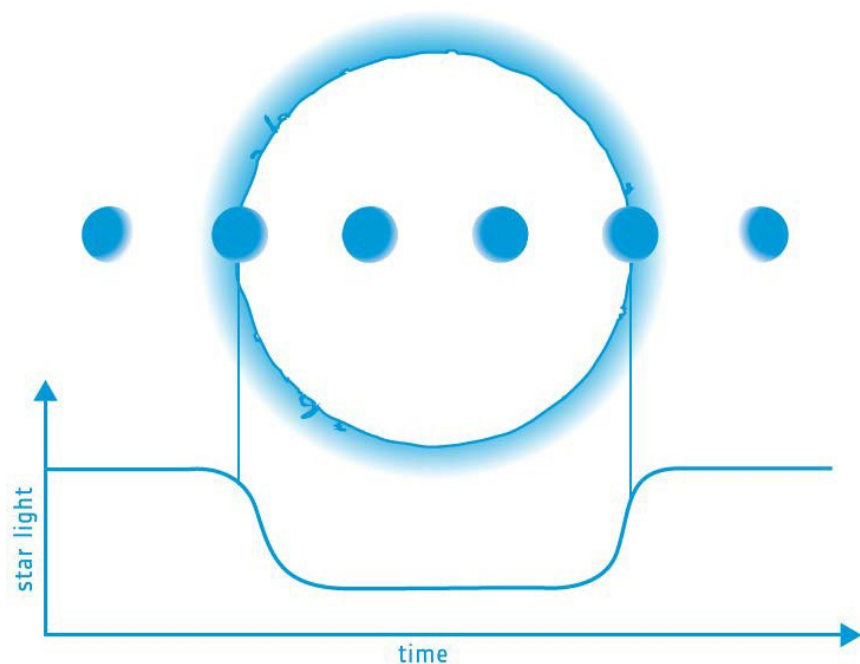
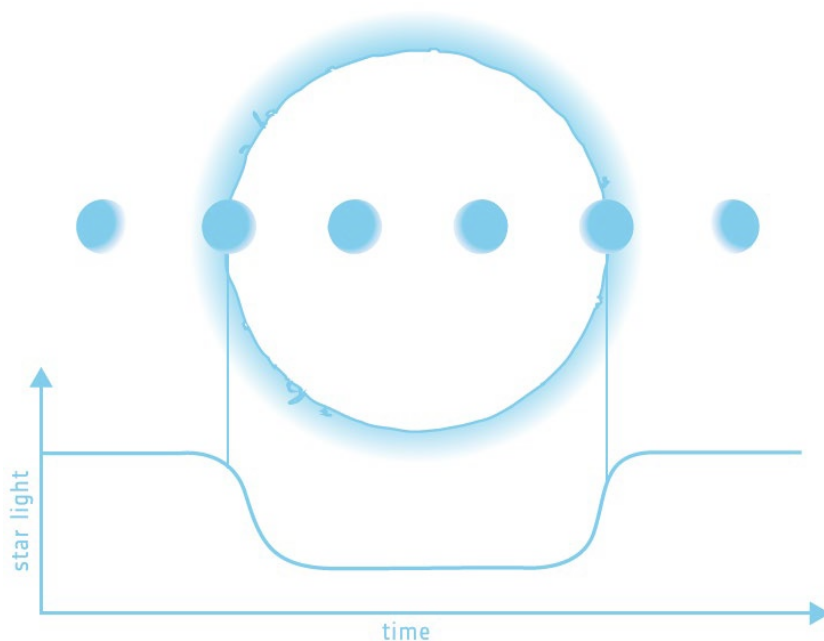


undervis med rummet

→ EXOPLANET DETEKTIV

Karakterisering af exoplaneter ved hjælp af satellitdata





Vejledning for lærere

Hurtige fakta	side 3
Resumé af aktiviteterne	side 4
Indledning	side 5
Aktivitet 1: Forståelse af lyskurver	side 6
Aktivitet 2: At være exoplanetdetektiv	side 9
Arbejdsark for studerende	side 11
Links	side 19

undervis med rummet - detektiv om exoplaneter | P31
www.esa.int/education

ESA's uddannelseskantor modtager gerne feedback og kommentarer
teachers@esa.int

En ESA Education produktion
 Copyright 2022 © Den Europæiske Rumorganisation

→ EXOPLANET DETEKTIV

Karakterisering af exoplaneter ved hjælp af satellitdata

FAKTA FAKTA

Emneord: Matematik, Fysik, Astronomi

Aldersgruppe: Alder: 13-18 år

Type: Elevaktivitet, hands-on modellering

Sværhedsgrad: medium

Nødvendig undervisningstid: 45 minutter

Pris: lav (0-75kr)

Sted: klasseværelse

Nøgleord: Fysik, matematik, astronomi, exoplaneter, lyskurver, transits, baner, skalering, grafer, periode

Kort beskrivelse

I dette sæt aktiviteter lære eleverne, hvordan forskere undersøger exoplaneter med teleskoper ved hjælp af transitmetoden. Desuden skal de karakterisere exoplaneter ved hjælp af model- og virkelige satellit-lyskurvedata fra ESA's satellit Cheops (CHaracterising ExOPlanet Satellite).

Eleverne skal øve sig i at plotte og fortolke data og i at skalere grafer i forbindelse med karakterisering af exoplaneter.

Denne aktivitet er en del af en serie, der omfatter "**Exoplanets i bevægelse**", hvor eleverne bygger deres egen transitmodel, og "**Exoplanets i en æske**", hvor eleverne bygger en transitmodel inde i en skotøjsæske og beregner størrelsen af en exoplanet.

Læringsmål

- Forståelse af, hvad exoplaneter er, og hvordan satellitter undersøger dem.
- Forståelse af, hvordan transitmetoden anvendes til karakterisering af exoplaneter.
- Forbedring af eksperimentelle færdigheder ved at observere og fortolke målte lyskurver.
- At tænke matematisk og omdanne en abstrakt model til en reel model.
- Fortolkning af eksperimentelle data ved hjælp af matematiske modeller og plot.
- Lave konklusioner ved at sammenligne en model med et virkeligt exoplanetsystem.
- Formidling af videnskabelige og matematiske resultater til jævnaldrende.

