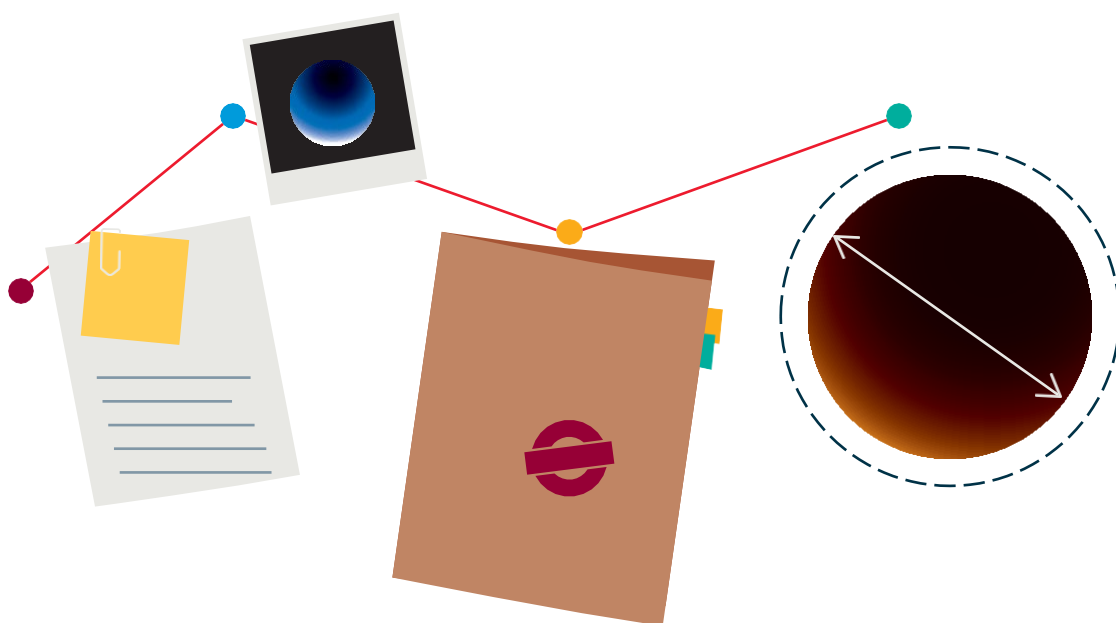


undervise med rummet

→ HACKE EN EXOPLANET

At blive en rumdetektiv





VEJLEDNING FOR LÆRERE

<i>Hurtige fakta</i>	03
<i>Indledning</i>	04
<i>Aktivitet</i>	05
<i>Udfordring 1: Analyse af KELT-3b-data</i>	07
<i>Udfordring 2: Analyse af TOI-560c-data</i>	13
 <i>Links</i>	 14
<i>Bilag</i>	15

Undervis med rummet - hacke en exoplanet | P39
www.esa.int/education

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

En ESA Education produktion i samarbejde med ESA Science
Copyright 2023 © Den Europæiske Rumorganisation

→ HACKE EN EXOPLANET

Bliv en rumdetektiv

Hurtige fakta

Emneord: Fysik, Matematik, Astronomi
Aldersgruppe: Alder: 14 - 19 år
Type: studenteraktivitet og/eller hackathon
Kompleksitet: medium
Lærerens forberedelsestid: 1 time
Nødvendig undervisningstid: 90 minutter pr. udfordring (3 timer i alt)
Omkostninger: lave (0-10 euro)
Sted: klasseværelse
gør brug af: computer (hvis det ikke er muligt, foreslås et alternativ)
Nøgleord: Fysik, Matematik, Astronomi
Exoplanet, Transit

Kort beskrivelse

I denne aktivitet skal eleverne karakterisere to exoplaneter ved at analysere data fra ESA's Cheops-satellit. Eleverne skal arbejde som rigtige videnskabsmænd og tilpasse en model til dataene for at finde de parametre, der passer bedst.

Aktiviteten kan gennemføres i et guidet format eller i et projektbaseret læringsformat, f.eks. i et hackathon. Lærervejledningen præsenterer begge muligheder.

Aktiviteterne suppleres med videoforklaringer udarbejdet af eksperter i exoplaneter.

Læringsmål

- Arbejd videnskabeligt med rigtige satellitdata.
- anvende matematiske dataanalyseteknikker ved at tilpasse en model til reelle data.
- Lær om Keplers tredje lov og banemekanik.
- Forstå, hvad en exoplanet transit er.
- Opbygge færdigheder i teamarbejde under en tidspres.

Du skal også bruge

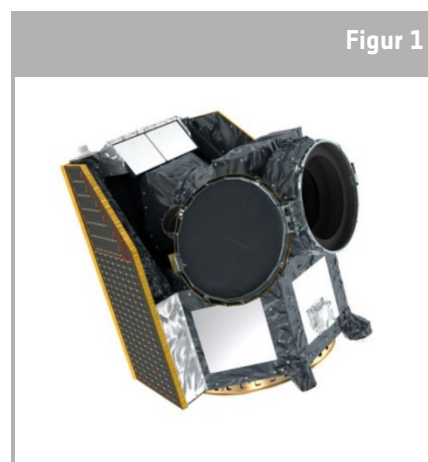
Understøttende videomateriale. Se afsnittet om links.

- Introduktion til Hack an Exoplanet - bliv en exoplanetdetektiv
- *Allesfitter* mini tutorial - trin-for-trin vejledning i, hvordan du tilpasser den bedste model til dataene
- Hvordan man bestemmer størrelsen af en exoplanet
- En exoplanets omløbstid og afstand ved hjælp af Keplers tredje lov
- Kan exoplaneter være beboelige?
- Hvad er exoplaneter lavet af?

→ Indledning

Denne uddannelsesaktivitet er blevet udviklet i forbindelse med det første ESA Education hackathon for gymnasieelever nogensinde: "**Hack an Exoplanet**". Disse udfordringer giver eleverne mulighed for at bruge reelle satellitdata til at undersøge fremmede verdener og blive exoplanetdetektiver for en dag.

I januar 2023 observerede ESA's Cheops-satellit (CHaracterising ExOPlanet Satellite) to exoplaneter, KELT-3b og TOI-560c, specielt med henblik på denne aktivitet. Ved at analysere Cheops-dataene kan eleverne slutte sig til ESA-forskerne i deres søgen efter svar og hjælpe dem med at forstå disse to mystiske fremmede verdener.



↑ Kunstnerisk aftryk af Cheops.

