

Observation av nära och avlägsna planeter: Astrometriska och fotometriska observationer

Max Nordin, Albin Walldén

Projektrapport

Finnvedens Gymnasium Värnamo

18 Mars 2012

Sammanfattning/Abstract

In this project two sets observations have been performed at the Tycho Brahe-observatory in Oxie, one of an exoplanet and one of an asteroid. The observations were performed with a remote-controllable telescope and its photosensitive CCD-camera.

At the end of January the asteroid Eros passed unusually close to the Earth. In an international project with collaborating amateur astronomers from around the world the aim was to determine the distance to the asteroid as accurately as possible by measuring its parallax. To contribute to the project a series of pictures of Eros was taken on which astrometry was performed.

An exoplanet is a planet in another planetary system than ours, i.e. it is orbiting another star than the sun. When it crosses in front of its host star it will block some of the light that the star emits which will cause a measurable change of light. A series of pictures were taken of the star during the eclipse on which careful photometry was performed. The expected change of light was observed in that way and has been visualized in a diagram.

I detta projekt har det genomförts två astronomiska observationsserier vid Tycho Brahe-observatoriet i Oxie, en av en exoplanet och en av en asteroid. Observationerna gjordes med ett fjärrstyrbart 35 cm teleskop och dess ljuskänsliga CCD-kamera.

I slutet av januari passerade asteroiden Eros ovanligt nära jorden. I ett internationellt projekt med samarbetande amatörastronomer avsågs att så noggrant som möjligt bestämma avståndet till asteroiden genom att mäta dess parallax. För att bidra till projektet togs en serie bilder på Eros som det sedan utfördes astrometri på.

En exoplanet är en planet i ett annat planetsystem än vårt eget, dvs den kretsar kring en annan stjärna än solen. Då den passerar framför sin moderstjärna kommer den att blockera en del av stjärnans utsända ljus vilket ger upphov till en mätbar ljusändring. En serie bilder togs på stjärnan under förmörkelseförloppet på vilka det utfördes noggrann fotometri och den förväntade ljusändringen har på så vis observerats och åskådliggjorts i ett diagram.

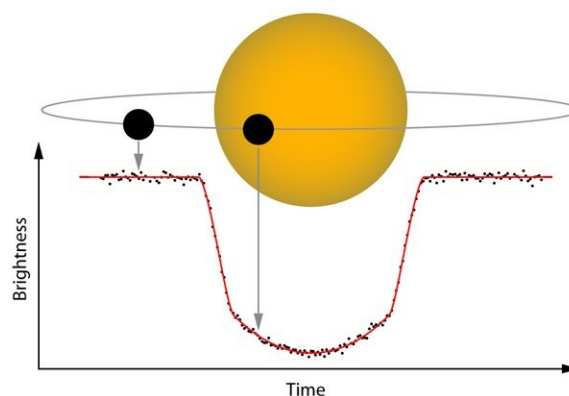


Illustration 1: The course of event during the eclipse / Händelseförloppet under förmörkelsen

Källa/source: Nasa

Förord

Människan har sedan urminnes tider blickat ut mot stjärnhimlen och funderat över vad som finns där ute. 1609 riktade Galileo Galilei för första gången sitt teleskop mot himlen och tog därmed några av de första stapplande stegen inom astronomin. Teleskopen har sedan förbättrats och blivit mer och mer avancerade och likaså användningen av dem.

1801 upptäcktes den första asteroiden som döptes till 1 Ceres och 1995 kom den första definitiva upptäckten av en exoplanet. Antalet upptäckta exoplaneter har sedan dess ökat explosionsartat och ämnet exoplaneter har fått något av en populärvetenskaplig status. Frågorna som oundvikligt uppkommer kring exoplaneterna är många, några kan vara vilken massa och densitet de har samt vad deras atmosfär består av. För att kunna besvara dessa frågor används ett flertal olika metoder, vissa mer avancerade än andra och kanske någon på lagom nivå för gymnasieelever.

Vi vill tacka Peter Linde, ordförande i Astronomiska Sällskapet Tycho Brahe, som ställt upp med mycket tid och support samt vår inspirerande astronomilärare Per-ola Fredriksson.

Albin Walldén
Albin.Wallden@live.com

Max Nordin
nordin_000@hotmail.com

Innehållsförteckning

1	Material.....	6
1.1	Teleskopet.....	6
1.2	CCD-kameran.....	7
2	Observation av 433 Eros.....	9
2.1	Syfte.....	9
2.2	Bakgrund.....	9
2.3	Utförande av observationen.....	9
2.4	Beräkningar.....	10
2.4.1	Eros koordinater.....	10
2.4.2	Uppskattning av nedersta gräns för förflyttning och fart.....	10
2.5	Resultat.....	11
2.6	Diskussion.....	11
3	Observation av exoplaneten Wasp-33 b.....	12
3.1	Syfte.....	12
3.2	Bakgrund / val av planet.....	12
3.3	Fakta om det observerade planetsystemet.....	12
3.4	Planering.....	13
3.5	Utförande av observation.....	13
3.6	Beräkningar.....	14
3.6.1	Ljusstyrka.....	14
3.6.2	Planetradie.....	14
3.6.3	Fart.....	15
3.6.4	Banradie.....	15
3.7	Resultat.....	16
3.8	Diskussion.....	20
3.8.1	Trovärdighet.....	20
3.8.2	Vad som kan förbättras.....	20
3.8.3	Forskningsvärde.....	20
3.8.4	Projektets eventuella fortsättning.....	21
5	Appendix: Grundläggande begrepp.....	22
5.1	Fotometri.....	22
5.2	Astrometri.....	22
5.3	Parallax.....	22
5.4	Seeing.....	22
5.5	Astronomisk enhet (AE).....	22
5.6	Saturering.....	23
5.7	FITS-format.....	23
5.8	Huvudserien.....	24
5.9	Intensitet.....	24
5.10	Magnituden.....	25
5.11	Signal-brus förhållande.....	25
5.12	δ scuti variabler.....	25
5.13	Funktionen align.....	26
5.14	Funktionen combie.....	26
5.15	Flatfält.....	27

För ord markerade med * finns en förklaring att finna i appendixet.

1 Material

Utrustningen till projektet lånades vid Tycho Brahe observatoriet som finns beläget i Oxie sydost om Malmö och drivs av det astronomiska sällskapet Tycho Brahe. Observatoriets verksamhet är framför allt inriktad på visningar för allmänheten så som skolor och andra grupper, men även på amatörastronomiska observationer.



*Illustration 2: Bild på Tycho Brahe observatoriet
källa: www.tbobs.se*

1.1 Teleskopet

Tycho Brahe-observatoriet har ett antal olika teleskop och passande för detta projekt var det fjärrstyrda teleskopet med tillkopplad CCD-kamera. Teleskopet är ett spegelteleskop av märket *Celestron* med en spegeldiameter på 14" (35 cm) och en brännvidd på 3,9 m. För att göra kamerans synfältet större har teleskopet kompletterats med en fokalreduceringslins vilket ger ett synfält på 19*19 bågminuter (1 grad = 60 bågminuter).

Dessutom finns det ett filterhjul med filter som kan ta bilder i röd, grön och blå färg. Dessa tre bilder kan sedan kombineras för att skapa en färgbild om så skulle önskas.

Teleskopet är monterat på ett *Paramount 1100* stativ vilket tillåter fjärrstyrning av systemet.

Teleskopet styrs med hjälp av programvaran *The Sky*¹. I *The Sky* kan man enkelt söka efter ett objekt på stjärnhimmeln eller peka ut det på en stjärnkarta och få teleskopet att vända sig mot det. Sedan kommer teleskopet automatiskt att följa objektets rörelse med stor precision så att det kan fortsättas observeras. Med hjälp av internet går det styra teleskopet mycket enkelt med en vanlig webbläsare.



*Illustration 3: Teleskopet som användes fäst på stativ och med CCD-kamera tillkopplad i änden
Källa: tbobs.se*

¹ <http://www.bisque.com/sc/>

1.2 CCD-kameran

En CCD-kamera är uppbyggd av flera små halvledarelement, eller pixlar, ordnade i en rektangulär matris. Modellen *Apogee 7* som användes till projektets observationer har ett chip med 512*512 pixlar. Då fotoner träffar en pixel lagras ett antal elektroner i pixelns förvaringsenhet. Efter exponeringen töms alla förvaringsenheter och ett mått på hur mycket ljus som registrerats i varje pixel fås fram.

Kamerans ljuskänslighet är en stor fördel när man ska observera avlägsna objekt. Kvanteffektivitet är ett mått på hur många av de infallande fotonerna kameran registrerar för olika våglängder, dvs. hur ljuskänslig den är. En bra CCD-kamera kan ha en kvanteffektivitet på 90 %. Jämförelsevis har vanlig film en kvanteffektivitet på runt 1 %. Alla pixlar i kameran är olika känsliga men felet går att förminska med bland annat flatfält*.

