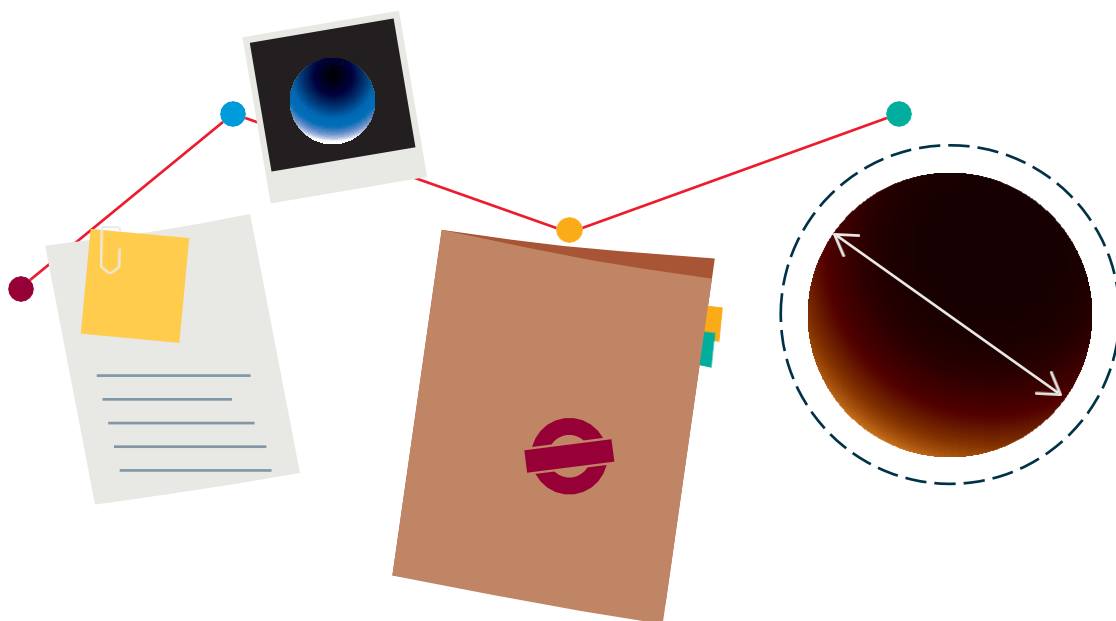


teach with space

→ HACK EN EKSOPLANET

Bli en romdetektiv





LÆRERVEILEDNING

<i>Kjappe fakta</i>	03
<i>Innledning</i>	04
<i>Aktivitet</i>	05
<i>Utfordring 1: Analyse av KELT-3b-data</i>	07
<i>Utfordring 2: Analyse av TOI-560c data</i>	13
<i>Lenker</i>	14
<i>Vedlegg</i>	15

Lær med verdensrommet - hack en eksoplanet | P39

www.esa.int/education

ESAs utdanningskontor tar gjerne imot tilbakemeldinger og kommentarer

teachers@esa.int

En ESA Education-produksjon i samarbeid med ESA Science

Copyright 2023 © Den europeiske romfartsorganisasjonen

→ HACK EN EXOPLANET

Bli en romdetektiv

Kjappe fakta

Fag: Fysikk, matematikk, astronomi

Aldersgruppe: 14 - 19 år

Type: elevaktivitet og/eller hackathon

Vanskelighetsgrad: middels

Lærerens forberedelsestid: 1 time

Nødvendig leksjonstid: 90 minutter per utfordring (3 timer totalt)

Kostnad: lav (0-10 euro)

Sted: klasserom

Gjør bruk av: datamaskin (hvis ikke mulig foreslås et alternativ)

Nøkkelord: Fysikk, Matematikk, Astronomi
Eksoplanet, Passasje

Kort beskrivelse

I denne aktiviteten skal elevene karakterisere to eksoplaneter ved å analysere data fra ESAs Cheops-satellitt. Elevene skal jobbe som ekte forskere og tilpasse en modell til dataene for å finne de parameterne som passer best.

Aktiviteten kan gjennomføres i et veiledet format eller i et prosjektbasert læringsformat, for eksempel i et hackathon. Lærerveiledningen presenterer begge alternativene.

Aktivitetene suppleres med videoforklaringer utarbeidet av eksperter på eksoplaneter.

Læringsmål

- Arbeide vitenskapelig med ekte satellittdata.
- Bruke matematiske dataanalyseteknikker ved å tilpasse en modell til reelle data.
- Lær om Keplers tredje lov og orbitalmekanikk.
- Forstå hva en eksoplanetpassasje (transit) er.
- Utvikle samarbeidsevner under tidspress.

Du trenger også

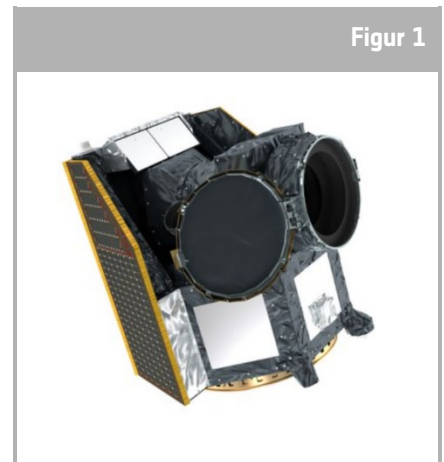
Støttende videomateriale. Se avsnittet *Lenker*.

- Introduksjon til Hack an Exoplanet - bli en eksoplanetdetektiv
- *Allesfitter* mini-veiledning - trinn-for-trinn-veiledning om hvordan du tilpasser den beste modellen til dataene
- Slik bestemmer du størrelsen på en eksoplanet
- Omløpstiden og avstanden til en eksoplanet, ved hjelp av Keplers tredje lov.
- Kan eksoplaneter være beboelige?
- Hva er eksoplaneter laget av?

→ Innledning

Denne utdanningsaktiviteten er utviklet i forbindelse med ESAs første hackathon for elever i videregående skole: "**Hack an Exoplanet**". Disse utfordringene lar elevene bruke ekte satellittdata til å undersøke fremmede verdener og bli eksoplanetdetektiver for en dag.

I januar 2023 observerte ESAs Cheops (CHaracterising ExOPlanet Satellite) to eksoplaneter, KELT-3b og TOI-560c, spesielt for denne aktiviteten. Ved å analysere dataene fra Cheops kan elevene bli med ESA-forskerne i jakten på svar og hjelpe dem med å forstå disse to mystiske fremmede verdenene.