Udfordringerne er praktiske aktiviteter, hvor eleverne forventes at analysere data fra ESA's Cheops-satellit. Eleverne skal karakterisere de vigtigste egenskaber ved exoplaneterne ved hjælp af støttematerialet og uddannelsesversionen af tilpasningsværktøjet *allesfitter*, som er udarbejdet specielt til disse datasæt. Aktiviteterne ledsages af både skriftlige og videoforklaringer og eksempler, som er udarbejdet af eksperter i exoplaneter.

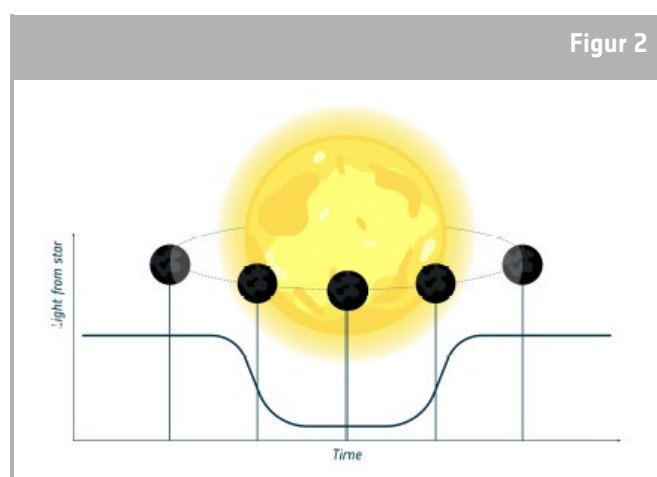
Aktiviteterne kan præsenteres ved hjælp af et guidet format eller i et projektbaseret læringsformat, f.eks. i et hackathon. Lærervejledningen præsenterer begge muligheder.

Hvad er en exoplanet?

Exoplaneter, eller ekstrasolære planeter, er planeter uden for vores eget solsystem, der kredser om en anden stjerne end vores sol.

Hvordan undersøger vi exoplaneter?

Der er i øjeblikket over 5000 bekræftede exoplaneter i ca. 4000 stjernesystemer, men det er svært at opdage exoplaneter. Det signal, som vi modtager fra en exoplanet, er meget lille i forhold til det meget større signal fra deres større, lysere værtsstjerner, typisk meget mindre end 1 %.



↑ Repræsentation af transitfotometri-metoden.

Der findes forskellige metoder til at opdage og karakterisere exoplaneter, i denne aktivitet vil vi bruge **transitfotometri-metoden**. Dette er den mest almindelige metode til at finde exoplaneter.

Fotometri - ordet fotometri kommer af græsk: photo "lys" og metry "måle". Det er en teknik, der anvendes i astronomi til at måle lyset fra stjerner på en kvantitativ måde.

Transit - exoplaneten opdages ved at måle en dæmpning af lyset fra stjernen.

→ Aktivitet

Hack en exoplanet-aktiviteten består af to udfordringer. Den første udfordring er analysen af transitlyskurven for den gigantiske exoplanet KELT-3b. Ved at følge instruktionerne i støttematerialet og/eller følge oplysningerne i instruktionsvideoerne vil eleverne kunne udlede egenskaberne ved KELT-3b.

Den anden udfordring er analysen af transit-lyskurven for mini-Neptun-eksoplaneten TOI-560c. Når de studerende har gennemført processen for KELT-3b, skal de være i stand til at gennemføre dataanalysen af TOI-560c selvstændigt ved at følge en lignende proces.

Udstyr

- Computer med adgang til internettet for at få adgang til browsersoftwareværktøjet *allesfitter*. Hvis dette trin ikke er muligt, kan holdene anvende de bedst tilpassede parametre i **bilag 1** - Transitlyskurve for exoplaneten KELT-3b og **bilag 2** - Transitlyskurve for exoplaneten TOI-560c.
 - Arbejdsark til eleverne, der er udskrevet til hver gruppe, og som indeholder:
 - Kort over efterforskning af exoplaneter
 - KELT-3b- og TOI-560c-sagsakter
 - Oplysninger om planeterne i solsystemet
 - Trin-for-trin allesfitter-guide
 - lommeregner (valgfrit)
 - Denne aktivitet har også seks videoer, der kan vejlede holdene (se afsnittet Links):
 - Introduktion til Hack an Exoplanet - bliv en exoplanetdetektiv
 - *Allesfitter* mini tutorial - trin-for-trin vejledning i, hvordan du tilpasser den bedste model til dataene
 - Hvordan man bestemmer størrelsen af en exoplanet
 - En exoplanets omløbstid og afstand ved hjælp af Keplers tredje lov
 - Kan exoplaneter være beboelige?
 - Hvad er exoplaneter lavet af?
- Oplysningerne i videoerne er også præsenteret i denne lærervejledning.

Øvelse:

Datasættene for de to mål blev indsamlet af ESA's Cheops-satellit den 22. og 23. januar 2023, specielt til denne uddannelsesaktivitet. Dataene er blevet behandlet af ESA's eksperter, og de er klar til at blive brugt af eleverne.

Denne aktivitet kan præsenteres i et guidet format eller i et projektbaseret læringsformat, f.eks. i et hackathon. Lærervejledningen præsenterer begge muligheder.

Vi anbefaler, at denne aktivitet gennemføres i hold på 3-4 elever. Det giver eleverne mulighed for at diskutere den bedste fremgangsmåde til at løse hver udfordring og diskutere resultaterne.

Bemærk: Hvis analysen af dataene er for kompleks, kan holdene også supplere sagsakterne ved at søge oplysninger online.

Vejledt format

- Begynd med at introducere emnet exoplaneter for klassen. Vi foreslår, at du bruger denne introduktionsvideo: *Introduktion til at hacke en exoplanet*.
- Del klassen op i hold på 3-4 elever.
- Præsenter udfordringen for de studerende. Hvert hold skal karakterisere de vigtigste egenskaber ved exoplaneten KELT-3b ved at udfylde den case-fil, der findes i elevernes arbejdsark. Holdene skal bestemme KELT-3b's størrelse, baneperiode, baneafstand, temperatur og sammensætning og sammenligne dens egenskaber med planeterne i vores solsystem. Undersøgelseskortet for exoplaneter indeholder flere oplysninger om hver af de nævnte egenskaber.
- Uddel den understøttende dokumentation til holdene, og giv dem et par minutter til at analysere den.
- Sæt en tid til, hvornår holdene skal bestemme hver enkelt exoplanets egenskab. **Før** holdene begynder deres arbejde med at bestemme hver egenskab, præsenteres de for den pågældende video, der støtter dem. Støttevideoerne indeholder oplysninger om, hvordan man bestemmer hver egenskab, og om løsningen for KELT-3b.
- Sørg for, at holdene forstår, hvordan de skal bestemme hver parameter, før de går videre til den næste.
- Når alle parametrene er fastlagt, skal holdene præsentere og diskutere deres konklusioner med klassen.
- Som næste skridt kan du foreslå at gennemføre udfordring 2 og bestemme egenskaberne ved exoplaneten TOI-560c.

