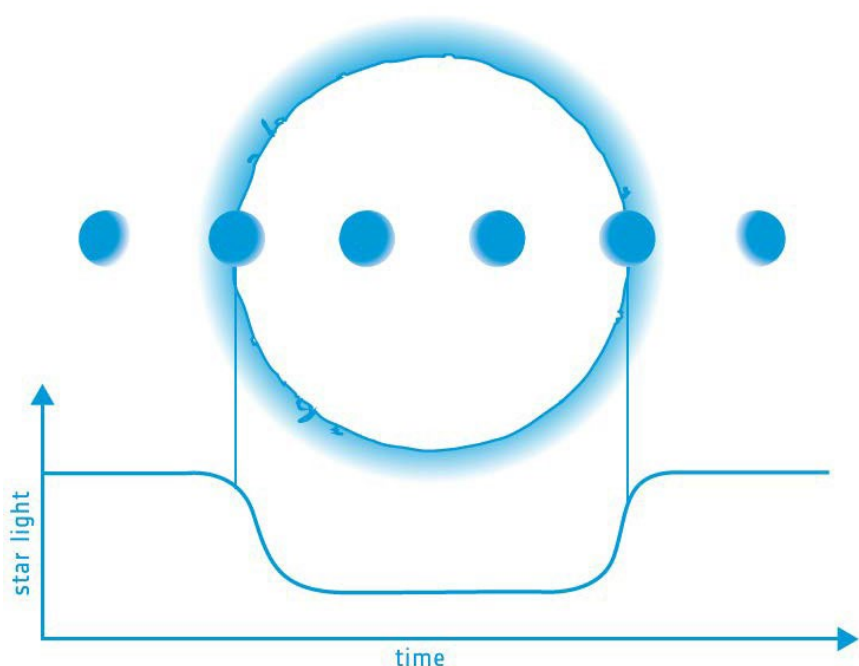
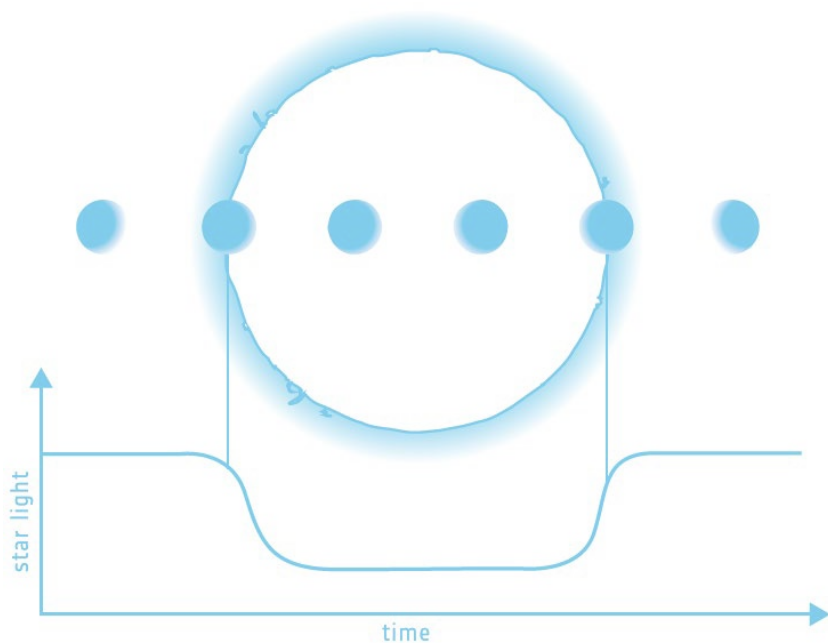


teach with space

→ EKSOPLANETDETEKTIV

Karakterisering av eksoplaneter ved hjelp av satellittdata





Lærerveiledning

Kjappe fakta	side 3
Sammendrag av aktiviteter	side 4
Innledning	side 5
Aktivitet 1: Å forstå lyskurver	side 6
Aktivitet 2: Å være en eksoplanetdetektiv	side 9
Arbeidsark for elever	side 11
Lenker	side 19

lære med verdensrommet – eksoplanetdetektiv | P31
www.esa.int/education

ESAs utdanningskontor tar gjerne imot tilbakemeldinger og kommentarer
teachers@esa.int

En ESA Education-produksjon
Copyright 2022 © Den europeiske romfartsorganisasjonen

→ EKSOPLANETDETEKTIV

Karakterisering av eksoplaneter ved hjelp av satellittdata

KJAPPE FAKTA

Fag: Matematikk, fysikk, astronomi

Aldersgruppe: 13-18 år

Type: Elevaktivitet, praktisk modellering

Vanskelighetsgrad: middels

Nødvendig leksjonstid: 45 minutter

Kostnad: lav (0-100 kr)

Sted: klasserom

Nøkkelord: Fysikk, matematikk, astronomi, eksoplaneter, lyskurver, passasjer, baner, skalering, grafer, periode

Kort beskrivelse

I dette settet med aktiviteter vil elevene lære hvordan forskere studerer eksoplaneter med teleskoper ved hjelp av transittmetoden. Videre skal de karakterisere eksoplaneter ved hjelp av modell- og reelle lysdata fra ESAs satellitt Cheops (CHaracterising ExOPlanet Satellite).

Studentene vil øve på plotting og tolkning av data og skalering av grafer i forbindelse med karakterisering av eksoplaneter.

Denne aktiviteten er en del av en serie som inkluderer "**Eksoplaneter i bevegelse**" der elevene bygger sin egen transittmodell og "**Eksoplanet på boks**" der elevene bygger en transittmodell inne i en skoese og beregner størrelsen på en eksoplanet.

Læringsmål

- Forstå hva eksoplaneter er og hvordan satellitter brukes til å undersøke dem.
- Forstå hvordan transittmetoden brukes til karakterisering av eksoplaneter.
- Forbedre eksperimentelle ferdigheter ved å observere og tolke målte lyskurver.
- Å tenke matematisk og konvertere en abstrakt modell til en reell modell.
- Tolke eksperimentelle data ved hjelp av matematiske modeller og plott.
- Å trekke konklusjoner ved å sammenligne en modell med et ekte eksoplanetsystem.
- Formidle vitenskapelige og matematiske funn til medelever.