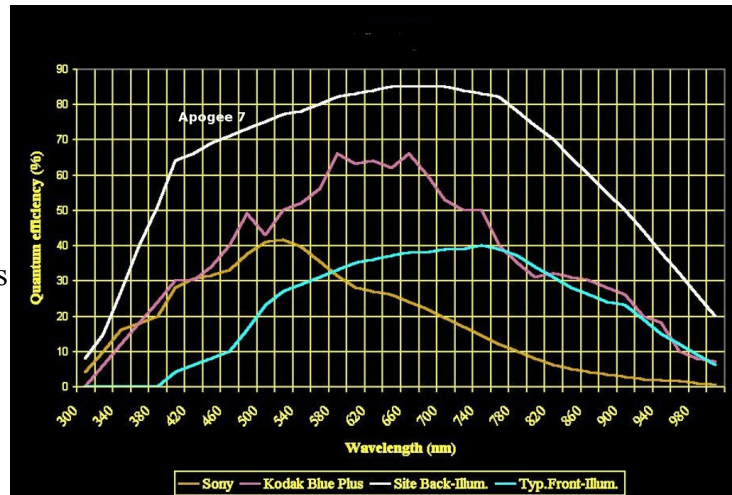


Illustration 4: Kamerans kvanteffektivitet beroende på ljusets våglängd

Källa: www.tbobs.se

En annan fördel med CCD-kameran är att sambandet mellan antalet infångade fotoner och den utlästa signalen är proportionellt. Detta medför att en dubbelt så lång exponeringstid ger dubbelt så stor registrerad signal. Vanlig film saknar detta förhållande vilket gör fotometriska mätningar betydligt mer komplicerade.

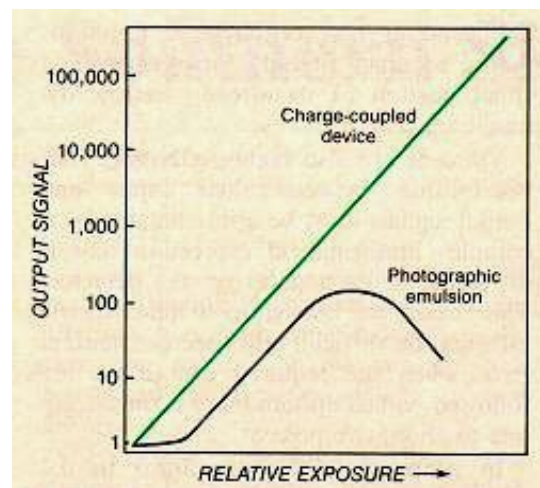


Illustration 5: Registrerad signal beroende på exponeringstid för CCD-kamror jämfört fotografisk film

Källa: www.tbobs.se

Trots CCD-kamerans precision finns det saker som påverkar resultatet på ett negativt sätt. I CCD-chipet skapas fotoelektroner spontant av en termisk process, så kallad mörkström. För att minska detta kyls kameran ner, i detta projekts fall till -30°C med elektrisk kylning. Det går också ta en mörkströmsbild, en bild med lång exponeringstid och stängd slutare, som gör en avbild av mörkströmmen. Ett annat fel skapas då pixlarnas förvaringsenheter töms. Eftersom de inte kan tömmas helt kommer det finnas elektroner i dem innan man börjar ta en bild. Detta problem går att minska med en bias-bild, en bild utan exponeringstid, som då visar hur många elektroner som finns lagrade från början. Dessa båda bilder kan sedan användas för att minimera felen i slutresultatet. Med en Apogee 7 och *CCD-soft* sköts mörkströmsbilder och bias-bilder automatiskt.

*CCD-soft*² är en programvara för att styra CCD-kameran och för att behandla bilderna som är tagna med den. Den innehåller flera avancerade funktioner för bland annat flatfält* och fotometri*.

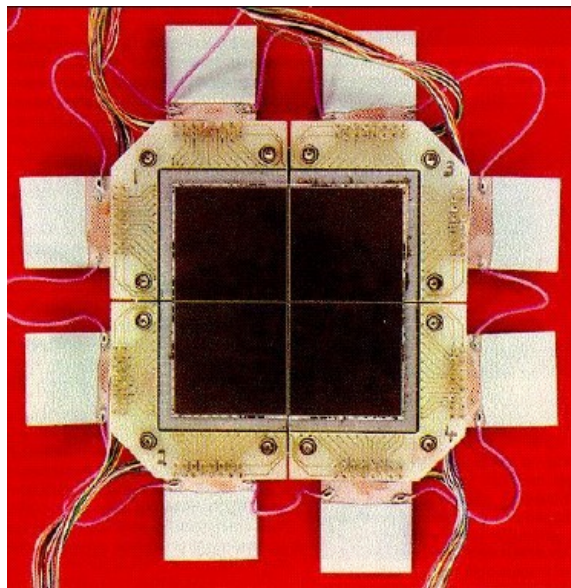


Illustration 6: Exempel på hur ett CCD-chip kan se ut *Källa: www.tbobs.se*

2 <http://www.bisque.com/sc/shops/store/CCDSOftWin2.aspx>

2 Observation av 433 Eros

2.1 Syfte

I detta projektarbete har ett delsyfte varit att bidra till ett internationellt samarbete i vilket det avses att bestämma avståndet till asteroiden 433 Eros genom parallaxmetoden*. Med detta resultat ska sedan asteroidens minsta förflyttning och hastighet uppskattas i det här projektet.

2.2 Bakgrund

433 Eros, en av de största jordnära asteroiderna, upptäcktes 1898 och redan 1900 gjordes ett världsvitt försök att bestämma dess avstånd till solen. Ett liknande försök gjordes sedan 1931³. Under skiftet mellan januari och februari i år passerade asteroiden ovanligt nära. Det var ett gyllene tillfälle att åter igen utföra astrometri* på den. Ett internationellt samarbete startade och tanken var att låta amatörastronomer fotografera Eros från olika ställen på jorden och vid olika tidpunkter för att sedan kunna beräkna ett så bra mått på avståndet som möjligt med hjälp av parallaxmetoden*.

2.3 Utförande av observation

Den 30 januari var en molnfri och tämligen vindstill dag vilket passade för en astronomisk observation. Eros koordinater beräknades med hjälp av Nasas hemsida⁴. Observationen skedde genom fjärrstyrning från Värnamo via en vanlig webbläsare. Med den kunde man styra teleskopet och CCD-kamerans exponeringstid. På plats vid Tycho Brahe-observatoriet i Oxie fanns en handledare för support eftersom nödvändiga funktioner i teleskopstyrningen inte kunde nås via webbläsaren.

Kameran riktades in mot Eros beräknade koordinater och då en starkt lysande fläck visades på bilderna som inte fanns med på de förberedda stjärnkartorna och dessutom rörde sig mellan de olika serierna kunde det fastställas att Eros hade hittats. En lagom lång exponeringstid då bilderna inte försämrades av saturering* eller vindstörning testades sedan fram till 5 sekunder. 6 serier bilder med ca 10 i varje togs så att Eros tydligt kunde följas på stjärnhimlen.

3 http://sv.wikipedia.org/wiki/433_Eros

4 <http://ssd.jpl.nasa.gov/horizons.cgi>

2.4 Beräkningar

2.4.1 Eros koordinater

Bilderna, lagrade i FITS-format*, kunde laddas upp till hemsidan Astrometry.net som jämförde bilderna med stjärnkartor på dess server och kunde på så vis lägga till information om bildens koordinater. Med det fria programmet DS9⁵ kunde man sedan få fram koordinaterna för Eros position tämligen exakt genom att man i programmet höll muspekaren över Eros. Denna information samt observatoriets koordinater och tidpunkten då bilden var tagen skickades slutligen in till projektets hemsida⁶.

2.4.2 Uppskattning av nedersta gränsen för förflyttning och fart

Vet man avståndet till asteroiden samt hur stor vinkel det är mellan två linjer från observatören till två positioner där asteroiden befinner sig under olika tidpunkter kan man räkna ut en nedre gräns på hur lång sträcka asteroiden rört sig mellan de två tidpunkterna på följande vis.

$$s = \alpha l$$

Där r är radien, α vinkeln mellan de två linjerna i radianer och l avståndet till asteroiden.

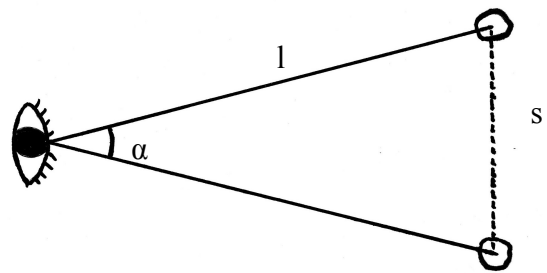


Illustration 7: Förklaring av beteckningar

Endast den nedre gränsen kan som sagt bestämmas med denna metod eftersom den inte tar hänsyn till om asteroiden rör sig mot eller bort ifrån observatören. Eftersom man vet tiden kan således också en nedre gräns för asteroidens hastighet bestämmas.

