

EXOPLANETER

Observationskursus på Tenerife 2006

RASMUS HANDBERG & MARTIN GLITRUP

INSTITUT FOR FYSIK OG ASTRONOMI
AARHUS UNIVERSITET

Indholdsfortegnelse

Indholdsfortegnelse	1
1 Indledning	2
2 Observationerne	2
3 Værktøjer	3
3.1 MOMF	3
3.2 MATLAB	3
4 Databehandling	3
4.1 MOMF	3
4.2 SOMF	4
5 Teori	4
6 Analyse af lyskurver	6
6.1 TrES-1	6
6.2 HD 189733	7
6.3 TrES-2	7
6.4 TrES-1 anden observation	7
7 Konklusion	8
Referencer	10
A Computing for Linux-dummies	11
A.1 MOMF	11
A.2 ds9 og IRAF	12
A.3 Fra en Windows-maskine	12
B Lyskurver	13
B.1 TrES1 (24/8/2006)	13
B.2 TrES1 (26/8/2006)	14
B.3 TrES2	15
B.4 HD 189733	16

1 Indledning

Formålet med dette projekt var at observere og detektere exoplanet passager ved hjælp af fotometri. Når passagen finder sted, ses et fald i stjernens intensitet idet planeten dækker noget af stjerneskiven. Tidspunkterne for de forskellige passager, havde vi udregnet ud fra de kendte perioder af objekterne¹. Perioderne var opgivet i juliansk dato, hvilket vi derfor omregnede til UT. Vi fandt, at stjernerne TrES-1 og HD189733 havde passager, der passede ind i vores observationsperiode. TrES-1 havde to passager, mens HD189733 havde én.

2 Observationerne

Observationerne er udført ved IAC80-teleskopet på Observatorio del Teide på Tenerife i perioden 22/8-2006 til 28/8-2006. Kort inden vores ankomst, havde TrES-gruppen (The Transatlantic Exoplanet Survey) opdaget en ny exoplanet kaldet TrES-2. Denne transit observerede gruppen selv den 24/8, og vi fik lov til at bruge deres data (mod at love at vi ikke ville offentliggøre noget før de selv havde udgivet artiklen). Vi fik derfor uventet data fra endnu en exoplanet-transit og har derfor også behandlet TrES-2 i rapporten.

Der opstod dog et problem i forbindelse med observationerne af TrES-2. Af en eller anden grund havde teleskop-operatøren ikke sat kuplen til automatisk styring og der skete så det, at eftersom stjernen flyttede sig på himlen kom kuplen simpelthen i vejen. Dette besværliggjorde også databehandlingen af TrES-2.

IAC80 teleskopet er et Cassegrain teleskop med et primær spejl med en diameter på 80 cm. CCD'en der er monteret på teleskopet har en opløsning på 2048x2048 pixels, hvilket giver et felt på 10x10 bueminutter. Dette svarer til 0,3 buesekund pr. pixel.

TrES-1 og TrES-2 er optaget i I-filter, mens HD189733 er optaget i B-filter da disse viste sig at give de bedste resultater. HD189733 er klart den kraftigste stjerne i feltet og for ikke at mætte den, men samtidig at have nogle referencestjerner vi kunne bruge til fotometrien, valgte vi at benytte B-filteret. Samtidig valgte vi at køre billederne lidt ud af fokus for at sprede stjernen lidt mere på CCD'en og derved undgå, at den mættede. For at være sikker på, at det observerede fald i intensitet skal kunne ses i alle bølgelængder. Da vi var sikre på, at vi observerede exoplaneter, valgte vi kun at optage billeder i ét filter per planet for derved at få flere målepunkter.

For at få størst mulig præcision i målingerne brugte vi et autoguiding system, som følger en bestemt stjerne meget præcist. Derved sikrer man at stjernerne bliver holdt på samme position på CCD'en og ikke driver rundt fordi kiggertstyringen ikke er perfekt.

Ved optagelserne den sidste aften, var vi plaget af støv i atmosfæren, hvilket havde indflydelse på især den sidste del af dataene for HD 189733. Støvet var til størst gene sidst på aftenen, da stjernen stod lavt på himlen.

Vi var lidt uheldige med tidspunkterne for flere af passagerne, idet de skete når stjernen var på vej ned. Dette betød, at vi ikke forventede at få optaget en hel passage med både stigning og fald i magnituden.



Figur 1: Gruppen foran IAC80-teleskopet

¹Data hentet fra [1] og [3]

3 Værktøjer

3.1 MOMF

Multi Object Multi Frame photometric package er udviklet af Hans Kjeldsen og Søren Frandsen. MOMF var velegnet til netop vores databehandling, idet det er meget hurtigere end hvis vi skulle have brugt vores eget program i MATLAB, og er velegnet til tyndt befolkede felter, som vores observationer er.

MOMF benytter sig af en kombination af PSF-fitting og blændefotometri for at få det maksimale ud af begge teknikker. For nærmere information om pakken henvises til manualen [4].

3.2 Matlab

Vi har brugt MATLAB til at omsætte output-filerne fra MOMF til lyskurve-grafer og lave analysen på disse.

Vi har også skrevet et simpelt fotometri-program i MATLAB der benytter sig af blændefotometri. Vi har navngivet det SOMF – *Single Object Multi Frame*. Vi har også, for sjovs skyld, forsøgt at analysere dataene med dette program, for at se om det kunne bruges til noget. Det er dog noget usandsynligt at dette simple program kan detektere det relativt lille fald i magnitude der er forårsaget af planetpassagen.