Projktbaseret format - hackathon

- Del klassen op i hold på 3-4 elever.
- Begynd med at introducere hackathon-konceptet for eleverne ved hjælp af denne introduktionsvideo: *Introduktion til Hack an Exoplanet*
- Du kan lade holdene udføre udfordringerne selvstændigt (f.eks. som lektier eller som et klasseprojekt) eller gøre det i et fælles klasseværelse eller i forbindelse med et skolearrangement.
- Hvis det er nødvendigt, skal du styrke konceptet for udfordringen over for eleverne. Hvert hold skal karakterisere de vigtigste egenskaber ved exoplaneten KELT-3b ved at udfylde den sagsmappe, der er tilgængelig i elevernes arbejdsark. Holdene skal bestemme KELT-3b's størrelse, baneperiode, baneafstand, temperatur og sammensætning og sammenligne dens egenskaber med planeterne i vores solsystem. Undersøgelseskortet for exoplaneter indeholder flere oplysninger om hver af de nævnte egenskaber.
- Uddel den understøttende dokumentation til holdene og giv dem en tidsramme til at gennemføre hele opgaven, vi foreslår ca. 90 minutter til analysen af KELT-3b.
- For at sikre, at holdene har en stabil fremgang, kan du fastsætte en tidsramme for fastlæggelsen af hver egenskab eller vise den relevante video og give tips på bestemte tidspunkter. De understøttende videoer indeholder oplysninger om, hvordan man bestemmer hver egenskab, og løsningen til KELT-3b.
- Når alle parametrene er fastlagt, skal holdene præsentere og diskutere deres konklusioner med hele gruppen.
- Som næste skridt kan du foreslå at gennemføre udfordring 2 og bestemme egenskaberne ved exoplaneten TOI-560c.

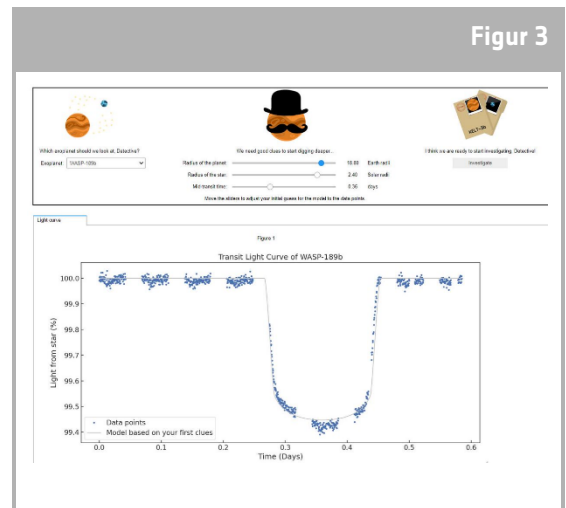
→ Udfordring 1 - Analyse af KELT-3b-data

Adgang til og tilpasning af satellitdata

Dataene kan findes på følgende link: hackanexoplanet.esa.int/allesfitter

Denne version af *allesfitter* er et onlineprogram, der giver nem og gratis adgang til Cheops-satellitdata, så man kan modellere flere exoplaneter ud fra transitmålinger. Den kan tilgås fra en desktop-browser.

For at finde de bedst tilpassede parametre for dataene skal eleverne følge *allesfitter*-guiden trin-for-trin-guiden i elevarbejdsarket eller følge videovejledningen. Denne vejledning indeholder instruktioner om, hvordan man bruger den browserbaserede undervisningsversion af *allesfitter*-værktøjet. I denne version af værktøjet er datasættene allerede uploadet, og det giver kun mulighed for at undersøge specifikke parametre: planetradius, stjernradius og midtvejstid.



↑ Allesfitter-grænseflade.

Bemærk: Hvis dette trin ikke er muligt, kan holdene anvende de bedst tilpassede parametre i **bilag 1** - Transitlyskurve for exoplaneten KELT-3b og **bilag 2** - Transitlyskurve for exoplaneten TOI-560c.

Hvordan kan man bestemme størrelsen af en exoplanet?

Når man bruger transitfotometrimetoden, måler teleskopet mængden af stjernelys over en periode. Forskerne tilpasser modeller til dataene for at forsøge at opdage variationer i stjernens lys, som kan skyldes en exoplanet.

Når vi bruger transitfotometri-metoden, kan vi ikke direkte registrere exoplaneten (undtagen i meget specifikke tilfælde). Vi måler i stedet den mængde stjernelys, som exoplaneten blokerer, når den passerer mellem stjernen og teleskopet.

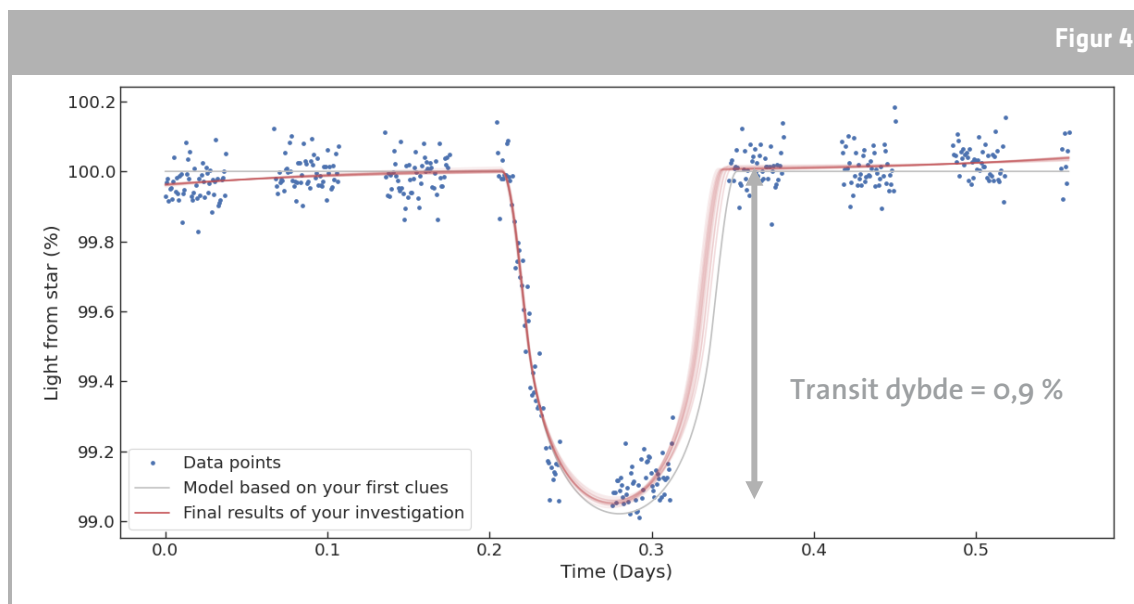
Den mængde stjernelys, som exoplaneten blokerer, kaldes normalt for transitens dybde. Og denne værdi er proportional med exoplanetens projicerede areal.

