

Exoplanetdetektion med AstrolmageJ

Af Michael A. D. Møller. Januar 2026.

Indholdsfortegnelse

1 Indledning.....	2
2 Datasøgning.....	2
2.1 LCO.....	2
2.1.1 Objektet.....	2
2.2 Det fjernstyrede undervisningsteleskop, FUT.....	2
3 Udstyr.....	3
4 Lyskurver.....	3
4.1 Teori.....	3
5 Fremgangsmåde.....	4
5.1 Vinduernes anvendelse.....	4
5.1.1 Vinduet <i>Multi-plot-Y-data</i>	4
5.1.2 Vinduet <i>Multi-plot Main</i>	5
5.1.3 Vinduet <i>Plot of Measurements</i>	5
5.1.4 Vinduet <i>Multi-plot Reference Star Settings</i>	5
6 Databehandling.....	5
7 Programmer og data.....	5

Teksten er blevet tilpasset ifm. et astronomikursus i januar 2026. Kurset og arbejdstimerne er sponsoreret af Novo Nordisk-fonden.

1 Indledning

I denne øvelse skal du måle en lyskurve for en stjerne, når den krydses af en af sine planeter. Dataene kan du for eksempel hente hos Las Cumbres-observatorierne [5] eller FUT [9]. Du kan også selv observere, enten med FUT eller med et andet teleskop, og du kan finde egnede kandidater og observationstidspunkter på Swarthmores hjemmeside. [10]

Ud fra lyskurven og kendskab til stjernens masse og radius skal exoplanetens radius og baneinklination bestemmes.

2 Datasøgning

2.1 LCO

Besøg LCO, hvis link du kan finde i [5], og brug *Object*-feltet til at søge efter en exoplanet. Skriv f. eks. *Tres-1* eller *Tres-3*. De to søgeord bruges til at finde data for to forskellige exoplaneter. Kommer der ikke noget frem på skærme, så tryk på datointervallet øverst til venstre på webstedet og vælg *All Time*.

2.1.1 Objektet

Hvis du vælger et af ovenstående forslag til at søge efter billeder, ligger exoplaneten på et af koordinatsættene:

TrES-1: (α ; δ) = (19^h04^m09,8516^s; +36°37'57,445").

TrES-3:(α ; δ) = (17^h52^m07,0185^s; +37°32'46,237").



Illustration 1: Tegning af TrES-3. [6]

Information om observationsudstyret og billederne

Hvis du finder data hos LCO.global, så skal du sørge for at vælge data, der er reducerede, dvs. der er taget højde for elektronisk støj, ujævnheder i detektoren osv. Det gør du ved i punktet *Reduction Level* at vælge *BANZAI*.

Du skal også kun vælge billeder fra ét enkelt filter. Det kunne f.eks. være *w* eller *r_p*.

Du skal downloade mange billeder – gerne over 100, og der må gerne være ca. 1 minut mellem hvert billede. Du kan evt. starte med at downloade et par billeder og åbne dem i AstroImageJ, så du kan kontrollere om billederne er tydelige og ikke overeksponerede. Man kan tjekke for overbelysning ved at zoome ind på en stjerne, vælge linjeprofil og så trykke på *CTRL+K*. Hvis profilen er vandret i toppen er billedet overeksponeret, og du skal vælge billeder med kortere eksponeringstid eller billeder taget med en mindre kikkert. Der er vejledning til at lave et profilplot i filen *AstroImageJ-how to.pdf*, som findes på astro-gym.dk/Tekster. [11]

2.2 Det fjernstyrede undervisningsteleskop, FUT

Du kan også besøge FUT, og oprette en konto der. Derefter kan du søge efter billeder i dets dataarkiv, eller du kan søge om observationstid hos teleskopet. Det kræver naturligvis, at du kender en exoplanet, som udfører en transit indenfor observationsperioden. Sådant en kan du finde ved at anvende værktøjet, som nævnt i [10].

3 Udstyr

En computer med programmet *AstroImageJ* [1] samt et regneark eller tilsvarende databehandlingsprogram.

4 Lyskurver

En lyskurve er et diagram, hvor man aftegner den målte flux (lysstyrke) eller størrelsesklasse som funktion af observationstidspunktet. I denne øvelse kan du bruge den *relative tilsyneladende flux*, dvs. du måler stjernens lys i forhold til en eller flere referencestjerner, som *AstroImageJ* i første omgang selv vælger for dig. Ved at måle relativt til andre stjerner, får man mere præcise resultater. I eksemplet på illustration 2 kan man aflæse maksimum- og minimumlysstyrke samt transittiden, som er bredden af truget i grafen.

