increment d'intensitat:

$$\begin{aligned}\frac{\Delta l}{l} &= \left(\frac{R_p}{R_*}\right)^2 \rightarrow \frac{l - l_0}{l} = 1 - \frac{l_0}{l} = \left(\frac{7,7139 \cdot 10^4}{5,8022 \cdot 10^8}\right)^2 \rightarrow 1 - 1,7675 \cdot 10^{-8} \\ &= \frac{l_0}{l} \rightarrow 9,9999 \cdot 10^{-1} = \frac{0,25}{l} \rightarrow l = \frac{0,25 \text{ (o bé } k)}{9,9999 \cdot 10^{-1}} \rightarrow l \\ &= 0,25 \text{ u } (\pm 0,001) \rightarrow \Delta l = l - l_0 = 0,25 - 0,25 = 0\end{aligned}$$

~ Demostrat # ~

$$\begin{aligned}\rightarrow \lim_{t \rightarrow 22:10} f(t) &= 0,25 \text{ u} \\ \lim_{t \rightarrow 23:20} f(t) &= 0,44 \text{ u} \\ \rightarrow \lim_{t \rightarrow 0:25} f(t) &= 0,25 \text{ u}\end{aligned}$$

Quan l'antiimatge de la funció imaginària de la corba tendeix a les 23:00 – 23:45 la intensitat minva i baixa cap a 0,44u. Quan t tendeix a 22:10 i 0:25 es pot veure que torna a haver-hi la mateixa llum originària. A llavors el planeta es localitza fora del contorn de l'estrella visible per nosaltres.

L'única prova que demostra la nostra activitat a l'observatori són els resultats, les gràfiques. Vist també el procediment per dur a terme aquests diagrames, podem analitzar els resultats i així apreciar amb més intensitat la feina feta i les conclusions que s'han arribat.

Conclusions

Tant el planeta WASP-2b com el HD-189733-b com el TrES-3b, localitzats en diferents angles i diferent època, n'he pogut extreure informació. Per començar, he pogut comprovar, verificar i afirmar que:

1. Existeixen tres planetes tals que orbiten en una estrella més enllà del Sistema Solar, i que per tant, es tracta de planetes extra-solars. He pogut comprovar i verificar l'existència d'aquests.
2. He dut a terme la pràctica tenint en compte les limitacions i les capacitats que existien i que haurien pogut influenciar en la precisió de les dades que he assolit.
3. La pregunta que m'he formulat al principi l'he resolt mitjançant el mètode científic, tot descrivint les parts i els procediments, així com les fases que he hagut d'estar sotmès.
4. D'altra banda, per la part més subjectiva, val a dir que gràcies aquest treball de recerca he pogut tocar amb més proximitat temàtiques com la exoplanetologia, astrofísica i pinzellades de branques relacionades. Això m'ha fet veure per on vull seguir la meua vida professional de cares a un futur proper.
5. He après, m'he sabut informar, buscar ajuda, fer el procediment i el mètode científic, treballar en un camp que no havia fet fins ara.
6. He assolit l'objectiu.