Det er muligt at bestemme exoplanetens radius (R_p), hvis man kender stjernens radius (R_s) og transitdybden:

$$\text{transit depth (\%)} \approx \frac{\pi \cdot R_p^2}{\pi \cdot R_s^2} \times 100$$

KELT-3b eksempel:

Lad os nu analysere KELT-3b-data som et eksempel.



↑ KELT-3b-data fra Cheops med den bedst tilpassede model af transitlyskurven fra *allesfitter*.

Radius for stjernen KELT-3 er kendt og er angivet i sagsakterne: $R_s = 1.70 R_{Sun}$

Ved at analysere Cheops-dataene kan vi måle transitdybden til ca. 0,9 % (figur 4).

Ved hjælp af ovenstående ligning: $R_p = \sqrt{R_s^2 \times \frac{\text{transit depth}}{100}} = \sqrt{1,70^2 \times \frac{0,9}{100}} = 0,161 R_{Sun}$

Omregning til jordradius-enheder: $R_p = 0,161 \times 109 = 17,5 R_{Earth}$

Når eleverne kører allesfitter-softwaren, vil de få en værdi for radiusens bedste tilpasning frem. Denne værdi kan afvige betydeligt fra dette enkle skøn. På grænsefladen kan eleverne kun variere tre parametre, men allesfitter-softwaren tilpasser dataene med en kompleks model med flere skjulte parametre, som kan give en mere fuldstændig tilpasning til dataene.

Hvordan man bestemmer omløbstiden og afstanden ved hjælp af Keplers tredje lov

En planets omløbstid, T , er den tid det tager planeten at fuldføre et fuldt kredsløb om sin stjerne. Den kan måles ved at finde midtvejstidspunktet (centrum af passagen) for to på hinanden følgende passeringer af den samme exoplanet og måle tidsintervallet mellem dem.

For disse observationer har vi kun én transit, men vi kan ekstrapolere omløbstiden ved at sammenligne de aktuelle observationsdata med tidligere observationsdata, som findes i dataarkivet.

Når vi kender exoplanetens omløbstid, kan vi bruge Keplers tredje lov til at udlede den gennemsnitlige

baneafstand, d , mellem planeten og stjernen.

$$T^2 = \left(\frac{4\pi^2}{GM_s} \right) d^3$$

Hvor G er gravitationskonstanten og M_s er stjernens masse.

KELT-3b eksempel:

Lad os nu analysere KELT-3b-data som et eksempel. I denne øvelse skal eleverne være meget opmærksomme på enhederne.

- Gravitationskonstanten i SI-enheder er $G = 6,67430 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$
- Stjernen KELT-3's masse er kendt: $M_s = 1,96 M_{\text{Sun}}$
- Vi skal omregne dens masse til SI-enheder: $M_s = 3,90 \times 10^{30} \text{ kg}$
- Fra modellens tilpasning har vi lært, at omløbstiden $T = 2,70339 \text{ dage}$. Omregning af omløbstiden til sekunder: $T = 233\,573 \text{ s}$

Vi har nu alle de oplysninger, der er nødvendige for at bestemme afstanden mellem stjernen og exoplaneten.

$$d = \sqrt[3]{\frac{GM_s}{4\pi^2} T^2} = \sqrt[3]{\frac{6,67430 \times 10^{-11} \times 3,90 \times 10^{30}}{4\pi^2} 233\,573^2} = 7,112 \times 10^9 \text{ m} = \mathbf{0,048 \text{ au}}$$

Lad os nu sammenligne KELT-3b's periode og gennemsnitlige baneafstand med planeterne i vores solsystem:

Tabel 1		
Planet	Periode (dage)	Gennemsnitlig afstand i kredsløb (au)
KELT-3b	2,70339	0,048
Kviksølv	87,97	0,4
Jorden	365,25	1
Neptun	60266,25	30