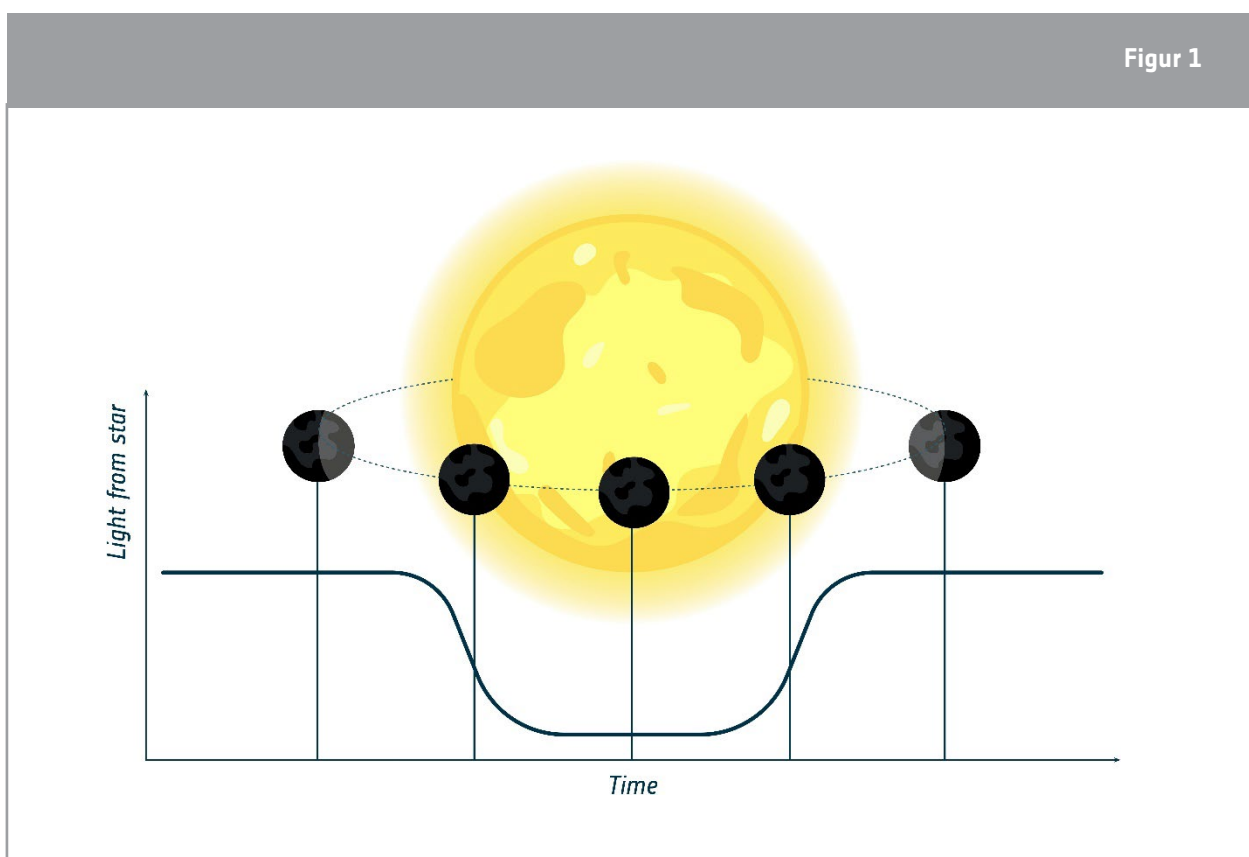
→ Oversigt over aktiviteter

Oversigt over aktiviteter					
	Titel	Beskrivelse	Resultater	Krav	Tid
1	Forståelse af lyskurver	Analysere både fremstillede og virkelige lyskurver for at afgøre, hvilke oplysninger de indeholder om model- eller virkelige exoplanetære systemer.	Forstå, hvordan man skalerer grafer og hvorfor. Udvikle færdigheder i at fortolke grafer og bruge dem til at drage konklusioner om virkelige exoplanetære systemer.	Ingen	30 minutter
2	At være en exoplanetdetektiv	Denne aktivitet har til formål at opsummere den viden, der er opnået i de foregående aktiviteter, og beskrive, hvad forskerne kan lære af lyskurver, der er målt af satellitter.	Sæt resultaterne fra en model i relation til den virkelige situation ved hjælp af analogier.	Ingen	10 minutter

→ Indledning

I dette sæt af aktiviteter vil vi fokusere på analyser af lyskurver, der er lavet ved hjælp af transitmetoden. Denne metode er blevet brugt til at finde og karakterisere mange af de exoplaneter, der er kendt til dato. Ved hjælp af denne teknik måler teleskoper, meget præcist mængden af lys, der udsendes af de enkelte stjerner over tidsrum på timer til måneder. Denne måling af lyset fra et objekt som en funktion af tiden er kendt som en lyskurve (se figur 1). Ved at analysere lyskurvens form og informationer i den kan vi lære noget om både stjernen og eventuelle exoplaneter, der kredser om den.

Når en exoplanet passerer foran den stjerne, den kredser om, blokerer den en lille del af lyset fra stjernen - det kaldes en transit. Hvis et teleskop observerer lyset fra stjernen under denne transit, vil det måle et lille dyk i lyskurven.



↑ Repræsentation af dyk i lyskurven for en stjerne under en exoplanets transit.

Dybden af dykningen afhænger direkte af, hvor stor en procentdel af lyset fra stjernen der blokeres af den forbigående exoplanet, hvilket afhænger af størrelsen af exoplaneten i forhold til stjernen. Jo større planeten er i forhold til stjernen, jo mere af lyset vil den blokere. Hvis vi kender stjernens størrelse, kan vi bestemme planetens størrelse.

→ Aktivitet 1: Forstå lyskurver

Denne øvelse omfatter skalering og fortolkning af grafer af både simulerede og virkelige satellitdata.

Som en introduktion til exoplaneter foreslås det at gennemføre aktiviteten *Exoplaneter i bevægelse*.

For at introducere eleverne til emnet exoplaneter kan du også bruge det videomateriale, der er tilgængeligt på nedenstående links, eller bruge baggrundsinformationen som en supplerende ressource.

Nedenfor er nogle forslag til ESA-videomateriale:

- Mød eksperterne - Andre verdener:
https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2020/07/Meet_the_Experts_Other_worlds
- Mød Cheops, den karakteriserende exoplanetsatellit:
https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2019/12/Meet_Cheops_the_Characterising_Exoplanet_Satellite
- Paxi udforsker exoplaneter!
https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2019/12/Paxi_explores_exoplanets

Når eleverne er blevet introduceret til exoplaneter, transitmetoden og Cheops, kan de gennemgå aktivitet 1 i elevopgavearket.

Øvelse 1 - Skalering af grafer

Det er en vigtig færdighed i både matematik og naturvidenskab at forstå skalainddelingen af grafer. I denne øvelse vil eleverne se et eksempel på virkelige data fra Cheops-satellitten og bruge det til at se, hvordan grafer skaleres for at få mest mulig information ud af dataene i dem.

I disse grafer er lyset fra stjernen på y-aksen vist som en procentdel af den gennemsnitlige værdi, der er målt fra den pågældende stjerne i observationsperioden. De nøjagtig samme data er vist i begge grafer i denne øvelse, men de har hver en anden skala.

Bemærk: Da grafen viser lyset fra stjernen som en procentdel af den gennemsnitlige lysstyrkeværdi, anses denne gennemsnitlige lysstyrke for at være lig med en værdi på 100 % på y-aksen. Hvis der under observationerne sker hændelser, som øger den lysmængde, der måles, f.eks. stjernesud, måles lysstyrken over gennemsnitsmærket, og de repræsenteres i grafen som målinger over 100 %.

Diskussion

Nedenfor er svarene til opgave 1. Diskuter svarene sammen med eleverne om skaleringsprincippet.

1.1. Eleverne bør erkende, at det er meget lettere at identificere transit i figur 3 end i figur 2 på grund af den anderledes skalering af y-aksen.

1.2. I figur 2 ser lyskurven næsten konstant ud, mens der i figur 3 ses et fald i procentdelen af lyset fra stjernen i kurven mellem 6,5 og 10,75 timer.

Den tid (timer), der vises på x-aksen, er den samme for begge grafer.

Værdierne af lyset fra stjernen (%) på y-aksen er forskellige. I den første graf ligger værdierne mellem 0 % og 110 %, mens værdierne i den skalerede graf, hvor dykningen er synlig, ligger mellem 99,3 % og 100,1 %.

