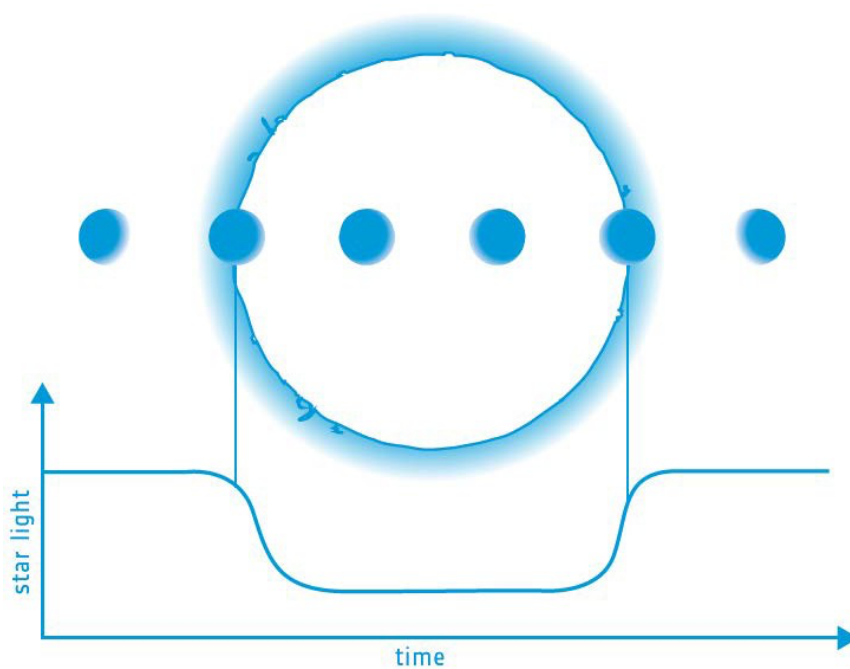
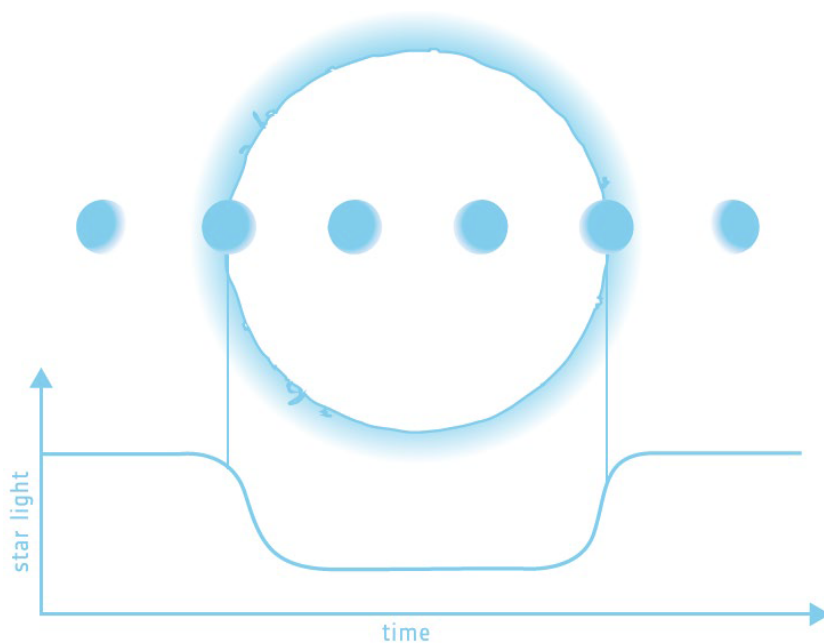


Rymden i skolan

→ EXOPLANETDETEKTIV

Karakterisering av exoplaneter med hjälp av satellitdata





Lärarhandledning

| | |
|--|----------|
| Snabba fakta | sidan 3 |
| Sammanfattning av aktiviteterna | sidan 4 |
| Inledning | sidan 5 |
| Aktivitet 1: Att förstå ljuskurvor | sidan 6 |
| Aktivitet 2: Att vara en exoplanetdetektiv | sidan 9 |
| Arbetsblad för elever | sidan 11 |
| Länkar | sidan 19 |

Rymden i skolan - exoplanetdetektiv | P31
www.esa.int/education

ESA:s utbildningskontor välkomnar återkoppling och kommentarer
teachers@esa.int

En produktion av ESA Education
Copyright 2022 © Europeiska rymdorganisationen

→ EXOPLANETDETEKTIV

Karakterisering av exoplaneter med hjälp av satellitdata

SNABBA FAKTA

Ämne: Matematik, fysik, astronomi

Ålder: 13-18 år

Typ: Elevaktivitet, praktisk modellering

Komplexitet: Medel

Lektionstid: 45 minuter.

Kostnad: Låg (0-100 kr)

Plats: Klassrum

Nyckelord: Fysik, matematik, astronomi, exoplanet, ljuskurvor, transit, banor, skalor, grafer, period

Kortfattad beskrivning

I denna serie aktiviteter får eleverna lära sig hur forskare studerar exoplaneter med teleskop, med hjälp av transitmetoden, även kallat passagemetoden. Dessutom kommer de att karakterisera exoplaneter med hjälp av modeller och verkliga data av ljuskurvor från ESA:s satellit Cheops (CHaracterising ExOPlanet Satellite).

Eleverna kommer att öva på att plotta och tolka data och skala grafer i samband med karakterisering av exoplaneter.

Den här aktiviteten ingår i en serie som inkluderar "Exoplaneter i Rörelse" där eleverna bygger sin egen transitmodell och "Exoplaneter i en Låda" där eleverna bygger en transitmodell i en skokartong och beräknar storleken på en exoplanet.

Lärandemål

- Förstå vad exoplaneter är och hur satelliter undersöker dem.
- Förstå hur transitmetoden används för att karakterisera exoplaneter.
- Utveckla experimentella färdigheter genom att observera och tolka uppmätta ljuskurvor.
- Tänka matematiskt och omvandla en abstrakt modell till en verklig modell.
- Tolkning av experimentella data med hjälp av matematiska modeller och diagram.
- Dra slutsatser genom att jämföra en modell med ett verkligt exoplanetsystem.
- Att kommunicera vetenskapliga och matematiska resultat med andra elever.