4.1 Teori

Når man måler en lyskurve, kan man aflæse den maksimale lysstyrke F_{maks} og lysstyrken F_{min} i bunden af kurven. Dermed kan den relative ændring i lysstyrken beregnes, og man kan dermed finde planetens radius i forhold til stjernens radius ved at benytte formlen

$$\Delta F_{rel} = \frac{F - F_t}{F} = \left(\frac{R_{planet}}{R_{stjerne}} \right)^2 \quad (1)$$

Formlen er udledt i noten *Exoplaneter*, som findes i [11].

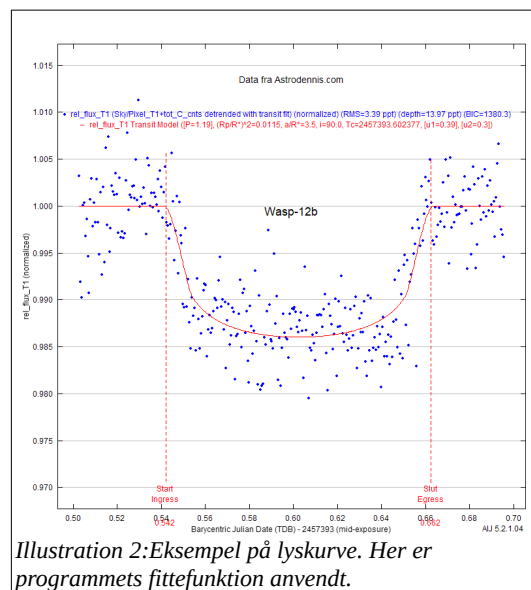


Illustration 2: Eksempel på lyskurve. Her er programmets fittefunktion anvendt.

Ved opslag på NASA Exoplanet Archive kan stjernens radius findes, og dermed kan exoplanetens absolutte radius også bestemmes. [4]

Hvis man har så lang en tidsserie, at man kan se to formørkelser, kan man aflæse planetens periode, P . Hvis datamængden ikke dækker over så lang en periode, må man søge efter planetens periode i [4]. Ved hjælp af planetens periode og kendskab til stjernens masse, kan man anvende Keplers 3. lov til at bestemme planetens halve storakse, a .

$$\frac{a^3}{P^2} = \frac{M_{stjerne}}{M_{sol}} \quad (2)$$

I formlen ovenfor skal perioden indsættes i enheden år, og den halve storakse får enheden AU. (En astronomisk enhed.)

Transittiden, T , kan aflæses som bredden af truget på lyskurven. Dermed kan planetens inklination, dvs. banehældning beregnes af formlen

$$i = \arccos \left(\pm \sqrt{\left(\frac{R_{stjerne} + R_{planet}}{a} \right)^2 - \sin^2 \left(\frac{\pi \cdot T}{P} \right)} \right) \quad (3)$$

Formlen er udledt i noten *Exoplaneter*. [11] Man skal ved beregningen naturligvis sørge for at R_1 og a har samme enhed, og det samme gælder for T og P . Lommeregneren skal også være indstillet til RAD.

5 Fremgangsmåde

Det kan være en fordel at hente vejledningen *AstroImageJ-how to.pdf* på <https://astro-gym.dk/Tekster>, inden databehandlingen starter. [11]

1. Indlæs billederne i *AstroImageJ*. (Brug funktionen *File-Import-Image Sequence*.)
2. I *billedvinduet*s koordinatfelt markeret med teksterne *RA* og *DEC*, skal du skrive koordinatsættet for den stjerne, som du vil undersøge. Dermed kommer en gul cirkel på skærmen, og hvis du zoomer ind (pil op/ned) på markeringscirklen, bør der være en stjerne i cirkelens centrum.
3. Vælg linje-ikonet og træk en linje tværs gennem stjernen. Tryk på *CTRL+K*. Et profilplot, der viser hvordan stjernens lys er spredt på billedet kommer frem, og du skal nu aflæse hvor stor radius blænden skal have, for at alt lyset fra stjernen bliver målt af computeren. Find også passende start- og slutværdi (R_1 og R_2) for den skal, hvor baggrundsslys måles. Luk derefter profilplottet og afmarker den tegnede linje.

Alternativt kan du pege på en stjerne og vælge *ALT+Venstreklik*. Tryk på *Save Apertures* nederst i grafvinduet.