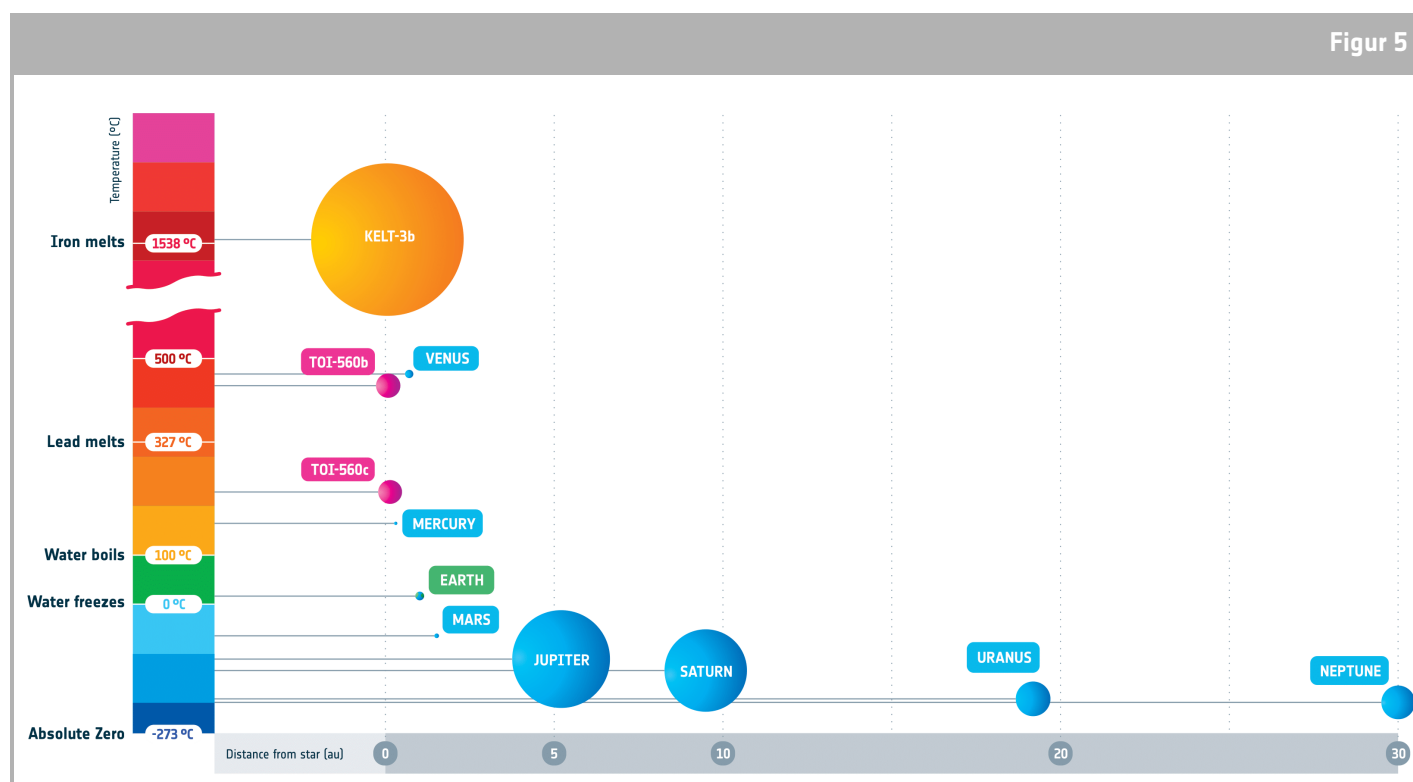
↑ Sammenligning af periode og gennemsnitlig banelængde for KELT-3b og planeter i solsystemet

KELT-3b har en meget kortere omløbstid end Merkur, der er den planet i vores solsystem, der er tættest på solen, på grund af exoplanetens lille afstand til sin værtsstjerne. Transitfotometrimetoden identificerer planeter i disse typer baner lettere end planeter som dem i vores solsystem.

Hvordan kan vi vide, om en exoplanet kan være beboelig?

Jorden er den dag i dag det eneste sted i universet, som man ved, at der er liv på jorden. Det er også uvist, om liv kunne udvikle sig og eksistere under forhold, der er meget forskellige fra dem, der findes på vores planet. Når forskerne undersøger exoplaneter og definerer de mulige betingelser for beboelighed, forsøger de at finde frem til betingelser, der ligner dem på Jorden, f.eks. temperatur.

En vigtig faktor, der skal tages i betragtning for beboeligheden, er temperaturen. En planets temperatur er for det meste defineret af dens afstand til dens værtsstjerne. Når en planet kredser om en stjerne i en afstand, hvor der kan være **flydende vand** på dens overflade, befinder planeten sig i værtsstjernens **beboelige zone**.



↑ Diagram, der viser planetens størrelse og temperatur i forhold til afstanden til dens værtsstjerne. Planeternes størrelse og afstand er repræsenteret med to forskellige skalaer.

Venus: undtagelsen i solsystemet

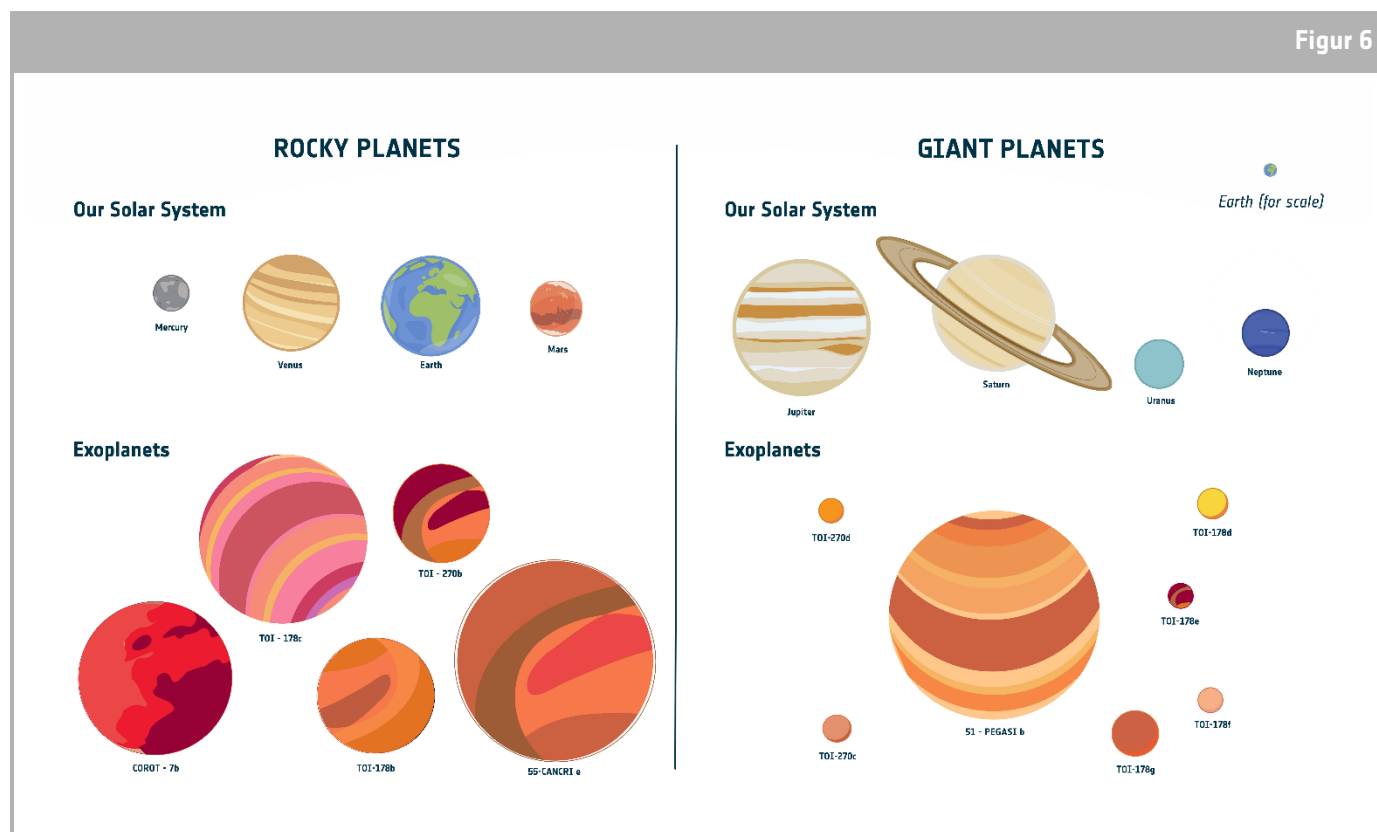
Den temperatur, der måles på en planets overflade, påvirkes også af dens atmosfære. I solsystemet er Venus et ekstremt eksempel. Dens tykke atmosfære virker som et drivhus og opvarmer overfladen til over blyets smeltepunkt, hvilket gør den til en varmere planet end Merkur, selv om den ligger længere væk fra solen.