SOMF kan findes på <http://www.handberg-net.dk/Photometry.aspx>.

4 Databehandling

4.1 MOMF

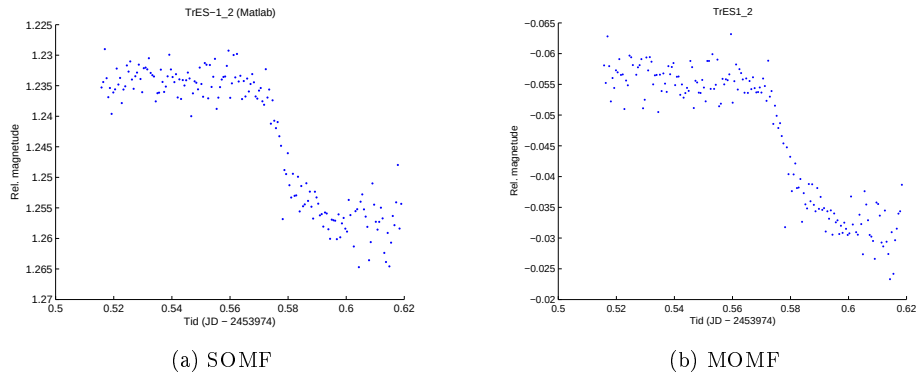
Databehandlingen med MOMF forløber, som beskrevet i manualen [4], i tre skridt. De tre program-dele MOMF01, MOMF02 og MOMF03 står for henholdsvis at finde stjerner i billederne, udføre fotometrien og lave sorteringer af resultaterne. De sidste to dele af programmet forløber automatisk, men det første kræver en række parametre for at kunne finde stjernerne i billederne. Den første parameter, der skal gives er 'seeing'. Denne værdi kan aflæses direkte på de enkelte billeder vha. ds9 og IRAF. Den næste parameter er 'detection level', der angiver grænsen for hvilke pixel-værdier, der bliver opfattet som et objekt, og ikke som baggrund. Vi brugte et par forsøg på at finde de rigtige værdier, idet man ønsker mange stjerner til at finde den relative intensitetsændring, men samtidig også vil være sikker på, at de fundne objekter er stjerner, og ikke bare baggrund. Den næste værdi, MOMF skal bruge, er 'saturation limit', hvilket er mætningsværdien i en pixel. De første gange vi kørte MOMF løb vi ind i problemer, idet det viste sig, at MOMF02 brugte en fast værdi for 'saturation limit', og altså ikke videreførte den værdi man gav i MOMF01. Standardværdien var sat til 30.000, og vores typiske mætningsgrænse lå på 80.000. Da vi fik rettet dette, fik vi fornuftige resultater. På de rå billeder var mætningsgrænsen 65.535, men da hver pixelværdi i kalibreringen af billederne skulle ganges med en faktor på hhv. 1,25 og 1,24 for hver side af CCD'en, blev mætningsgrænsen på de ca. 80.000. Derudover betød det, at de enkelte pixels bliver af typen 'floating point' i stedet for 'integers'. Dermed kommer hvert billede til at fylde dobbelt så meget som det rå billede. Til sidst skal man angive hvor mange PSF stjerner man ønsker at benytte, og her valgte vi altid 10. Disse stjerner kommer op på skærmen, og man skal derefter vælge om de fundne stjerner kan bruges. Dette havde vi en del arbejde med, da det ikke altid var de tydeligste stjerner, MOMF fandt. Vi var desuden omhyggelige med at tjekke koordinaterne på hver stjerne for at sikre, at de ikke lå tæt på kanten af billedet, da det kan give fejl i beregningerne. Enkelte af de valgte værdier for beregningerne er givet i tabel 1. Mere info om at køre MOMF, og et par tips og triks vi fandt undervejs kan læses i appendix A.

Stjerne	Seeing	Det. level
TrES-1_2	5	200
TrES-2	6	250
HD189733	5	30

Tabel 1: MOMF data input

4.2 SOMF

Udover at have brugt MOMF til databehandling har vi selv skrevet et MATLAB-program der skulle kunne gøre MOMF kunsten efter. Som nævnt tidligere, benytter dette program sig af blændefotometri, og er derfor langt fra så avanceret som MOMF, men vi synes det kunne være sjovt at prøve at udføre dataanalysen med et program, vi selv havde skrevet. På figur 2 er der vist en sammenligning af resultaterne fra henholdsvis SOMF og MOMF.



Figur 2: Sammenligning af resultaterne fra SOMF og MOMF.

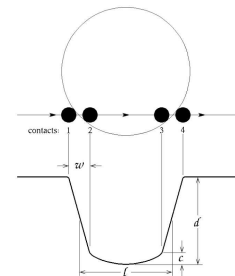
Konklusionen må her være, at vi ser de samme overordnede træk i resultaterne fra de to programmer. Selve formen på kurven er den samme, selvom nogle punkter er rykket en smule i forhold til hinanden. Vi valgte at udføre vores egentlige databehandling med MOMF, da det er betydeligt hurtigere end vores eget program og algoritmerne er mere avancerede og, i kraft af dette mere præcise. Vi var dog positivt overraskede over det gode resultat som vores eget program kunne frembringe.