↑ Kunstnerens inntrykk av Cheops.

Utfordringene er praktiske aktiviteter der elevene skal analysere data fra ESAs Cheops-satellitt. Elevene må karakterisere de viktigste egenskapene til eksoplanetene ved hjelp av støttmateriellet og den pedagogiske versjonen av tilpasningsverktøyet, *allesfitter*, som er utarbeidet spesielt for disse datasettene. Aktivitetene ledsages av både skriftlige forklaringer, videoforklaringer og eksempler, utarbeidet av eksperter på eksoplaneter.

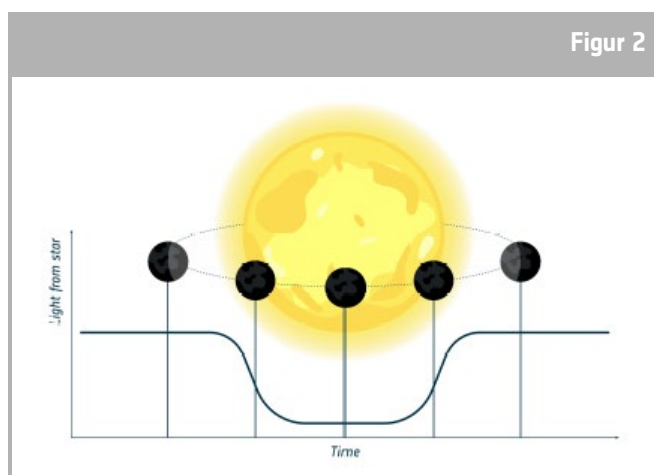
Aktivitetene kan presenteres i et veiledet format eller i et prosjektbasert læringsformat, for eksempel i et hackathon. Lærerveiledningen presenterer begge alternativene.

Hva er en eksoplanet?

Eksoplaneter, eller ekstrasolare planeter, er planeter utenfor vårt eget solsystem som går i bane rundt en annen stjerne enn solen.

Hvordan studerer vi eksoplaneter?

Det finnes i dag over 5000 bekreftede eksoplaneter, i omtrent 4000 stjernesystemer, men eksoplaneter er vanskelige å oppdage. Signalet vi mottar fra en eksoplanet er svært lite i forhold til det mye større signalet som kommer fra deres større, lysere vertsstjerner, vanligvis mye mindre enn 1 %.



↑ Representasjon av transittfotometrimetoden.

Det finnes forskjellige metoder for å oppdage og karakterisere eksoplaneter, i denne aktiviteten vil vi bruke **transitfotometri-metoden** (passasjemodellen). Dette er den vanligste metoden for å finne eksoplaneter.

Fotometri - ordet fotometri kommer fra gresk: foto "lys" og metri "måle". Det er en teknikk som brukes i astronomi for å måle lyset fra stjerner på en kvantitativ måte.

Transitt - eksoplaneten oppdages ved å måle en reduksjon i lyset som kommer fra stjernen.

→ Aktivitet

Hack en eksoplanet-aktiviteten består av to utfordringer. Den første utfordringen er å analysere transitt-lyskurven til den gigantiske eksoplaneten KELT-3b. Ved å følge instruksjonene i støttemateriellet og/eller informasjonen i instruksjonsvideoene vil elevene kunne utlede egenskapene til KELT-3b.

Den andre utfordringen er analysen av transitt-lyskurven til eksoplaneten TOI-560c, en mini-Neptun. Etter å ha fullført prosessen for KELT-3b, skal elevene være i stand til å fullføre dataanalysen av TOI-560c på egen hånd ved å følge en lignende prosess.

Utstyr

- Datamaskin med tilgang til internett for å få tilgang til nettleserverktøyet *allesfitter*. Hvis dette trinnet ikke er mulig, kan teamene bruke de beste tilpasningsparameterne i **vedlegg 1** – Lyskurven til eksoplaneten KELT-3b og **vedlegg 2** – Lyskurven til eksoplaneten TOI-560c.
 - Elevark trykt for hver gruppe, det inkluderer:
 - Kart over undersøkelser av eksoplaneter
 - KELT-3b- og TOI-560c-saksakter
 - Informasjon om solsystemets planeter
 - Trinn-for-trinn-guide for *allesfitter*
 - Kalkulator (valgfritt)
 - Denne aktiviteten har også seks støttevideoer for å veilede teamene (se avsnittet Lenker):
 - Introduksjon til Hack an Exoplanet - bli en eksoplanetdetektiv
 - *Allesfitter* mini-veiledning - trinn-for-trinn-veiledning om hvordan du tilpasser den beste modellen til dataene
 - Hvordan bestemme størrelsen på en eksoplanet
 - Omløpstiden og avstanden til en eksoplanet, ved hjelp av Keplers tredje lov.
 - Kan eksoplaneter være beboelige?
 - Hva er eksoplaneter laget av?
- Informasjonen i videoene presenteres også i denne lærerveiledningen.

Oppgave:

Datasettene for de to målene ble innhentet av ESAs Cheops-satellitt 22. og 23. januar 2023, spesielt for denne utdanningsaktiviteten. Dataene har blitt behandlet av ESAs eksperter og er klare til å brukes av studentene. Denne aktiviteten kan presenteres i et veiledet format eller i et prosjektbasert læringsformat, for eksempel i et hackathon. Lærerveiledningen presenterer begge alternativene.

Vi anbefaler at denne aktiviteten gjennomføres i grupper på 3 til 4 elever. Dette vil gjøre det mulig for elevene å diskutere den beste tilnærmingen for å fullføre hver utfordring og diskutere resultatene.

Merk: Hvis analysen av dataene er for kompleks, kan teamene også fullføre saksmappen ved å søke etter informasjonen på nettet.

Veiledende format

- Begynn med å introdusere temaet eksoplaneter for klassen. Vi foreslår at du bruker denne introduksjonsvideoen: *Introduksjon til Hack en eksoplanet*.
- Del klassen inn i grupper på 3 til 4 elever.
- Presenter utfordringen for elevene. Hvert lag må karakterisere de viktigste egenskapene til eksoplaneten KELT-3b ved å fylle ut saksmappen som er tilgjengelig i arbeidsarkene. Lagene må bestemme størrelsen, omløpstiden, baneavstanden, temperaturen og sammensetningen til KELT-3b, og sammenligne dens egenskaper med planetene i vårt solsystem. Undersøkelseskartet for eksoplaneter gir mer informasjon om hver av de nevnte egenskapene.
- Del ut støttedokumentasjonen til teamene og gi dem noen minutter til å analysere den.
- Angi en tid for gruppene til å bestemme hver eksoplanet-egenskap. Før gruppene starter arbeidet med å bestemme hver egenskap, viser du dem den respektive støttevideoen. Støttevideoene inneholder informasjon om hvordan man bestemmer hver egenskap og løsningen for KELT-3b.
- Sørg for at teamene forstår hvordan de skal bestemme hver parameter før de går videre til neste.
- Etter å ha bestemt alle parameterne, skal teamene presentere og diskutere konklusjonene sine med klassen.
- Som neste trinn kan du foreslå å fullføre utfordring 2 og bestemme egenskapene til eksoplaneten TOI-560c.