KELT-3b eksempel:

Lad os nu diskutere KELT-3b som et eksempel. Det er usandsynligt, at KELT-3b kan være vært for liv, fordi den er for tæt på sin værtsstjerne, hvilket gør overfladetemperaturen meget høj og ligger over jernets smeltepunkt. De fleste aminosyrer, som er byggestenene til liv, ville ikke overleve sådanne ekstreme temperaturer. Planeten bliver også bombarderet med høje strålingsniveauer på grund af den meget korte afstand til sin værtsstjerne.

Hvad er exoplaneter lavet af?

I vores solsystem er planeterne normalt opdelt i to kategorier: stenede og gasformige. Men exoplaneter kan være meget forskellige fra de naboplaneter, som vi er vant til.



↑ Eksempler på kunstneriske indtryk af virkelige exoplaneter, som allerede er blevet opdaget i kredsløb om nærliggende stjerner.

Ved at beregne en exoplanets gennemsnitlige **tæthed**, ρ , er det muligt at få en idé om exoplanetens sammensætning.

$$\rho = \frac{M}{V}$$

Hvor M er exoplanetens masse og V er exoplanetens volumen.

Exoplanetens masse og volumen bestemmes normalt med en stor fejl forbundet med værdierne. Disse fejl overføres derefter til beregningen af exoplanetens massefylde, hvilket skaber en usikkerhed i massefyldeværdien på mellem 10 og 30 %.

En anden teknik, der bruges til at undersøge exoplaneter, kaldes spektroskopi. Med denne teknik opdeles det lys, der modtages fra stjernen eller exoplaneten, i forskellige bølgelængder, hvilket gør det muligt at bestemme exoplanetens **atmosfæriske sammensætning** eller skydække.

KELT-3b eksempel:

Lad os nu analysere KELT-3b-dataene som et eksempel. KELT-3b's masse er $617 M_{\text{Earth}}$. Denne værdi kan ikke bestemmes ud fra transitfotometri. Den blev bestemt fra tidligere observationer ved hjælp af en anden teknik kaldet radialhastighed.

I den første øvelse bestemte vi allerede KELT-3b's radius. Når vi kender radius, kan vi beregne

exoplanetens volumen, idet vi antager, at den er en perfekt kugle: $V = \frac{4}{3} \pi R^3$.

$$M_p = 617 M_{\text{Earth}} = 3,685 \times 10^{30} \text{ g}$$

$$R_p^* = 17,5 R_{\text{Earth}} = 1,116 \times 10^{10} \text{ cm}$$

* Denne radiusværdi blev estimeret ud fra beregningen af transitybden, men eleverne kan også bruge allesfitter-modelværdien for den bedst tilpassede model.

$$\rho = \frac{M}{V} = 0,63 \text{ g cm}^{-3}$$

Denne værdi er meget mindre end Jupiters gennemsnitlige massefylde og tættere på massefylden af WASP-189b (en kendt varm Jupiterexoplanet). Den lille afstand til dens værtsstjerne og dens høje temperatur gør exoplaneten "puffy".

KELT-3b resumé

KELT-3b er en varm Jupiter, der kredser om en sol lignende stjerne, KELT-3, ca. 690 lysår fra Jorden.

KELT-3b kredser meget tæt om sin værtsstjerne, mere end 10 gange tættere end Jorden kredser om Solen. Exoplaneten behøver kun 2,7 dage for at fuldføre et fuldt kredsløb om KELT-3.

På grund af dens nærhed til værtsstjernen er exoplanetens middeltemperatur meget høj, over jernets smeltetemperatur, hvilket gør den helt beboelig.

KELT-3b består hovedsageligt af brint og helium, ligesom Jupiter. På grund af exoplanetens høje temperatur og dens nærhed til stjernen er dens atmosfære meget udstrakt (puffy) og dens gennemsnitlige massefylde er meget lav.

Tabel 2	
Exoplanet	KELT-3b
Type af planet	Hot Jupiter
Radius (R_{Earth})	16,81 (fra allesfitter)
	17,5 (fra transitybde)
Masse (M_{Earth})	617 ± 105
Orbitalperiode (dage)	2,70339
Gennemsnitlig kredsløbsafstand (au)	$\sim 0,048$
Massefylde (g/cm^3)	$\sim 0,63$
Gennemsnitstemperatur ($^{\circ}\text{C}$)	~ 1543

↑ Resumé af et skøn over KELT-3b's egenskaber

Indsend dit projekt

Hold kan indsende deres holds Hack an Exoplanet-projekt på Hack an Exoplanet-platformen for at modtage et deltagercertifikat. Du kan indsende dit projekt på hackanexoplanet.esa.int/submit-your-project.

→ Udfordring 2 - Analyse af TOI-560c-data

Når analysen af KELT-3b er afsluttet, bør holdene kunne følge den samme analyseproces for TOI-560c-dataene.

Alle de nødvendige oplysninger findes i sagsmappen i elevens arbejdsark og på hackanexoplanet.esa.int/challenges.

Holdene kan indsende deres "Hack an Exoplanet"-projekt på platformen Hack an Exoplanet for at modtage et deltagercertifikat. For at indsende dit holds projekt kan du besøge hackanexoplanet.esa.int/submit-your-project.

Prisen for det bedste projekt:

For at få chancen for at vinde prisen for det bedste projekt skal holdene indsende deres undersøgende journal om TOI-560c.

Dit hold skal indsende en analyse af Cheops-dataene for TOI-560c, og den skal følge formatet for en videnskabelig artikel, herunder et resumé, analyse og resultater samt konklusioner.