5 <http://hea-www.harvard.edu/RD/ds9/>

6 <http://transitofvenus.nl/wp/getting-involved/eros-and-the-solar-parallax/>

2.5 Resultat

- Avståndet till 433 Eros under dess passage den 28 januari till 3 mars enligt det internationella projektet: ***0,1787371529 AE***
- Uppskattning av de nedre gränsen för asteroidens förflyttning under bildtagningen: ***27700 km***
- Uppskattning av nedre gräns för asteroidens fart under bildtagningen: ***6,22 km/s***

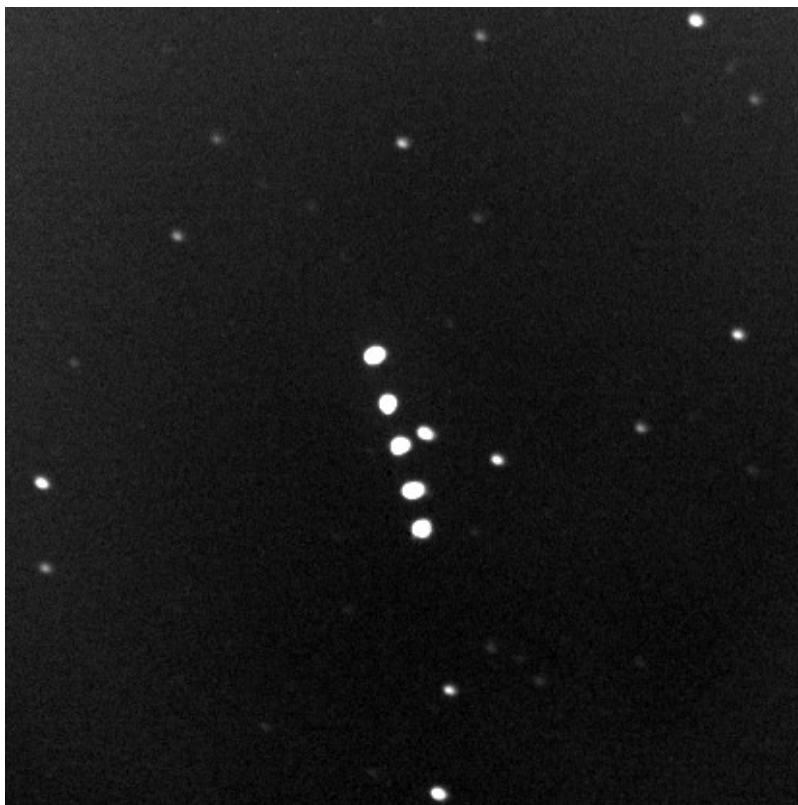


Illustration 8: Fem serier sammansatta till en bild. De fem vertikala ljusstarkaste fläckarna är Eros under fem olika tidsperioder.

2.6 Diskussion

Värdet från det internationella projektet må vara mycket exakt men ändå inte lika exakt som man kan få det med dagens radarteknik. Det internationella projektet har dock visat att det finns många hängivna amatörastronomer och att dessa tillsammans kan göra betydande mätningar.

De beräknade värdena för Eros är gällande enbart då asteroiden befinner sig på just den platsen i banan eftersom dess hastighet inte är konstant. Dock är beräkningarna gjorda av personer som endast har gymnasiekunskaper vilket visar att amatörastronomi är en hobby som många kan ta del av. Det är således mycket glädjande att observatorier som Tycho Brahe-observatoriet där allmänheten är välkommen finns tillgängliga och drivs av hängivna människor.

3 Observation av exoplaneten Wasp-33 b

3.1 Syfte

Syftet med att utföra en observation av en exoplanet är att försöka få så bra mätvärden med så liten osäkerhet som möjligt. Dessa ska sedan ska offentliggöras i förhoppning om att de ska kunna komma till nytta i vetenskapliga sammanhang. Utifrån de uppmätta värdena ska det också göras olika uppskattningar om det observerade solsystemet.

3.2 Bakgrund / Val av planet

I takt med att nya upptäckter gjorts inom astronomin har också tekniken gått framåt och avancerad amatörutrustning finns nu för ett överkomligt pris. Antalet amatörastronomer har således ökat och även så deras sofistikerade. Detta har lett till att amatörastronomer nu kan göra en betydande insats i astronomisk forskning. Inte minst inom området exoplaneter där bland annat hemsidan *Exoplanet Transit Database*⁷ nu innehåller hundratals observationer av exoplaneter gjorda av amatörastronomer. Dessa data är öppna för allmänheten och seriösa forskare har redan börjat använda sig av dessa i sin forskning⁸.

Sedan den första upptäckten av en exoplanet gjordes har letandet efter dessa tagit fart och det upptäcks nu nya på löpande band. De exoplaneter som många nog tycker är de intressantaste är de jordlika där möjligheten till liv kittlar både fantasi och forskning. Något som är minst lika upphetsande som tanken på liv är när en nyupptäckt planet och dess moderstjärna utmanar befintliga teorier om planetsystem, vilket är fallet med planeten Wasp-33 b. Planeten är nämligen en jättelik gasjätte vars omloppsbana ligger ovanligt nära sin moderstjärna. Dess moderstjärna varierar i ljusstyrka i perioder och man tror att detta kan ha ett samband med planetens dragningskraft. Stjärnsystemet med Wasp-33 som moderstjärna är det första som man hittat med detta samband mellan planetens gravitation och stjärnans pulsationer. Det faktum att planeten är en gasjätte som ligger ovanligt nära sin moderstjärna utmanar också klassiska teorier eftersom gasjättarna enligt dem bildas i planetsystemens yttre delar⁹. Detta gjorde Wasp-33 till en lämplig kandidat för observation utöver att den uppfyller vissa nödvändiga krav.

3.3 Fakta om det observerade planetsystemet

Stjärnan Wasp-33, även känd som HD 15082, är av klassen A5 och ligger i huvudserien*. Stjärnan befinner sig i stjärnbilden Andromeda på ett avstånd av 378 ljusår från oss. Dess massa beräknas vara ca 1,5 gånger solens och dess yttemperatur är 7500 K. Den är också en så kallad δ scuti variabel*. Tiden den tar på sig att rotera kring sin egen axel är 0,85 dygn vilket är ovanligt snabbt. Dess planet, Wasp-33 b, har en massa som är drygt 4 gånger Jupiters och den tros vara en gasjätte. Dess banradie är 0,02 AE och omloppstiden är 1,22 dygn och dessutom är banrörelsen retrograd och avböjer från stjärnans ekvator.¹⁰

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

8 WASP-33: the first δ Scuti exoplanet host star, E. Herrero, J.C. Morales, I. Ribas, R. Naves

9 Nyupptäckta exoplaneter utmanar klassisk teori, Miguel De Val Borro, F&F 1/2009

10 Wasp-33: a pulsating star with an exoplanet, Enrique Herrero, Astrofiled, Winter 2011

3.4 Planering

Vid val av tidpunkt måste man ta hänsyn till att en passage måste ske under dygnets mörka timmar och stjärnan i fråga bör befinna sig mer än 20° över horisonten under hela observationen. Månens ljus kan försämra kvaliteten på bilderna så man bör därför välja ett datum då månen är så ljussvag som möjligt.

Vid val av planet måste man ta hänsyn till moderstjärnans ljusstyrka. I detta projekt var målsättningen att välja en stjärna som är ljusstarkare än 10 magnituder* eftersom det ger ett högre signal-brus förhållande*. Utöver det måste ljusändringen vara stor nog att mätas med det teleskop man har tillgång till. Med ett teleskop i den klass som här används borde den minst vara 0,01 magnitud*. I teleskopets synfält måste det finnas jämförelsestjärnor vars ljusstyrka bör vara så lika moderstjärnans ljusstyrka som möjligt. Vissa stjärnor kan variera i ljusstyrka vilket leder till att man i förväg måste undersöka om stjärnan i fråga är variabel. Stjärnan i detta projektet är variabel, som tidigare nämnts, men amplituden på variationen är endast 0,001¹¹ vilket är en femtondel av den förväntade ljusändringen. Stjärnans egen variation kommer med andra ord inte spela in i mätresultaten.

Ska observationerna utföras under en kall natt finns det risk att rimfrost på teleskopets lins kan försämra bilderna. Det kan därför vara lämpligt att ha en varmluftsfläkt eller liknande nära till hands.

Från *Exoplanet Transit Database*¹² hämtades den nödvändiga informationen om ovanstående och koordinaterna för observatoriet bestämdes med hjälp av google maps¹³. Observationen utfördes 3 Februari vilket var fyra dagar från fullmåne. Månljuset försämrade trots det inte bilderna nämnvärt.

3.5 Utförande av observation

Bilderna på stjärnan togs i 22 serier om 20 bilder vardera med en fördröjning på 10 minuter mellan starten på varje serie. Teleskopets följning var inte helt perfekt så därför justerades teleskopets riktning efterhand med *The Sky:s* funktion för manuell styrning. Med 40 minuters mellanrum blåstes linsen med en varmluftsfläkt för att säkerställa att rimfrost inte skulle försämra bilderna.