Prosjektbasert format – hackathon

- Del klassen inn i grupper på 3 til 4 elever.
- Begynn med å introdusere hackathon-konseptet for elevene ved hjelp av denne introduksjonsvideoen: *Introduksjon til Hack an Exoplanet*
- Du kan la teamene utføre utfordringene på egen hånd (for eksempel som lekser eller som et klasseromsprosjekt) eller gjøre det i et felles klasserom eller lage et skolearrangement.
- Forsterk om nødvendig konseptet med utfordringen for elevene. Hvert lag må karakterisere de viktigste egenskapene til eksoplaneten KELT-3b ved å fylle ut saksmappen som er tilgjengelig i arbeidsarkene til elevene. Lagene må bestemme størrelsen, omløpstiden, baneavstanden, temperaturen og sammensetningen til KELT-3b, og sammenligne dens egenskaper med planetene i vårt solsystem. Undersøkelseskartet for eksoplaneter gir mer informasjon om hver av de nevnte egenskapene.
- Del ut støttedokumentasjonen til lagene og gi dem en tidsramme for å fullføre hele utfordringen, vi foreslår rundt 90 minutter for analysen av KELT-3b.
- For å sikre at teamene har jevn fremdrift, kan du angi en tidsramme for bestemmelsen av hver egenskap eller vise den relevante støttevideoen og gi tips på bestemte tidspunkter. Støttevideoene inneholder informasjon om hvordan du bestemmer hver egenskap og løsningen for KELT-3b.
- Etter å ha fastsatt alle parameterne, bør teamene presentere og diskutere konklusjonene sine med hele gruppen.
- Som neste trinn kan du foreslå å fullføre utfordring 2 og bestemme egenskapene til eksoplaneten TOI-560c.

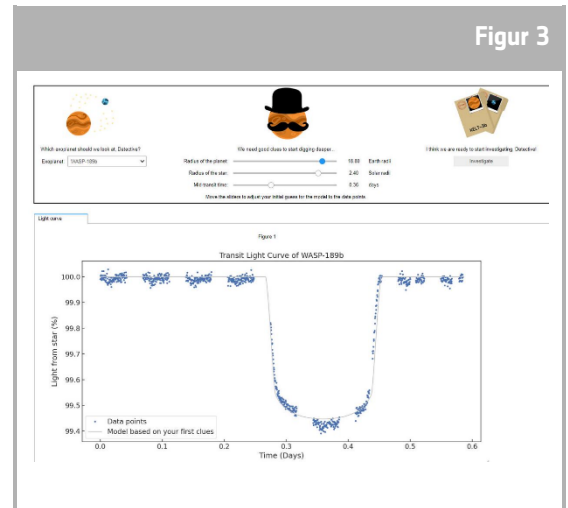
Utfordring 1 - Analyse av KELT-3b-data → KELT-3b data

Tilgang til og tilpasning av satellittdata

Dataene er tilgjengelige via denne lenken: hackanexoplanet.esa.int/allesfitter.

Denne versjonen av *allesfitter* er en nettbasert applikasjon som gir enkel og gratis tilgang til Cheops-satellittdata, slik at flere eksoplaneter kan modelleres ut fra transittmålinger. Den er tilgjengelig fra en nettleser.

For å finne de best tilpassede parameterne for dataene, bør elevene følge trinn-for-trinn-veiledningen i elevarbeidsarket for *allesfitter* eller følge videoveiledningen. Denne veiledningen gir instruksjoner om hvordan du bruker den nettleserbaserte undervisningsversjonen av *allesfitter*-verktøyet. I denne versjonen av verktøyet er datasettene allerede lastet opp, og det gjør det bare mulig å utforske spesifikke parametre: planetradius, stjernradius og midtpassasjetid.



↑ Altfitfitter-grensesnitt.

Merk: Hvis dette trinnet ikke er mulig, kan teamene bruke de beste tilpasningsparameterne i **vedlegg 1** – Lyskurven til eksoplanet KELT-3b og **vedlegg 2** – Lyskurven til eksoplanet TOI-560c.

Hvordan bestemme størrelsen på en eksoplanet?

Ved bruk av transittfotometri-metoden måler teleskopet mengden stjernelys over en tidsperiode. Forskere tilpasser modeller til dataene for å forsøke å oppdage variasjoner i stjernelyset som kan være forårsaket av en eksoplanet.

Når vi bruker transittfotometri-metoden, oppdager vi ikke eksoplaneten direkte (bortsett fra i helt spesielle tilfeller). Vi måler i stedet mengden stjernelys som eksoplaneten blokkerer når den passerer mellom stjernen og teleskopet.

Mengden stjernelys som eksoplaneten blokkerer, omtales vanligvis som transittens dybde. Og denne verdien er proporsjonal med eksoplanetens anslåtte areal.