Øvelse 2 - Fortolkning af lyskurver

I denne øvelse får de studerende eksempler på simulerede transit-lyskurver og retningslinjer for, hvordan man kan læse og fortolke graferne for dem. Denne øvelse kan gennemføres i par eller individuelt.

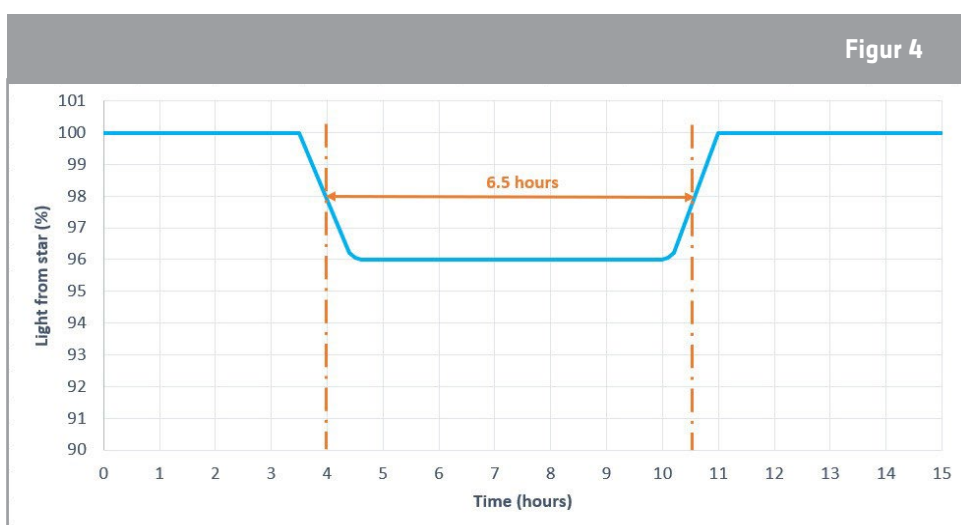
Yderligere information: mængden af stjernelys, der blokeres af planeten, er direkte relateret til planetens forventede areal. Det lys, som planeten blokerer, er proportionalt med R_p^2/R_s^2 , hvor R_p er planetens radius, og R_s er radius af stjernen. Hvis en planet blokerer dobbelt så meget lys, betyder det ikke, at planeten er dobbelt så stor: for at blokere dobbelt så meget lys skal planeten være $\sqrt{2}$ (= ca. 1,41) gange større.

Diskussion

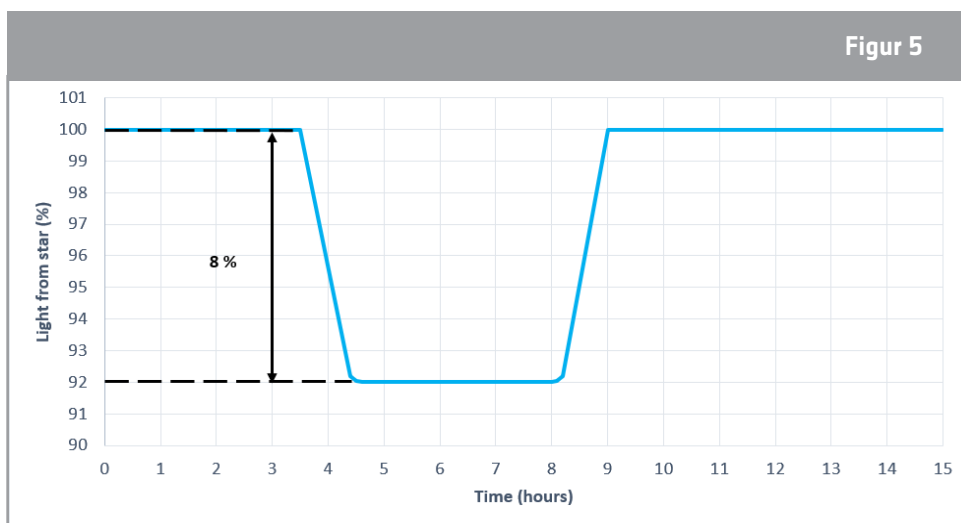
Find svarene til opgave 2 nedenfor:

2.1. Den exoplanet, der blev observeret for at lave denne lyskurve, tog **4,5 timer** om at passere foran stjernen, og den blokerede **4 % af lyset** fra stjernen.

2.2.



2.3



Når eleverne har gennemført denne øvelse alene eller parvis, kan du diskutere resultaterne i klassen for at forberede eleverne på at fortolke rigtige Cheops-data.

Øvelse 3 - Fortolkning af reelle satellitdata

I denne øvelse skal eleverne bruge de begreber, de har lært i de foregående øvelser, til at fortolke en transit-lyskurve af WASP 189b, der er observeret med ESA's satellit Cheops.

Diskussion

Find de rigtige svar nedenfor.

- 3.1. 4,5 timer
- 3.2. 0.55%

Yderligere oplysninger:

Når de studerende analyserer de reelle data, vil de måske bemærke nogle forskelle mellem de simulerede data og de reelle data. Eleverne kan have spørgsmål vedrørende tilpasningen eller hullerne i lyskurven.

Fitting er processen med at lave en kurve baseret på en matematisk funktion, der passer bedst til en række datapunkter.

Der er to typer hændelser, som sker i løbet af Cheops' kredsløb, og som betyder, at vi til tider ikke kan måle lyset fra en stjerne kontinuerligt. Disse hændelser skaber huller i lyskurven. Den første er, når stjernen er blokeret af Jorden, hvilket kaldes en jord-okkultation. Den anden opstår, når Cheops passerer over et område i det sydlige Atlanterhav, hvor der er store forstyrrelser for de meget følsomme instrumenter om bord på satellitten. Forstyrrelserne har så stor effekt, at forskerne ikke engang forsøger at måle lyset fra stjernen, når satellitten passerer gennem dette område.

Øvelse 4 – Omløbstid

Denne øvelse fokuserer på, hvordan man kan bestemme omløbstiden ud fra en lyskurve.

Bemærk: En planets omløbstid er den tid, det tager planeten at gennemføre et fuldt kredsløb omkring sin stjerne. Dette kan måles ved at finde centrum for to på hinanden følgende gennemløb af den samme exoplanet og måle tidsintervallet mellem dem.

Diskussion

Find de rigtige svar nedenfor.

- 4.1. 3 dage
- 4.2. I dette svar skal eleverne, med deres egne ord, kunne beskrive, at der er to exoplaneter som vi kan registrere, der kredser om den samme stjerne i dette exoplanetsystem. Desuden skal svaret omfatte, at de dybere dyk i kurven indikerer en større planet, der har en periode på 3 jorddage og blokerer 2 % af lyset fra stjernen, og at de mindre dyk i kurven indikerer en mindre planet, der har en omløbstid på 2,5 jorddage og blokerer 1 % af lyset. Hvis du har introduceret begrebet, at det lys, som en exoplanet blokerer, er proportionalt med R_p^2/R_s^2 så bør eleverne være i stand til at identificere, at den større planet derfor er 1,4 gange større end den mindre planet.

→ Aktivitet 2 - At være en exoplanetdetektiv

I denne aktivitet skal eleverne anvende det, de har lært fra analysen af de foregående lyskurver, og fortolke en observation af et exoplanetært system, som Cheops har lavet, som en rigtig videnskabsmand.