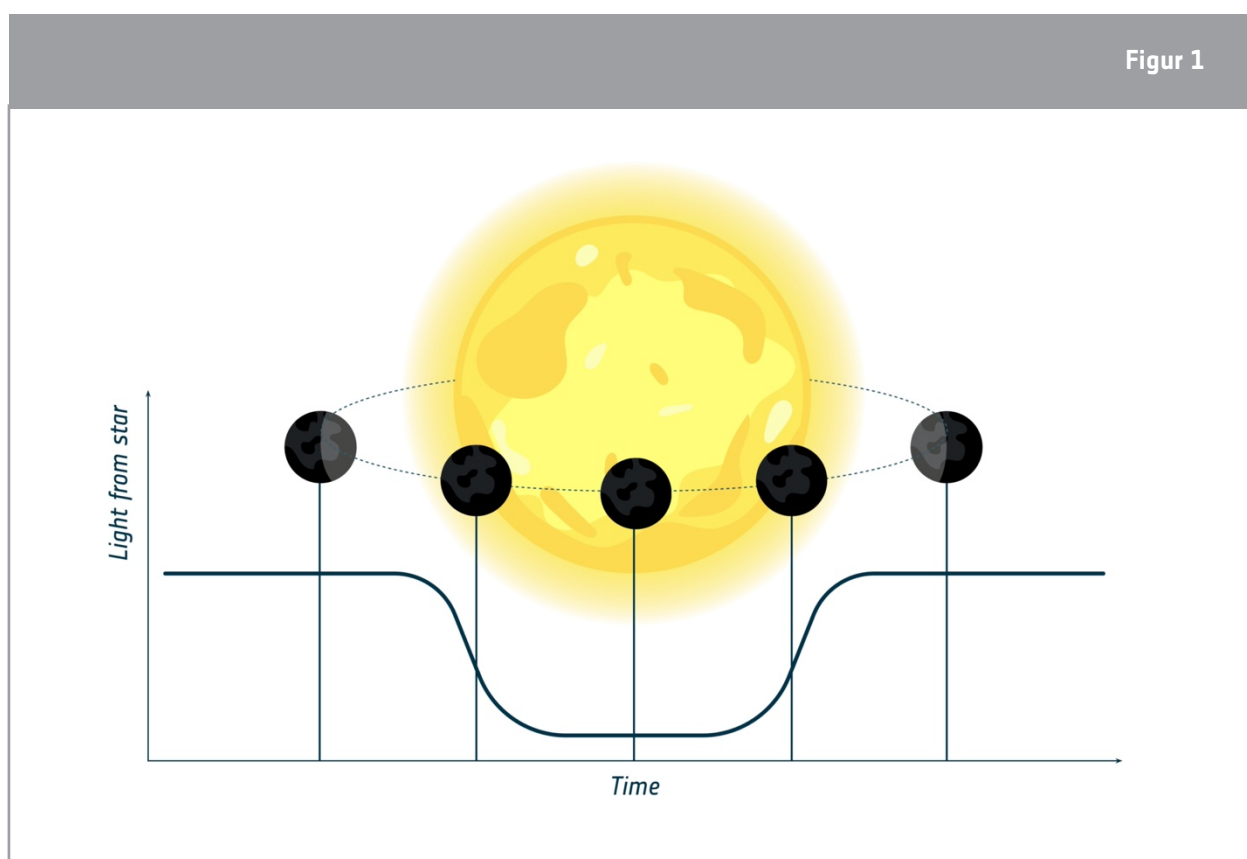
→ Sammanfattning av aktiviteterna

| Sammanfattning av aktiviteterna | | | | | |
|---------------------------------|-------------------------------|--|--|-------|------------|
| | Titel | Beskrivning | Resultat | Krav | Tid |
| 1 | Att förstå ljuskurvor | Analysera både syntetiska och verkliga ljuskurvor för att avgöra vilken information de innehåller om modellen eller det verkliga exoplanetsystemet. | Förstå hur man skalar grafer och varför. Utveckla färdigheter i tolkning av grafer och använda dem för att dra slutsatser om verkliga exoplanetsystem. | Ingen | 30 minuter |
| 2 | Att vara en exoplanetdetektiv | Syftet med den här aktiviteten är att sammanfatta kunskaperna från de tidigare aktiviteterna och beskriva vad forskarna kan lära sig av ljuskurvor som mäts av satelliter. | Relatera resultaten från en modell till den verkliga situationen med hjälp av analogier. | Ingen | 10 minuter |

→ Inledning

I denna serie aktiviteter kommer vi att fokusera på analyser av ljuskurvor som erhållits med hjälp av transitmetoden. Denna metod har använts för att upptäcka och karakterisera många av de exoplaneter som hittills är kända. Med hjälp av denna teknik mäter teleskopen mycket exakt mängden ljus från enskilda stjärnor under tidsperioder på timmar till månader. Denna mätning av ljuset från ett objekt som en funktion av tiden kallas för ljuskurva (se figur 1). Genom att analysera ljuskurvans form och egenskaper kan vi lära oss mer om både stjärnan och eventuella exoplaneter som kretsar kring den.

När en exoplanet passerar framför den stjärna den kretsar kring blockerar den en liten del av ljuset från stjärnan. Om ett teleskop observerar ljuset från stjärnan under denna transit kommer det att mäta en litet dipp i ljuskurvan.



↑ Representation av dippet (nedgången) i en ljuskurva för en stjärna under en exoplanets transit.

Storleken på dippet (nedgången) i ljuskurvan beror direkt på hur stor andel av ljuset från stjärnan som blockeras av den passerande exoplaneten, vilket beror på exoplanetens storlek i förhållande till stjärnan. Ju större planeten är i förhållande till stjärnan, desto mer av ljuset blockeras. Om vi känner till stjärnans storlek kan vi bestämma planetens storlek.

→ Aktivitet 1: Att förstå ljuskurvor

Den här övningen kommer att omfatta skalning och tolkning av grafer av både simulerade och verkliga satellitdata.

Som en introduktion till exoplaneter föreslås att du genomför aktiviteten *Exoplaneter i rörelse*.

För att introducera eleverna till ämnet exoplaneter kan du också använda det videomaterial som finns i länkarna nedan eller använda bakgrundsinformationen som en kompletterande resurs.

Nedan följer några förslag på videomaterial från ESA:

- Serien "Meet the Experts – Other worlds" (eng):
https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2020/07/Meet_the_Experts_Other_worlds
- Möt Cheops, exoplanetsatelliten:
[http://www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2019/12/Meet_Cheops_the_Characterising_Exoplanet_Satellite/\(lang\)/sv](http://www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2019/12/Meet_Cheops_the_Characterising_Exoplanet_Satellite/(lang)/sv)
- Paxi utforskar exoplaneter!
[https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2019/12/Paxi_explores_exoplanets/\(lang\)/sv](https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2019/12/Paxi_explores_exoplanets/(lang)/sv)

Efter att eleverna har fått en introduktion till exoplaneter, transitmetoden och Cheops kan de arbeta med aktivitet 1 i arbetsbladet.

Övning 1 – Skalning av grafer

Att förstå skalan i en graf är en viktig färdighet i både matematik och naturvetenskap. I den här övningen kommer eleverna att se ett exempel på verkliga data som tagits av Cheops-satelliten och använda detta för att se hur grafer skalas för att få ut så mycket information som möjligt av data i dem.

I dessa grafer visas ljuset från stjärnan på y-axeln som en procentandel av medelvärdet som uppmätts från den stjärnan under observationsperioden. Exakt samma data visas i båda graferna i den här övningen, men de har olika skalor.

Observera: Eftersom grafen visar ljuset från stjärnan som en procentandel av det genomsnittliga ljusstyrkan anses denna genomsnittliga ljusstyrka vara lika med ett värde på 100 % på y-axeln. Om det under observationerna inträffar händelser som ökar mängden ljus som mäts, till exempel stjärnutbrott, mäts ljusstyrka över medelvärdet och representeras i grafen som mätvärden över 100%.

Diskussion

Nedan finns svaren på övning 1. Diskutera svaren tillsammans med principen för skalor med dina elever.

1.1. Eleverna bör inse att det är mycket lättare att identifiera en transit i figur 3 än i figur 2, på grund av den annorlunda skalan på y-axeln.

1.2. I figur 2 ser ljuskurvan nästan konstant ut, medan det i figur 3 syns en minskning av ljuset från stjärnan i procent i kurvan mellan 6,5 och 10,75 timmar.