Vid analys av bilderna användes *CCD-soft:s* funktion för fotometri*. De värden på intensitet* och bakgrundsstrålning från natthimlen som programmet gav skrevs ner i en kalkyl. Intensiteten* för alla referensstjärnor lades sedan samman till en "superreferens" mot vilken Wasp-33:s ljusstyrka jämfördes samt de andra jämförelsestjärnornas.

Vid analysen har tre metoder använts. Den första innebar att alla bilderna analyserades en för en. De andra två innebar att bilderna i respektive serie först lades i fas med varandra med kommandot *align** i *CCD-soft* för att sedan kombineras med medelvärdet av pixlarna och med medianen av pixlarna med hjälp av funktionen *combine**. Fotometri* utfördes sedan på de kombinerade bilderna på samma sätt som för de enskilda. Innan detta gjordes med bilderna flatfältades* de. Den första metoden där alla bilder analyseras har fördelen att en standardavvikelse då kan beräknas.

11 WASP-33: the first δ Scuti exoplanet host star, E. Herrero, J.C. Morales, I. Ribas, R. Naves

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

13 <http://maps.google.se/maps>

3.6 Beräkningar

3.6.1 Ljusstyrka

Vid beräkningar på stjärnorna ljusstyrkor utifrån de flatfältade* bilderna användes formeln:

$$m = -\sqrt[5]{100} \cdot \log(I) + C$$

Där m är den skenbara magnituden*, I den uppmätta intensiteten* och C en konstant som beror på vilket instrument man använt med mera. Då magnituderna för referensstjärnorna var kända och därmed även för superreferensen kunde man ur dessa formel beräkna C för varje individuell bild. Värdet på C kommer nämligen att variera från bild till bild beroende på luftfuktighetsförändringar med mera. Magnituden* för målstjärnan och varje individuell referensstjärna kunde sedan beräknas med deras uppmätta Intensitet och C -värdet för respektive bild.

3.6.2 Planetradie

Vid uppskattning av planetens radie kan man förutsätta att ljuset från stjärnan faller in parallellt mot teleskopet. Om man då ser stjärnan och planeten som cirklar blir kvoten mellan planetens area och stjärnans area lika med kvoten mellan ljusändringen och stjärnans ljusstyrka. Vilket ger:

$$\frac{\Delta I}{I_0} = \frac{\pi r_{planet}^2}{\pi r_{stjärna}^2} \rightarrow r_{planet} = \sqrt{\frac{\Delta I}{I_0} \cdot r_{stjärna}^2}$$

Där I_0 är stjärnans uppmätta intensitet* då ingen förmörkelse sker, ΔI intensitetsskillnaden under förmörkelsen och r radien på planeten respektive stjärnan. Denna beräkning förutsätter att stjärnans radie är känd.

Om vi sedan använder definitionen för magnitud kan man härleda

$$\Delta m = m_1 - m_0 = -\sqrt[5]{100} \cdot \log \frac{I_1}{I_0} \rightarrow \frac{I_1}{I_0} = 10^{-\frac{\Delta m}{\sqrt[5]{100}}}$$

Där m_0 är uppmätt magnitud* då ingen förmörkelse sker och m_1 uppmätt magnitud då förmörkelse sker och I_0 och I_1 är respektive intensitet.

Följande förhållande råder då.

$$\frac{\Delta I}{I_0} = 1 - \frac{I_1}{I_0} = 1 - 10^{-\frac{\Delta m}{\sqrt[5]{100}}}$$

Den första formeln kan således skrivas om som:

$$r_{planet} = \sqrt{\left(1 - 10^{-\frac{\Delta m}{\sqrt[5]{100}}}\right) \cdot r_{stjärna}^2}$$

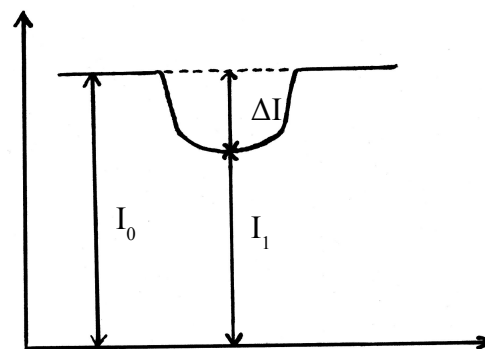


Illustration 9: Förklaring av beteckningar

Vi har då en formel för uppskattning av en exoplanets radie där endast dess moderstjärnas radie i godtycklig enhet samt ljusändringen i magnituder behöver vara kända.

3.6.3 Hastighet

Om man vet moderstjärnans radie kan man utifrån värdena från ljuskurvan uppskatta planetens hastighet på följande vis:

$$v = \frac{s}{t} = \frac{2r_{stjärna}}{t}$$

Där r är radien och t tiden mellan nedgångens början och slut.

3.6.4 Banradie

Omloppstiden kan enkelt finnas genom att man tar tiden mellan två nedgångar. Om man antar att planeten rör sig i en cirkulär bana kan man med hjälp av detta värde tillsammans med hastigheten uppskatta banradien på följande sätt:

$$2\pi r = v T \rightarrow r = \frac{vT}{2\pi}$$

Där r är radien, v hastigheten och T omloppstiden.

3.7 Resultat

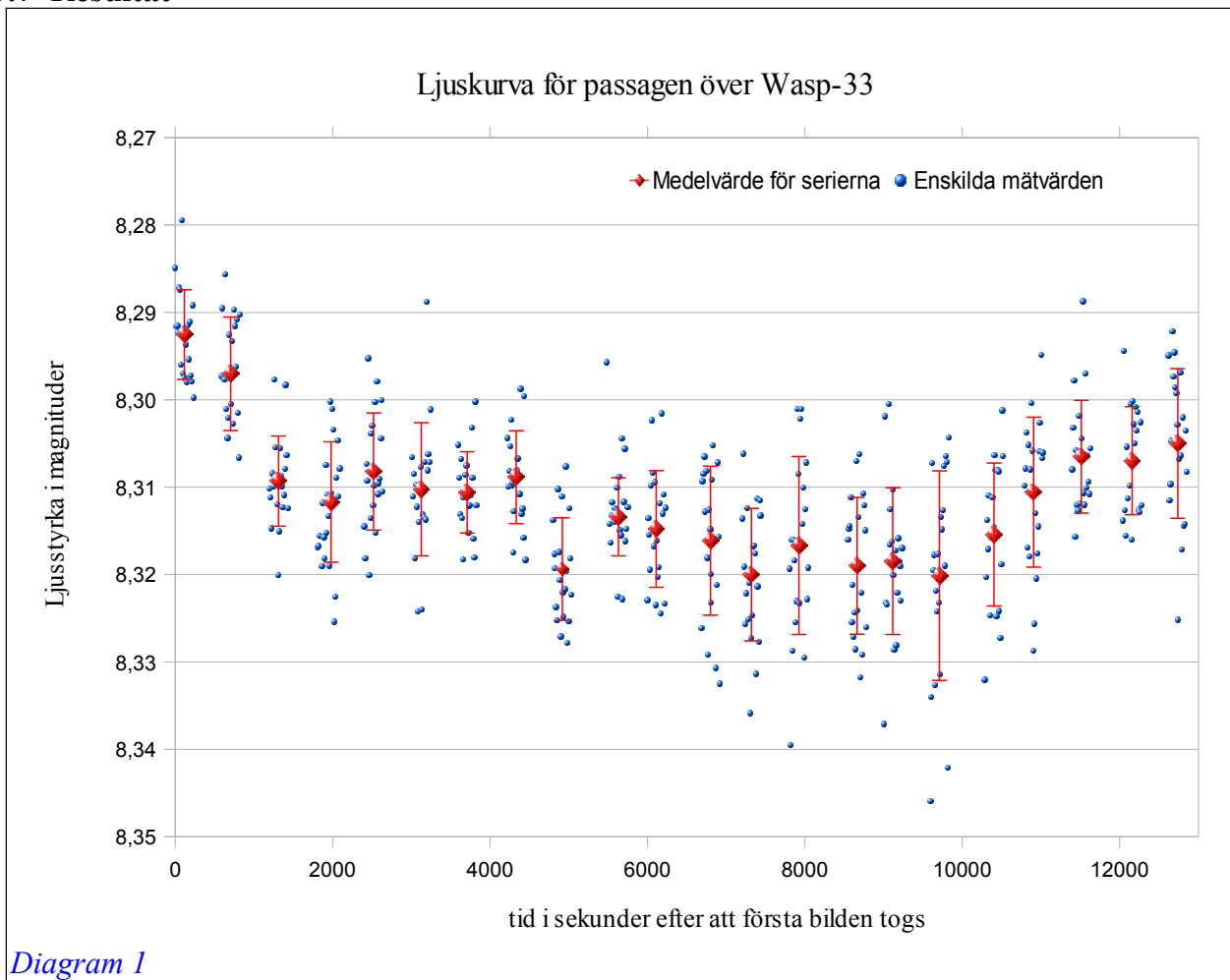


Diagram 1

Serie	Medelvärde intensitet wasp-33	Beräknad magnitud från medelvärde	Standardavvikelse	sekunder efter första bild
1	206 870,44	8,293	± 0,0050	116
2	205 581,48	8,297	± 0,0058	704
3	204 298,59	8,309	± 0,0050	1312
4	201 204,57	8,312	± 0,0065	1979
5	201 150,69	8,308	± 0,0065	2520
6	206 392,49	8,310	± 0,0074	3126
7	206 193,74	8,311	± 0,0045	3709
8	206 044,37	8,309	± 0,0052	4333
9	204 822,43	8,319	± 0,0057	4917
10	204 344,24	8,313	± 0,0057	5631
11	201 280,81	8,315	± 0,0065	6113
12	199 760,80	8,316	± 0,0083	6802
13	201 864,04	8,320	± 0,0074	7322
14	197 503,28	8,317	± 0,0099	7923
15	197 960,58	8,319	± 0,0076	8663
16	198 043,14	8,318	± 0,0082	9118
17	196 647,24	8,320	± 0,0117	9711
18	195 883,57	8,315	± 0,0080	10404
19	195 953,61	8,311	± 0,0084	10907
20	194 729,58	8,307	± 0,0063	11513
21	192 106,84	8,307	± 0,0060	12158
22	188 658,14	8,305	± 0,0084	12738