5 Teori

Når en exoplanet passerer ind mellem dens stjerne og observatøren, vil der ske et fald i fluxen af stjernen. Formørkelseskurven vil kvalitativt se ud som på figur 3. Hvis stjernen var en uniformt lysende skive, ville man forvente, at kurven var mere "firkantet". Men da stjernen har en randformørkelse, dvs. at den er mørkere i kanterne og lysere ved centrum, skal der tages højde for dette i simuleringen af passagen. Randformørkelsen kan modelleres ved følgende udtryk:

$$\frac{I(\mu)}{I(\mu = 1)} = 1 - C_\lambda(1 - \mu)$$

hvor C_λ kaldes randformørkelsesparameteren, μ er cosinus til vinklen mellem synsvinklen og normalen på stjernens overflade. Efter nogle overvejelser



Figur 3: Skitse af planetpassage. [2]

(se [5]) kan det ses, at fluxændringen er givet ved udtrykket:

$$\Delta F = \begin{cases} \left(\frac{A}{\pi R_\star^2} \right) \frac{1-C_\lambda}{1-\frac{1}{3}C_\lambda} & \text{for } T_1 < |t| < T_2 \\ \left(\frac{A}{\pi R_\star^2} \right) \Phi & \text{for } T_3 < |t| < T_2 \\ \left(\frac{R_p}{R_\star} \right)^2 \Phi & \text{for } |t| < T_3 \end{cases}$$

Hvor tiden t er defineret så den er nul i midten af passagen, og Φ er givet som:

$$\Phi = \frac{1}{1-\frac{1}{3}C_\lambda} \left(1 - C_\lambda \left(1 - R_\star^{-1} \sqrt{R_\star^2 - b^2 - \frac{GM_\star}{a} t^2} \right) \right)$$

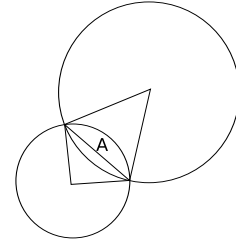
De tre tider

$$\begin{aligned} T_1 &= \sqrt{(R_\star + R_p)^2 - b^2} \\ T_2 &= \sqrt{R_\star^2 - b^2} \\ T_3 &= \sqrt{(R_\star - R_p)^2 - b^2} \end{aligned}$$

angiver tidspunkterne hvor planetens kant rører stjernens kant, hvor planetens centrum er ved stjernens kant og hvornår planeten er helt inde foran stjernen. b er givet som $b = a \cos(i)$.

A er arealet af stjernen som planeten dækker når den er ved kanten af stjernen, og kan udregnes vha. trigonometri (se figur 4) til at være givet som $A = A_1 + A_2$, hvor A_1 og A_2 kan udtrykkes på følgende måde:

$$\begin{aligned} A_1 &= R_p^2 \arccos \left(\frac{-R_\star^2 + R_p^2 + b^2 + \frac{GM_\star}{a} t^2}{2R_p \sqrt{b^2 + \frac{GM_\star}{a} t^2}} \right) \\ &\quad - \frac{R_p^2}{2} \sin \left(2 \arccos \left(\frac{-R_\star^2 + R_p^2 + b^2 + \frac{GM_\star}{a} t^2}{2R_p \sqrt{b^2 + \frac{GM_\star}{a} t^2}} \right) \right) \\ A_2 &= R_\star^2 \arccos \left(\frac{-R_p^2 + R_\star^2 + b^2 + \frac{GM_\star}{a} t^2}{2R_\star \sqrt{b^2 + \frac{GM_\star}{a} t^2}} \right) \\ &\quad - \frac{R_\star^2}{2} \sin \left(2 \arccos \left(\frac{-R_p^2 + R_\star^2 + b^2 + \frac{GM_\star}{a} t^2}{2R_\star \sqrt{b^2 + \frac{GM_\star}{a} t^2}} \right) \right) \end{aligned}$$



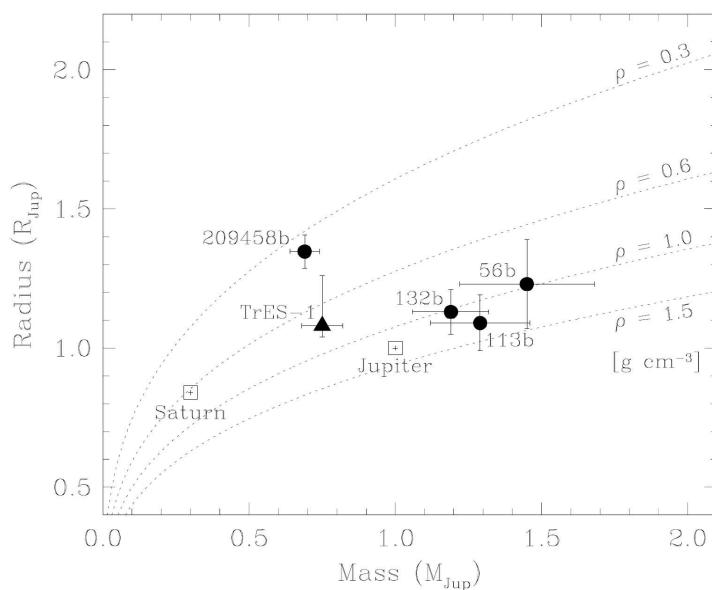
Figur 4

Den teoretiske kurve for planetpassagen kommer derfor til at afhænge af følgende parametre:

- $R_\star$ Stjernens radius
- R_p Planetens radius
- $M_\star$ Stjernens masse
- a Afstanden mellem planeten og stjernen
- i Inklinationsvinklen
- C_λ Randformørkelsesparameteren

På grund af afhængigheden af disse parametre, kan målinger af exoplanet-transitter, sammenholdt med radialhastighedsmålinger, være med til bestemme disse parametre relativt godt. Et eksempel på præcisionen af målinger af masse og radius for kendte exoplaneter kan ses på figur 5.