Presentació

Aspectes Generals

Bloc teòric

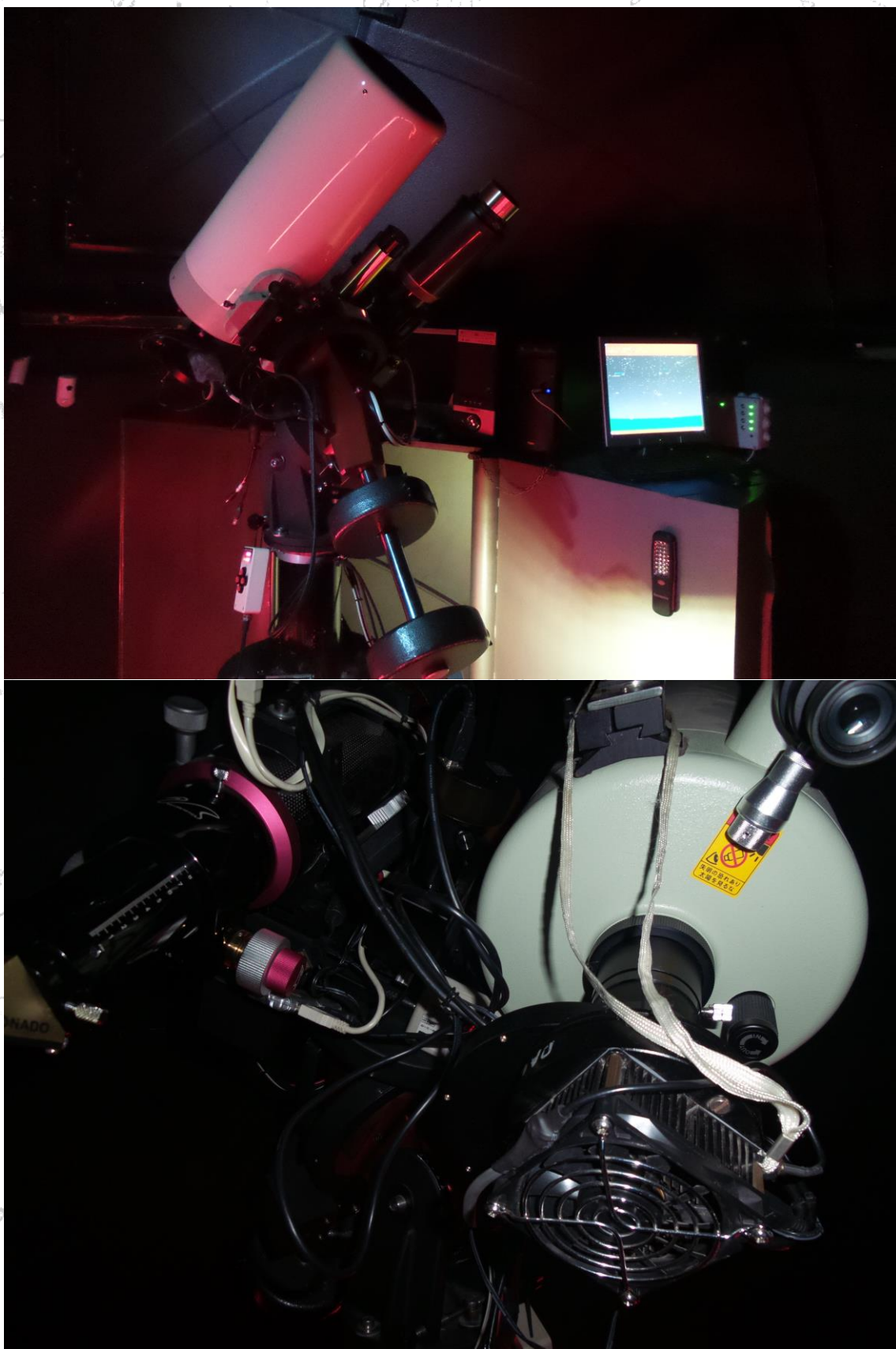
Bloc pràctic

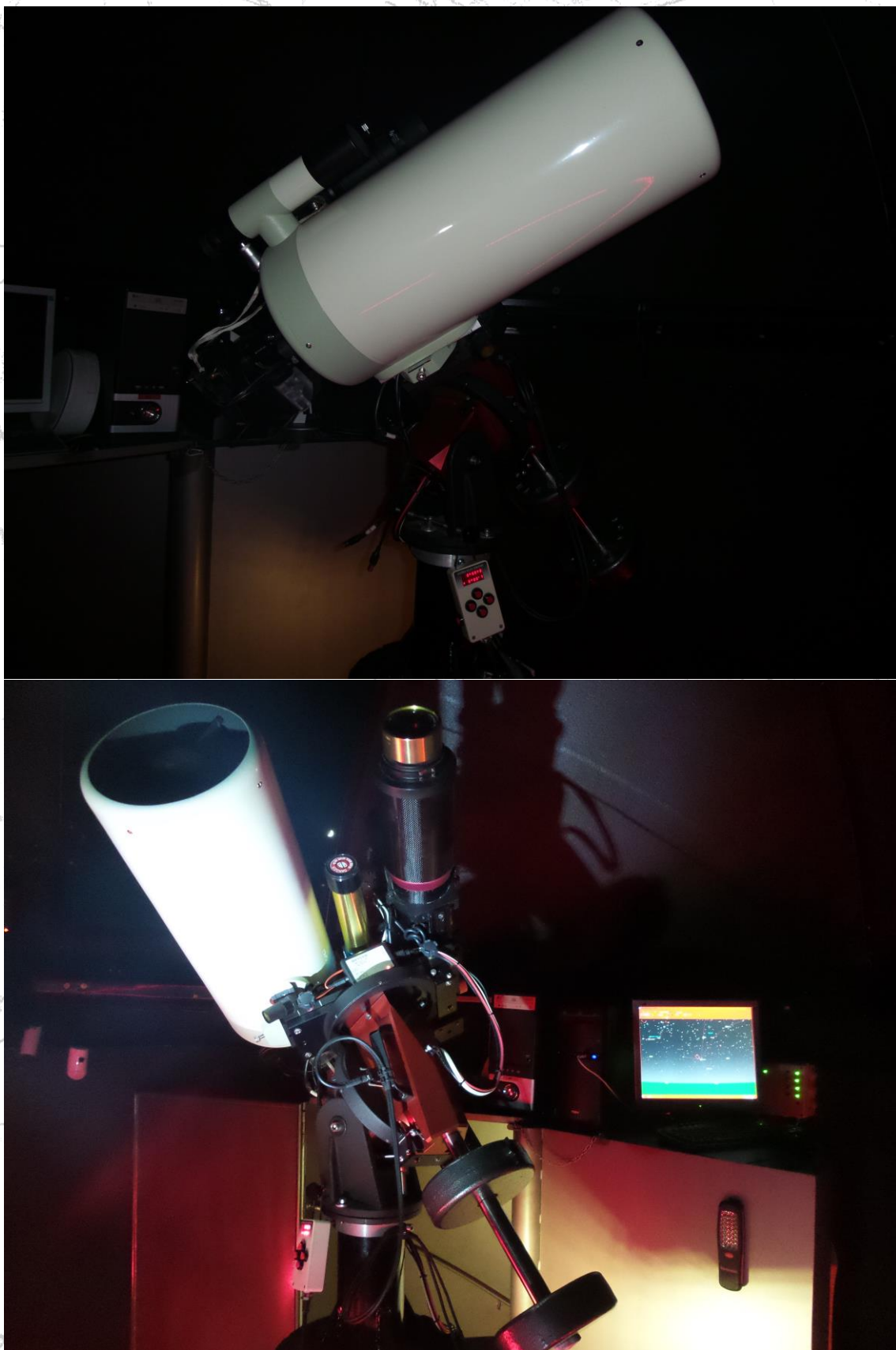
Imatges de l'experiència

Bibliografia

Annexos

Imatges de l'experiència





IMATGES Tals imatges van ser fetes a l'Observatori de Can Roig a Llagostera entre els dies d'observació, del 24 d'agost al 9 de setembre del 2016. Amb Rafael Balaguer, Arnau Vicens i Maria Dalmau.

Presentació

Aspettes Generals

Bloc teòric

Bloc pràctic

Imatges de l'experiència

Bibliografia

Annexos

Bibliografia

WEBGRAFIA

http://www.bbc.co.uk/science/space/universe/key_places/51_pegasi

http://exoplanet.eu/catalog/51_peg_b/

<http://htwins.net/scale2/>

<http://www.mpia.de/homes/ppvi/chapter/fischer.pdf>

<http://www.aavbae.net/aavbae/index.php/curso-astronomia/mas-temas-de-interes-para-empezar/44-tipos-mas-comunes-de-telescopios>