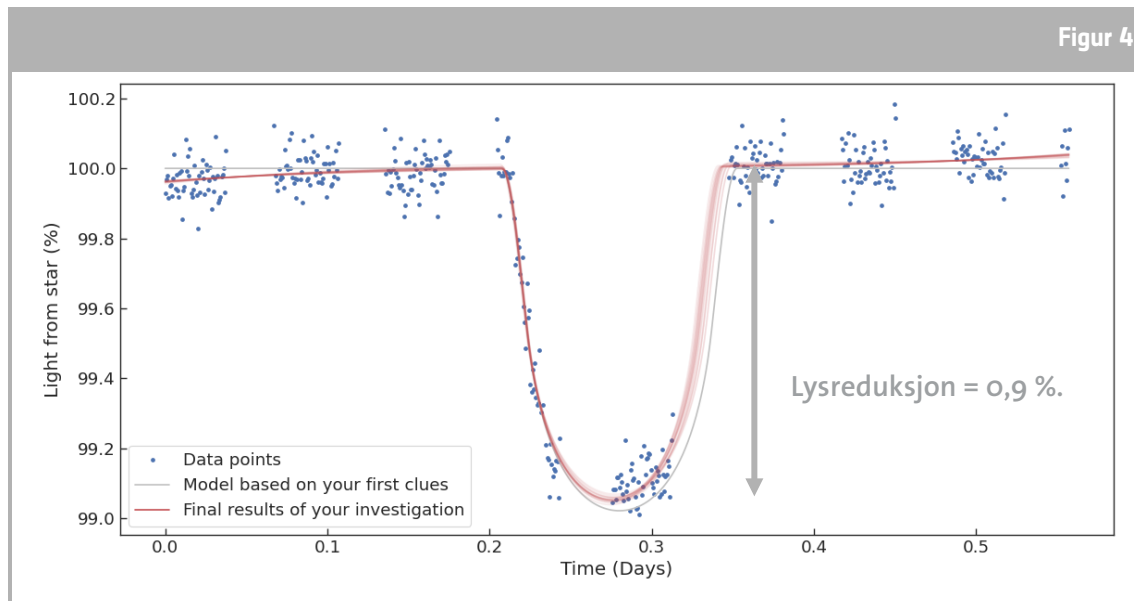
Det er mulig å bestemme eksoplanetens radius (R_p) hvis du kjenner stjernens radius (R_s) og lysreduksjonen:

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

Med «*oppriinnelig stjernelys*» menes lyset fra stjernen når planeten ikke passerer foran den.

Eksempel på KELT-3b:

La oss nå analysere KELT-3b-data som et eksempel.



↑ KELT-3b-data fra Cheops med den best tilpassede modellen for transittlyskurve fra *allesfitter*.

Radien til stjernen KELT-3 er kjent og oppgitt i saksmappen: $R_s = 1,70 R_{Sun}$

Ved å analysere Cheops-dataene kan vi måle lysreduksjonen ved passasjen til ca. 0,9 % (figur 4).

Ved hjelp av ligningen ovenfor: $R_p = \sqrt{R_s^2 \times \frac{\text{transit depth}}{100}} = \sqrt{1,70^2 \times \frac{0,9}{100}} = 0,161 R_{Sun}$

Konvertering til enheter for jordradier: $R_p = 0,161 \times 109 = \mathbf{17,5 R_{Earth}}$

Når elevene kjører allesfitter-programvaren, vil de hente en best mulig verdi for radiusen. Denne verdien kan avvike betydelig fra denne enkle estimeringen. På grensesnittet kan elevene bare variere tre parametere, men allesfitter-programvaren tilpasser dataene med en kompleks modell med flere skjulte parametere som kan gi en mer fullstendig tilpasning til dataene.

Hvordan bestemme omløpstiden og avstanden ved hjelp av Keplers tredje lov

Omløpstiden, T , til en planet er den tiden det tar planeten å fullføre et helt omløp rundt stjernen sin. Dette kan måles ved å finne midtpassasjetiden (midten av passasjen) for to påfølgende passeringer av samme eksoplanet og måle tidsintervallet mellom dem.

For disse observasjonene har vi bare én passasje, men vi kan ekstrapolere omløpstiden ved å sammenligne de nåværende observasjonsdataene med tidligere observasjonsdata som finnes i dataarkivet.

Når vi kjenner omløpstiden til eksoplaneten, kan vi bruke Keplers tredje lov til å utlede den gjennomsnittlige baneavstanden, d , mellom planeten og stjernen.

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

Hvor G er gravitasjonskonstanten og M_s er stjernens masse.

Eksempel på KELT-3b:

La oss nå analysere KELT-3b-data som et eksempel. I denne øvelsen bør elevene følge nøye med på enhetene.

- Gravitasjonskonstanten i SI-enheter er $G = 6,67430 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$
- Massen til stjernen KELT-3 er kjent: $M_s = 1,96 M_{\text{Sun}}$
- Vi må konvertere massen til SI-enheter: $M_s = 3,90 \times 10^{30} \text{ kg}$
- Fra modelltilpasningen har vi lært at omløpstiden, $T = 2,70339 \text{ dager}$. Omregning av omløpstiden til sekunder: $T = 233573 \text{ s}$

Vi har nå all informasjonen som trengs for å bestemme avstanden mellom stjernen og eksoplaneten.

$$d = \sqrt[3]{\frac{GM_s}{4\pi^2} T^2} = \sqrt[3]{\frac{6,67430 \times 10^{-11} \times 3,90 \times 10^{30}}{4\pi^2} 233573^2} = 7,112 \times 10^9 \text{ m} = \mathbf{0,048 \text{ au}}$$

La oss nå sammenligne KELT-3b's periode og gjennomsnittlig baneavstand til planetene i vårt solsystem:

Tabell 1		
Planet	Omløpstid (dager)	Gjennomsnittlig baneavstand (au)
KELT-3b	2,70339	0,048
Kvikksølv	87,97	0,4
Jorden	365,25	1
Neptun	60 266,25	30