Tiden (timmar) som visas på x-axeln är densamma för båda graferna.

Värdena för ljuset från stjärnan (%) på y-axeln är olika. I den första grafen varierar värdena från 0 % till 110 %, medan värdena i den omskalade grafen där dippen är synlig varierar från 99,3 % till 100,1 %.

Övning 2 - Tolkning av ljuskurvor

I den här övningen får eleverna exempel på simulerade transitljuskurvor och riktlinjer för hur man läser och tolkar graferna för dem. Övningen kan göras i par eller individuellt.

Extra information: Mängden stjärnljus som blockeras av planeten är direkt relaterad till

planetens projicerade yta. Det ljus som planeten blockerar är proportionellt mot $\frac{R_p^2}{R_s^2}$, där R_p är

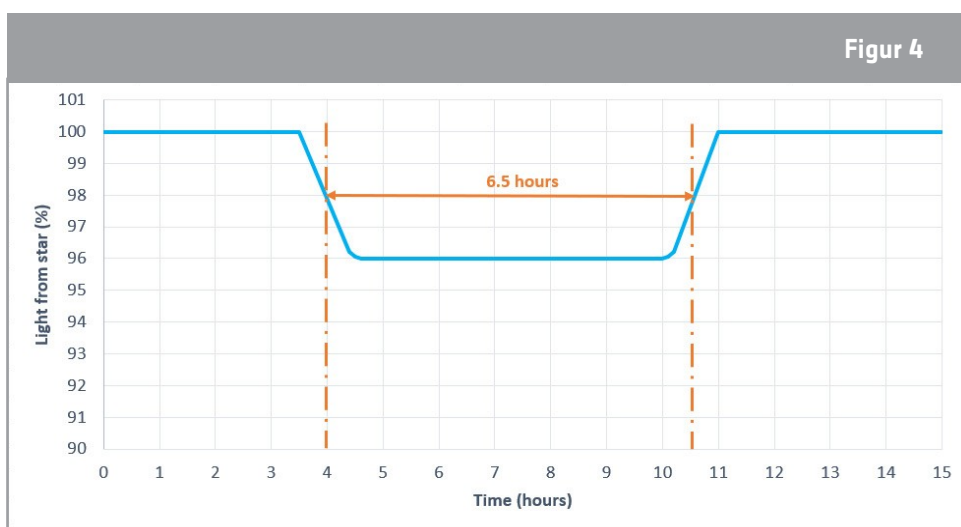
är planetens radie och R_s är stjärnans radie. Om en planet blockerar dubbelt så mycket ljus betyder det inte att planeten är dubbelt så stor: för att blockera dubbelt så mycket ljus måste planeten vara $\sqrt{2}$ (= ca 1,41) gånger större.

Diskussion

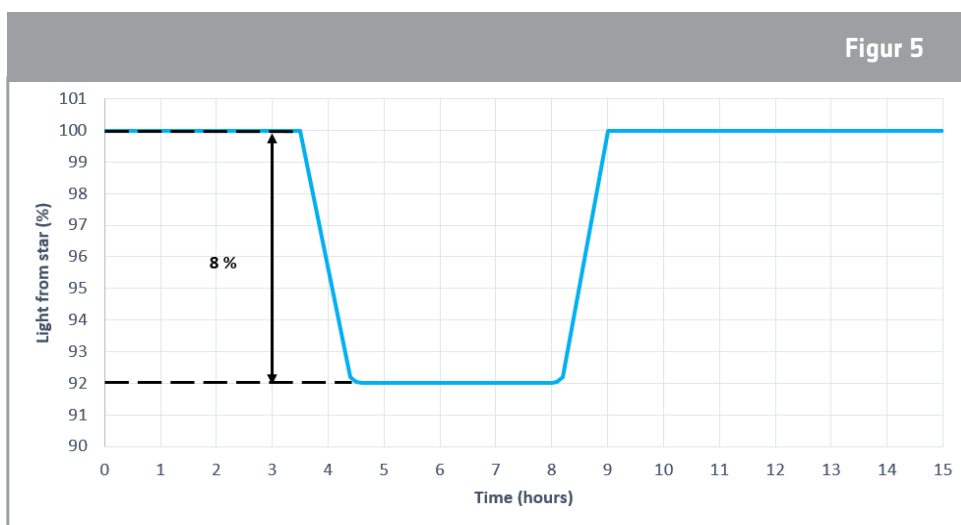
Hitta svaren på övning 2 nedan:

2.1. Den exoplanet som observerades och gav upphov till denna ljuskurva tog **4,5 timmar** att passera framför stjärnan och den blockerade **4 % av** ljuset från stjärnan.

2.2.



2.3



När eleverna har genomfört denna övning på egen hand eller i par diskuterar du resultaten i klassen för att förbereda eleverna på att tolka riktiga Cheops-data.

Övning 3 - Tolkning av verkliga satellitdata

I den här övningen kommer eleverna att använda de begrepp som de lärt sig i de tidigare övningarna för att tolka en ljuskurva för WASP 189b som observerats med ESA:s satellit Cheops.

Diskussion

Hitta de rätta svaren nedan.

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

Extra information:

När eleverna analyserar den verkliga datan kan de märka vissa skillnader mellan den simulerade datan och den verkliga datan. Eleverna kan ha frågor om anpassningen eller luckorna i ljuskurvan.

Anpassning är processen att konstruera en kurva baserad på en matematisk funktion som passar bäst till en serie datapunkter.

Det finns två typer av händelser som inträffar under Cheops bana och som gör att vi ibland inte kan mäta ljuset från en stjärna kontinuerligt. Dessa händelser skapar luckor i ljuskurvan. Det första är när stjärnan blockeras av jorden, vilket kallas en jordockultation. Det andra inträffar när Cheops passerar över en region i södra Atlanten där det uppstår stora störningar för de mycket känsliga instrumenten ombord på satelliten. Störningarna har så stor effekt att forskarna inte ens försöker mäta ljuset från stjärnan när satelliten passerar genom denna region.

Övning 4 - Omloppstid

Den här övningen fokuserar på hur omloppstiden kan bestämmas från en ljuskurva.

Observera: En planets omloppstid är den tid det tar för planeten att fullfölja ett helt varv runt sin stjärna. Detta kan mätas genom att hitta centrumet för två på varandra följande passager av samma exoplanet och mäta tidsintervallet mellan dem.

Diskussion

Hitta de rätta svaren nedan.

- 4.1. 3 dagar
- 4.2. I detta svar ska eleverna med egna ord kunna beskriva att det finns två exoplaneter som vi kan upptäcka som kretsar kring samma stjärna i detta exoplanetsystem. Svaret bör dessutom innehålla att de djupare dippen i kurvan indikerar en större planet som har en period på 3 jorddagar och blockerar 2 % av ljuset från stjärnan, och att de ytligare dippen i kurvan indikerar en mindre planet som har en omloppstid på 2,5 jorddagar och blockerar 1 % av ljuset. Om

du har introducerat konceptet att ljuset som en exoplanet blockerar är proportionellt mot $\frac{R_p^2}{R_s^2}$,

bör eleverna kunna identifiera att den större planeten är 1,4 gånger större än den mindre planeten.

→ Aktivitet 2 - Att vara en exoplanetdetektiv

I den här aktiviteten ska eleverna tillämpa det de lärt sig från att ha analyserat ljuskurvorna i aktivitet 1 och tolka en observation av ett exoplanetsystem som gjordes av Cheops, som en riktig vetenskapsman.