Tabell 1

Serie	Medianvärde intensitet wasp-33	Beräknad magnitud från medianvärde	Standardavvikelse	sekunder efter första bild
1	202 153,32		8,318 ± 0.0050	116
2	204 827,29		8,301 ± 0.0058	704
3	201 949,49		8,322 ± 0.0050	1312
4	198 415,67		8,327 ± 0.0065	1979
5	196 651,32		8,333 ± 0.0065	2520
6	206 243,91		8,311 ± 0.0074	3126
7	203 741,71		8,324 ± 0.0045	3709
8	203 818,09		8,321 ± 0.0052	4333
9	204 363,62		8,322 ± 0.0057	4917
10	202 440,23		8,324 ± 0.0057	5631
11	200 355,66		8,320 ± 0.0065	6113
12	199 855,60		8,316 ± 0.0083	6802
13	201 542,31		8,322 ± 0.0074	7322
14	194 891,94		8,331 ± 0.0099	7923
15	196 900,57		8,325 ± 0.0076	8663
16	196 814,25		8,325 ± 0.0082	9118
17	196 302,22		8,322 ± 0.0117	9711
18	194 840,52		8,321 ± 0.0080	10404
19	196 182,85		8,309 ± 0.0084	10907
20	193 124,05		8,316 ± 0.0063	11513
21	189 521,81		8,322 ± 0.0060	12158
22	186 968,54		8,315 ± 0.0084	12738

Tabell 2

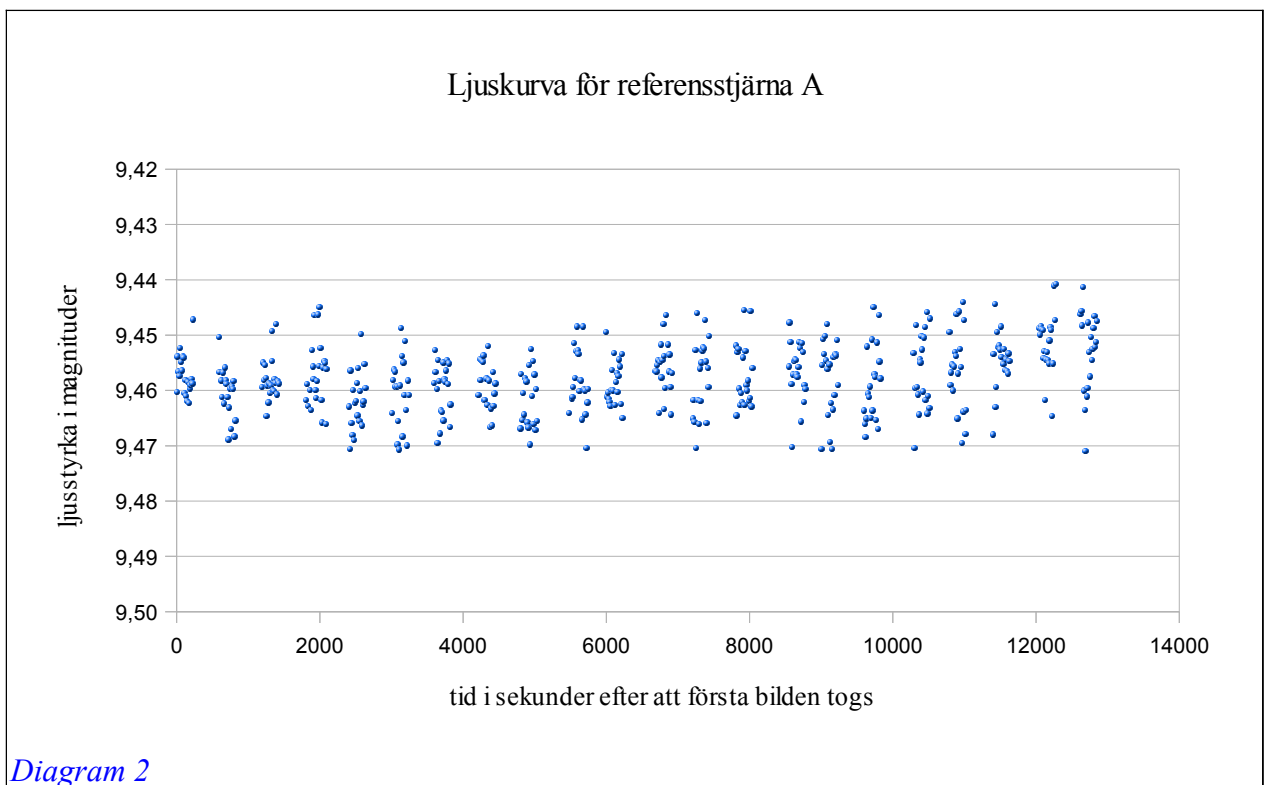
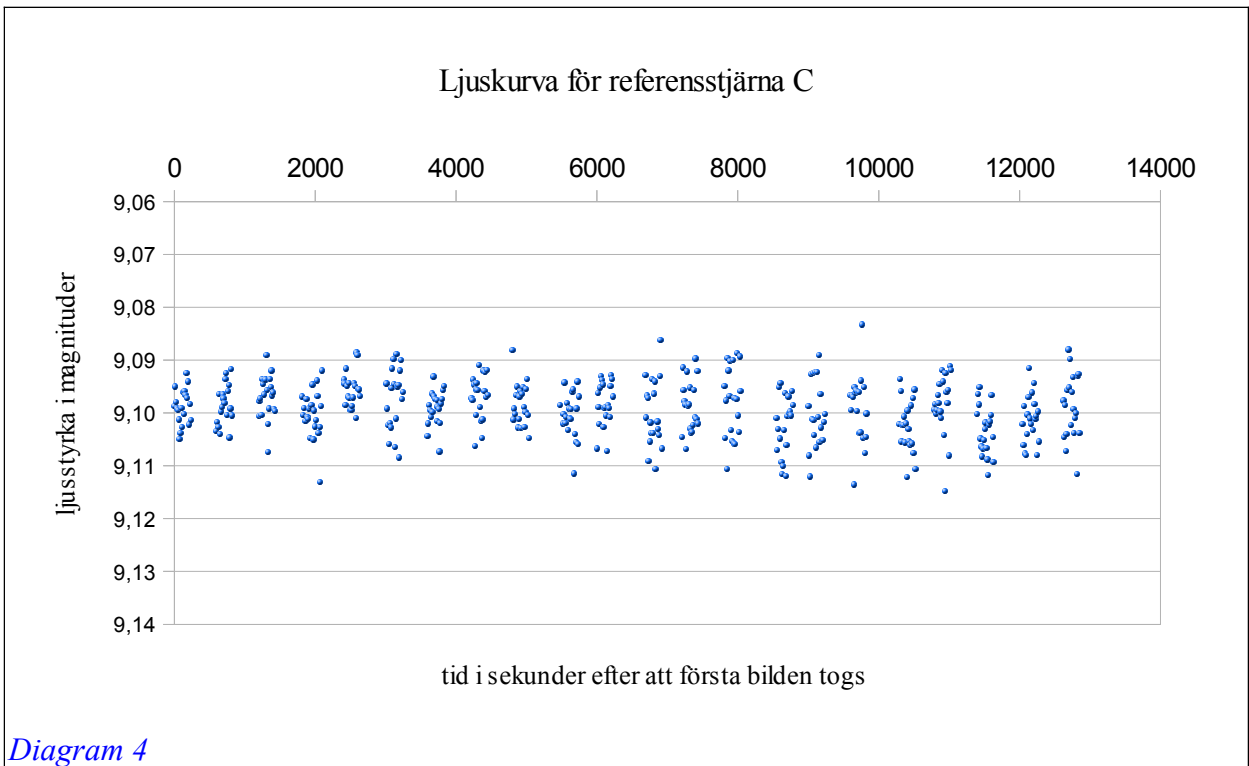
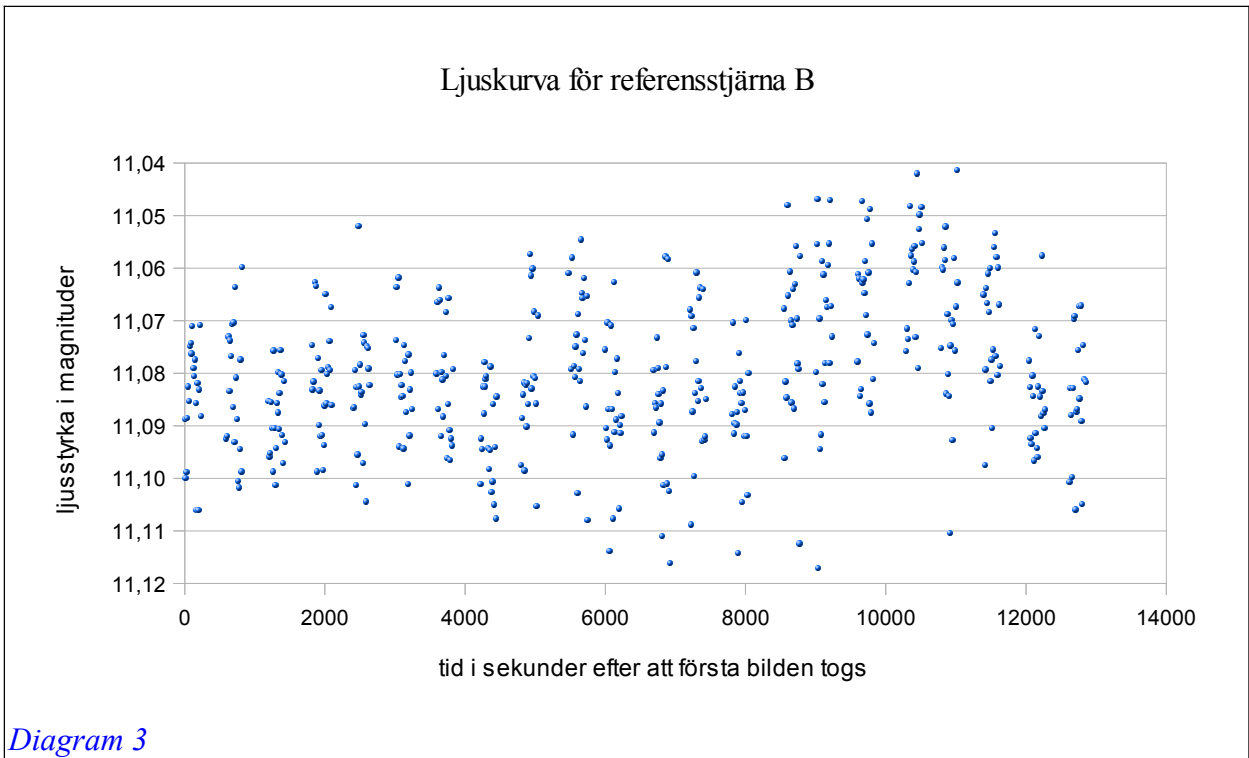
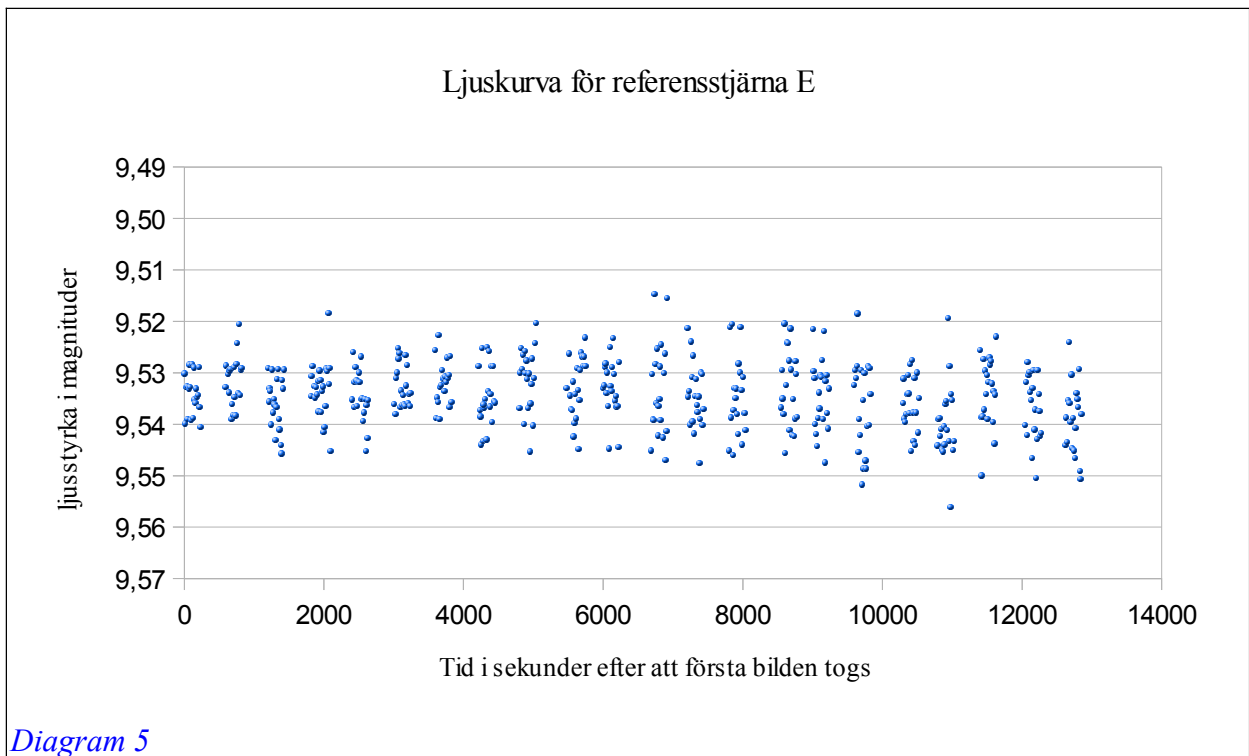