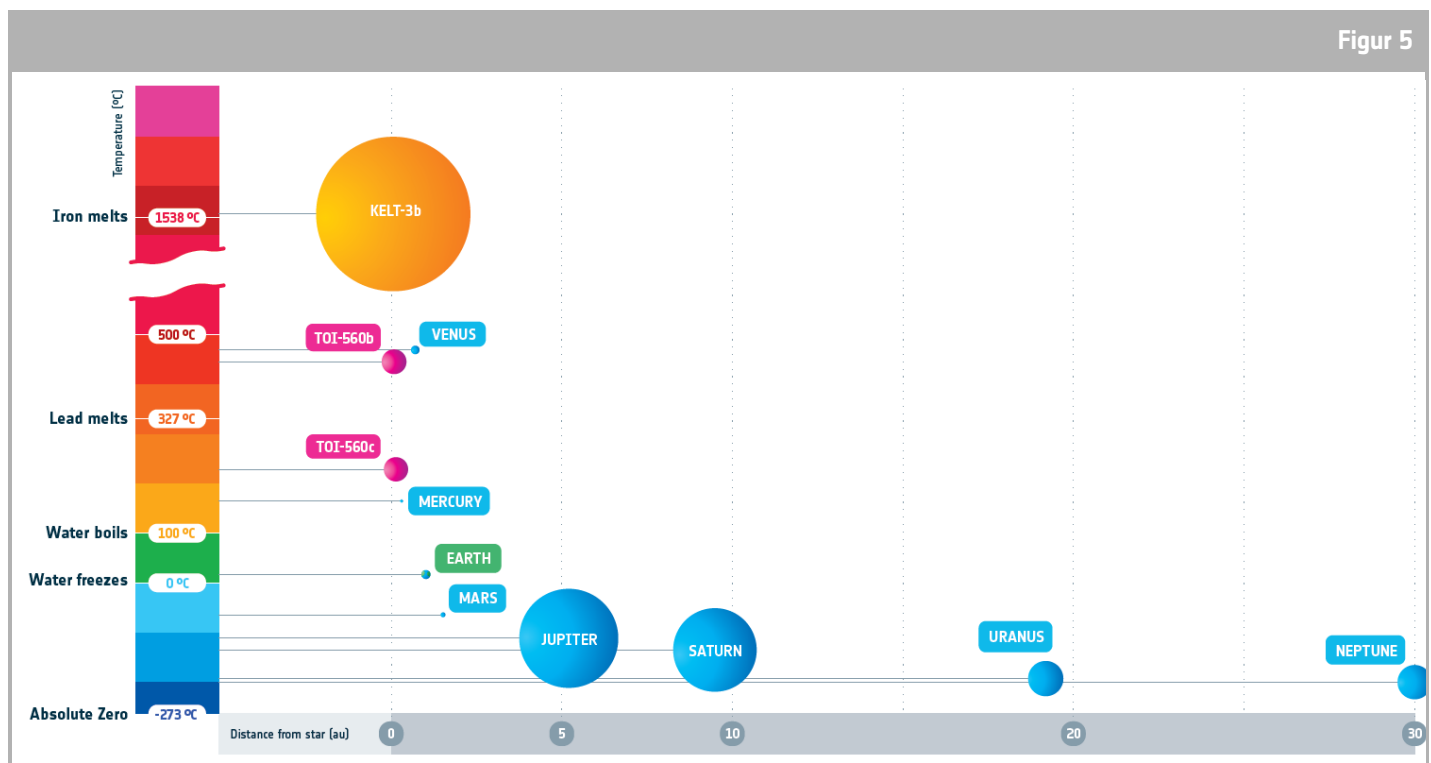
↑ Sammenligning av omløpstid og gjennomsnittlig baneavstand for KELT-3b og planeter i solsystemet

KELT-3b har en mye kortere omløpstid enn Merkur, den nærmeste planeten til solen i vårt solsystem, på grunn av den korte avstanden mellom eksoplaneten og vertsstjernen. Transittfotometri-metoden identifiserer planeter i denne typen baner lettere enn den identifiserer planeter som de i vårt solsystem.

Hvordan vet vi om en eksoplanet kan være beboelig?

Så langt vi vet i dag, er jorden det eneste stedet i universet der man vet at det finnes liv. Det er også ukjent om liv kan utvikle seg og eksistere under forhold som er svært forskjellige fra dem som finnes på planeten vår. Når forskerne undersøker eksoplaneter og definerer mulige betingelser for beboelighet, prøver de å identifisere forhold som ligner på jorda, for eksempel temperatur.

En viktig faktor som må vurderes for beboelighet, er temperaturen. Temperaturen til en planet defineres for det meste av avstanden til vertsstjernen. Når en planet går i bane rundt en stjerne i en avstand der det kan finnes **flytende vann** på overflaten, befinner planeten seg i den **beboelige sonen** til vertsstjernen.



↑ Diagram som viser planetens størrelse og temperatur i forhold til avstanden til vertsstjernen. Planetenes størrelse og avstand er representert med to forskjellige skalaer.

Venus: unntaket i solsystemet

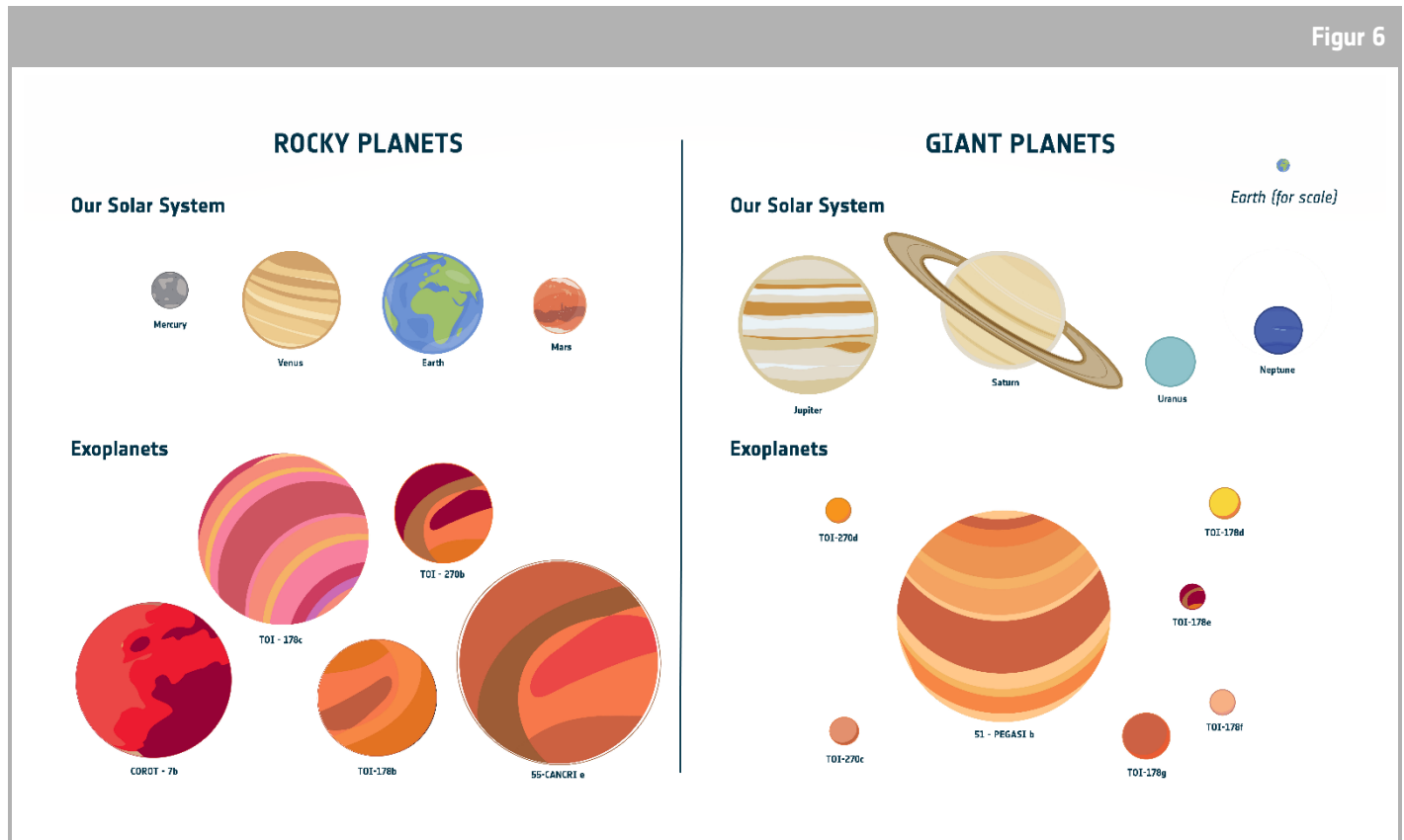
Temperaturen som måles på overflaten av en planet, påvirkes også av dens atmosfære. I solsystemet er Venus et ekstremt eksempel. Den tykke atmosfæren fungerer som et drivhus og varmer opp overflaten til over smeltepunktet for bly, noe som gjør den til en varmere planet enn Merkur, til tross for at den ligger lenger unna solen.