Övning 1: Beskriv observationer av exoplaneter

Meningarna ska fyllas i på följande sätt:

När en exoplanet passerar mellan satelliten och stjärnan blockerar den en liten del av ljuset från stjärnan, vilket orsakar ett dipp i ljuskurvan. Detta kallas för en transit.

Om flera omloppsbanor av samma exoplanet observeras, då är tidsintervallet mellan de observerade dippen i ljuskurvan ett direkt mått på planetens omloppstid.

En större exoplanet ger ett djupare dipp i den uppmätta ljuskurvan och en mindre exoplanet ger ett grundare dipp.

Enskilda exoplaneter kan särskiljas från varandra genom djupet av dippen som de ger upphov till i ljuskurvan och deras omloppstid._____

Om du vill utmana eleverna i din klass kan du låta dem formulera sin slutsats med egna ord. När du diskuterar elevernas självformulerade slutsatser så se till att observationer och slutsatser inte blandas ihop och att deras slutsatser följer av observationerna.

Övning 2: Observation av exoplaneter

I den andra övningen ombeds eleverna att tolka riktiga Cheops-data precis som en professionell forskare skulle göra. Om några elever behöver hjälp kan du stödja dem genom att ställa frågorna nedan för att hjälpa dem att strukturera tolkningen av ljuskurvan.

1. Hur många exoplaneter har det observerade systemet?
2. Vad är omloppstiden/intervallet för varje exoplanet?
3. Hur mycket ljus (i procent) blockeras av varje exoplanet?
4. Kan du säga något om exoplaneternas storlek?
5. Ser du något annat som är anmärkningsvärt? Försök att beskriva med egna ord och tolka om möjligt.

Extra information: TOI-178-systemet ligger bara 205 ljusår från jorden. ESA:s exoplanetsatellit Cheops har avslöjat att det är ett unikt planetsystem bestående av sex exoplaneter, varav fem är låsta i en sällsynt rytmisk dans när de kretsar kring sin centralstjärna. Observera att endast fyra planeter kan identifieras i detta dataset (b, c, d och e).

Detta fenomen kallas för banresonans och innebär att det finns mönster som upprepas när planeterna går runt stjärnan, och att vissa planeter är i linje med varandra med några få omloppsbanor. Du kan visualisera denna effekt i den här animationen: <https://youtu.be/-WevvRGgysY>

De två inre planeterna (b och c) är stenplaneter och har en täthet som liknar jordens, och de fyra yttre planeterna (d, e, f och g) är gasplaneter och har en täthet som Neptunus och Jupiter.

Medan planeterna i TOI-178-systemet kretsar kring sin stjärna på ett mycket ordnat sätt följer deras densitet inte något särskilt mönster. En av exoplaneterna, en tät, stenplanet som jorden, ligger precis bredvid en planet av samma storlek men med mycket låg täthet - som en mini-Jupiter, och bredvid den ligger en planet som är mycket lik Neptunus.

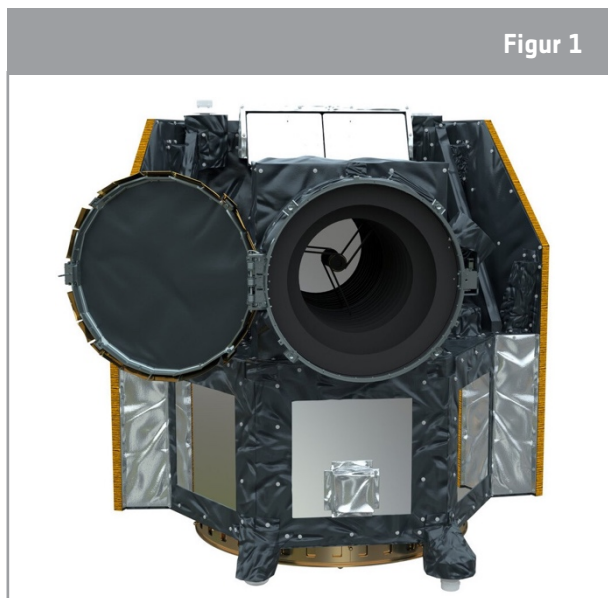
Karakterisering av exoplaneter med hjälp av satellitdata

→ Inledning

Genom att studera ett stort antal olika exoplaneter kan forskarna förstå hur exoplanetsystem bildas och utvecklas. Detta är ett viktigt steg på vägen mot att förstå vårt eget solsystem och vår plats i universum.

I denna serie aktiviteter kommer du att använda dig av verkliga data som samlats in av ESA:s satellit Cheops (CHaracterising ExOPlanet Satellite).

Genom att noga mäta ljuskurvorna för närliggande stjärnor som vi vet har en exoplanet som passerar mellan stjärnan och jorden, kan Cheops bestämma storleken på dessa exoplaneter. Genom att kombinera denna information med andra mätningar kan forskarna bestämma exoplaneterna täthet. För vissa exoplaneter kan vi till och med avgöra om de har moln.