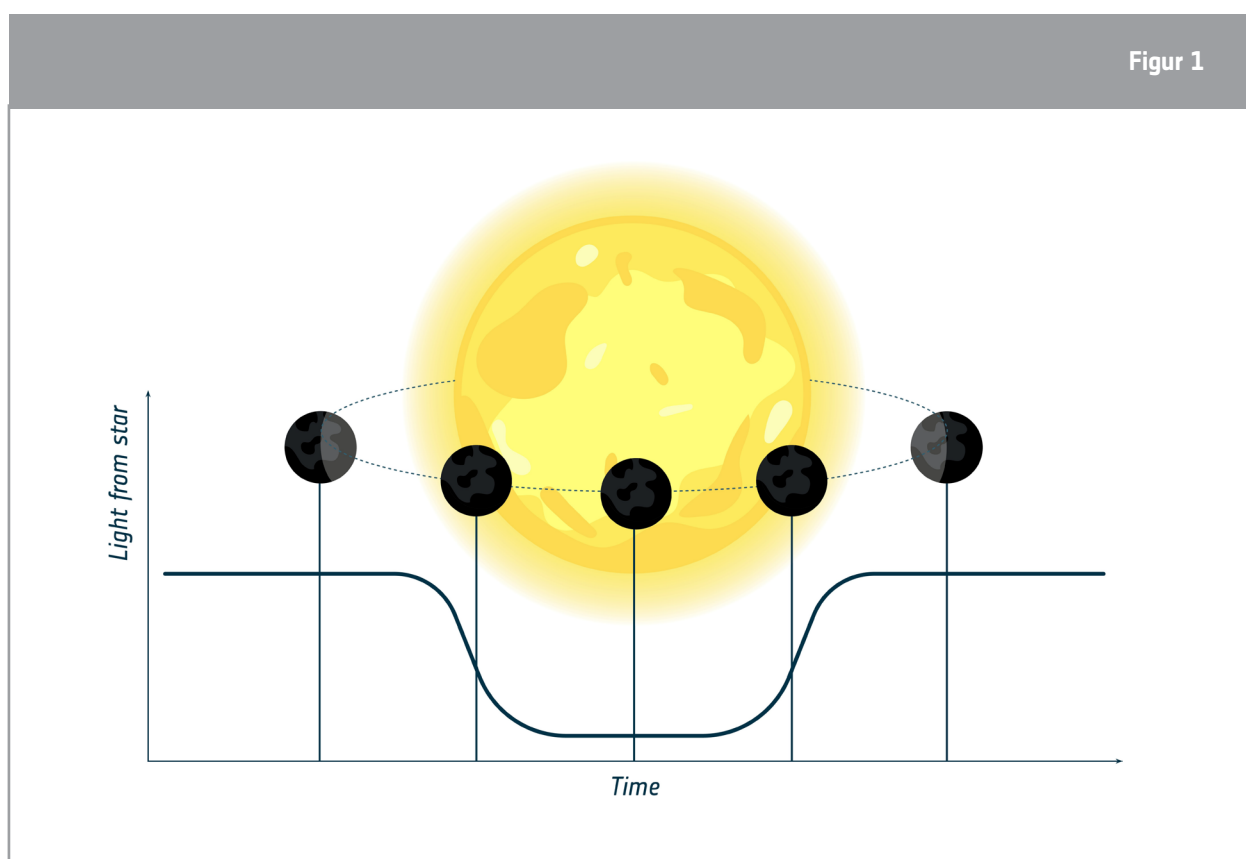
→ Sammendrag av aktiviteter

Sammendrag av aktiviteter					
	Tittel	Beskrivelse	Resultat	Forutsetninger	Tid
1	Forstå lyskurver	Analysere både simulerte og virkelige lyskurver for å finne ut hva slags informasjon de inneholder om modellen eller virkelige eksoplanetsystemer.	Forstå hvordan man skalerer grafer og hvorfor. Utvikle ferdigheter i å tolke grafer og bruke disse til å trekke konklusjoner om virkelige eksoplanetsystemer.	Ingen	30 minutter
2	Å være en eksoplanetdetektiv	Denne aktiviteten tar sikte på å oppsummere kunnskapen fra de foregående aktivitetene og beskrive hva forskere kan lære av lyskurver målt av satellitter.	Relater funnene fra en modell til den virkelige situasjonen ved hjelp av analogier.	Ingen	10 minutter

→ Innledning

I dette settet med aktiviteter vil vi fokusere på analyser av lyskurver oppnådd ved hjelp av transittmetoden. Denne metoden har blitt brukt til å oppdage og karakterisere mange av de eksoplanetene vi kjenner til i dag. Ved hjelp av denne teknikken måler teleskoper svært nøyaktig mengden lys som sendes ut av individuelle stjerner over tidsrom på timer til måneder. Denne målingen av lyset fra et objekt som en funksjon av tiden kalles en lyskurve (se figur 1). Ved å analysere formen på lyskurven og trekk ved den kan vi lære om både stjernen og eventuelle eksoplaneter som går i bane rundt den.

Når en eksoplanet passerer foran stjernen den går i bane rundt, blokkerer den en liten del av lyset fra stjernen - en såkalt passasje. Hvis et teleskop observerer lyset fra stjernen under denne passasjen, vil det måle et lite fall i lyskurven.



↑ Representasjon av nedgangen i lyskurven til en stjerne under en eksoplanetpassasje.

Dybden på fallet i lyskurven avhenger direkte av hvor stor prosentandel av lyset fra stjernen som blokkeres av den passerende eksoplaneten, som igjen avhenger av eksoplanetens størrelse i forhold til stjernen. Jo større planeten er i forhold til stjernen, jo mer av lyset vil den blokkere. Hvis vi kjenner størrelsen på stjernen, kan vi bestemme størrelsen på planeten.

→ Aktivitet 1: Forstå lyskurver

Denne øvelsen vil omfatte skalering og tolkning av grafer av både simulerte og virkelige satellittdata.

Som en introduksjon til eksoplaneter foreslås det å gjennomføre aktiviteten *Eksoplaneter i bevegelse*.

For å introdusere elevene for temaet eksoplaneter kan du også bruke videomateriale som er tilgjengelig i lenkene nedenfor, eller bruke bakgrunnsinformasjonen som en utfyllende ressurs.

Nedenfor finner du noen forslag til videomateriale fra ESA:

- Møt ekspertene - Andre verdener: https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2020/07/Møt_ekspertene_andre_verdener
- Møt Cheops, den karakteriserende eksoplanetsatellitten: [http://www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2019/12/Meet_Cheops_the_Characterising_Exoplanet_Satellite_\(engelsk\)](http://www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2019/12/Meet_Cheops_the_Characterising_Exoplanet_Satellite_(engelsk))
- Paxi utforsker eksoplaneter! https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2019/12/Paxi_explores_exoplanets

Når elevene har blitt introdusert for eksoplaneter, transittmetoden og Cheops, kan de arbeide med aktivitet 1 i elevarket.

Øvelse 1 - Skalering av grafer

Å forstå skalering av grafer er en viktig ferdighet i både matematikk og naturfag. I denne øvelsen vil elevene se et eksempel på ekte data fra Cheops-satellitten og bruke dette til å se hvordan grafer skaleres for å få mest mulig informasjon ut av dataene i dem.

I disse grafene vises lyset fra stjernen på y-aksen som en prosentandel av gjennomsnittsverdien målt fra denne stjernen i løpet av observasjonsperioden. Nøyaktig de samme dataene er plottet i begge grafene i denne øvelsen, men skaleringen (på y-aksene) er ulike.

Merk: Ettersom grafen viser lyset fra stjernen som en prosentandel av den gjennomsnittlige lysstyrkeverdien, anses denne gjennomsnittlige lysstyrken å være lik en verdi på 100 % på y-aksen. Hvis det oppstår hendelser under observasjonene som øker lysmengden som måles, for eksempel stjerneutbrudd, måles lysstyrkeverdier over gjennomsnittsmerket og vises i grafen som målinger over 100 %.

Diskusjon

Nedenfor finner du svarene på øvelse 1. Diskuter svarene sammen med skaleringsprinsippet med elevene dine.

1.1. Elevene bør gjenkjenne at passasjen er mye lettere å identifisere i figur 3 enn i figur 2, gå grunn av hvordan y-aksen er skalert.

1.2. I figur 2 ser lyskurven nesten konstant ut, mens figur 3 har en tydelig nedgang mellom time 6,5 og 10,75.

Tiden (timer) som vises på x-aksen, er den samme for begge grafene.