Ovenstående udtryk er taget fra [5], men efter at have forsøgt at udregne arealet A i de originale udtryk, fandt vi flere fejl. Den ene består i, at de to argumenter til arccos burde være ens, hvilket



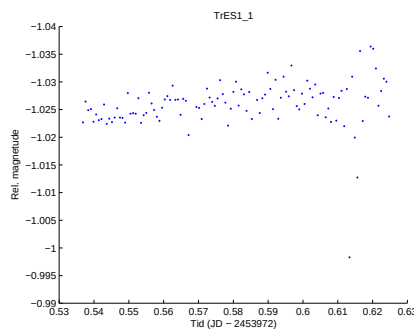
Figur 5: Data fra en række kendte exoplaneter [2].

de ikke var i [5]. Hvis man endvidere kontrollerede enhederne i arccos argumenterne, viser det sig, at der manglede et t^2 i nævneren. Udover disse fejl var der byttet rundt på enkelte R_* og R_p . Det lykkedes os at finde og rette alle fejlene, og de ovenstående udtryk burde derfor være rigtige.

6 Analyse af lyskurver

6.1 TrES-1

Efter bearbejdningen af billederne fra TrES-1 fra d. 24/8 2006, viste det sig at lyskurven for denne passage var flad. Vi kontrollerede vores beregninger af tidspunktet for passagen igen, og den var fejlfri. Det viste sig derimod, at vi havde målt præcis 24 timer for sent. Grunden til dette var, at passagen skete d. 24/8 kl 2 om natten, men vores optagelser startede den 24. om aftenen, og vi har derfor målt d. 25/8 kl 2 om natten. Denne passage kan derfor ikke benyttes grundet en simpel menneskelig fejl, der kunne være undgået.



Figur 6: Lyskurve for første optagelse af TrES-1

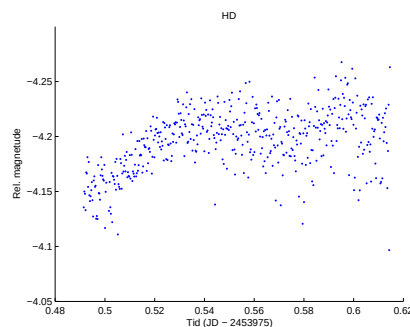
6.2 HD 189733

Lyskurven for HD 189733 viste sig at blive forholdsvis flad. Det er muligt at se noget, der kunne ligne et fald i magnituden, men målepunkterne ligger så spredt, at vi ikke fandt det rimeligt at bruge dataene til at simulere en passage.

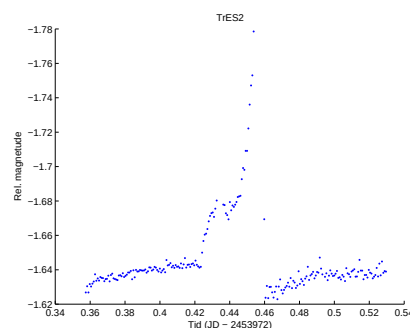
6.3 TrES-2

På grund af problemer med kuplen, blev dataene for TrES-2 ødelagt. På grafen ser det ud til at intensiteten af stjernen stiger, hvilket skyldes, at kuplen laver en skygge-effekt på billederne, og dermed ændrer lysfordelingen over CCD'en. Da vi udregner den relative intensitet, vil vores stjerne derfor få større relativ intensitet.

Det kunne være muligt at opveje for denne fejl ved at finde korrelationsfunktionen og bruge denne til at fjerne effekten fra kuplen. Dette vil dog kræve, at funktionen er forholdsvis simpel, men hvis det var muligt at lave denne korrektion, kunne man håbe at se faldet i intensiteten. Grunden til, at vi ikke har forsøgt at udføre disse beregninger er dels, at det falder uden for formålet med dette projekt, og dels at det er så usikkert, om det vil give nogle fornuftige resultater, at vi vurderede, at det ikke var umagen værd.



Figur 7: Lyskurve for HD189733

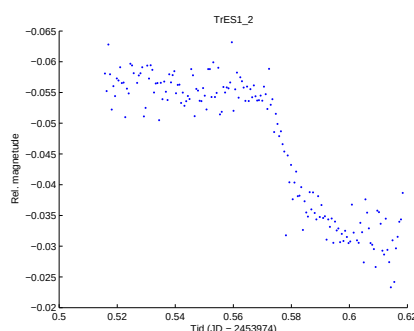


Figur 8: Lyskurve for TrES-2

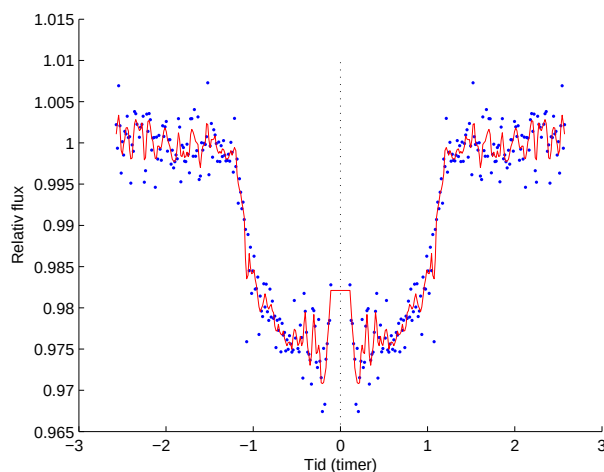
6.4 TrES-1 anden observation

Anden gang vi observerede TrES-1, fik vi noget bedre data, hvor der tydeligt kan ses et fald i intensiteten. Som ventet kan det ses, at der i de sidste målepunkter er større spredning på grund af atmosfæriske forstyrrelser. Ud fra denne lyskurve ønsker vi at bestemme den bedste teoretiske kurve der passer til målepunkterne. For at gøre dette, skrev vi et simuleringsprogram, der, for de i teori afsnittet nævnte parametre, kan udregne den teoretiske kurve for en planetpassage.