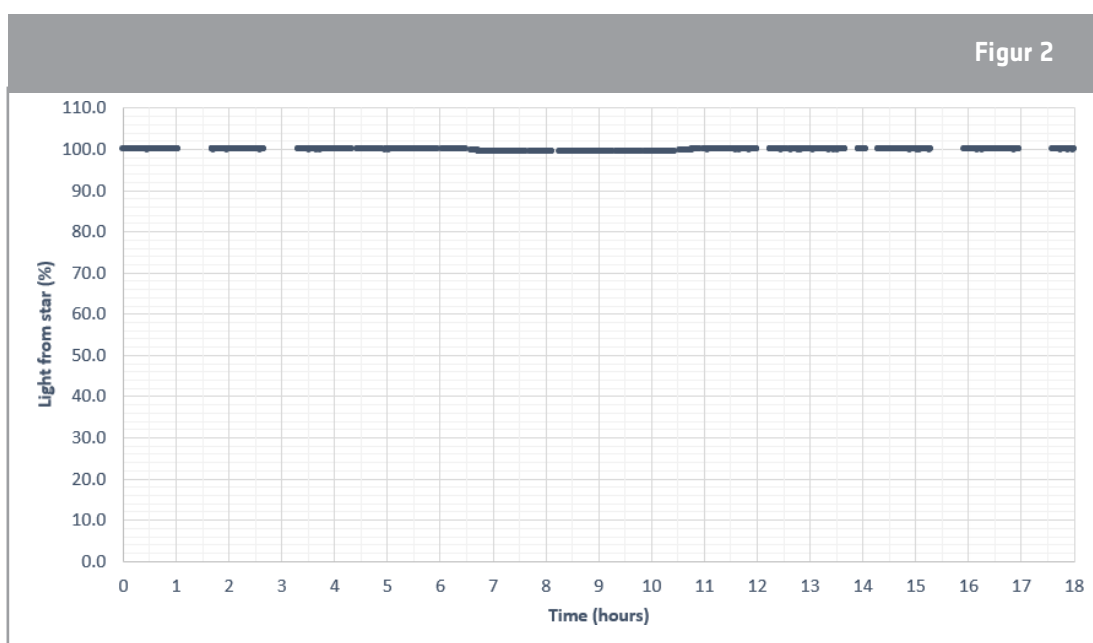
↑ Cheops-satelliten

→ Aktivitet 1: Att förstå ljuskurvor

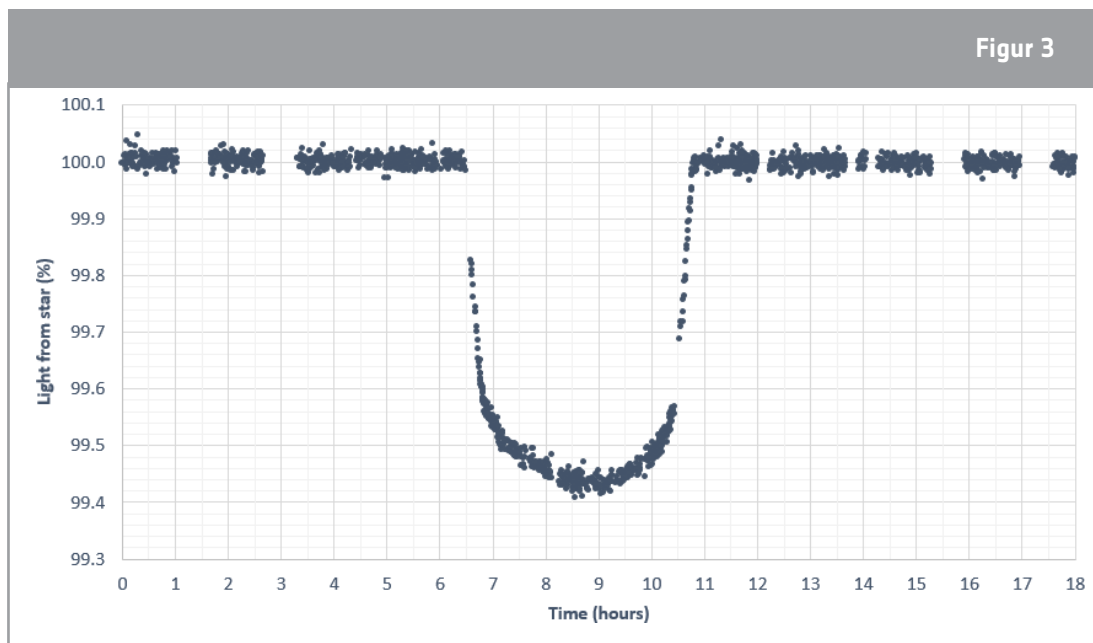
När en satellit observerar en passage (transit) av exoplaneter framför en stjärna kan djupet, formen och positionen för dippet i ljuskurvan ge oss information om exoplanetsystemet. I den här aktiviteten kommer du att utforska den här idén ytterligare med hjälp av riktiga data från Cheops-satelliten.

Övning 1 – Skalning av grafer

Exoplaneter är vanligtvis mycket små i jämförelse med stjärnan de kretsar kring, till exempel är jorden 1/100 av solens diameter och Jupiter 1/10 av solens diameter. Mängden ljus som blockeras är därför ofta mindre än en procent av det totala ljuset från stjärnan.



↑ Ljuskurva för WASP 189b med data från Cheops.



↑ Samma transitljuskurva för WASP 189b som togs med Cheops, med en annan skala på y-axeln.

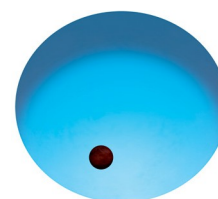
Se på ljuskurvan för WASP 189b, tagen med Cheops, som visas i Figur 2 och Figur 3:

1.1. Kan du identifiera exoplanetens transit i både figur 2 och figur 3?

1.2. Jämför de båda graferna och beskriv skillnaderna nedan:

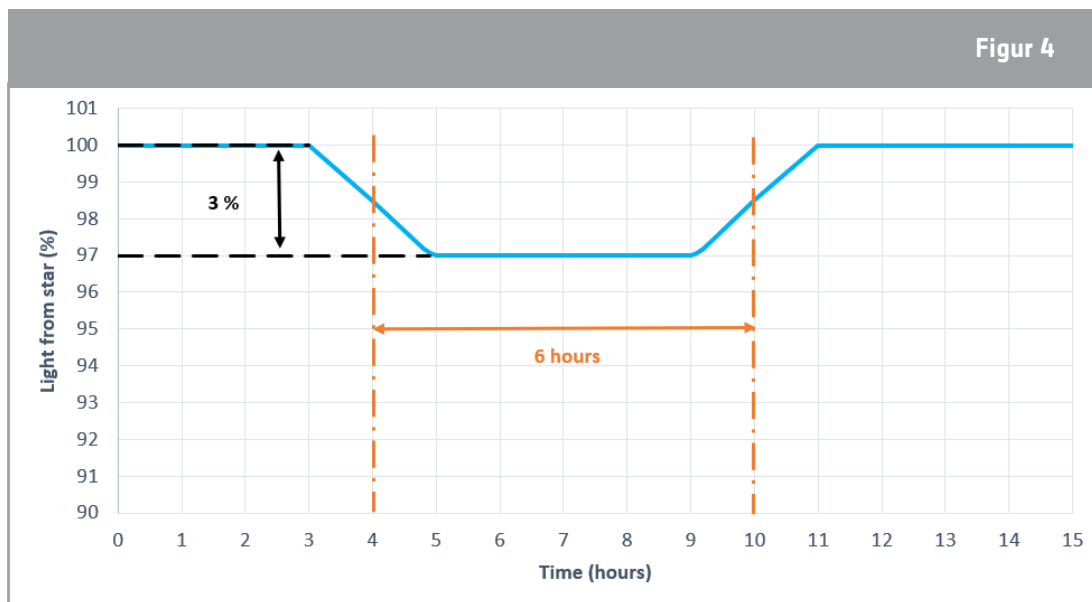
Visste du att:

WASP 189 b är en stor gas-exoplanet som är ungefär 50 procent större än Jupiter. Denna jättelika exoplanet befinner sig i en omloppsbana på 2,7 jorddagar runt en stjärna som är mer än 2 000 °C varmare än vår sol och nästan 2,5 gånger så stor.



Övning 2 - Tolkning av ljuskurvor

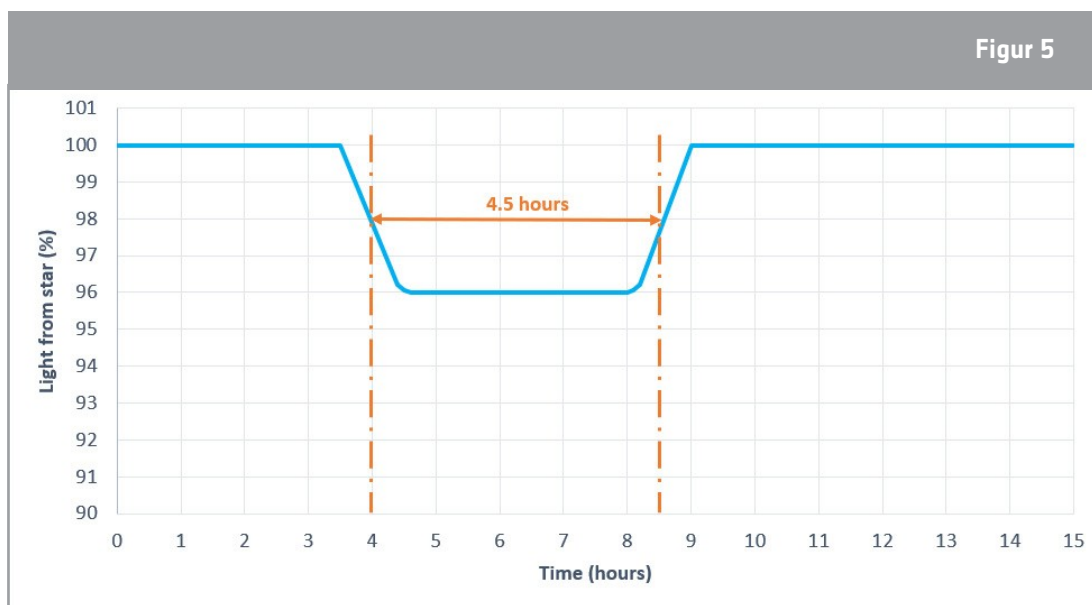
Nedan kan du se en förenklad bild av ljuskurvan för en stjärna vid tidpunkten för en exoplanets passage. De streckade linjerna illustrerar hur du kan bestämma en del av den grundläggande informationen om exoplanetsystemet från grafen:



↑ Exempel på en simulerad ljuskurva.