Diagram 2





- Uppskattad radie för Wasp-33 b: **113200 km** alternativt **1,59 r_{Jupiter}**
- Uppskattad hastighet för Wasp-33 b: **170 km/s**
- Uppskattad banradie för wasp-33 b: **2920000 km** alternativt **0,02 AE**

Data om moderstjärnans radie samt planetens omloppstid för beräkningarna hämtades från http://exoplanets.org/oneup/?WASP-33_b

4 Diskussion

4.1 Trovärdighet

Den uppmätta ljusändringen hos Wasp-33 är ca 0.014 magnitud* vilket överensstämmer med data från *Exoplanet Transit Database*. Referensstjärnornas ljusstyrka visar ingen större ändring förutom för stjärna B, vilket troligtvis beror på att den är så pass ljussvag och därför får ett lågt värde på signal-brus förhållandet*. Detta tyder på att observationen var lyckad. Osäkerheten i mätningarna är dock så stor att det enda man med säkerhet kan säga är att en förmörkelse skett. Om man tar ett medelvärde på osäkerheten i alla 22 serierna blir det 0,0070 vilket är nästan hälften av den förväntade ljusändringen.

Den första delen av kurvan följer inte riktigt modellen för hur en ljusändring borde se ut men den senare delen av kurvan gör dock det. Detta tyder på att något störde observationen i början. Vad det var som störde är okänt men det kan ha varit ett moln eller liknande. Vid analys bör således dessa värden inte användas.

4.2 Vad som kan förbättras

För att en ljuskurva ska vara värdefull för analys bör man ha med den del av kurvan före och efter nedgången som är vågrät. Kurvan i detta projekt har dock inte det i början och bara lite i slutet. Detta p.g.a. tekniska problem som gjorde att bildtagningen inte påbörjades i tid. Bildtagningen fortsatte ca 40 minuter efter nedgångens beräknade slut, detta var dock inte tillräckligt eftersom beräkningen slog lite fel. Med andra ord bör man i framtiden undvika en övertro till dessa beräkningarna i framtiden.

Vid bildtagningen under detta projekt var teleskopets skärpa inställt så att bilderna blev skarpa vilket medförde att ljuset endast träffade ett fåtal pixlar. Varje pixel är inte den andra lik och de kan variera i storlek med mera. Det medför att mätresultatet blir väldigt känsligt för att objekten förflyttar sig i synfältet på grund av teleskopets inte helt perfekta följning. För att minska detta problemet kan man flytta fokus på teleskopet så att ljuset sprids över fler pixlar. Detta eftersom man då hoppas att pixlarnas inneboende variationer ska ta ut varandra. Dessutom kan man ta in mer ljus utan att saturering* förstör bilderna och man får då sammantaget ett högre signal-brus förhållande*.

4.3 Forskningsvärde

Felet i beräkningen om tidpunkten för kurvans uppgång kan vara ett tecken på att de banelement som använts vid beräkningen inte är exakta. Kurvan bör därför jämföras med andra från *Exoplanet Transit Database* för att avgöra om detta är fallet eller om ett annat fel påverkat mätningarna från detta projektet

I det stora hela är osäkerheten i mätningarna är så pass stora är kurvan ensam inte särskilt värdefull för analys. Den kan dock jämföras med andra med andra och om de uppvisar samma tendenser kan man med större säkerhet säga att dessa tendenser inte beror på fel i mätningarna. Förhoppningsvis kommer denna kurva att i framtiden kunna jämföras just på detta sätt av forskare runt om i världen.