Da vi ikke har fået anden halvdel af passagen med i dataserien, har vi valgt at spejle datapunkterne omkring det udregnede tidspunkt for midten af passagen. Vi opnår derved at få en kurve der bedst muligt beskriver de punkter, vi ville have målt hvis vi kunne have fortsat observationen. For nu at kunne fitte til målepunkterne laves først en udglatning af målepunkterne for at fjerne tilfældig støj. Efter spejlingen og udglatningen fås kurven vist på figur 10.



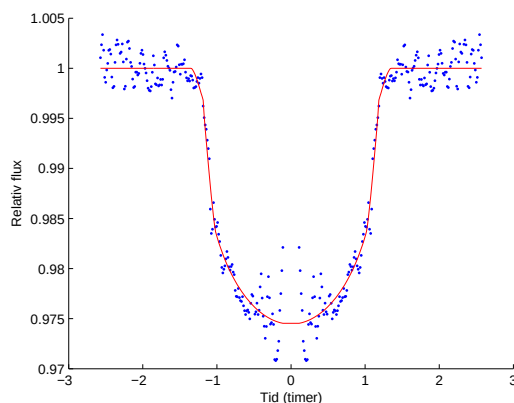
Figur 9: Anden observation af TrES-1



Figur 10: Spejling af målepunkterne. Linjen angiver midlingen af disse.

Måden vi fitter på er, at udregne forskellen mellem den fittede kurve og målepunkterne. Denne forskel minimeres så ved hjælp af gentagne iterationer, og til sidst opnås følgende resultat:

Parameter	Fit	Teoretisk
i ($^{\circ}$)	90	88,5
$R_{\star}$ ($R_{\odot}$)	0,89	0,85
R_p (R_j)	1,20	1,08
$M_{\star}$ ($M_{\odot}$)	0,32	0,88
a (AU)	0,013	0,039
C_{λ}	0,73	



Figur 11

Som det kan ses, passer de fleste af parametrene ganske godt med værdierne fra [1], angivet som de teoretiske i figur 11. Den der falder mest udenfor er $M_{\star}$. Denne metode er dog heller ikke den bedste måde at finde $M_{\star}$ på, og den ville kunne findes mere præcist ud fra radialhastighedsmålinger.

7 Konklusion

Vi har i dette projekt arbejdet med IAC80 teleskopet på Tenerife. Observationerne forløb planmæssigt, og vi kom hurtigt ind i rutinerne i forbindelse med arbejdet på observatoriet. Vi fik en bedre praktisk forståelse for mange af de begreber og teknikker der bruges i forbindelse med observationer. I databehandlingen har vi brugt MOMF, hvilket indebærer, at vi måtte sætte os ind i Linux. Efter at have lært at bruge MOMF, fik vi hurtigt lavet lyskurverne ud fra vores data, hvilket viste, at flere af måleserierne ikke var så gode som vi kunne have håbet. Den anden passage af TrES-1 viste sig at give en flot lyskurve, og denne dannede grundlag for vores videre databehandling. I databehandlingen opstillede vi et teoretisk udtryk for en planetpassage, og fittede dette

7. Konklusion

udtryk til vores data. De fundne parametre passede ganske godt med de af andre observerede parametre på trods af en del besværligheder med udregningerne.

Referencer

- [1] R. Alonso, T. M. Brown, G. Torres, D. W. Latham, A. Sozzetti, G. Mandushev, J. A. Belmonte, D. Charbonneau, H. J. Deeg, E. W. Dunham, F. T. O'Donovan og R. P. Stefanik. TrES-1: The Transiting Planet of a Bright K0 V Star. *The Astrophysical Journal*, 613:L153-L156, oktober 2004.
- [2] T. M. Brown, D. Charbonneau, R. L. Gilliland, R. W. Noyes og A. Burrows. Hubble Space Telescope Time-Series Photometry of the Transiting Planet of HD 209458. *The Astrophysical Journal*, 552:699-709, maj 2001.
- [3] exoplanet.eu. <http://exoplanet.eu/star.php?st=HD+189733>.
- [4] Hans Kjeldsen og Søren Frandsen. *MOMF 3.4*. Institute of Physics and Astronomy, Aarhus University, 2001.
- [5] Henrik Nørregaard. Detektion af planeter om stjerner: Planetpassage. Opgave i observationel Astronomi, 2003.
- [6] F. T. O'Donovan, D. Charbonneau, G. Mandushev, E. W. Dunham, D. W. Latham, G. Torres, A. Sozzetti, T. M. Brown, J. T. Trauger, J. A. Belmonte, M. Rabus, J. M. Almenara, R. Alonso, H. J. Deeg, G. A. Esquerdo, E. E. Falco, L. A. Hillenbrand, A. Roussanova, R. P. Stefanik og J. N. Winn. TrES-2: The First Transiting Planet in the Kepler Field. *ArXiv Astrophysics e-prints*, september 2006.

A Computing for Linux-dummies

Da ingen af os før havde arbejdet med Linux og kommunikation med servere, som det blev nødvendigt i dette projekt, har vi her samlet lidt af vores erfaringer.

A.1 MOMF

Kopier indholdet af mappen `stdin`, fra stedet MOMF er installeret, til et directory som du ønsker at bruge som dit work-directory.