Verdiene for lyset fra stjernen (%) vist på y-aksen er forskjellige. I den første grafen varierer verdiene fra 0 % til 110 %, mens i den skalerte grafen der nedgangen er synlig, varierer verdiene fra 99,3 % til 100,1 %.

Øvelse 2 - Tolkning av lyskurver

I denne øvelsen får elevene eksempler på simulerte transittlyskurver og retningslinjer for hvordan de skal lese og tolke grafene for dem. Denne øvelsen kan gjennomføres i par eller individuelt.

Tilleggsinformasjon: Mengden stjernelys som blokkeres av planeten er direkte relatert til det projiserte arealet av planeten. Lyset som planeten blokkerer, er proporsjonalt med

$$\left(\frac{R_p}{R_s}\right)^2$$

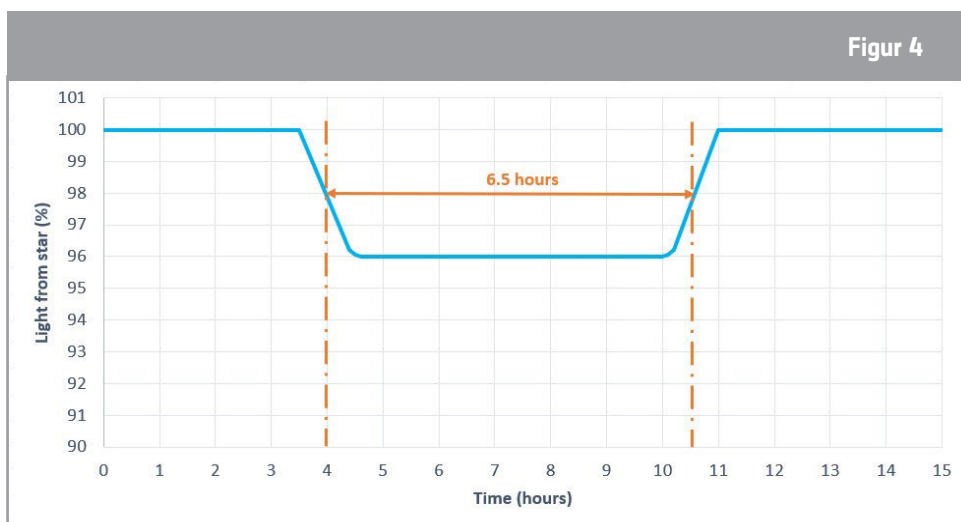
Der R_p er planetens radius, og R_s er radiusen til stjernen. Hvis en planet blokkerer dobbelt så mye lys, betyr ikke det at planeten er dobbelt så stor. For å blokkere dobbelt så mye lys må planeten være $\sqrt{2}$ (ca. 1,41) ganger større.

Diskusjon

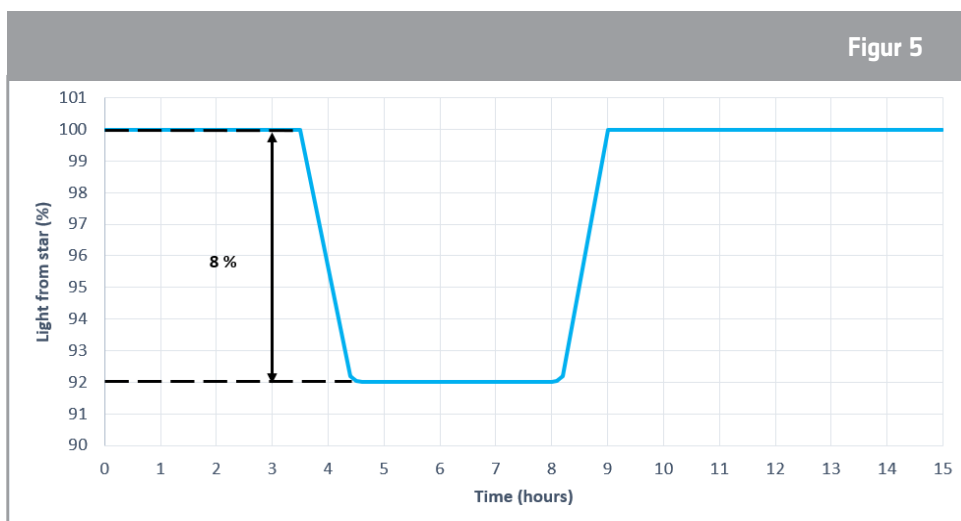
Nedenfor finner du svarene til øvelse 2:

- 2.1. Eksoplaneten som ble observert for å produsere denne lyskurven brukte **4,5 timer** på å passere foran stjernen, og den blokkerte **4 %** av lyset fra stjernen.

2.2.



2.3



Etter at elevene har fullført denne øvelsen alene eller i par, bør dere diskutere resultatene i klassen for å forberede elevene på å tolke ekte Cheopsdata.

Øvelse 3 - Tolkning av reelle satellittdata

I denne øvelsen skal elevene bruke begrepene de har lært i de foregående øvelsene til å tolke en transittlyskurve av WASP 189b observert med ESAs satellitt Cheops.

Diskusjon

Nedenfor finner du de riktige svarene til øvelse 3

- 3.1. 4,5 timer
- 3.2. 0,55 %

Ekstra informasjon:

Når elevene analyserer de virkelige dataene, vil de kanskje legge merke til noen forskjeller mellom de simulerte dataene og de virkelige dataene. Elevene kan ha spørsmål om tilpasningen eller hullene i lyskurven.

Tilpasning er prosessen med å konstruere en kurve basert på en matematisk funksjon som passer best til en serie datapunkter.

Det er to typer hendelser som inntreffer i løpet av Cheops' bane som gjør at vi til tider ikke kan måle lyset fra en stjerne kontinuerlig. Disse hendelsene skaper hull i lyskurven. Den første er når stjernen blokkeres av jorden, kjent som en jordokkultasjon. Den andre oppstår når Cheops passerer over et område i Sør-Atlanteren der det er mye forstyrrelser for de svært følsomme instrumentene om bord på satellitten. Forstyrrelsene har så stor effekt at forskerne ikke engang prøver å måle lyset fra stjernen når satellitten passerer over dette området.

Øvelse 4 - Omløpstid

Denne øvelsen fokuserer på hvordan omløpstiden kan bestemmes ut fra en lyskurve.

Merk: Omløpstiden til en planet er den tiden det tar planeten å fullføre et helt omløp rundt stjernen sin. Dette kan måles ved å finne sentrum for to påfølgende passeringer av samme eksoplanet og måle tidsintervallet mellom dem.

Diskusjon

Nedenfor finner du de riktige svarene.

- 4.1. 3 dager
- 4.2. I dette svaret bør elevene kunne beskrive med egne ord at det er to eksoplaneter vi kan oppdage i bane rundt den samme stjernen i dette eksoplanetsystemet. Videre bør svaret inkludere at de dypere fallene i kurven indikerer en større planet som har en omløpstid på 3 jorddøgn og blokkerer 2 % av lyset fra stjernen, og at de grunnere fallene i kurven indikerer en mindre planet som har en omløpstid på 2,5 jorddøgn og blokkerer 1 % av lyset. Hvis du har introdusert konseptet om at lyset som en eksoplanet blokkerer er proporsjonalt med

$$\left(\frac{R_p}{R_s}\right)^2$$

så bør elevene kunne identifisere at den større planeten derfor er 1,4 ganger større enn den mindre planeten.