De vindende hold vil modtage ESA-godbidder og få mulighed for at deltage i et webinar med Nobelprismodtageren i fysik Didier Queloz den 17. juli 2023. Sidste frist for indsendelse af forslag er den 14. juni 2023.

Du kan indsende dit projekt på hackanexoplanet.esa.int/submit-your-project.

→ LINKS

Ressourcer til støtte

Hack en exoplanet:

hackanexoplanet.esa.int

Hack en guide til undervisere om exoplaneter til aktiviteten

hackanexoplanet.esa.int/da/educators-guide

AllesFitter uddannelsesversion af softwaren:

hackanexoplanet.esa.int/allesfitter

Introduktion til Hack an Exoplanet - bliv en exoplanetdetektiv

hackanexoplanet.esa.int/da/challenges

Allesfitter mini tutorial - trin-for-trin vejledning i, hvordan du tilpasser den bedste model til dataene

hackanexoplanet.esa.int/da/allesfitter-guide

Hvordan man bestemmer størrelsen af en exoplanet

hackanexoplanet.esa.int/da/challenges-size

En exoplanets omløbstid og afstand ved hjælp af Keplers tredje lov

hackanexoplanet.esa.int/da/challenges-orbital-period-and-distance

Kan exoplaneter være beboelige?

hackanexoplanet.esa.int/da/challenges-temperature-and-habitability

Hvad er exoplaneter lavet af?

hackanexoplanet.esa.int/da/challenges-composition

Videnskabelige referencer for KELT-3b

exoplanetarchive.ipac.caltech.edu/overview/KELT-3

ESA's ressourcer

ESA-ressourcer til klasseværelset

esa.int/Education/Classroom_resources

Undervis 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

ESA's rumfartsprojekter

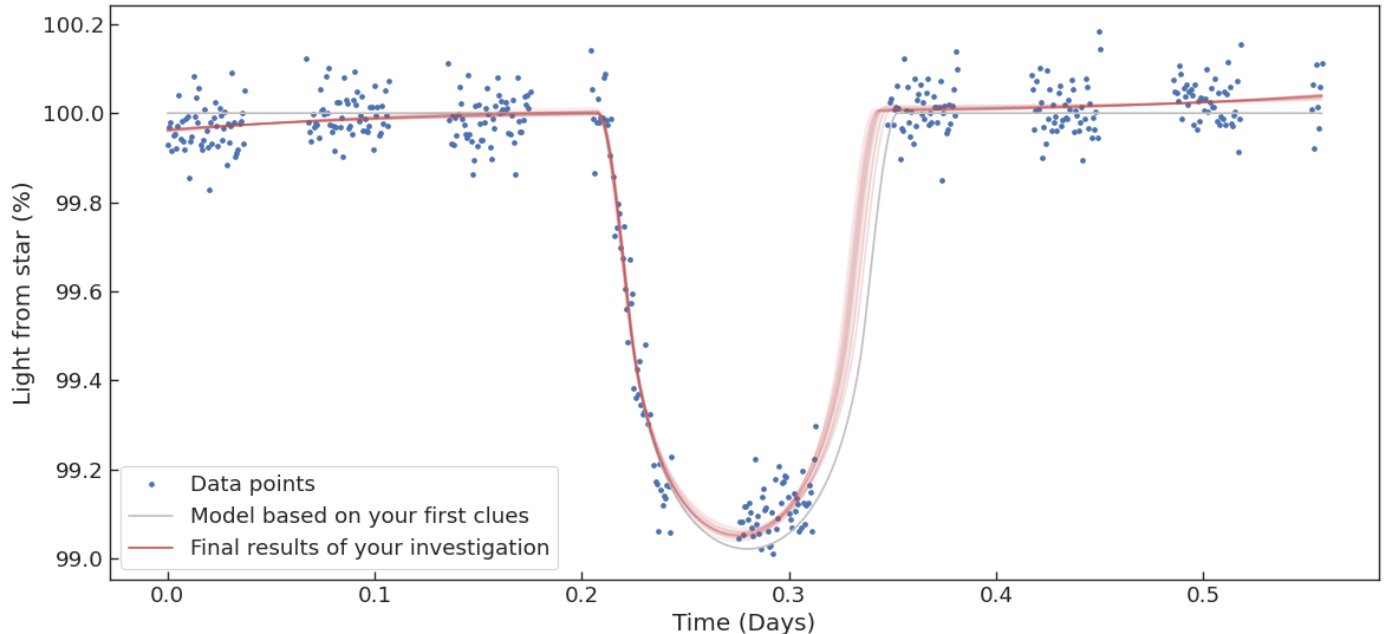
Cheops - CHarakterisering af ExOPlanetsatellit

esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Cheops

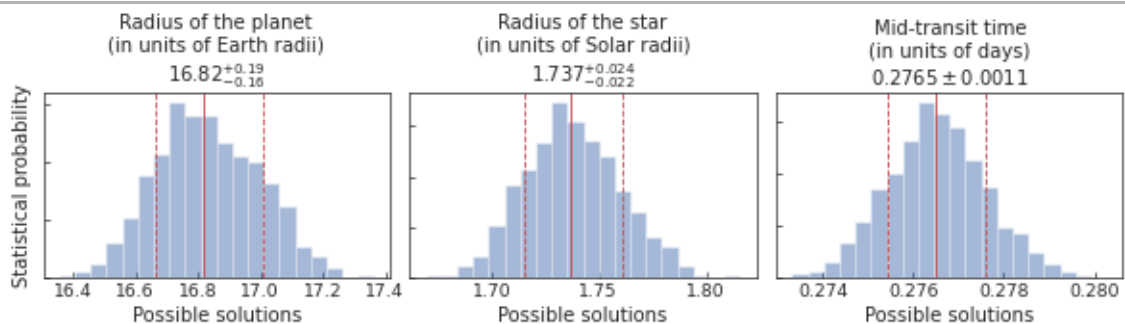
→ Bilag 1

Transitlyskurve for exoplaneten KELT-3b

KELT-3b resultater af den bedste tilpasning af modellen fra *allesfitter*



↑ Transit-lyskurve med den bedst tilpassede model.



- Histogrammerne viser sandsynligheden for, at hver parameter har en bestemt værdi.
- Den midterste gennemgående linje viser medianværdien for hver parameter.
- De stiplede linjer til venstre og højre for den angiver henholdsvis den nedre og den øvre grænse.
- Disse kaldes 1-sigma-usikkerhederne. Det betyder, at vi statistisk set kan være 68 % sikre på, at den sande værdi ligger inden for dem.
- Bemærk, at det betyder, at det er muligt, at den sande værdi af en parameter ligger uden for disse grænser; de er kun statistiske usikkerheder, ikke endelige grænser.