A.1.1 Opsætning af `.cshrc`

Det første der skal gøres, er at der skal defineres en række variable. Du starter med at oprette en fil `cshrc.<dit navn>` i dit home-directory. Denne fil skal indeholde følgende linjer:

```
% MOMF:
setenv MOMF_PROG <sti til MOMF>
setenv MOMF_GRAD "undefined"
setenv MOMF_DATAIN <sti til billeder>
setenv MOMF_DATAOUT <sti til output>
% Editor to use with MOMF:
setenv EDITOR nedit
```

Det næste du skal gøre er at rette i filen `.cshrc` der er en skjult fil der ligger i dit home-directory. Du kan redigere filen ved f.eks. at skrive `gedit .cshrc` i terminal-vinduet. Pas på, med ikke at rette i noget af det der står der i forvejen! Du skal bare tilføje følgende linje til filen:

```
source /usr/users/<brugernavn>/cshrc.<dit navn>
```

`<brugernavn>` er det brugernavn du logger ind med.

Efter at have gjort filerne i work-directory klar så de indeholder de rigtige input, er du nu klar til at køre MOMF.

A.1.2 Køre MOMF på serveren

Det første du skal gøre er at give lov til at der vises vinduer fra serveren på denne computer. Åbn et terminal-vindue og skriv:

```
xhost +
```

Du kan nu oprette SSH-forbindelsen til serveren:

```
ssh <server-navn>
```

`<server-navn>`'et skal jo så være navnet på den server du ønsker at benytte. Dette kan eksempelvis være *mblade*, *tuc47* eller *ocen*. Du vil her blive bedt om at give dit brugernavn og adgangskode og forbindelsen vil blive åbnet, og du kan nu sende kommandoer til serveren.

Det næste du skal gøre er så at fortælle serveren at den skal sende skærbilleder til computeren du sidder ved. Dette gøres ved at definere variabelen `DISPLAY` på følgende måde:

```
setenv DISPLAY <computer-navn>:0.0
```

Du skal her erstatte `<computer-navn>` med navnet på den computer du sidder ved - det står på en label på skærmen. Gå nu til dit work-directory med `cd`-kommandoen og kørs de enkelte MOMF-programmer ved at skrive:

```
./MOMF01.nosum eller ./MOMF01
./MOMF02
./MOMF03
```

Outputtet fra MOMF ligger nu i mappen du definerede `MOMF_DATAOUT` til.

Ved at vælge en mappe der ligger som undermappe til `win_home` kan du tilgå filerne fra en Windows-maskine (Z:-drevet). Vi benyttede os af dette til at analysere output-filerne fra MOMF med MATLAB, på en Windows-maskine, da det MATLAB der ligger på Linux-maskinerne er ret ustabil.

A.2 ds9 og IRAF

ds9 og IRAF udgør tilsammen et kraftigt værktøj til at analysere billeder. For at få det til at virke skal du gøre følgende: Log ind på serveren som beskrevet ovenfor og lav mappen `iraf` i dit home-directory. Åbn et terminal-vindue og gå ind i mappen og kørs kommandoen `mkiraf`:

```
mkiraf
Enter terminal type: xgterm
```

Du er nu klar til at starte ds9 og IRAF. Dette gør du ved at logge ind på serveren som beskrevet tidligere, og derefter kalde kommandoerne:

```
ds9 &
xgterm &
```

Disse starter ds9 og et xgterm-vindue. I xgterm-vinduet kan du nu aktivere IRAF ved at skrive:

```
cd iraf
cl
imexamine
```

`cl` står for *Command Language* og du kan, når du har aktiveret den, sende kommandoer, som f.eks. `imexamine`, til IRAF. `imexamine` starter muligheden for at lave plots via ds9. Du laver plots, ved at markere med musen i ds9 og trykke på en af tasterne listet i tabel 2. Når du ønsker at afslutte `cl` benyttes kommandoen `logout`.

<i>s</i>	Surface-plot
<i>e</i>	Kontur-plot
<i>r</i>	Radial profil
<i>j</i>	Vandret profil
<i>k</i>	Lodret profil

Tabel 2: Udvalgte IRAF-kommandoer

A.3 Fra en Windows-maskine

Det er faktisk muligt at køre programmer på serverne, uden at skulle bruge en Linux-workstation. Vha. programmet X-Win32² kan man fra Windows oprette en SSH-forbindelse til servere og køre programmer, også med grafisk interface. Programmet er også installeret på flere af instituttets Windows PC'ere.