Eksempel på KELT-3b:

La oss nå diskutere KELT-3b som et eksempel. Det er usannsynlig at det er liv på KELT-3b fordi den er for nær sin vertsstjerne, noe som gjør overflatetemperaturen svært høy, over smeltepunktet for jern. De fleste aminosyrer, livets byggesteiner, ville ikke overleve slike ekstreme temperaturer. Planeten bombarderes også av høye strålingsnivåer på grunn av den svært korte avstanden til vertsstjernen.

Hva er eksoplaneter laget av?

I vårt solsystem deles planeter vanligvis inn i to kategorier: steinplaneter og gassplaneter. Eksoplaneter kan imidlertid være svært forskjellige fra naboplanetene vi er vant til.



↑ Eksempler på kunstneres inntrykk av ekte eksoplaneter som allerede er oppdaget i bane rundt nærliggende stjerner.

Ved å beregne en eksoplanets gjennomsnittlige **tetthet**, ρ , er det mulig å få en idé om eksoplanetens sammensetning.

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

Hvor M er eksoplanetens masse og V er eksoplanetens volum.

Eksoplanetens masse og volum bestemmes normalt med en stor feil knyttet til verdiene. Disse feilene forplanter seg deretter til beregningen av eksoplanetens tetthet, noe som skaper en usikkerhet i tetthetsverdien på mellom 10 % og 30 %.

En annen teknikk som brukes til å studere eksoplaneter, kalles spektroskopi. Med denne teknikken splittes lyset fra stjernen eller eksoplaneten opp i ulike bølgelengder, slik at man kan bestemme eksoplanetens **atmosfæriske sammensetning** eller skydekke.

Eksempel på KELT-3b:

La oss nå analysere KELT-3b-dataene som et eksempel. KELT-3b's masse er $617 M_{\text{Jord}}$. Denne verdien er ikke mulig å bestemme fra transittfotometri. Den ble bestemt fra tidligere observasjoner ved hjelp av en annen teknikk som kalles radiell hastighetsmetode.

I den første øvelsen bestemte vi allerede radiusen til KELT-3b. Ved å kjenne radiusen kan vi beregne volumet til eksoplaneten, forutsatt at den er en perfekt kule: $V = \frac{4}{3} \pi R^3$.

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

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

* Denne radiusverdien ble estimert fra transittdydeberegningen, studentene kan også bruke *allesfitter* best fit-modellverdien.

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

Denne verdien er mye mindre enn den gjennomsnittlige tettheten til Jupiter, og nærmere tettheten til WASP-189b (en kjent varm Jupiter-eksoplanet). Den korte avstanden til vertsstjernen og den høye temperaturen gjør eksoplaneten "oppblåst".

Sammendrag av KELT-3b

KELT-3b er en varm Jupiter som går i bane rundt en sol lignende stjerne, KELT-3, omtrent 690 lysår fra jorden.

KELT-3b går i bane svært nær sin vertsstjerne, mer enn 10 ganger nærmere enn jorden går i bane rundt solen. Eksoplaneten trenger bare 2,7 dager for å fullføre et fullt omløp rundt KELT-3.

På grunn av sin nærhet til vertsstjernen er eksoplanetens gjennomsnittstemperatur svært høy, over smeltetemperaturen for jern, noe som gjør den fullstendig ubeboelig.

KELT-3b består for det meste av hydrogen og helium, i likhet med Jupiter. På grunn av eksoplanetens høye temperatur og nærhet til stjernen er atmosfæren svært utvidet (oppblåst) og dens gjennomsnittlige tetthet svært lav.

Tabell 2	
Eksoplanet	KELT-3b
Type planet	Hot Jupiter
Radius (R_{Earth})	16,81 (fra allesfitter)
	17,5 (fra transittdybde)
Masse (M_{Earth})	617 ± 105
Omløpstid (dager)	2,70339
Gjennomsnittlig baneavstand (au)	$\sim 0,048$
Tetthet (g/cm^3)	$\sim 0,63$
Gjennomsnittstemperatur ($^{\circ}\text{C}$)	~ 1543

↑ Sammenheng av estimerte egenskaper til KELT-3b

Send inn prosjektet ditt

Lagene kan sende inn sitt lags hack an eksoplanet-prosjekt på Hack an Exoplanet-plattformen for å motta et deltakerbevis. For å sende inn prosjektet ditt, besøk hackanexoplanet.esa.int/submit-your-project.

→ Utfordring 2 - Analyse av TOI-560c-data

Etter å ha fullført analysen av KELT-3b skal lagene kunne følge den samme analyseprosessen for TOI-560c-dataene.

All nødvendig informasjon er tilgjengelig i saksmappen i elevarket og på hackanexoplanet.esa.int/challenges.

Lag kan sende inn sitt hack en eksoplanet-prosjekt på *Hack an Exoplanet*-plattformen for å motta et deltakerbevis. For å sende inn lagets prosjekt, besøk hackanexoplanet.esa.int/submit-your-project.

Prisen for beste prosjekt:

For å få sjansen til å vinne prisen for beste prosjekt må teamene sende inn sin undersøkelsesjournalen om TOI-560c i henhold til malen.

Lagets innsending skal inneholde deres analyse av Cheopsdataene for TOI-560c, og den skal følge formatet til en vitenskapelig artikkel, inkludert et sammendrag, analyse og resultater og konklusjoner.