Från ljuskurvan kan vi bestämma att det tog den observerade exoplaneten 6 timmar att passera framför stjärnan och blockerade 3 % av stjärnans ljus.

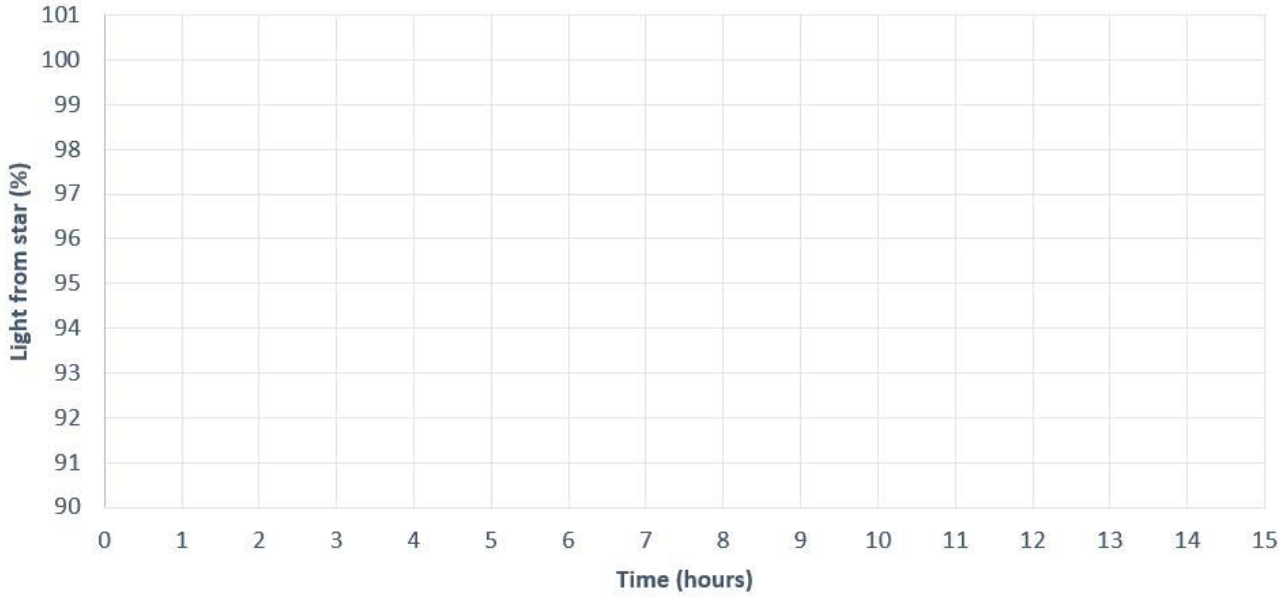
2.1. Undersök ljuskurvan i figur 5 och fyll i den information som saknas.



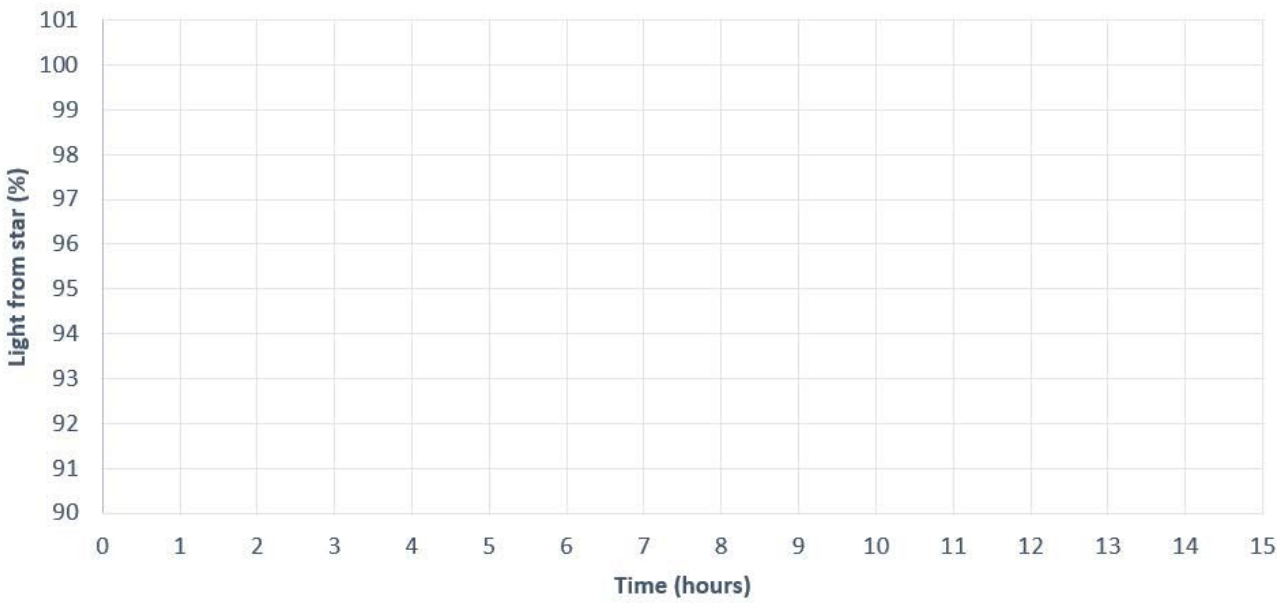
↑ Simulerad ljuskurva.

Den exoplanet som observerades och gav upphov till denna ljuskurva tog _____ timmar att passera framför stjärnan, och den blockerade _____ % av ljuset från stjärnan.