4. Tryk nu på *Multiple Aperture Photometry*-knappen.
5. Start med kontrollere om blænderadius samt baggrundsskallens start- og slutværdi passer med dine ønskede værdier. Ret dem om nødvendigt.
6. Sørg for at der er ikke er hakket af i feltet *Use previous xx apertures*, og at der er hakket af i *Use Ra/Dec to locate aperture position*.
7. Klik på knappen *Aperture Settings*. Hvis du kender CCD gain, -readout noise og -dark current, så skriv dem ind. For FUT er Gain 0.330 og readout noise er 1.683.
8. Tryk på *Place Apertures* og tryk nu i midten af den gule markeringscirkel. Der skulle gerne blive skrevet bogstavet *T* samt et nr. (*T* betyder target.)

Programmet leder derefter efter referencestjerner, og man kan se status i det vindue, der åbner og som hedder *Multi Aperture Log*.

9. Hvis du ikke ønsker at tilføje en referencestjerne, skal du trykke på *ENTER*, hvorefter analysen af samtlige billeder starter. Bemærk, at der åbnes en masse vinduer.

I næste afsnit er kort beskrevet, hvad de forskellige vinduer bruges til.

5.1 Vinduernes anvendelse

5.1.1 Vinduet *Multi-plot-Y-data*

Her kan du vælge targetstjernen samt referencestjernerne. Vælg i første omgang dem alle sammen, da det er vigtigt at forvisse sig om at referencestjernerne ikke varierer i lysstyrke. Lad *X-data* være J.D.-2400000 og lad *Y-data* være *rel_flux_T1*, *rel_flux-C1* osv.

5.1.2 Vinduet *Multi-plot Main*

Her kan du vælge titler til billedet, og du kan skalere akserne. Du kan også læse en tidligere målt kurve ind, hvis du ønsker at redigere i grafer mv.

5.1.3 Vinduet *Plot of Measurements*

Kontroller at referencestjernernes grafer er vandrette. Finder du en stjerne, der ikke giver en vandret graf, så noter nummeret og besøg vinduet *Multi-plot Reference Star Settings* og fjern hakket for den pågældende stjerne.

5.1.4 Vinduet *Multi-plot Reference Star Settings*

Her kan du se hvilke stjerner, der bruges som referencestjerner, når den relative lysstyrke bliver beregnet. Du kan selv vælge, hvilke stjerner, du vil bruge.

Når du er tilfreds, så tryk på knappen *Save Table*. Den foreslår filnavnet *Measurements.xls*. Her bør du ændre fil-efternavnet så filen for eksempel kommer til at hedde *Målinger.csv*. I filen er samtlige data, du kan indlæse i et regneark for mere detaljeret databehandling. Bemærk at man i Danmark bruger komma som decimalseparator, og filen benytter punktum. Derfor skal du i Notesblok eller et tilsvarende tekstlæsningsprogram gøre følgende:

Søg efter alle kommaer og erstat dem med semikolon. Søg derefter efter alle punktummer og erstat dem med komma. Marker så teksten, indsæt den i Excel, vælg fanebladet *Data*, og vælg så *Tekst til kolonner*, hvis teksten ikke allerede er sat ind i kolonner.

6 Databehandling

Print grafen som pdf-fil og benyt Adobe Readers lineal-funktion til at bestemme F_{maks} , F_{min} og T . Giver dataene dig mulighed for det, så aflæs også P .

Benyt formlerne 1-3 til at beregne planetbanens halve storakse, planetens radius og inklinasjon.

Vurder nøjagtigheden af dine resultater og sammenlign dit resultat med resultater fra NASAs exoplanetarkiv. (Se kildelisten for websted.)

Hvis du vil gå meget avanceret til værks, kan du bruge *AstroImageJs* indbyggede graffittefunktion. Det vil føre for vidt, at gennemgå den her, men interesserede kan læse om den på astrodennis.com. [8]

7 Programmer og data

1. AstroImageJ: <https://astroimagej.com>
2. Aladin: <http://aladin.u-strasbg.fr/>
3. Spitzerdata: <http://www.euhou.net>
4. NASA Exoplanet Archive: <https://exoplanetarchive.ipac.caltech.edu/>
5. <https://archive.lco.global/>
6. https://www.robotplanet.dk/astro/exoplanets.php?p=TrES-3_b
7. paulanthonywilson.com
8. *A Practical Guide to Exoplanet Observing*. <https://astrodennis.com>
9. <https://fut.phys.au.dk/>
10. <https://astro.swarthmore.edu/transits/>
11. <https://astro-gym.dk/tekster>