→ Aktivitet 2 - Å være en eksoplanetdetektiv

I denne aktiviteten skal elevene bruke det de har lært ved å analysere de tidligere lyskurvene og tolke en observasjon av et eksoplanetsystem gjort av Cheops, som en ekte forsker.

Øvelse 1: Beskrive observasjoner av eksoplaneter

Setningene skal utfylles som følger:

Når en eksoplanet passerer mellom satellitten og stjernen, blokkerer den en liten del av lyset fra stjernen, noe som forårsaker et fall i lyskurven. Dette kalles en passasje.

Hvis flere baner av samme eksoplanet blir observert, er tidsintervallet mellom de oppdagede fallene i lyskurven et direkte mål på planetens omløpstid.

En større eksoplanet gir et dypere fall i den målte lyskurven, og en mindre eksoplanet gir et grunnere fall.

Individuelle eksoplaneter kan skilles fra hverandre ut fra dybden på fallene de produserer i lyskurven, og deres omløpstid.

Hvis du ønsker å utfordre elevene i klassen din, kan du la dem formulere konklusjonene sine med egne ord. Når du diskuterer elevenes egenformulerte konklusjoner, må du sørge for at observasjoner og konklusjoner ikke blandes sammen, og at konklusjonene følger av observasjonene.

Øvelse 2: Observasjon av eksoplaneter

I den andre øvelsen blir elevene bedt om å tolke ekte Cheops-data akkurat som en profesjonell forsker ville gjort. Hvis noen elever trenger hjelp, kan du støtte dem ved å stille spørsmålene nedenfor for å hjelpe dem med å strukturere tolkningen av lyskurven.

1. Hvor mange eksoplaneter har det observerte systemet?
2. Hva er omløpstiden/intervallet til hver enkelt eksoplanet?
3. Hvor mye lys (i %) blokkeres av hver eksoplanet?
4. Kan du si noe om eksoplanetens størrelse?
5. Ser du noe annet du legger merke til? Prøv å beskrive med egne ord og tolk om mulig.

Ekstra informasjon: TOI-178-systemet ligger bare 205 lysår fra Jorden. ESAs eksoplanetoppdrag Cheops har avslørt at det er et unikt planetsystem bestående av seks eksoplaneter, hvorav fem er låst i en sjelden rytmisk dans mens de går i bane rundt sin sentrale stjerne. Vær oppmerksom på at bare fire planeter kan identifiseres i dette datasettet (b, c, d og e).

Dette fenomenet kalles baneresonans, og det betyr at det er mønstre som gjentar seg når planetene går rundt stjernen, og med noen omløps mellomrom står også noen av planetene på linje. Du kan visualisere denne effekten i denne animasjonen: <https://youtu.be/-WevvRG9ysY>

De to indre planetene (b og c) har jordliknende tetthet, og de fire ytre planetene (d, e, f og g) er gassaktige, med tetthet som Neptun og Jupiter.

Selv om planetene i TOI-178-systemet går i bane rundt stjernen sin på en svært ordnet måte, følger ikke tettheten deres noe bestemt mønster. En av eksoplanetene, en tett, terrestrisk planet som Jorden, ligger rett ved siden av en planet av samme størrelse, men veldig luftig - som en mini-Jupiter, og ved siden av den er det en som ligner veldig på Neptun.

Karakterisering av eksoplaneter ved hjelp av satellittdata

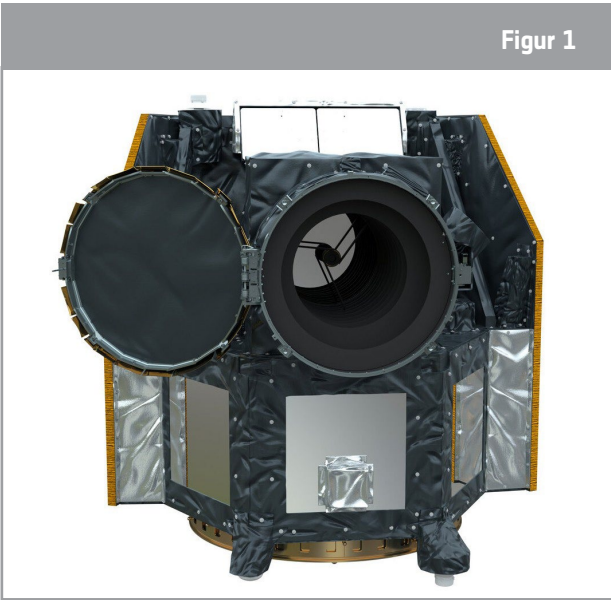
→ Innledning

Ved å studere et stort antall forskjellige eksoplaneter kan forskerne forstå hvordan eksoplanetsystemer dannes og utvikler seg. Dette er et viktig skritt på veien mot å forstå vårt eget solsystem og vår plass i universet.

I dette settet med aktiviteter vil du gjøre bruk av reelle data samlet inn av ESAs satellitt Cheops (CHaracterising ExOPlanet Satellite).

Gjennom nøyaktige målinger av lyskurvene til nærliggende stjerner som er kjent for å være vert for en passerende eksoplanet, kan Cheops bestemme størrelsen på disse eksoplanetene.

Ved å kombinere denne informasjonen med andre målinger, vil forskerne kunne bestemme tettheten til eksoplanetene. For noen spesifikke eksoplaneter kan vi til og med avgjøre om de har skyer.



Figur 1

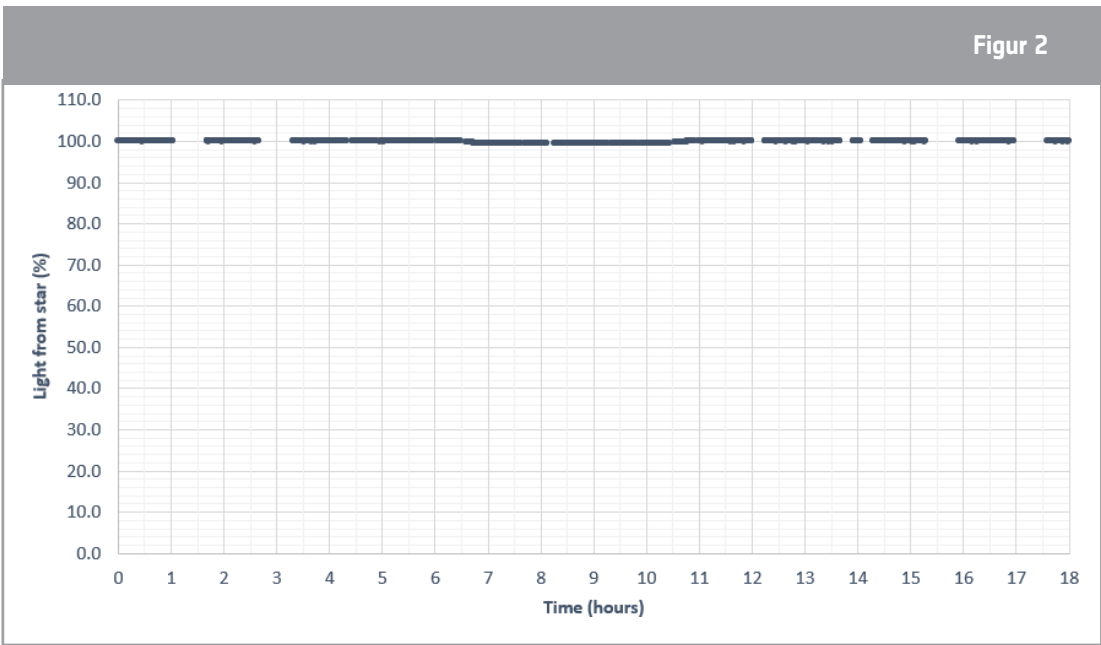
[↑ Cheops-satellitt](#)

→ Aktivitet 1: Forstå lyskurver

Når en satellitt observerer eksoplanetpassasjer, kan dybden, formen og posisjonen til fallene i en lyskurve gi oss informasjon om det eksoplanetariske systemet. I denne aktiviteten vil du utforske denne ideen videre ved hjelp av ekte Cheops-satellittdata.