↑ Histogram af den statistiske sandsynlighed for alle parameterværdier for KELT-3b

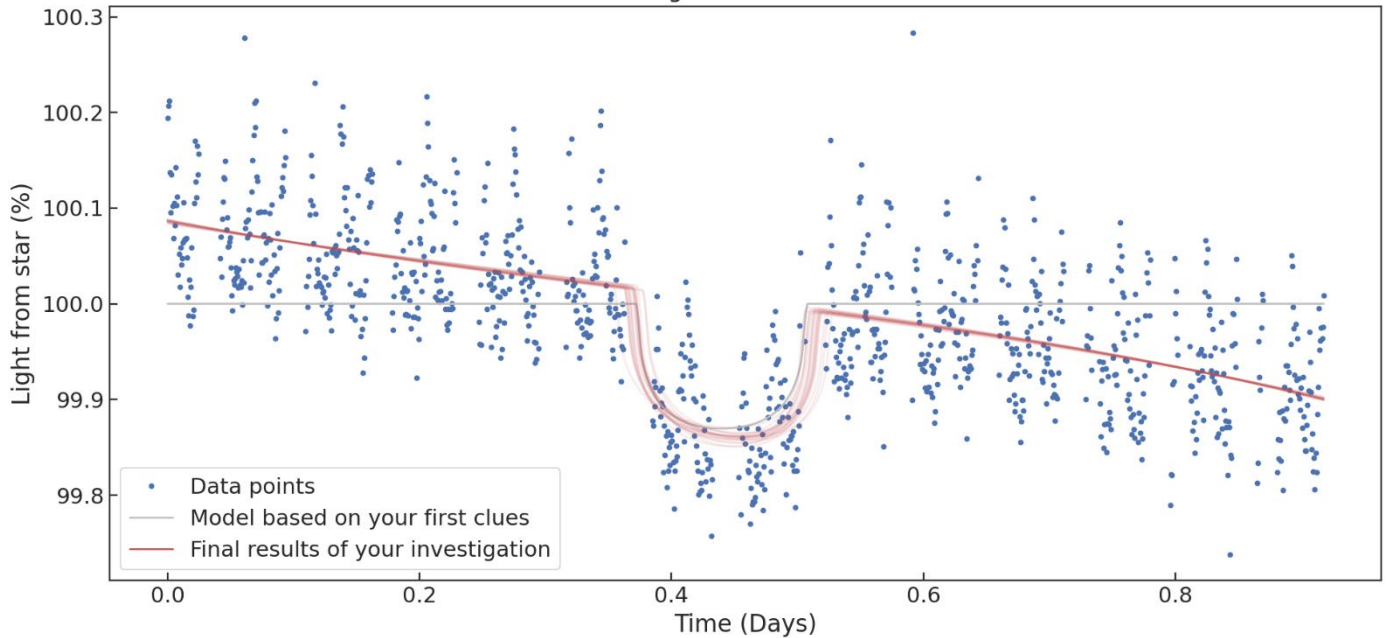
Navn	Medianværdi	Lavere fejl	Øvre fejl	Sagsfremstilling
Planetens radius (i enheder af Jordens radius)	16.82	0.16	0.19	Cheops' observationer
Stjernens radius (i enheder af solradius)	1.737	0.022	0.024	Cheops' observationer
Midtvejs transittid (i dage)	0.2765	0.0011	0.0011	Cheops' observationer
Orbitalperiode (i dage)	2.70339			Andre observationer fra arkivet

↑ Tabel med de bedst tilpassede modelparametre.

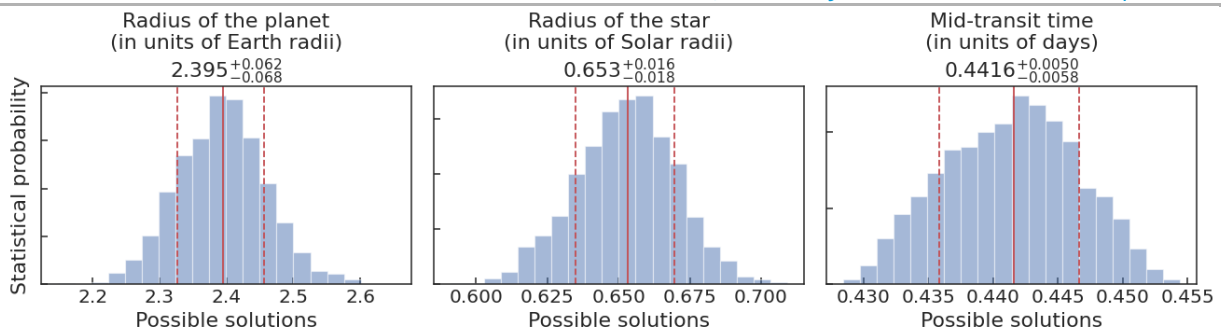
→ Bilag 2

Transit-lyskurve for exoplaneten TOI-560c

TOI-560c bedste modelpasningsresultater fra *allesfitter*



↑ Transit-lyskurve med den bedst tilpassede model.



- Histogrammerne viser sandsynligheden for, at hver parameter har en bestemt værdi.
- Den midterste gennemgående linje viser medianværdien for hver parameter.
- De stiplede linjer til venstre og højre for den angiver henholdsvis den nedre og den øvre grænse.
- Disse kaldes 1-sigma-usikkerhederne. Det betyder, at vi statistisk set kan være 68 % sikre på, at den sande værdi ligger inden for dem.
- Bemærk, at det betyder, at det er muligt, at den sande værdi af en parameter ligger uden for disse grænser; de er kun statistiske usikkerheder, ikke endelige grænser.

↑ Histogram af den statistiske sandsynlighed for alle parameterværdier for TOI-560c

Navn	Medianværdi	Lavere fejl	Øvre fejl	Sagsfremstilling
Planetens radius (i enheder af Jordens radius)	2.395	0.068	0.062	Cheops' observationer
Stjernens radius (i enheder af solradius)	0.653	0.018	0.016	Cheops' observationer
Midtvejs transittid (i dage)	0.4416	0.0058	0.0050	Cheops' observationer
Orbitalperiode (i dage)	18.8797			Andre observationer fra arkivet

↑ Tabel med de bedst tilpassede modelparametre.