2.2. Skissa den förväntade ljuskurvan för en exoplanet som är lika stor som den i figur 5, men som tar två timmar längre tid att passera:

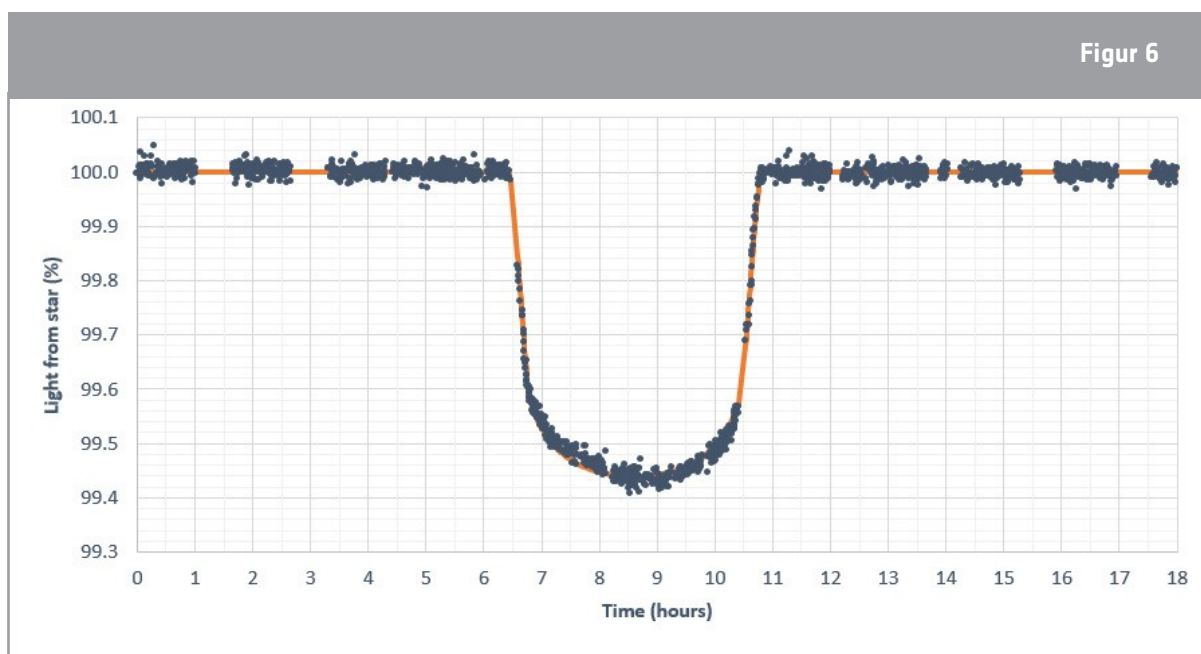


2.3. Skissa ljuskurvan för en annan exoplanet som kretsar kring samma stjärna som i figur 5. Exoplaneten är större än den tidigare exoplaneten och den blockerar dubbelt så mycket ljus. Anta att exoplaneten tar samma tid på sig att passera stjärnan som i figur 5:



Övning 3 - Tolkning av verkliga satellitdata

Med hjälp av det du har lärt dig hittills kan du nu analysera ljuskurvan för WASP 189 b transit från Cheops som du såg i en tidigare övning (figur 3).



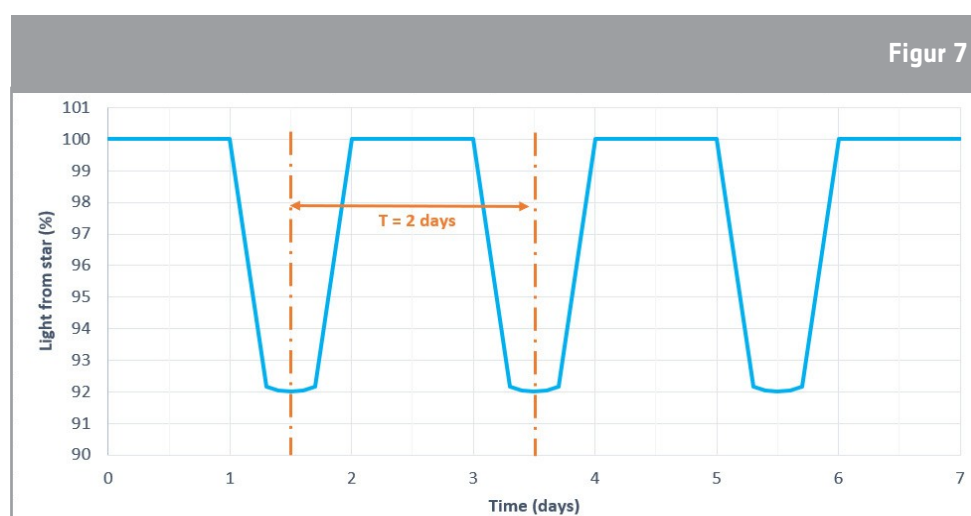
↑ Ljuskurva för WASP 189 b, inklusive den bäst anpassade modellen.

- 3.1. Hur lång tid tar det ungefär för WASP 189 b att passera framför sin värdstjärna? _____
- 3.2. Ungefär hur stor andel av stjärnans ljus blockerar WASP 189 b? _____

Övning 4 - Omloppstid

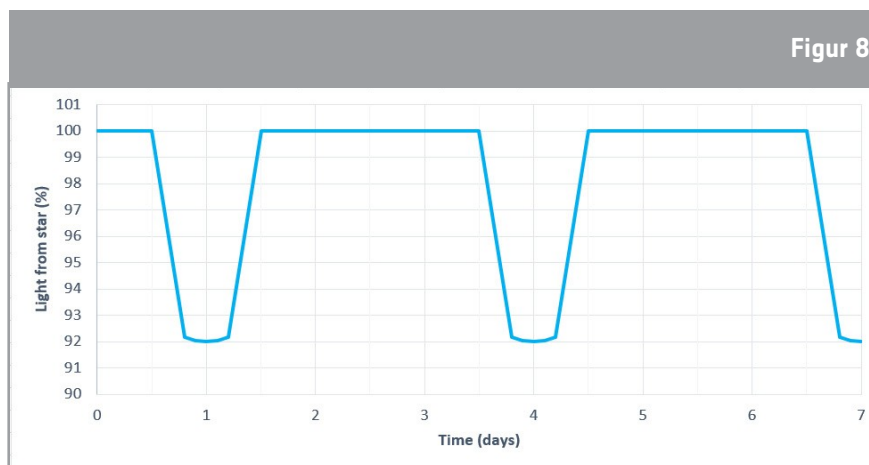
Varje gång en exoplanet passerar framför sin värdstjärna kommer det att finnas ett dipp i ljuskurvan. Om en stjärna observeras tillräckligt länge för att exoplaneten ska kunna fullfölja mer än en omloppsbanan (varv) kommer det att finnas mer än ett dipp i ljuskurvan. Tidsintervallet mellan det första dippet och nästa dipp är exoplanetens **omloppstid (T)**.

Figur 7 är en simulerad ljuskurva under en veckas tid. Under denna tid har den simulerade planeten passerat framför stjärnan tre gånger. Genom att mäta avståndet mellan dippet i ljuskurvan ser vi att planetens omloppstid är 2 dagar.



↑ Simulerad ljuskurva, inklusive flera transiter.

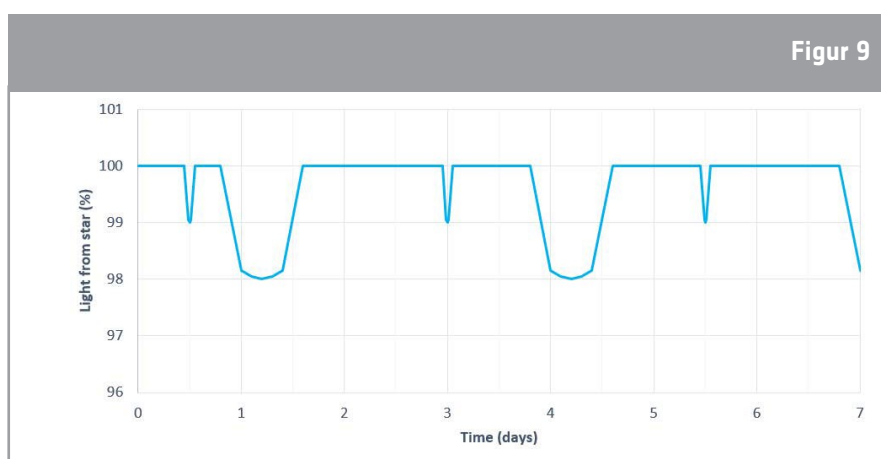
4.1. Undersök figur 8 nedan:



↑ Förenklad skiss av en ljuskurva.