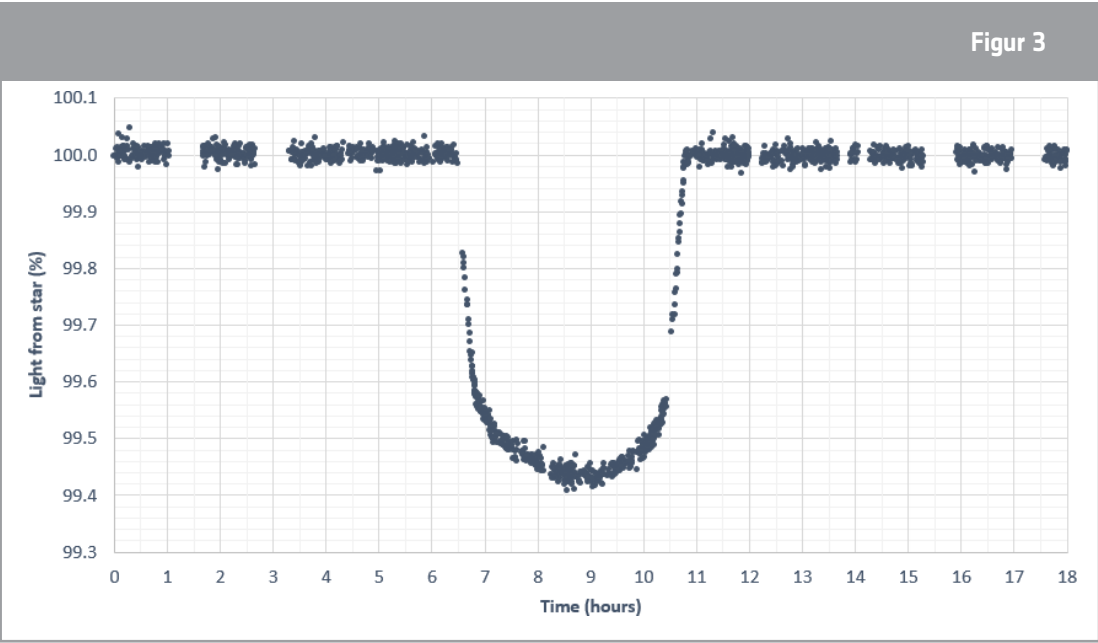
Øvelse 1 - Skalering av grafer

Eksoplaneter er vanligvis en liten brøkdel av størrelsen på stjernen de går i bane rundt, for eksempel er Jorda 1/100 av Solas størrelse, og Jupiter er 1/100 av Solas diameter. Mengden lys som blokkeres, er derfor ofte mindre enn én prosent av det totale lyset fra stjernen.



Figur 2

[↑ transittlyskurve av WASP 189b observert med Cheops.](#)



↑ Samme transittlyskurve for WASP 189b tatt med Cheops, med en annen skala på y-aksen.

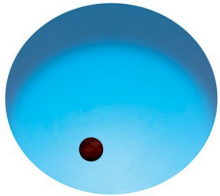
Se på transittlyskurven til WASP 189b, tatt med Cheops, vist i figur 2 og figur 3:

1.1. Kan du identifisere eksoplanetpassasjen i både figur 2 og figur 3?

1.2. Sammenlign begge grafene og beskriv forskjellene nedenfor:

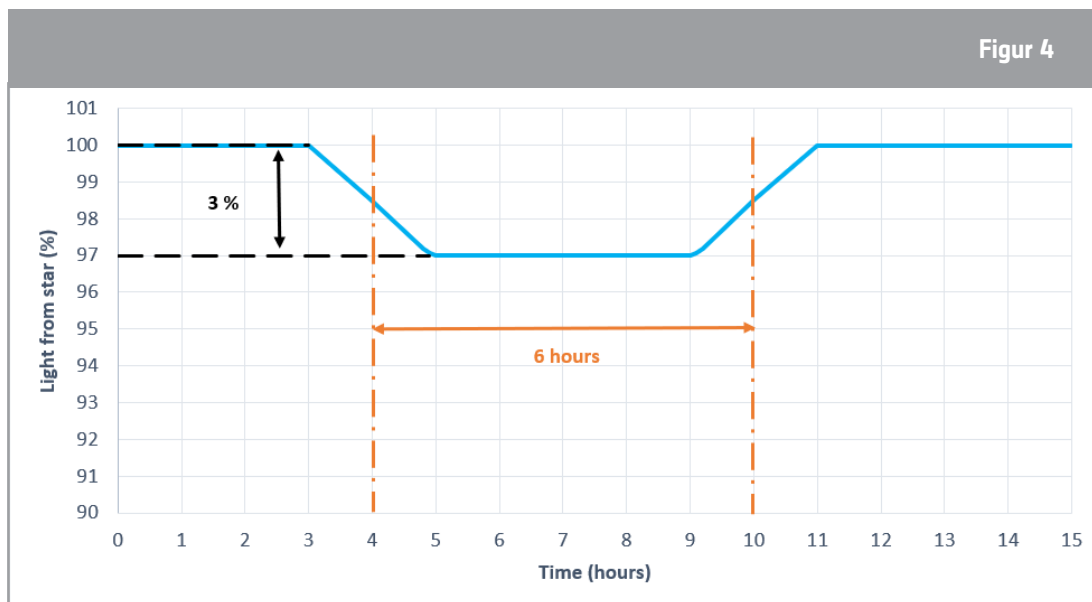
Visste du at

WASP 189 b er en stor eksoplanet med gass som er omtrent 50 % større enn Jupiter. Denne gigantiske eksoplaneten går i en bane på 2,7 jorddager rundt en stjerne som er mer enn 2000°C varmere enn solen vår, og nesten 2,5 ganger så stor.