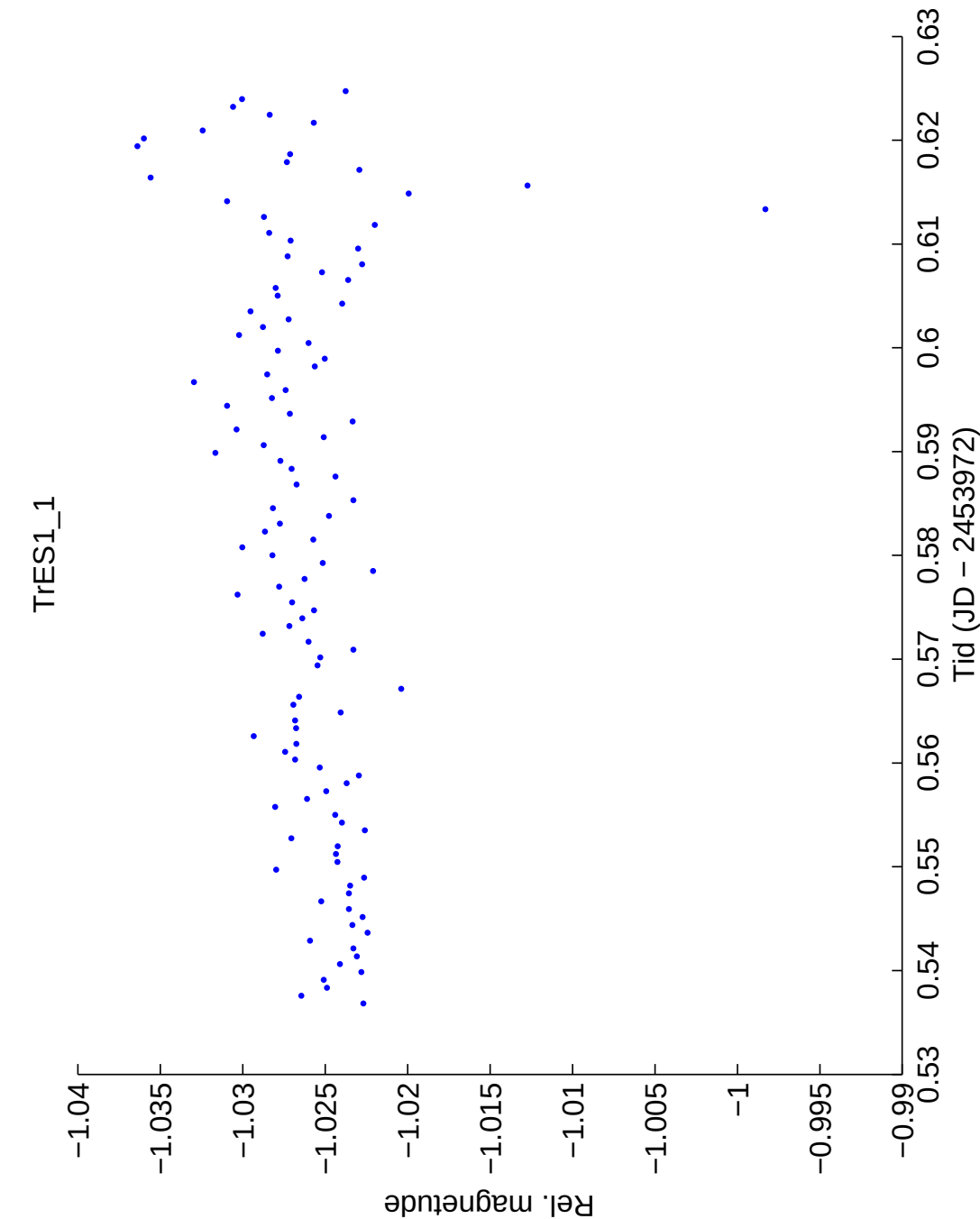
Programmet PuTTY³ fortjener i denne sammenhæng også lige at blive nævnt. I modsætning til X-Win32 er det gratis, man kan umiddelbart ikke køre programmer med grafisk interface. Men til bare at køre kommandoer, som f.eks. MOMF, kan programmet sagtens anvendes.

²X-Win32 kan hentes i prøve-version på <http://www.starnet.com>

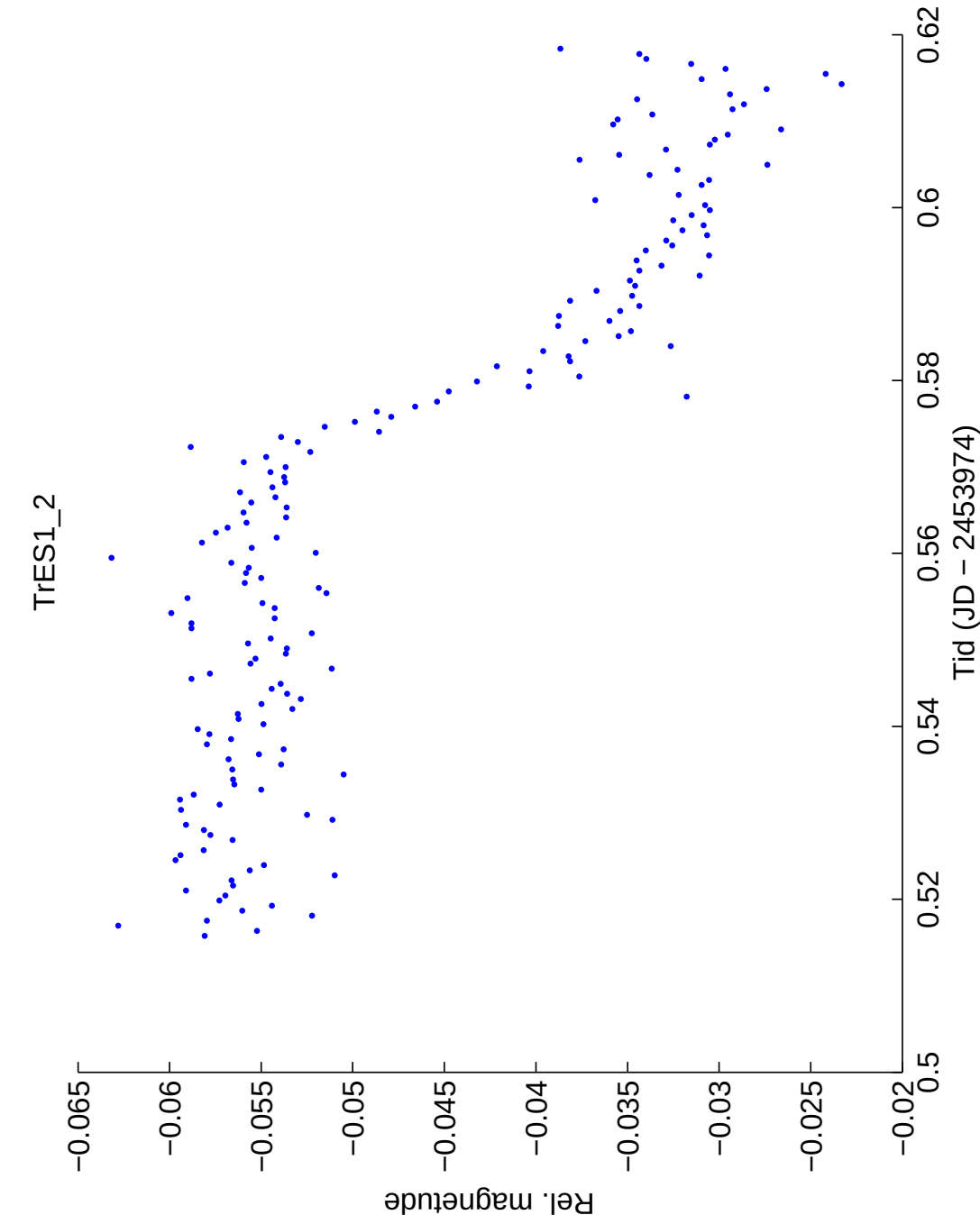
³PuTTY kan hentes på <http://www.chiark.greenend.org.uk/~sgtatham/putty/>