Vinnerlagene vil motta godbiter fra ESA, samt muligheten til å delta på et webinar med nobelprisvinner i fysikk Didier Queloz 17. juli 2023. Fristen for å sende inn bidrag er 14. juni 2023.

For å sende inn prosjektet ditt, besøk hackanexoplanet.esa.int/submit-your-project.

LENKER → LENKER

Støttende ressurser

Hack en eksoplanet:

hackanexoplanet.esa.int

Hack en eksoplanet - lærerveiledning

hackanexoplanet.esa.int/educators-guide (på engelsk)

AllesFitter pedagogisk versjon av programvaren:

hackanexoplanet.esa.int/allesfitter

Introduksjon til *Hack an Exoplanet* - bli en eksoplanetdetektiv

hackanexoplanet.esa.int/challenges

Allesfitter mini-veiledning - trinn-for-trinn-veiledning om hvordan du tilpasser den beste modellen til dataene

hackanexoplanet.esa.int/allesfitter-guide

Hvordan bestemme størrelsen på en eksoplanet

hackanexoplanet.esa.int/challenges-size

Omløpstiden og avstanden til en eksoplanet, ved hjelp av Keplers tredje lov.

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

Kan eksoplaneter være beboelige?

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

Hva er eksoplaneter laget av?

hackanexoplanet.esa.int/challenges-composition

Vitenskapelige referanser for KELT-3b

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

ESAs ressurser

ESAs klasseromsressurser

esa.int/Education/Classroom_resources

Undervise med eksoplaneter

esa.int/Education/Teach_with_Exoplanets

Møt Cheops: den karakteriserende eksoplanetsatellitten

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

ESAs romprosjekter

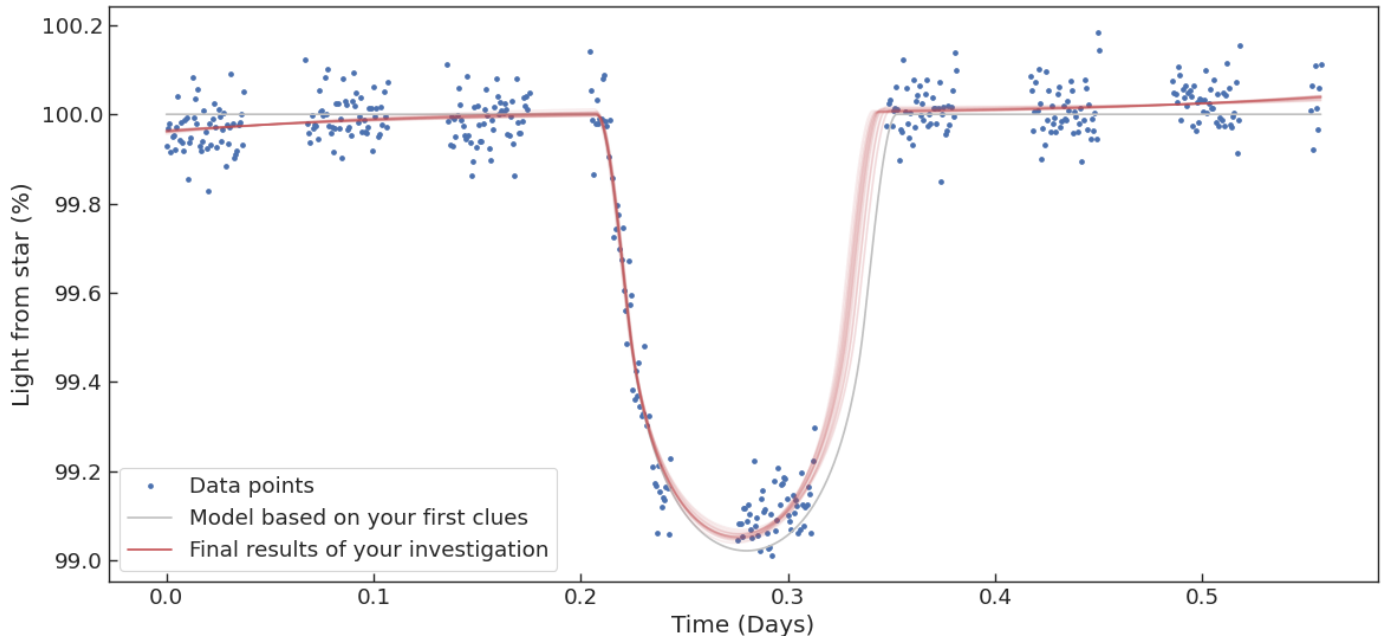
Cheops - Karakterisering av ExOPlanet-satellitten

esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Cheops

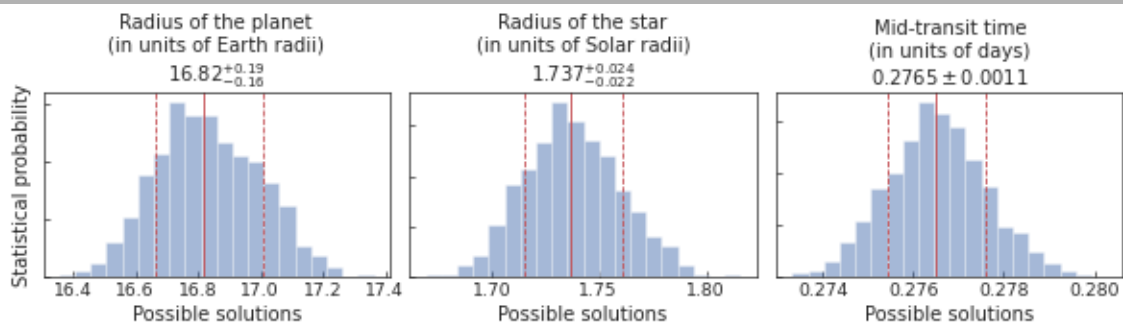
→ Vedlegg 1

Transitt-lyskurve for eksoplaneten KELT-3b

KELT-3b beste modelltilpasning resultater fra *allesfitter*



↑ [Modell for beste passform for transittlyskurve.](#)



- Histogrammene viser sannsynligheten for at hver parameter har en bestemt verdi.
- Den midtre, heltrukne linjen viser medianverdien for hver parameter.
- De stiplede linjene til venstre og høyre for den angir henholdsvis nedre og øvre grense.
- Dette kalles 1-sigma-usikkerhet. Det betyr at vi statistisk sett kan være 68 % sikre på at den sanne verdien ligger innenfor dem.
- Merk at dette betyr at det er mulig at den sanne verdien av en parameter ligger utenfor disse grensene; de er bare statistiske usikkerheter, ikke definitive grenser.