Øvelse 2 - Tolkning av lyskurver

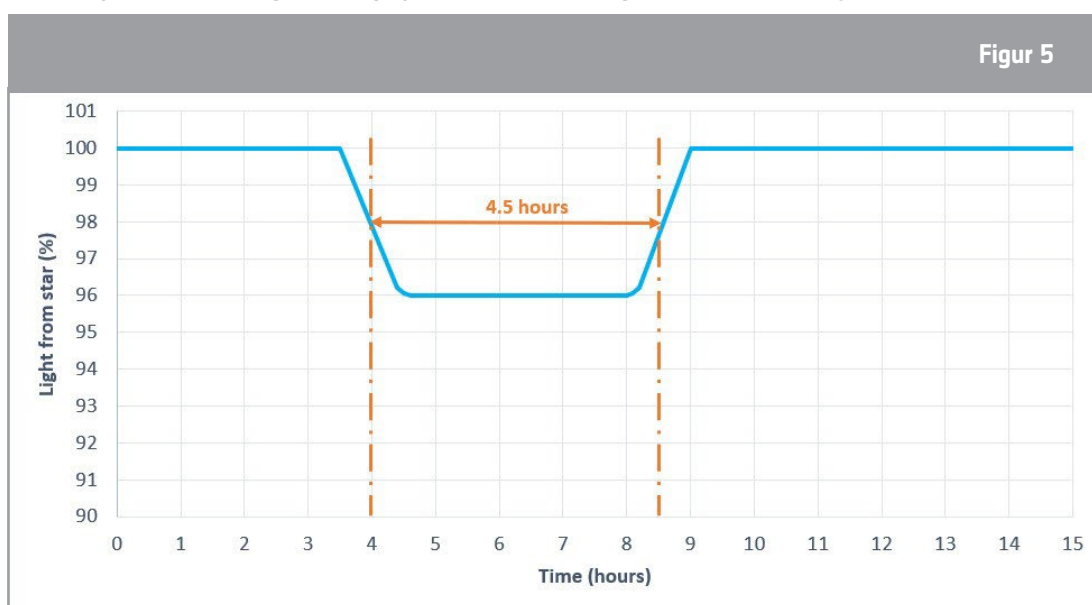
Nedenfor kan du se en forenklet fremstilling av lyskurven til en stjerne målt rundt tidspunktet for en eksoplanetpassasje. De stiplede linjene illustrerer hvordan du kan lese av noen av de grunnleggende opplysningene om eksoplanetsystemet fra grafen:



↑ Eksempel på en simulert lyskurve.

Vi kan fastslå fra lyskurven at eksoplaneten som ble observert brukte 6 timer på å passere foran stjernens, og blokkerte 3 % av stjernens lys.

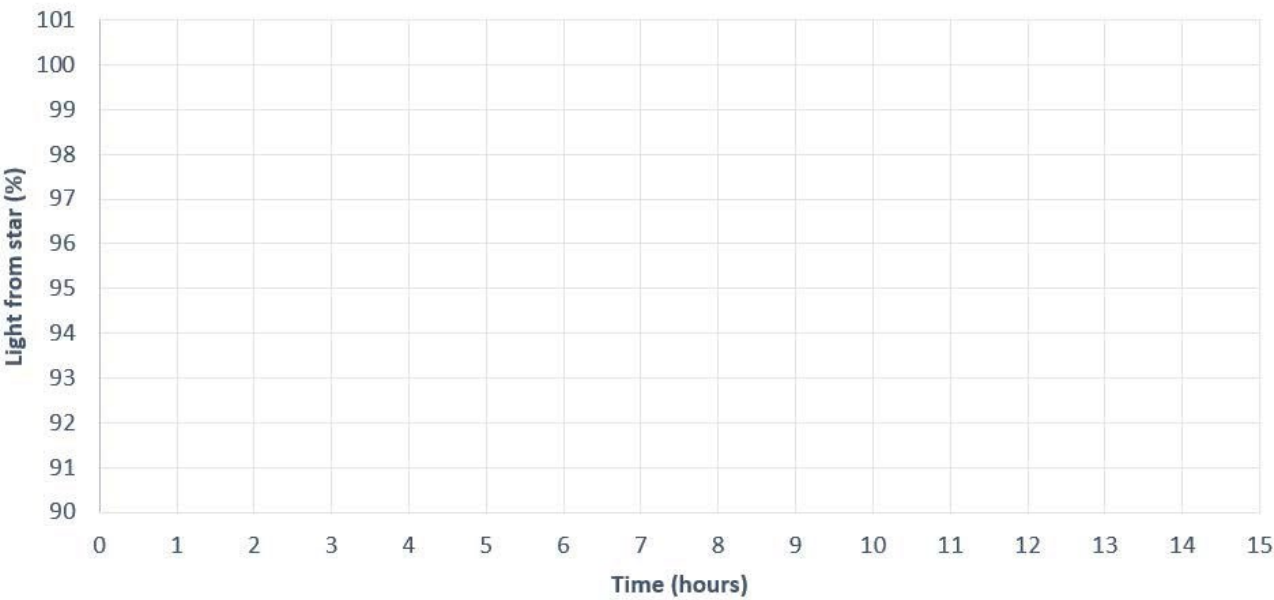
2.1. Undersøk lyskurven i figur 5, og fyll inn den manglende informasjonen.



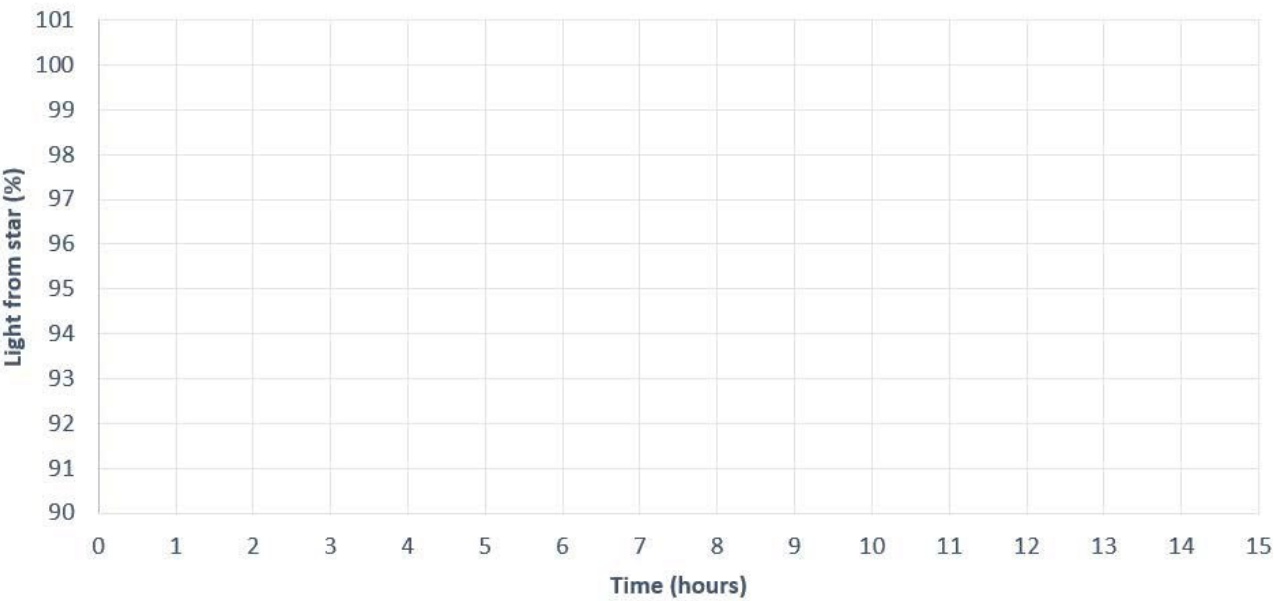
↑ Simulert lyskurve.

Eksoplaneten som ble observert for å produsere denne lyskurven brukte _____ timer for å passere foran stjernens, og den blokkerte _____% av lyset fra stjernens.