<http://exoplanetas.es/>

<https://exoplanetasliada.wordpress.com/metodos-de-deteccion/>

<http://www.astrochix.com/2013/01/28/the-search-for-exoplanets/>

http://www.rocketmime.com/astronomy/Telescope/telescope_eqn.html

<http://www.phy.cam.ac.uk/news-images/didier-queloz.jpg/view>

https://www.lcsd.gov.hk/CE/Museum/Space/en_US/web/spm/exhibition/specialexhibition/the-shaw-prize-in-astronomy-2015.html

<http://legacy.spitzer.caltech.edu/Media/releases/ssc2005-09/bios/charbonneau.shtml>

<https://arxiv.org/pdf/1103.5690.pdf>

<http://www.phy.cam.ac.uk/news-images/didier-queloz.jpg/view>

<http://www.chronologia.pl/data-29-4.html>

<http://kepler.nasa.gov/Mission/team/soc/elisaquintana/>

http://exoplanets.astro.yale.edu/people/work_photos.php

BIBLIOGRAFIA

SAGAN, Carl – “Cosmos”. Ed.: Planeta, 1980

AUPÍ, Vicente – “Los enigmas del Cosmos”. Ed.: Planeta, 2001

DUNCAN, John – “Astronomía”. Ed.: Parragon, 2008

FERNÁNDEZ CASTRO, Telmo – “Historias del Universo”. Ed.: Espasa, 1997

Annexos

Glossari

Astre

N. (pàg. 30) Cos genèric que viatge pel cosmos complint lleis físiques. Té característiques com a individu. Ex.: satèl·lit, estrella, planeta, nuvolosa, etc.

Astrofísica

N. (pàg. 7) Especialització de la física aplicada la qual estudia el cosmos, les lleis i la naturalesa celeste.

Astrofotografia

N. (pàg. 24) Fotografia aplicada a l'astronomia. Fotografia astronòmica.

Astrometria

N. (pàg. 31) Mesura de les magnituds del cosmos matemàticament. També es pot considerar un mètode per la detecció de planetes extra-solars.

Astronomia

N. (pàg. 7) Disciplina que estudia la naturalesa del cosmos. Una de les ciències més antigues de la història i més extensa.

Boom

Exp. (pàg. 17) Fa referència a un esclat, a un descontrol, increment desmesurat i imprevist.

Calendari Julià

N. (pàg. 44) Sistema de mesura de temps basat en el sistema i el moviment del Sol

Camp estel·lar

N. (pàg. 21) Visió que un observador abasta al mirar el firmament celeste, domini.

Camp gravitatori

N. (pàg. 29) Espai on existeixen varis cossos els quals pateixen acceleracions i tendències de la gravetat. Compleixen lleis físiques.

Candidats

N. (pàg. 19) Planetes que poden o podien tenir activitat viva o vida.

Civilització

N. (pàg. 8) Societat amb ideologies pròpies, complexa i avançada en certs àmbits.

Composició química

N. (pàg. 34) Elements bàsics dels quals està constituït l'objecte.

Constel·lació

N. (pàg. 17) Relació o dibuix imaginari el qual estableix un ordre i un patró de les estrelles. Caire mitològic antic i de supervivència.

Cosmologia

N. (pàg. 7) Disciplina la qual estudia el cosmos.

Cosmos

N. (pàg. 15) Univers genèric, d'infinita extensió i amb caràcter abstracte i/o religiós – mitològic en segons quins casos.

Domini

N. (pàg. 12) Àmbit en que estudiem l'objecte, abast, espai el qual hi pertany.

Espectre electromagnètic

N. (pàg. 25) Ones o radiacions que oscil·len a l'eix d'abscisses i d'ordenades i que segons la longitud d'ona tenen una freqüència o una altra, com més llarga la longitud, menys freqüència. Van des de les ones ràdio fins als raigs còsmics, passant per les microones, infraroig, llum visible (gamma de colors), ultra-violeta o UV, raigs-X, raigs gamma i finalment els còsmics. Molt estudiats per sa importància al camp de la física, química, medicina, etc.