B Lyskurver

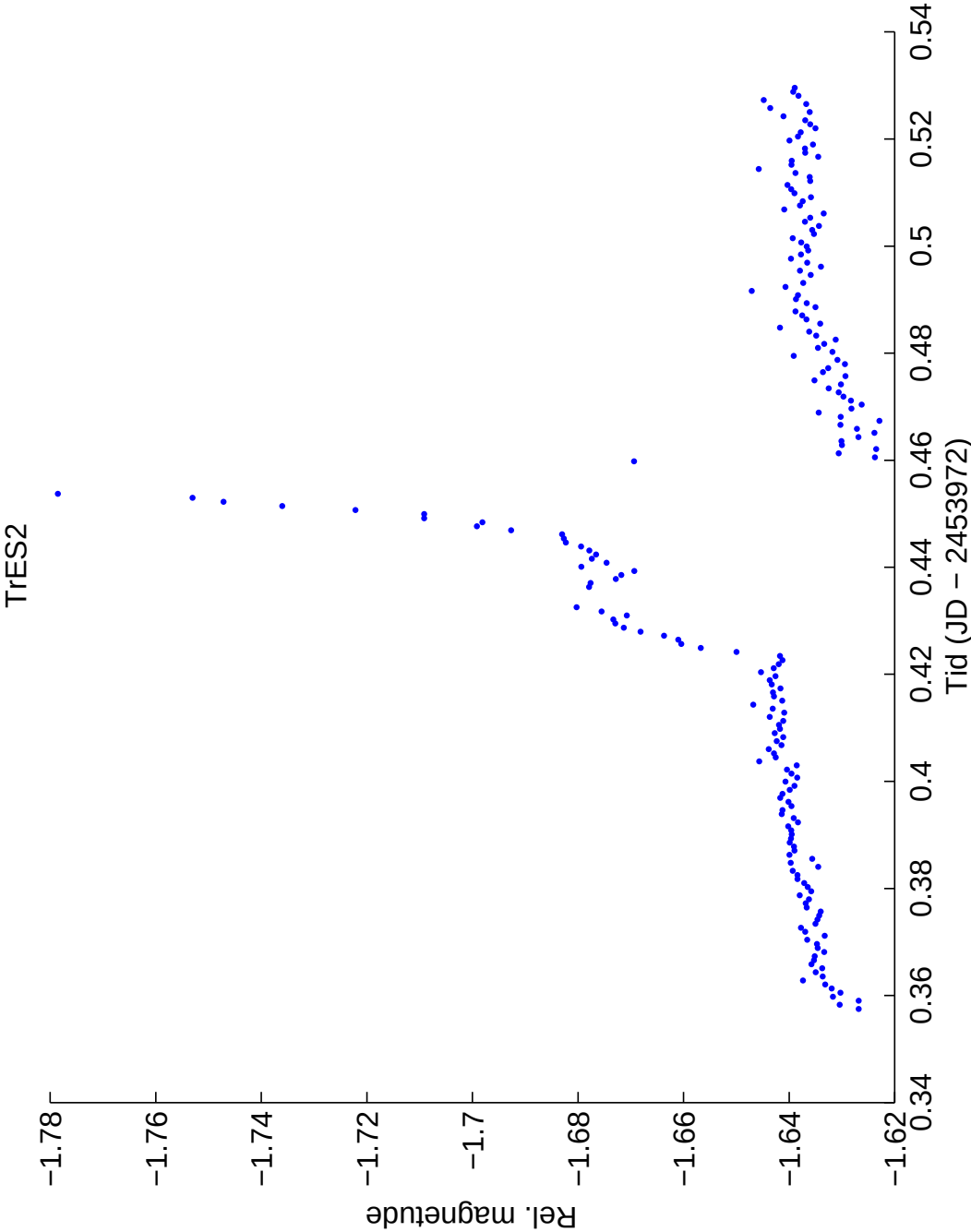
B.1 TrES1 (24/8/2006)



B.2 TrES1 (26/8/2006)



B.3 TrES2



B.4 HD 189733