Øvelse 1: Beskrivelse af observationer af exoplaneter

Sætningerne skal udfyldes på følgende måde:

Når en exoplanet passerer mellem satellitten og stjernen, blokerer den en lille del af lyset fra stjernen og forårsager et dyk i lyskurven. Dette kaldes en transit eller planetpassage.

Hvis der observeres flere baner for den samme exoplanet, er tidsintervallet mellem de registrerede dyk i lyskurven et direkte mål for planetens omløbstid.

En større exoplanet giver et dybere dyk i den målte lyskurve, og en mindre exoplanet giver et mindre dyk.

Individuelle exoplaneter kan skelnes fra hinanden ved dybden af de dyk, de giver i lyskurven, og ved deres omløbstid.

Hvis du gerne vil udfordre eleverne i din klasse, kan du lade dem formulere deres konklusion med deres egne ord. Når du diskuterer dine elevers selvformulerede konklusioner, skal du sikre dig, at observationer og konklusioner ikke blandes sammen, og at deres konklusioner følger op på observationerne.

Øvelse 2: Observation af exoplaneter

I den anden øvelse bliver eleverne bedt om at fortolke rigtige Cheops-data, ligesom en professionel videnskabsmand ville gøre det. Hvis nogle elever har brug for hjælp, kan du støtte dem ved at stille de spørgsmål, der er vist nedenfor, for at hjælpe dem med at strukturere fortolkningen af lyskurven.

1. Hvor mange exoplaneter findes der i det observerede system?
2. Hvad er omløbstiden/intervallet for hver exoplanet?
3. Hvor meget lys (i %) er blokeret af hver enkelt exoplanet?
4. Kan du sige noget om størrelsen af exoplaneterne?
5. Kan du se noget andet, der er bemærkelsesværdigt? Prøv at beskrive med dine egne ord og fortolk, hvis det er muligt.

Yderligere oplysninger: TOI-178-systemet ligger kun 205 lysår fra Jorden. ESA's exoplanetmission Cheops har afsløret, at det er et unikt planetsystem bestående af seks exoplaneter, hvoraf de fem er låst fast i en sjælden rytmisk dans, mens de kredser om deres centralstjerne. Bemærk venligst, at der i dette datasæt kun kan identificeres 4 planeter (b, c, d og e).

Dette fænomen kaldes orbital resonans, og det betyder, at der er mønstre, der gentager sig selv, når planeterne kredser om stjernen, og at nogle af planeterne er på linje med hinanden med få omløbstider. Du kan se det visualiseret i denne animation: <https://youtu.be/-WevvRGgysY>

De to indre planeter (b og c) har en massefylde, svarende til Jorden, og de fire ydre planeter (d, e, f og g) er gasformige og har en massefylde som Neptun og Jupiter.

Mens planeterne i TOI-178-systemet kredser om deres stjerne på en meget ensartet måde, følger deres tætheder ikke noget bestemt mønster. En af exoplaneterne, en tæt, jordisk planet som Jorden, ligger lige ved siden af en planet af samme størrelse, men meget luftig - som en mini-Jupiter, og ved siden af den ligger en planet, der minder meget om Neptun.

→ EXOPLANETER DETEKTIV

Karakterisering af exoplaneter ved hjælp af satellitdata

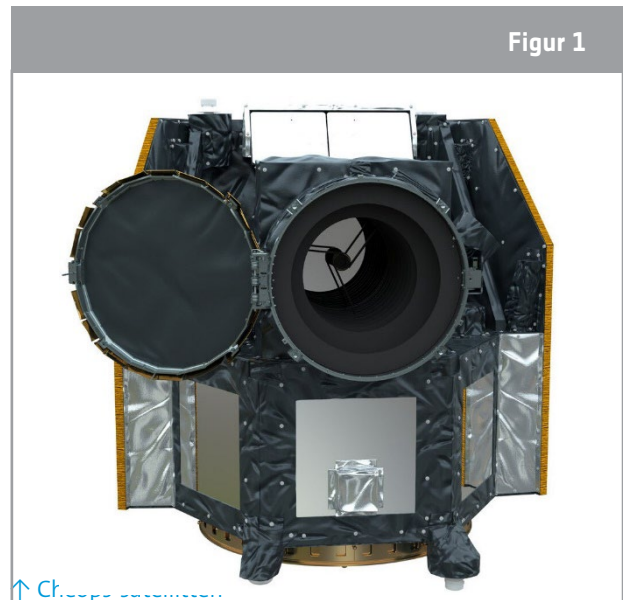
→ Indledning

Ved at studere et stort antal forskellige exoplaneter kan forskerne forstå, hvordan exoplanetsystemer dannes og udvikler sig. Dette er et vigtigt skridt på vejen mod at forstå vores eget solsystem og vores plads i universet.

I denne række aktiviteter vil du gøre brug af virkelige data, der er indsamlet af ESA's satellit Cheops (CHaracterising ExOPlanet Satellite).

Ved at foretage præcise målinger af lyskurverne for nærliggende stjerner, som man ved, er en exoplanet på vej gennem rummet, kan Cheops bestemme størrelsen af disse exoplaneter. Ved at kombinere disse oplysninger med andre målinger vil forskerne kunne bestemme

exoplaneternes tæthed. For nogle specifikke exoplaneter kan vi endda afgøre, om de har skyer.