↑ [Histogram over den statistiske sannsynligheten for alle parameterverdiene til KELT-3b](#)

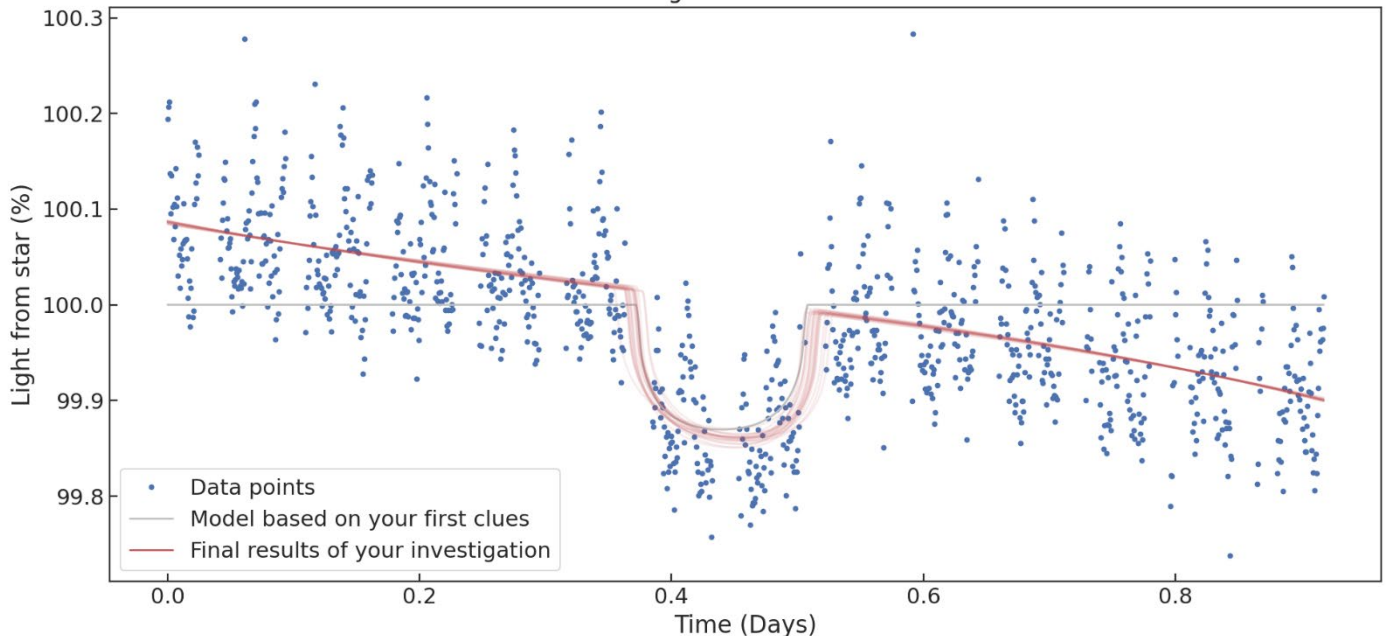
Navn	Medianverdi	Lavere feil	Øvre feil	Saksnotat
Planetens radius (i enheter av jordradier)	16,82	0,16	0,19	Cheops observasjoner
Stjernens radius (i enheter av solradier)	1,737	0,022	0,024	Cheops observasjoner
Midtveis transittid (i antall dager)	0,2765	0,0011	0,0011	Cheops observasjoner
Omløpstid (i antall dager)	2,70339			Andre observasjoner fra arkivet

↑ [Tabell med modellparametere for beste tilpasning.](#)

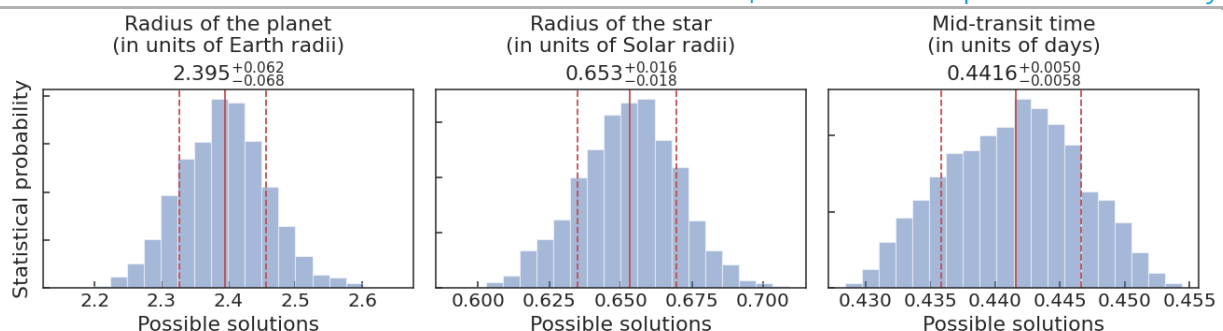
→ Vedlegg 2

Transitt-lyskurve for eksoplaneten TOI-560c

TOI-560c beste modelltilpasningsresultater fra *allesfitter*



↑ Modell for beste passform for transittlyskurve.



- Histogrammene viser sannsynligheten for at hver parameter har en bestemt verdi.
- Den midtre, heltrukne linjen viser medianverdien for hver parameter.
- De stiplede linjene til venstre og høyre for den angir henholdsvis nedre og øvre grense.
- Dette kalles 1-sigma-usikkerhet. Det betyr at vi statistisk sett kan være 68 % sikre på at den sanne verdien ligger innenfor dem.
- Merk at dette betyr at det er mulig at den sanne verdien av en parameter ligger utenfor disse grensene; de er bare statistiske usikkerheter, ikke definitive grenser.

↑ Histogram over den statistiske sannsynligheten for alle parameterverdiene til TOI-560c

Navn	Medianverdi	Lavere feil	Øvre feil	Saksnotat
Planetens radius (i enheter av jordradier)	2,395	0,068	0,062	Cheops observasjoner
Stjernens radius (i enheter av solradier)	0,653	0,018	0,016	Cheops observasjoner
Midtveis transittid (i antall dager)	0,4416	0,0058	0,0050	Cheops observasjoner
Omløpstid (i antall dager)	18,8797			Andre observasjoner fra arkivet

↑ Tabell med modellparametere for beste tilpasning.