4.4 Projektets eventuella fortsättning

En längre observation av stjärnan där två ljusminima inträffar skulle kunna ge planetens omloppstid. Denna skulle sedan kunna bidra till en vidare analys av stjärnan.

En observation av stjärnans egenfärg skulle ge en grov uppskattning av stjärnans spektralklass. Givet att man antar att stjärnan ligger i huvudserien* skulle detta i sin tur kunna ge en uppskattning av stjärnans massa och radie relativt solens.

5 Appendix: Grundläggande begrepp

5.1 Fotometri

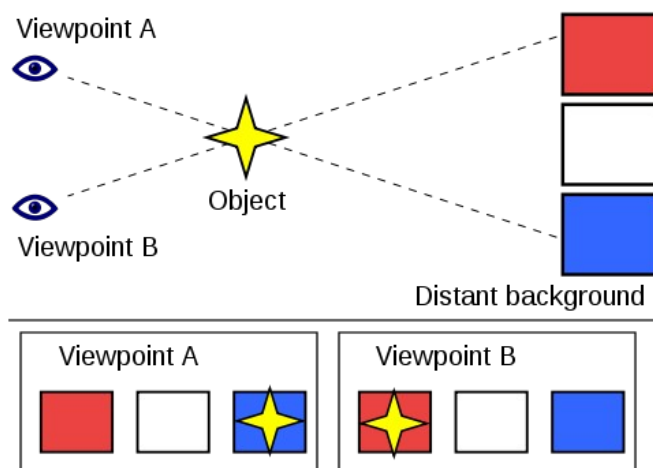
Fotometri är vetenskapen om mätning av ljus. Vid fotometriska mätningar med en CCD-kamera kommer den observerade signalen att spridas över ett antal pixlar p.g.a. teleskopets optik. Vid mätning av en stjärnas ljusstyrka läggs en cirkel runt stjärnan och ännu en cirkel med större radie läggs så att den täcker en bit av himlen bakom stjärnan. Signalen från stjärnan kan på så vis adderas och sedan subtraheras med signalen från den omgivande himlen.

5.2 Astrometri

Astrometri är en gren inom astronomin som handlar om att bestämma astronomiska objekts positioner, avstånd och rörelser.

5.3 Parallax

Den så kallade parallaxmetoden är en metod för avståndsbestämning. Om två observatörer ser ett astronomiskt objekt ur olika vinklar, dvs om de befinner sig på olika platser vid observationen, kommer objektets skenbara placering på himmelssfären att variera. Om avståndet mellan observatörerna är känt samt under vilket vinkel observationerna har skett kan man utifrån detta beräkna avståndet till objektet.



*Illustration 10: Principen bakom en parallax
Källa: Wikipedia*

5.4 Seeing

På sin väg genom atmosfären påverkas ljuset av oroligheter i luften. Detta kan ge variationer i strålningen så att bilderna blir suddiga och ojämna.

5.5 Astronomisk enhet (AE)

En astronomisk enhet definieras som medelavståndet mellan jordens och solens mittpunkter.

5.6 Saturering

När fotoner träffar CCD-chippet omvandlas de till fotoelektroner som lagras i varje pixel innan de läses ut. Om för många fotoner träffar en pixel svämmer denna över till omgivande pixlar och ingen information går att få från pixeln. Vid val av exponeringstid måste man därför ta detta i beaktande och inte ha så långa slutartider att detta inträffar, samtidigt som man vill ha dem så långa som möjligt eftersom signal-brus förhållandet då ökar.

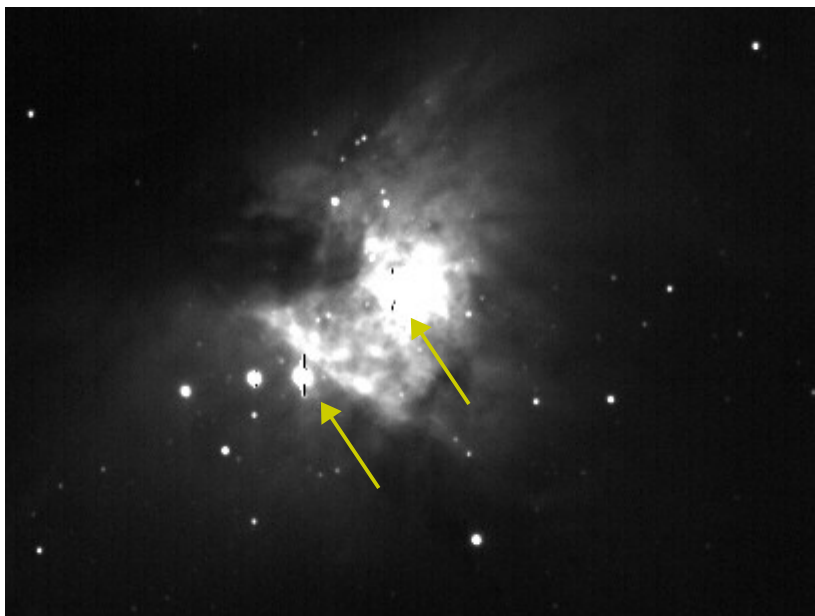


Illustration 11: Exempel på bild där pixlarna blivit överfulla. Att det blir lodräta sträck beror på kamerans utläsning som sker radvis

5.7 FITS-format

FITS-format (**F**lexible **I**mage **T**ransport **S**ystem) är ett filformat speciellt utformat för astronomiskt bruk. Fördelarna med FITS-formatet är att det är helt okomprimerat och att varje bild innehåller en så kallad *header*. I *headern* finns information om bland annat tidpunkten då bilden togs och vilka koordinater teleskopet då var riktat mot med mera.

5.8 Huvudserien

Om man ritar in olika stjärnor i ett diagram med den absoluta magnituden på y-axeln och temperaturen, alternativt spektralklassen, på x-axeln kommer de flesta stjärnor hamna på en linje som kallas huvudserien.

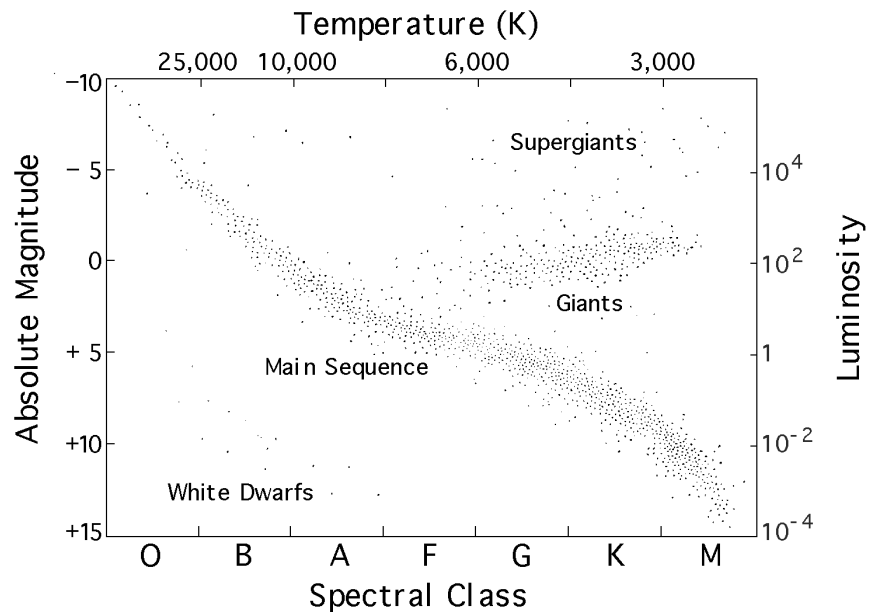


Illustration 12: Huvudserien är den linje som betecknats med "Main Sequence" *Källa: nasa*

5.9 Intensitet

Intensitet, eller belysningen, från en stjärna är den utstrålade effekten per kvadratmeter som träffar insidan på ett fiktivt klot med radien r runt stjärnan. Det ger:

$$I = \frac{P}{A} = \frac{P}{4\pi r^2}$$

Där I är intensiteten, P stjärnans utstrålade effekt, A klotets area och r avståndet till stjärnan. När det här talas om intensiteten avses den uppmätta vid observatoriet.

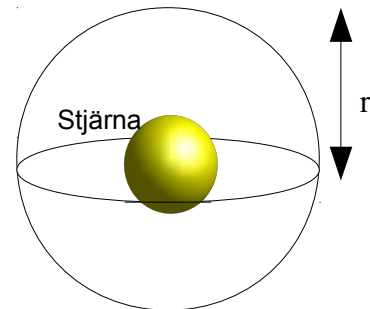


Illustration 13

5.10 Magnitud

En stjärnas magnitud anger dess ljusstyrka och är en omvänd skala, dvs en lägre magnitud motsvarar en högre ljusstyrka. Vanligtvis talar man om den apparenta magnituden, som är den som man mäter upp på den plats man befinner sig på, och den absoluta magnituden som är den uppmätta magnituden om man befinner sig 10 parsec från stjärnan. Parsec är ett mått på avstånd som används inom astronomin.