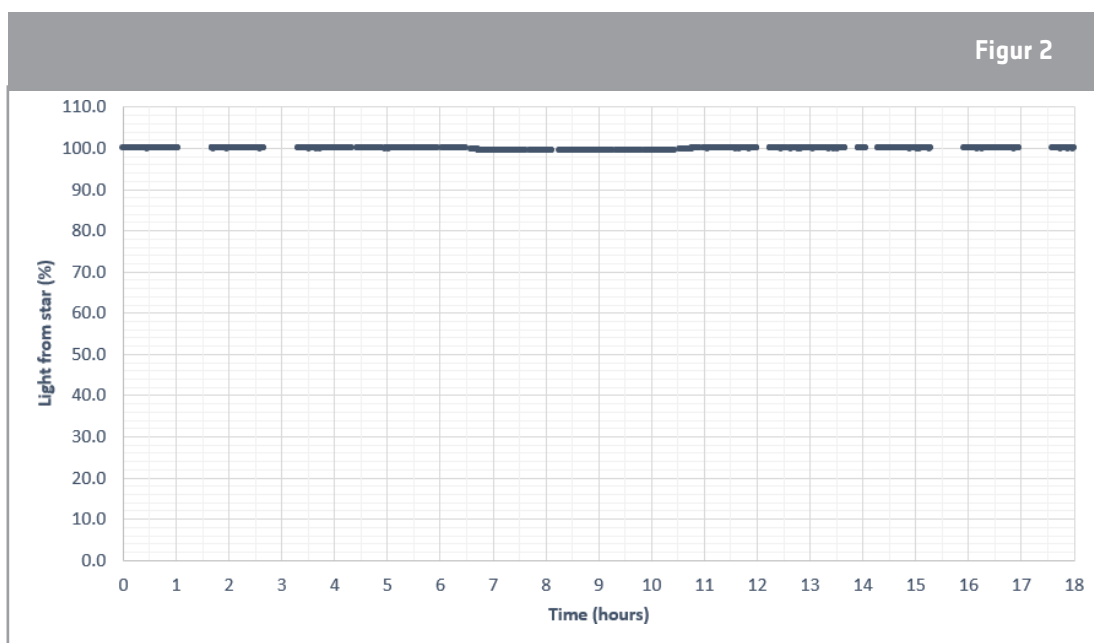


→ Aktivitet 1: Forståelse af lyskurver

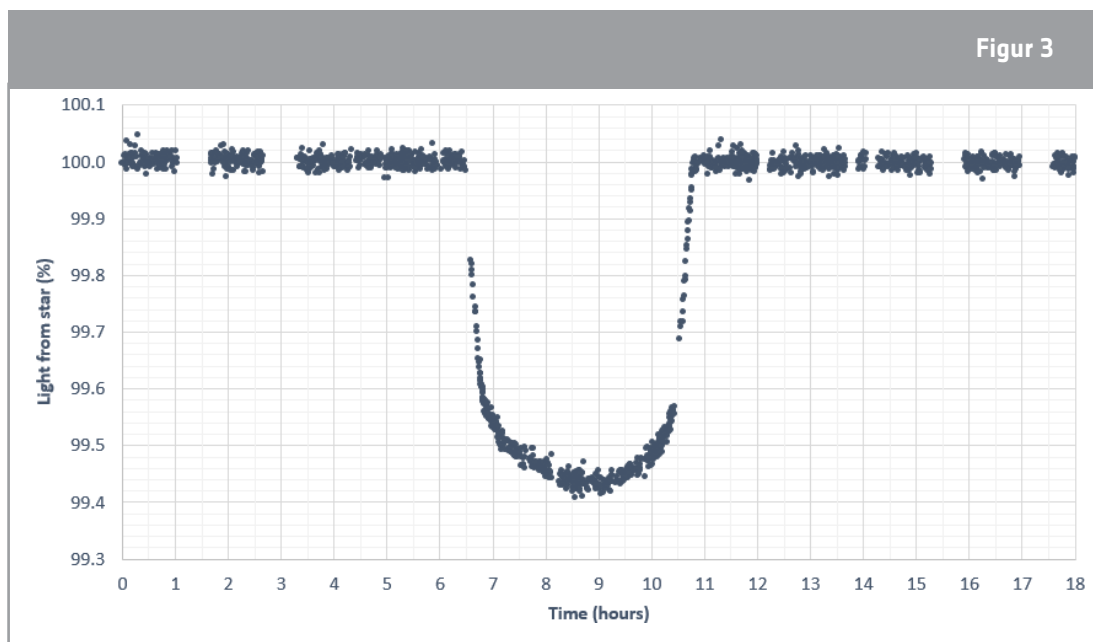
Når en satellit observerer exoplanetariske transits, kan dybden, formen og placeringen af dykningen i en lyskurve give os oplysninger om det exoplanetariske system. I denne aktivitet skal du udforske denne idé yderligere ved hjælp af rigtige Cheops-satellitdata.

Øvelse 1 - Skalering af grafer

Exoplaneter er typisk kun en lille brøkdelen af størrelsen af den stjerne, de kredser om, f.eks. er Jorden $1/100$ af Solens størrelse, og Jupiter er $1/100$ af Solens diameter. Den mængde lys, der blokeres, er derfor ofte mindre end en procent af det samlede lys fra stjernen.



↑ transit-lyskurve for WASP 189b optaget med Cheops.



↑ Samme transit-lyskurve for WASP 189b optaget med Cheops, med en anden skala på y-aksen.

Se på lysskurven for WASP 189b, der er taget med Cheops, og som er vist på figur 2 og figur 3:

1.1. Kan du identificere exoplanetens transit i både figur 2 og figur 3?

1.2. Sammenlign de to grafer og beskriv forskellene nedenfor:

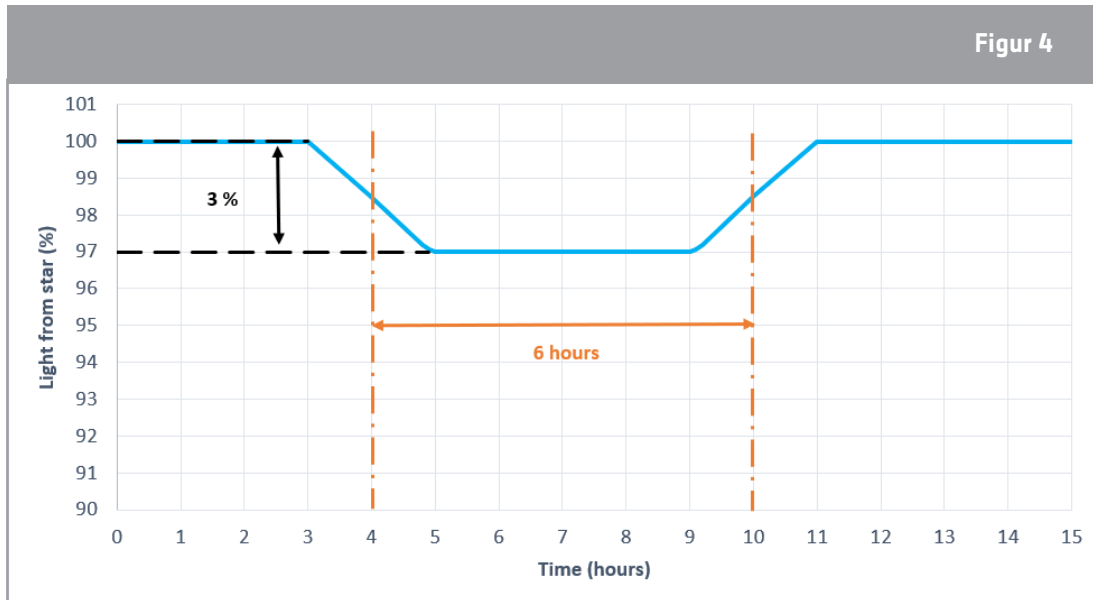
Vidste du:

WASP 189 b er en stor gas exoplanet, der er ca. 50% større end Jupiter. Denne gigantiske exoplanet befinder sig i en bane på 2,7 jorddage omkring en stjerne, der er mere end 2000 °C varmere end vores sol og næsten 2,5 gange så stor.



Øvelse 2 - Fortolkning af lyskurver

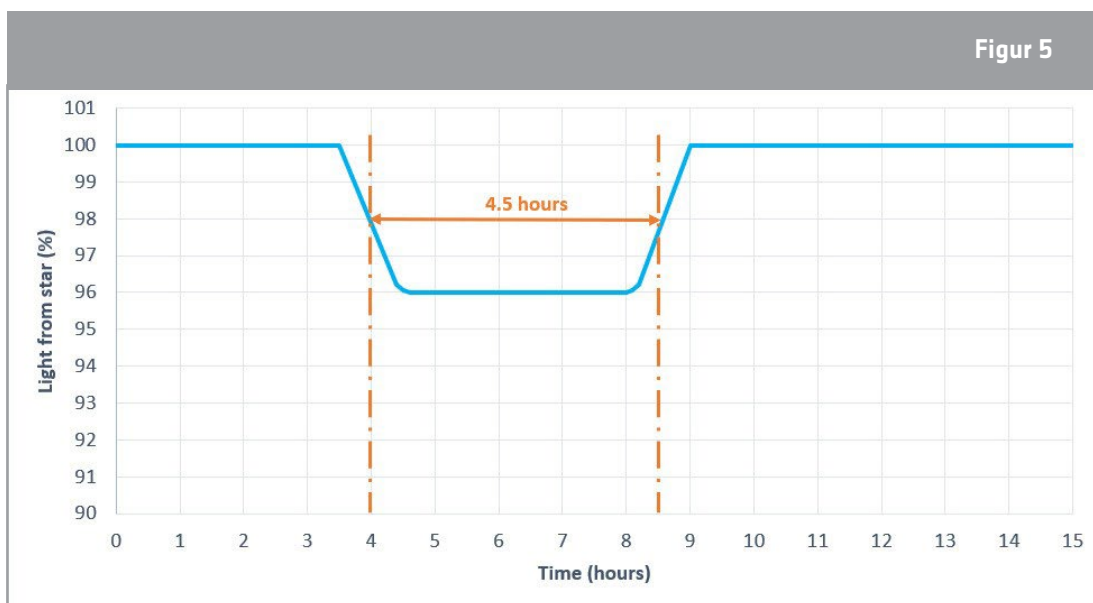
Nedenfor kan du se en forenklet gengivelse af lyskurven for en stjerne målt omkring tidspunktet for en exoplanets transit. De stiplede linjer illustrerer, hvordan du kan bestemme nogle af de grundlæggende oplysninger om exoplanetsystemet ud fra grafen:



↑ Eksempel på en simuleret lyskurve.

Vi kan ud fra lyskurven konstatere, at den observerede exoplanet tog 6 timer om at passere foran stjernen og blokerede 3% af stjernens lys.

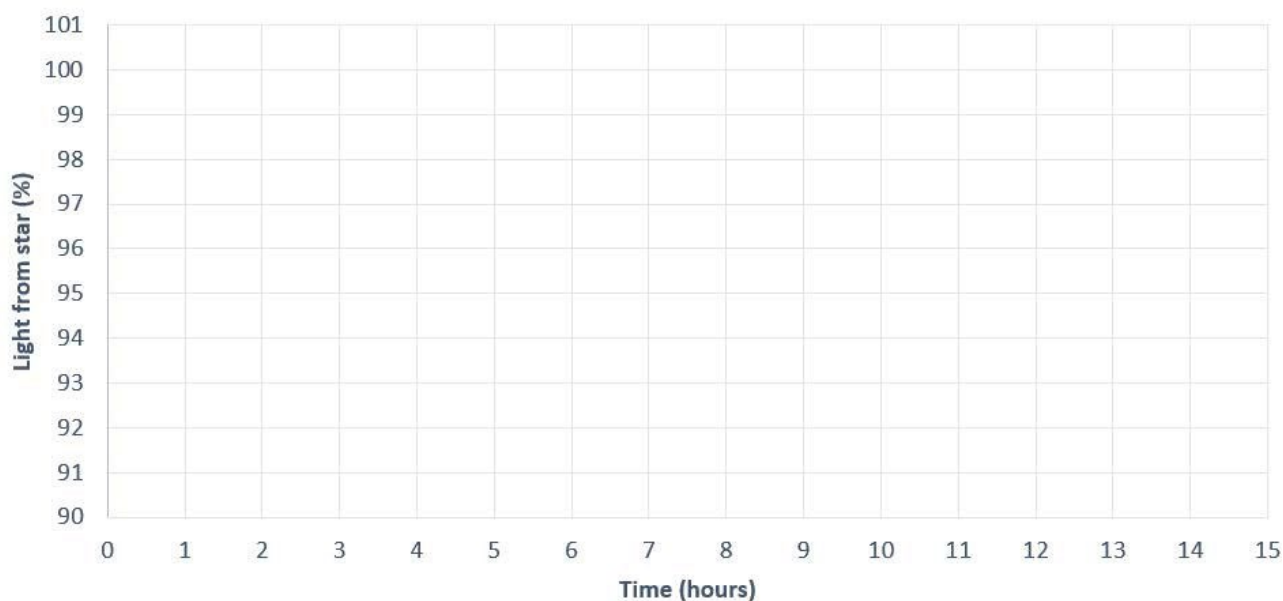
2.1. Undersøg lyskurven i figur 5, og udfyld de manglende oplysninger



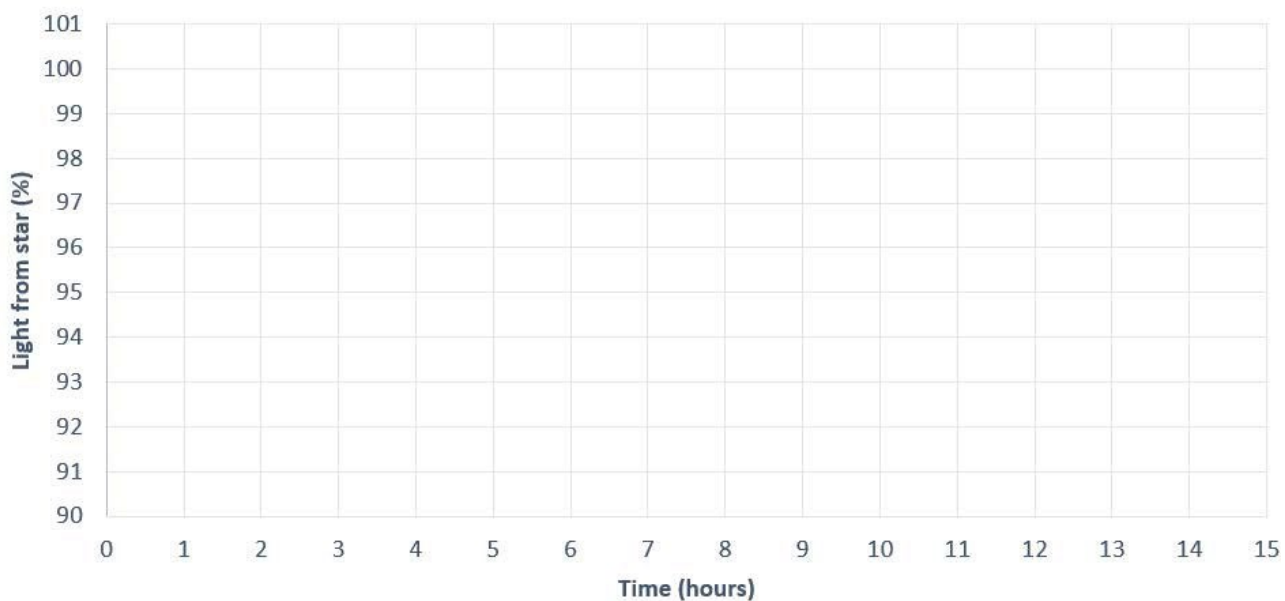
↑ Simuleret lyskurve.

Den exoplanet, der blev observeret for at producere denne lyskurve, tog ____ timer til at passere foran stjernen, og den blokerede _____% af lyset fra stjernen.