Exoplanetologia

N. (pàg. 28) Ciència que estudia els exoplanetes i els mètodes de detecció.

Cinturó de Kuiper

N. (pàg. 15) Franja posicionada entre la òrbita de Neptú i el núvol d'Oort.

Metodologia

N. (pàg. 10) Estudi del procés el qual es segueix per arribar a un objectiu, seguint el mètode científic.

Moviment el·líptic

N. (pàg. 29) Rotació descrivint una el·lipse d'excentricitat variable.

NASA

N. (pàg. 16) NASA (National Aeronautics and Space Administration) Agència governamental dels EEUU dedicada al programa espacial i l'estudi del cosmos i investigació fundada el 1958. Pionera en el camp de la recerca científica.

Nivell molecular

N. (pàg. 8) Escala de les molècules, del seu domini.

Núvol d'Oort

N. (pàg. 17) Conjunt de cossos gèlids els quals limiten el sistema solar i l'abraça, més enllà de l'òrbita de Plutó.

Ones gravitatòries

N. (pàg. 8) Ones predites per Albert Einstein a principis del s. XX. Resideixen per tot l'univers, en totes direccions i sentits. Alteren el pla espai – temps i donen lloc a certs fenòmens astronòmics. Varen ser descobertes i demostrades l'any 2015.

Orbita

V. (pàg. 29) Rotar al voltant d'un astre descrivint circumferències o el·lipses. Constant moviment a causa de l'acceleració contínua que es genera. Majoritàriament els planetes orbiten a estrelles de massa molt més pronunciada tal que compleixi les lleis gravitatòries

Òrbites el·líptiques

N. (pàg. 15) Rotació al voltant de l'estrella en forma d'el·lipse.

Pegasus o Pegàs

N. (pàg. 17) Constel·lació situada a l'hemisferi nord. Les estrelles descriuen la figura d'un ser mitològic.

Periòdicament

Adv. (pàg. 32) Regularment, amb repeticions estrictament coincidents unes de les altres.

Radi Solar

N. (pàg. 28) Radi els extrems del qual són el Sol i Neptú, radi del Sistema Solar

Raigs no-visibles

N. (pàg. 25) Tots els raigs electromagnètics menys els de freqüència o longitud d'ona de la llum visible.

Refrigerador

N. (pàg. 20) Dispositiu, complement d'un telescopi la funció del qual és mantenir una temperatura negativa per tal d'aconseguir unes fotografies més precises i amb la millor resolució possible, ja que un excés de calor produeix "soroll", alteracions fotòniques de la càmera del telescopi.

Rumb

N. (pàg. 10) orientació de la destinació, viatge, camí cap a tal espai.

SI

N. (pàg. 45) SI (Sistema Internacional) d'unitats de magnituds en totes les branques de la ciència d'avui en dia. Sistema mètric, d'unitats per globalitzar i assolir una millor comprensió alhora d'obtenir resultats científics.

Softwares

N. (pàg. 28) Dit del conjunt de programes informàtics d'un dispositiu.

Tecnologia

N. (pàg. 7) Ús paral·lel de les eines, la tècnica i els coneixements amb la finalitat de satisfer necessitats i acomodar un individu o una comunitat a la societat del moment.

Telescopi

N. (pàg. 20) Instrument astronòmic i òptic format per un joc de miralls per arribar a veure objectes molt llunyans. El primer telescopi va ser creat per Galileo Galilei el s. XVI.

Titànica

N. (pàg. 7) Referència del Titànic, el transatlàntic més gran del seu temps, a principis del s. XX. Enorme. Dit d'un objecte immens i sorprenent.

Zona habitable

N. (pàg. 34) Franja, entorn entre dos radis concrets on la possibilitat de trobar-hi vida és alta, ja que no està ni molt lluny de l'estrella (és a dir, no és massa gèlid) ni molt a prop (massa escalfor), sinó que les condicions de vida són bones. Terme molt pronunciat a les últimes dècades per l'exoplanetologia.

MOLTES GRÀCIES

Joel de Palau
I Comamala