Vad är omloppstiden för exoplaneten vars passager syns i ljuskurvan i figur 8?

4.2. Med hjälp av de kunskaper du har lärt dig hittills, vad kan du säga om det exoplanetsystem som observerades för att producera ljuskurvan som visas i figur 9:



↑ Förenklad skiss av en ljuskurva med flera transiter.

→ Aktivitet 2 - Att vara en exoplanetdetektiv

Du är nu redo att analysera verkliga observationer som en riktig exoplanetforskare och sammanfatta vad du har lärt dig. Du kommer att jämföra dina observationer från din egen modell av ett exoplanetsystem med observationer av verkliga exoplanetsystem som tagits med Cheops.

Övning 1: Beskriv observationer av exoplaneter

Fyll i luckorna med orden från ordmolnet för att sammanfatta vad du har lärt dig. Varje ord används bara en gång.

| | | | | |
|-------------------|---------------------------|-----------------|-----------------|------------------------|
| <i>satelliten</i> | <i>större</i> | <i>grundare</i> | <i>stjärnan</i> | <i>transit</i> |
| <i>omloppstid</i> | <i>omlopps- banor</i> | <i>djupet</i> | <i>dipp</i> | <i>mindre</i> |
| | | | | <i>tidsintervallet</i> |

När en exoplanet passerar mellan _____ och stjärnan blockerar den en liten del av ljuset från _____, vilket orsakar ett _____ i ljuskurvan. Detta kallas för en _____.

Om flera _____ av samma exoplanet observeras, då är _____ mellan de observerade dippen i ljuskurvan ett direkt mått på planetens omloppstid.

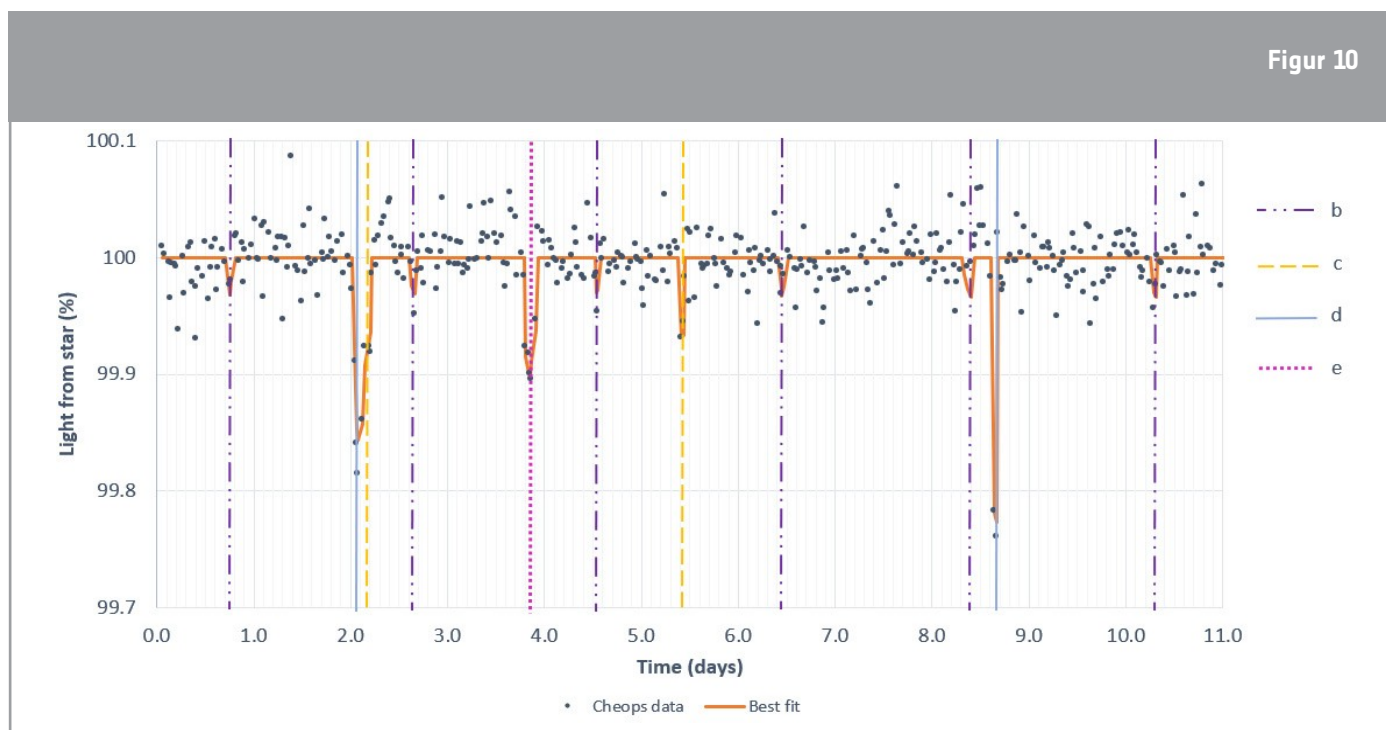
En _____ exoplanet ger ett djupare dipp i den uppmätta ljuskurvan och en _____ exoplanet ger ett _____ dipp.

Enskilda exoplaneter kan särskiljas från varandra genom _____ av de dipp som de ger upphov till i ljuskurvan, och deras _____.

Övning 2: Observation av exoplaneter

Du är nu redo att tolka denna ljuskurva för TOI-178-systemet som observerades under en 11-dagarsperiod av Cheops.

Analysera ljuskurvan i figur 10 och beskriv vilken information du kan hämta från denna data.



↑ Ljuskurva från TOI-178-systemet observerat av Cheops

→ Länkar

ESA:s resurser

ESA:s resurser för klassrummet
esa.int/Education/Classroom_resources

Undervisa om exoplaneter
esa.int/Education/Teach_with_Exoplanets

Möt Cheops: the CHaracterising ExOPlanet Satellite
[esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2019/12/Meet_Cheops_the_Characterising_Exoplanet_Satellite/\(lang\)/sv](https://esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2019/12/Meet_Cheops_the_Characterising_Exoplanet_Satellite/(lang)/sv)

Serien "Meet the Experts – Other worlds" (eng)
esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2020/07/Meet_the_Experts_Other_worlds

Paxi utforskar exoplaneter!
[esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2019/12/Paxi_explores_exoplanets/\(lang\)/sv](https://esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2019/12/Paxi_explores_exoplanets/(lang)/sv)

Hacka en exoplanet
hackanexoplanet.esa.int

ESA:s rymdprojekt

ESA:s tidtabell för exoplanetuppdrag
<http://sci.esa.int/exoplanets/60649-exoplanet-mission-timeline>

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

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

Att upptäcka 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

Extra information

Konstnärsanimation av TOI-178-systemets banor och resonanser
<https://youtu.be/-WevRG9ysY>