- 2.2. Skitsér den forventede lyskurve for en exoplanet, der har samme størrelse som den i figur 5, men som tager to timer længere tid om at passere:

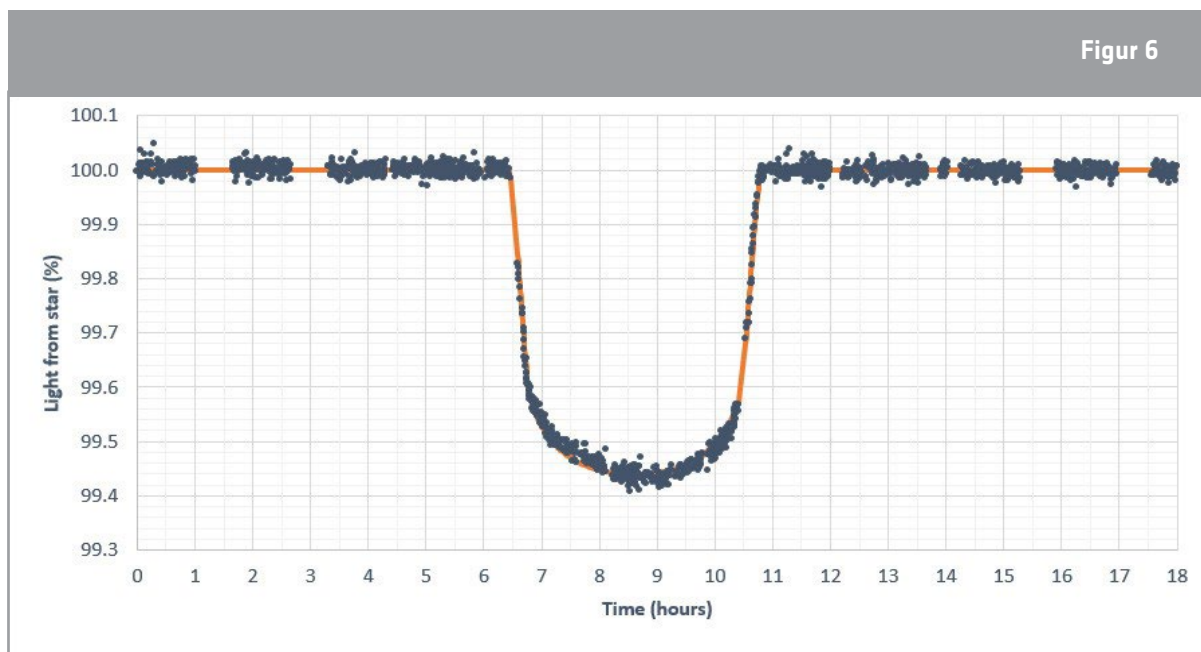


- 2.3. Skitser lyskurven for en anden exoplanet, der kredser om den samme stjerne som i figur 5. Exoplaneten er større end den tidligere exoplanet og blokerer dobbelt så meget lys. Antag, at exoplaneten tager den samme tid om at passere stjernen som i figur 5:



Øvelse 3 - Fortolkning af reelle satellitdata

Ved hjælp af det, du har lært indtil nu, kan du nu analysere lyskurven af WASP 189 b's transit fra Cheops, som du så tidligere i aktiviteten (Figur 3).



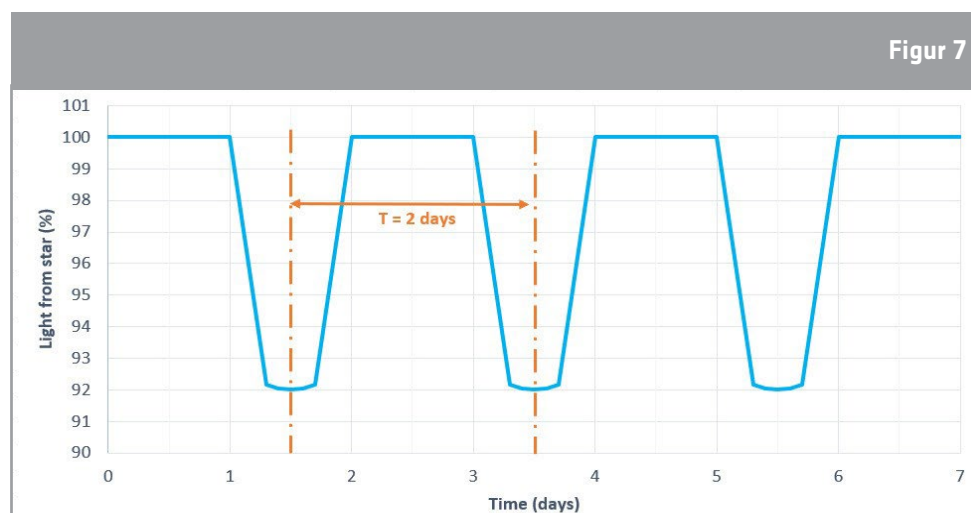
↑ transitlyskurve for WASP 189 b, inklusive den bedst tilpassede model.

- 3.1. Hvor lang tid tager det ca. for WASP 189 b at passere sin værtsstjerne? _____
- 3.2. Hvor stor en procentdel af stjernelyset blokerer WASP 189 b ca.? _____

Øvelse 4 - Orbitalperiode

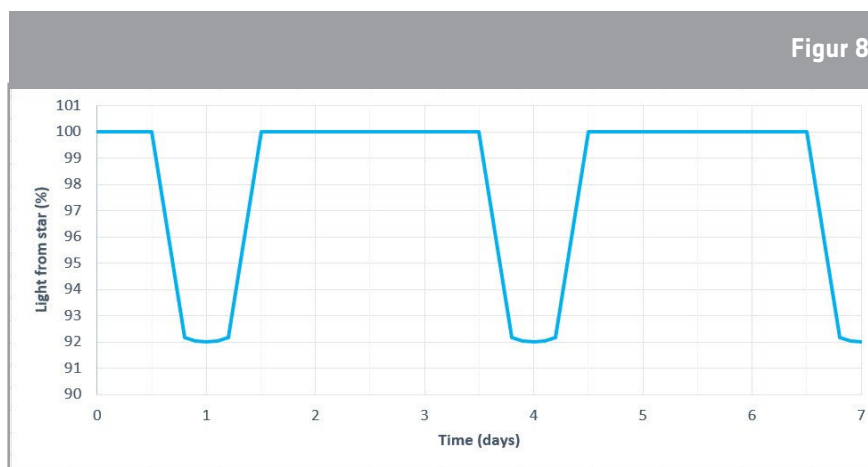
Hver gang en exoplanet passerer sin værtsstjerne, vil der være et dyk i lyskurven. Hvis en stjerne observeres længe nok til, at exoplaneten kan gennemføre mere end ét kredsløb, vil der være mere end ét dyk i lyskurven. Tidsintervallet mellem det første dyk og det næste dyk er exoplanetens **omløbstid (T)**.

Figur 7 er en simuleret lyskurve over en periode på 1 uge. I løbet af denne periode passerede den simulerede planet tre gange. Ved at måle afstanden mellem dykkene i lyskurven kan vi se, at planetens omløbstid er 2 dage.



↑ Simuleret lyskurve, herunder flere transitter.

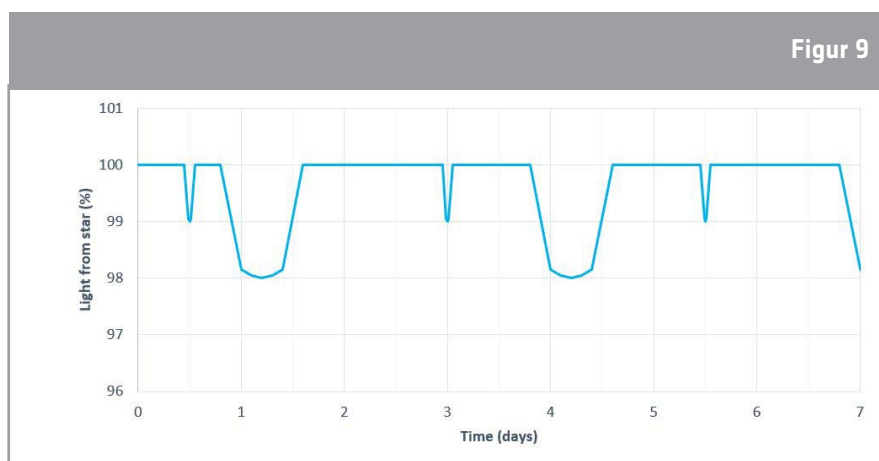
4.1. Se figur 8 nedenfor:



↑ Forenklet skitse af en lyskurve.