2.2. Skiss opp den forventede lyskurven for en eksoplanet som er like stor som den i figur 5, men som bruker to timer lenger på å passere:

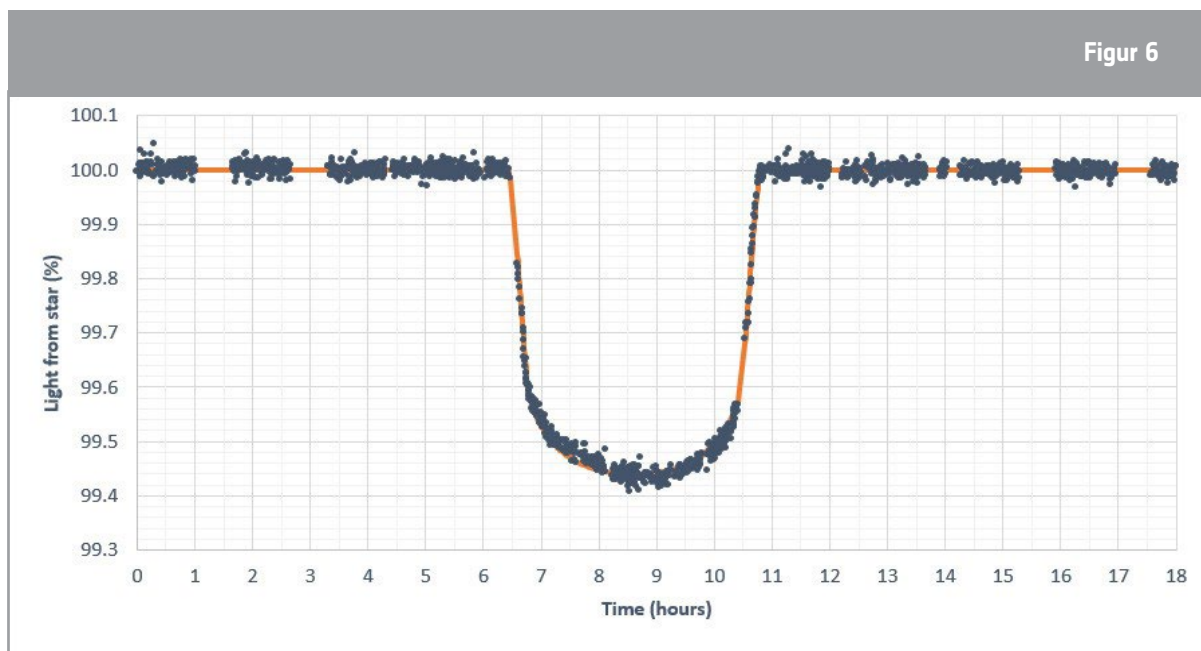


2.3. Tegn lyskurven for en annen eksoplanet som går i bane rundt den samme stjernen som i figur 5. Eksoplaneten er større enn den forrige eksoplaneten, og den blokkerer dobbelt så mye lys. Anta at eksoplaneten bruker samme tid på å passere stjernen som den i figur 5:



Øvelse 3 - Tolkning av reelle satellittdata

Ved hjelp av det du har lært så langt, kan du nå analysere WASP 189 b-transittlyskurven fra Cheops som du så tidligere i øvelsen (figur 3).



↑ transittlyskurve for WASP 189 b, inkludert modellen med best passform.

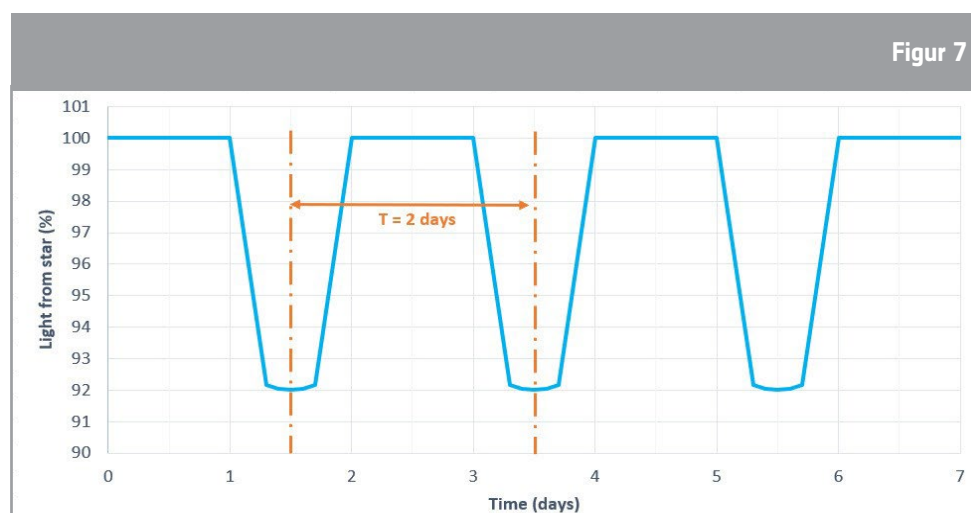
- 3.1. Omtrent hvor lang tid bruker WASP 189 b på å passere sin vertsstjerne? _____
- 3.2. Omtrent hvor stor prosentandel av stjernelyset blokkerer WASP 189 b? _____

Øvelse 4 - Omløpstid

Hver gang en eksoplanet passerer sin vertsstjerne, vil det være et fall i lyskurven. Hvis en stjerne observeres lenge nok til at eksoplaneten fullfører mer enn ett omløp, vil det være mer enn ett fall i lyskurven.

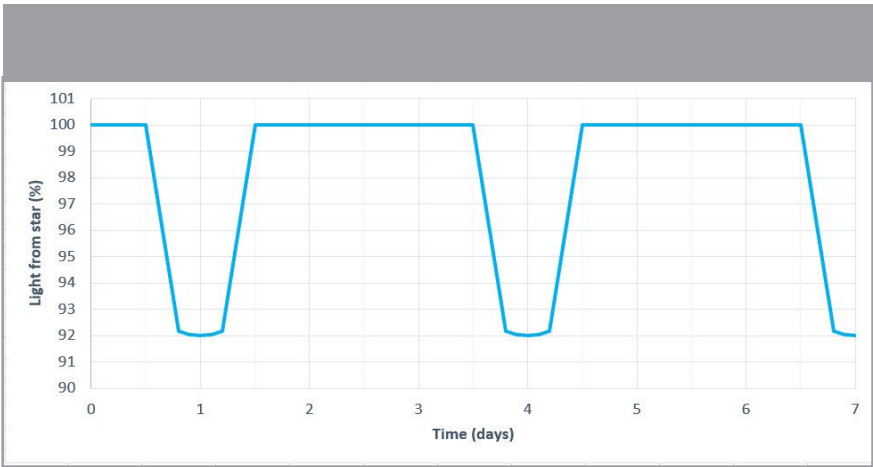
Tidsintervallet mellom den første bølgedalen og den neste er eksoplanetens **omløpstid (T)**.

Figur 7 er en simulert lyskurve over en periode på 1 uke. I løpet av denne tiden passerte den simulerte planeten tre ganger. Ved å måle avstanden mellom bølgedalene i lyskurven ser vi at planetens omløpstid er 2 dager.



↑ Simulert lyskurve, inkludert flere transitter.