Det matematiska uttrycket för magnitud är:

$$m = -\sqrt[5]{100} \cdot \log \frac{I}{I_0}$$

Där m är magnituden, I den uppmätta intensiteten och I_0 den uppmätta magnituden från en referensstjärna. Man har bestämt att stjärnan Vega ska användas som referensstjärna.

5.11 Signal-brus förhållande

Vid astronomiska observationer kommer brus alltid att förekomma vilket är störningar i signalen. Kvoten mellan den önskade signalen och bruset kallas för signal-brus förhållandet, ju högre kvot ju mindre störning från bruset

Brus kan uppkomma i mätinstrumenten av olika anledningar, till exempel termiskt brus i CCD-chipet som minskar med temperaturen. Även ljuset från en stjärna innehåller brus i sin natur vilket beror på de fysikaliska processerna där fotonerna skapas. Detta brus kan beskrivas med roten ur signalen. Signal-brus förhållandet blir således:

$$SNR = \frac{I}{\sqrt{I}}$$

Där I är intensiteten, och SNR signal-brus förhållandet (Signal-to-Noise Ratio)

Detta medför att ett högre värde på I ger en högre kvot mellan signalen och bruset. Man eftersträvar därför att ha så långa exponeringstider som möjligt för att signalen ska bli så hög som möjligt. Effekten av detta kan man tydligt se i *diagram 3* över jämförelsestjärna B ljusstyrka. Den har nämligen fått ett mindre värde på signal-brus förhållandet än de andra stjärnorna eftersom den är ljussvagare.

5.12 δ scuti variabler

Stjärnors egenvariation delas inte i olika klasser. En av dessa klasser kallas för δ scuti variabler.

I grova drag beror variationen hos en δ scuti variabel på att det inuti dem finns en region där gasen de består av till största delen är joniserad. Om stjärnan pressas ihop ökar då tätheten i dessa regioner vilket leder till att energin som stjärnan producerar har svårare att ta sig ut. Temperaturen i stjärnan kommer då öka och därmed även trycket. Stjärnans yttre lager kommer då pressas utåt och tätheten minskar. Tillslut har tätheten minskat så pass mycket att tillräckligt mycket energi för att hålla emot gravitationen inte kan hållas kvar i stjärnan och en ny förtätning börjar. Dessa variationer leder till att stjärnans ljusstyrka ändras

Den över beskrivna variationen hos en stjärna kallas radiell variation eftersom den beror på att stjärnans radie varierar något. Det förekommer dock också också icke-radiell variation hos δ scuti variabler som beror på bland annat vågor i stjärnans yta. Hos det planetsystem som här observerats tror forskare att det kan finnas ett samband mellan planetens tidvatteneffekter och dessa variationer¹⁴

5.13 Funktionen *align*

Teleskopets följdning är inte helt perfekt vilket leder till att objekten i en bild kommer att vandra lite i synfältet om man tar många bilder på samma objekt. Vill man kombinera bilder ur en lång serie måste man därför lägga dem till rätta dvs de fasta objekten i bilden läggs "över" varandra. I CCD-soft finns funktionen *align* som lokaliserar objekten i synfältet och justerar alla bilder i en mapp så att objekten hamnar på samma ställe i bilderna.

5.14 Funktionen *combine*

Många gånger när man tar astronomiska bilder önskas lång exponeringstid eftersom bruset i bilderna då minskar. Vädret och andra faktorer som till exempel otillräcklig flöjdning kan dock förhindra en längre exponeringstid. För att komma runt detta problemet kan man ta många bilder med kort exponeringstid och sedan kombinera dem i ett astronomiskt bildbehandlingsprogram. I *CCD-soft* som här använts kan man kombinera på tre olika vis. Man kan addera ihop alla pixelvärden i en bild, eller så kan man lägga ihop dessa med deras medel- eller medianvärde. Att kombinera bilderna med medianvärdet har den fördelen att extremvärden sorteras bort.

14 WASP-33: the first δ Scuti exoplanet host star, E. Herrero, J.C. Morales, I. Ribas, R. Naves

5.15 Flatfält

Vid astronomiska observationer är det vanligt att oönskade instrumentella effekter försämrar de tagna bilderna. Felen kan bero på damm i teleskopets strålgång eller så kallad vinjettering som innebär att bilderna blir mörkare i kanterna. För att kompensera för dessa fel kan man ta en kalibreringsbild som visar alla dessa fel, ett så kallat flatfält. Det görs vid solnedgång mot blank himmel och man bör eftersträva så hög exponering som möjligt på bilderna eftersom bruset då minskar.

I programmet *CCD-soft* som här använts finns en automatisk funktion för flatfältning. Det som då sker är att programmet tar ett medelvärde på pixelvärdet i flatfältets alla pixlar. Varje pixel i flatfältet divideras sedan med detta medelvärde. Detta leder till att varje pixel kommer då få ett värde som är nära ett, man säger då att bilden normaliserats. Sedan divideras varje pixelvärde i den bild man önskar flatfältas med den normaliserade flatfältsbilden, många av utrustningens inneboende fel kommer då att försvinna.

I detta projektet togs ett antal flatfältsbilder innan observationen av exoplaneten. De bästa av dessa sorterades sedan ut och lades samman med ett medelvärde för alla pixlarna i respektive bild, detta för att minimera det brus som finns i flatfälten.

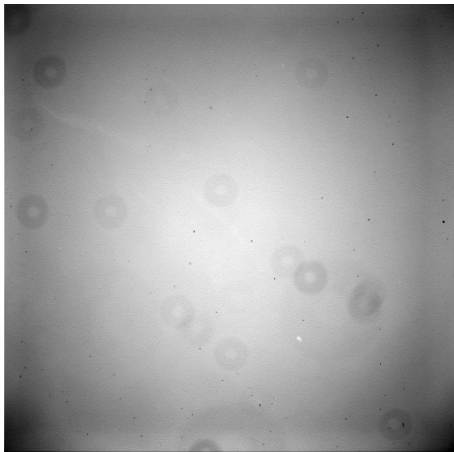


Illustration 14: Exempel på en flatfältsbild. Notera vinjettringen och de mörkare ringarna

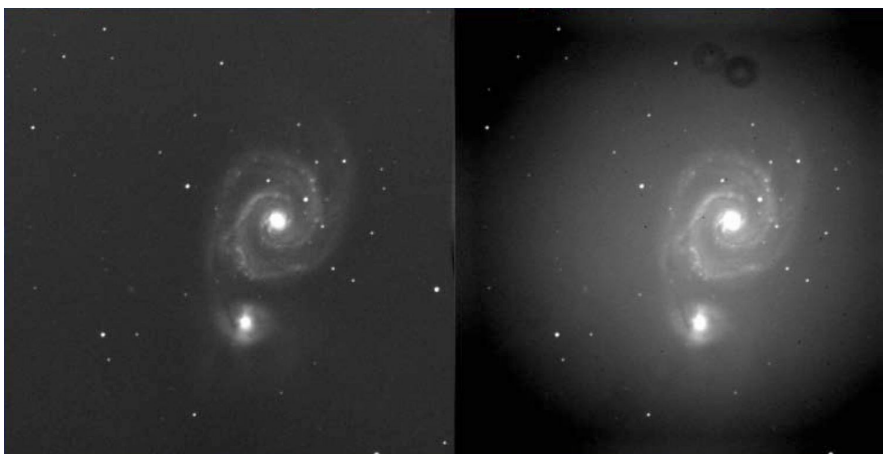


Illustration 15: Jämförelse mellan en flatfältad bild och en oflatfältad bild
Källa: www.tbobs.se

Referenslista

1. <http://www.bisque.com/sc/>
2. <http://www.bisque.com/sc/shops/store/CCDSofWin2.aspx>
3. http://sv.wikipedia.org/wiki/433_Eros
4. <http://ssd.jpl.nasa.gov/horizons.cgi>
5. <http://hea-www.harvard.edu/RD/ds9/>
6. <http://transitofvenus.nl/wp/getting-involved/eros-and-the-solar-parallax/>
7. <http://var2.astro.cz/ETD/>
8. WASP-33: the first δ Scuti exoplanet host star, E. Herrero, J.C. Morales, I. Ribas, R. Naves
9. Nyupptäckta exoplaneter utmanar klassisk teori, Miguel De Val Borro, F&F 1/2009
10. Wasp-33: a pulsating star with an exoplanet, Enrique Herrero, Astrofile, Winter 2011
11. WASP-33: the first δ Scuti exoplanet host star, E. Herrero, J.C. Morales, I. Ribas, R. Naves
12. <http://var2.astro.cz/ETD/>
13. <http://maps.google.se/maps>
14. [WASP-33: the first \$\delta\$ Scuti exoplanet host star, E. Herrero, J.C. Morales, I. Ribas, R. Naves](#)