Hvad er omløbstiden for de exoplaneter, hvis transitter ses i lyskurven i figur 8?

4.2. Hvad kan du sige om det exoplanetsystem, der blev observeret for at frembringe den lyskurve, der er vist i figur 9, ved hjælp af de færdigheder, du har lært indtil nu:



↑ Forenklet skitse af en lyskurve med flere transits.

→ Aktivitet 2 - At være en exoplanetdetektiv

Du er nu klar til at analysere rigtige observationer som en ægte exoplanetforsker og opsummere det, du har lært. Du skal sammenligne dine observationer fra dit eget model exoplanetarsystem med observationer af virkelige exoplanetarsystemer, som du har taget med Cheops.

Øvelse 1: Beskrivelse af observationer af exoplaneter

Udfyld hullerne ved hjælp af ordene fra ordskyen for at opsummere det, du har lært. Hvert ord skal kun bruges én gang.

<i>satellit</i>	<i>større</i>	<i>mindre</i>	<i>stjerne</i>	<i>transit</i>
<i>periode</i>	<i>kredsløb</i>	<i>dybdegående</i>	<i>dip</i>	<i>tidsinterval</i>
	<i>b</i>	<i>dybde</i>	<i>mindre</i>	

Når en exoplanet passerer mellem _____ og stjernen, blokerer den en lille del af lyset fra den _____, hvilket forårsager en _____ i lyskurven. Dette kaldes en _____.

Hvis flere _____ af den samme exoplanet observeres, så er _____ mellem de fundne dips i lyskurven er et direkte mål for planetens omløbstid.

A _____ exoplanet giver et dybere dyk i den målte lyskurve og en _____ exoplanet giver en _____ dyk.

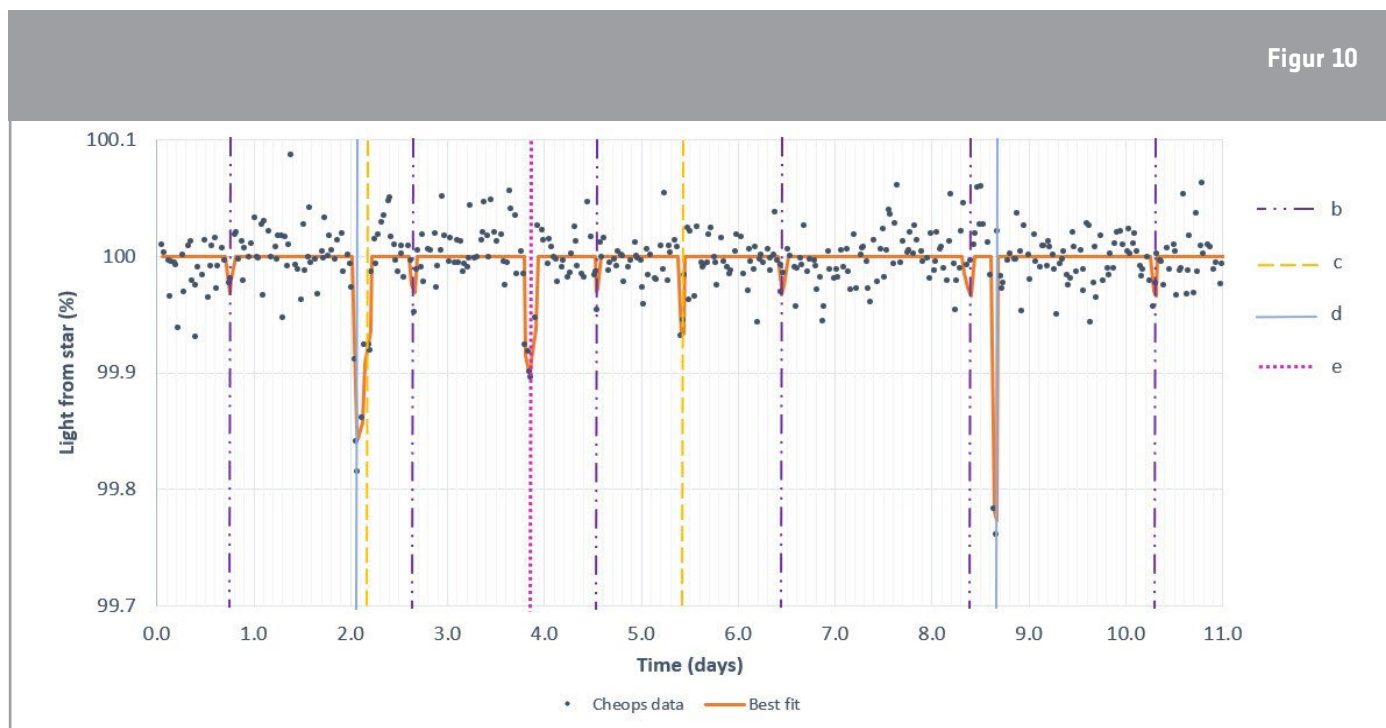
De enkelte exoplaneter kan skelnes fra hinanden ved hjælp af _____ af de fordybninger, de

producerer i lyskurven, og deres banebevægelser _____.

Øvelse 2: Observation af exoplaneter

Du er nu klar til at fortolke denne lyskurve for TOI-178-systemet, som Cheops observerede i løbet af en 11-dages periode.

Analyser lyskurven i figur 10 og beskriv, hvilke oplysninger du kan uddrage af dette datasæt.



[↑ Lyskurve fra TOI-178-systemet observeret af Cheops](#)

→ Links

ESA's ressourcer

ESA's ressourcer til klasseværelset
esa.int/Education/Classroom_resources

Undervisning med exoplaneter
esa.int/Education/Teach_with_Exoplanets

Mød Cheops: den karakteriserende exoplanetsatellit
esa.int/ESA_Multimedia/Videoer/2019/12/Meet_Cheops_the_Characterising_Exoplanet_Satellite

Mød eksperterne - Andre verdener
esa.int/ESA_Multimedia/Video/2020/07/Meet_the_Experts_Other_worlds

Paxi udforsker exoplaneter!
esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2019/12/Paxi_explores_exoplanets

Hack en exoplanet
hackanexoplanet.esa.int

ESA's rumfartsprojekter

ESA's tidsplan for exoplanetmissioner
<http://sci.esa.int/exoplanets/60649-exoplanet-mission-timeline>

Cheops - CHaracterising ExOPlanet Satellite
esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Cheops

Webb - James Webb-rumteleskopet
esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Webb

Opsporing af exoplaneter med
Gaia
<https://sci.esa.int/s/WEmoOnW>

PLATO - PLANetary Transits and Oscillations of stars
sci.esa.int/plato

ARIEL - Atmospheric Remote-sensing Infrared Exoplanet Large-survey
sci.esa.int/ariel

Ekstra oplysninger

Kunstnerisk animation af TOI-178-systemets baner og
resonanser <https://youtu.be/-WewvRG9ysY>