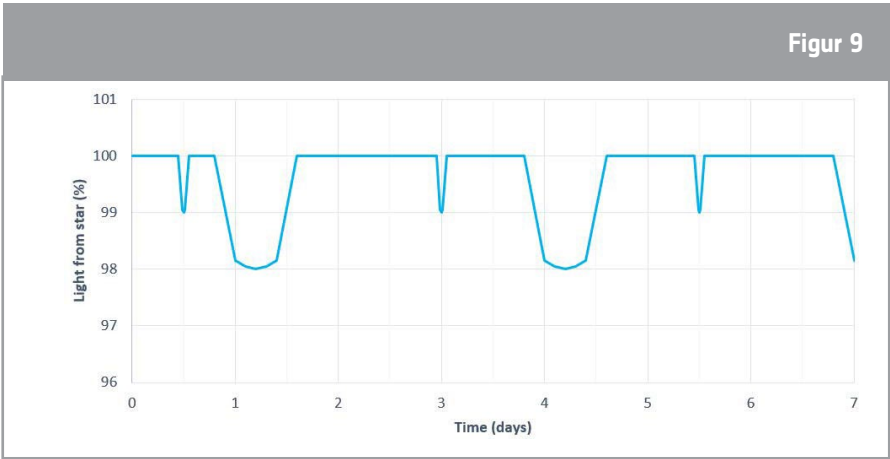
4.1. Studer figur 8 nedenfor:



↑ Forenklet skisse av en lyskurve.

Hva er omløpstiden til eksoplaneten som vises i lyskurven med passeringer i figur 8?

4.2. Ved hjelp av ferdighetene du har lært så langt, hva kan du si om eksoplanetsystemet som ble observert for å produsere lyskurven vist i figur 9:



↑ Forenklet skisse av en lyskurve med flere transitter.

→ Aktivitet 2 - Å være en eksoplanetdetektiv

Du er nå klar til å analysere virkelige observasjoner som en ekte eksoplanetforsker og oppsummere det du har lært. Du skal sammenligne observasjonene dine fra ditt eget eksoplanetsystem med observasjoner av virkelige eksoplanetsystemer gjort med Cheops.

Øvelse 1: Beskrive observasjoner av eksoplaneter

Fyll ut hullene med ordene fra ordskyen for å oppsummere det du har lært. Hvert ord vil bare bli brukt én gang.

satellitten	større	grunnere	stjernen	passasje
periode	baner	dybden	fall	mindre
				tidsintervall

Når en eksoplanet passerer mellom _____ og stjernen, blokkerer den en liten del av lyset fra _____ og forårsaker et _____ i lyskurven. Dette kalles en _____.

Hvis flere _____ av den samme eksoplaneten blir observert, er _____ mellom de oppdagede fallene i lyskurven et direkte mål for planetens omløpstid.

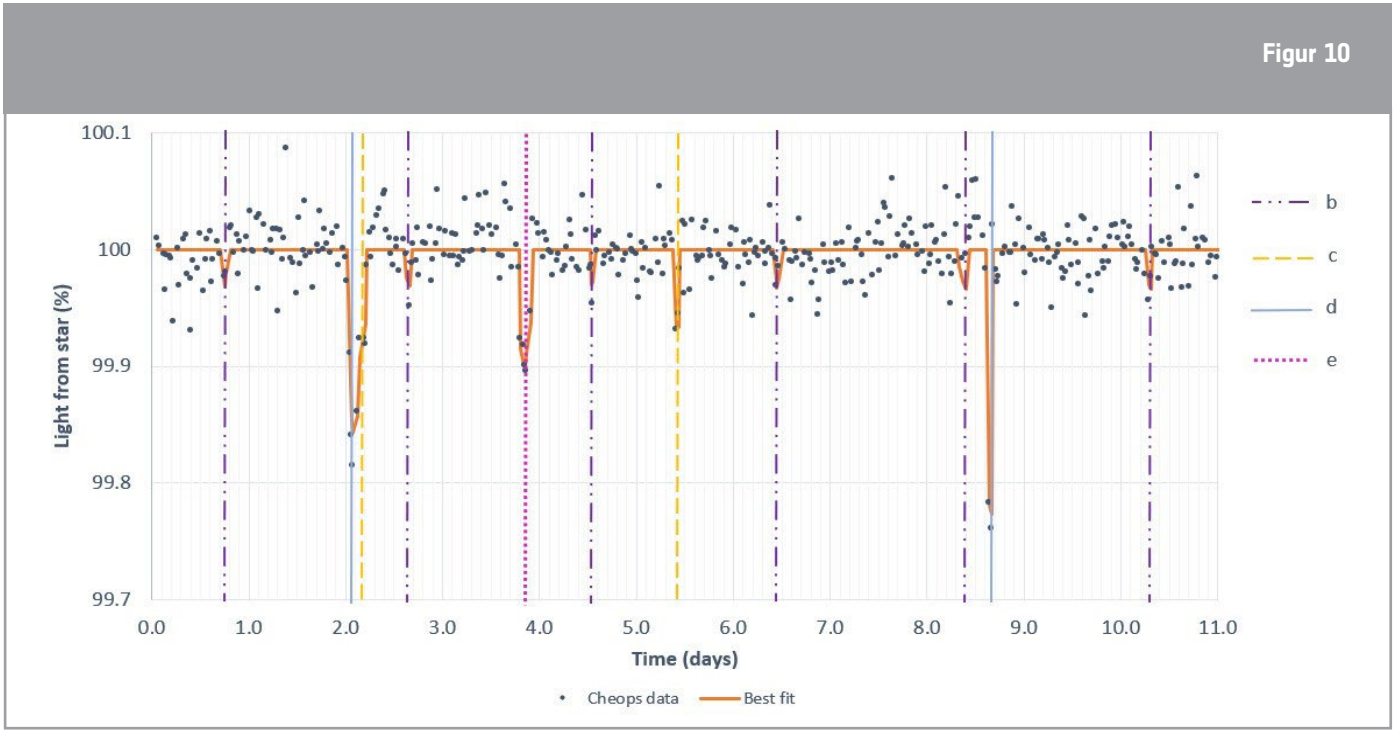
En _____ eksoplanet gir en dypere fall i den målte lyskurven og en _____ eksoplanet gir en _____ fall.

Individuelle eksoplaneter kan skilles fra hverandre ut fra _____ på fallene de produserer i lyskurven, og deres _____.

Øvelse 2: Observasjon av eksoplaneter

Du er nå klar til å tolke denne lyskurven for TOI-178-systemet observert med Cheops over en 11-dagers periode.

Analyser lyskurven i figur 10 og beskriv hvilken informasjon du kan hente fra dette datasettet.



↑ Lyskurve fra TOI-178-systemet observert av Cheops

→ Lenker

ESAs ressurser

ESAs klasseromsressurser

esa.int/Education/Classroom_resources (på engelsk)

Lær med eksoplaneter

esa.int/Education/Teach_with_Exoplanets (på engelsk)

Møt Cheops: den karakteriserende eksoplanetsatellitten

esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2019/12/Meet_Cheops_the_Characterising_Exoplanet_Satellite

Møt ekspertene-serien - Andre verdener

esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2020/07/Meet_the_Experts_Other_worlds

Paxi utforsker eksoplaneter!

esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2019/12/Paxi_explores_exoplanets

Hack en eksoplanet

hackanexoplanet.esa.int

ESAs romprosjekter

ESAs tidslinje for eksoplanetoppdrag

<http://sci.esa.int/exoplanets/60649-exoplanet-mission-timeline>

Cheops - Karakterisering av ExOPlanet-satellitten

esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Cheops

Webb - James Webb-romteleskopet

esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Webb

Oppdagelse av eksoplaneter

med Gaia

<https://sci.esa.int/s/WEmoOnW>

PLATO - Planetariske transitter og stjerners svingninger

sci.esa.int/plato

ARIEL - Atmospheric Remote-sensing Infrared Exoplanet Large-survey

sci.esa.int/ariel (engelsk)

Ekstra informasjon

Kunstneranimasjon av TOI-178-systemets baner og

resonanser <https://youtu.be/-WewvRGgysY>