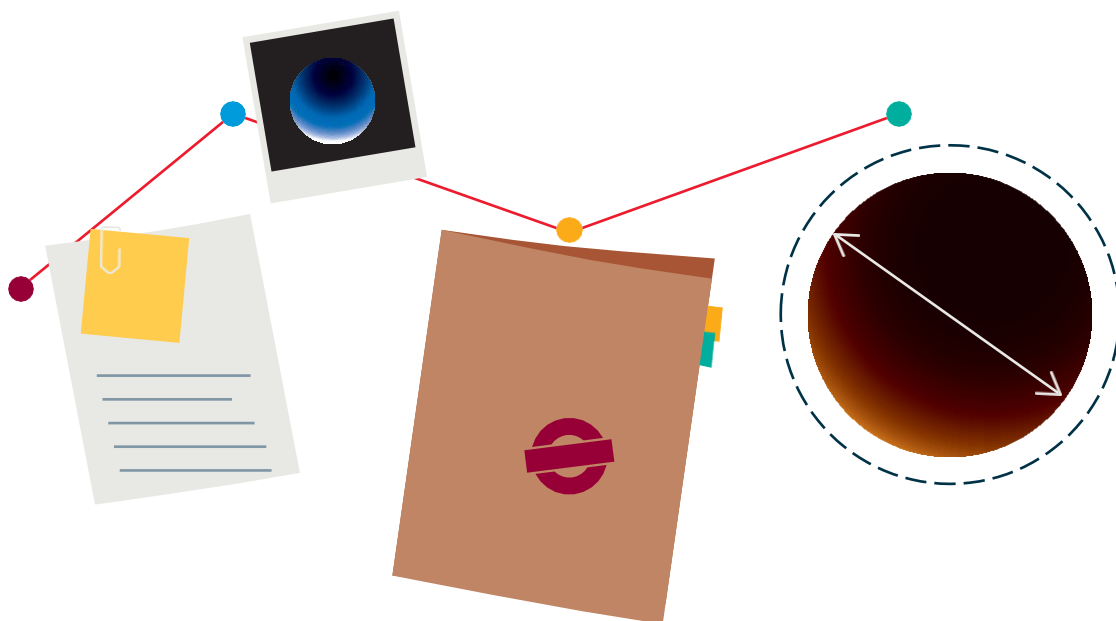


opettaa avaruuden avulla

→ HAKKEROI EKSOPLANEETTA

Avaruusetsiväksi ryhtyminen





OPETTAJAN OPAS

<i>Nopeat faktat</i>	03
<i>Johdanto</i>	04
<i>Toiminta</i>	05
<i>Haaste 1: KELT-3b:n tietojen analysointi</i>	07
<i>Haaste 2: TOI-560c-tietojen analysointi</i>	13
<i>Linkit</i>	14
<i>Liitteet</i>	15

opeta avaruuden kanssa - hakkeroi eksoplaneetta | P39
www.esa.int/education

ESA:n koulutustoimisto ottaa mielellään vastaan palautetta ja kommentteja
teachers@esa.int

ESA:n koulutustuotanto yhteistyössä ESA Science -järjestön kanssa
Copyright 2023 © Euroopan avaruusjärjestö

→ HAKKEROI EKSOPLANEETTA

Avaruusetsiväksi ryhtyminen

Nopeat faktat

Aihe: Fysiikka, matematiikka, tähtitiede

Ikäjakauma: 14 - 19 vuotta

Tyyppi: opiskelijoiden toiminta ja/tai hackathon

Monimutkaisuus: keskitaso

Opettajan valmistelu-aika: 1 tunti

Tarvittava oppitunti: 90 minuuttia per haaste (yhteensä 3 tuntia)

Kustannukset: alhaiset (0-10 euroa)

Sijainti: luokkahuone

Käyttää: tietokonetta (jos se ei ole mahdollista, ehdotetaan vaihtoehtoa).

Avainsanat: Fysiikka, matematiikka, tähtitiede Exoplaneetta, Transit

Lyhyt kuvaus

Tässä tehtävässä oppilaat kuvaavat kahta eksoplaneettaa analysoimalla ESA:n Cheops-satelliitin keräämiä tietoja. Opiskelijat toimivat oikeina tutkijoina ja sovittavat mallin tietoihin saadakseen parhaiten sopivat parametrit.

Tehtävä voidaan suorittaa ohjatussa muodossa tai projektipohjaisen oppimisen muodossa, esimerkiksi hackathonissa. Opettajan oppaassa esitellään molemmat vaihtoehdot.

Tehtäviä täydennetään eksoplaneetta-asiantuntijoiden laatimilla videosesityksillä.

Oppimistavoitteet

- Työskentele tieteellisesti todellisten satelliittitietojen kanssa.
- Sovelletaan matemaattisia tietojen analysointitekniikoita sovittamalla malli todellisiin tietoihin.
- Tutustu Keplerin kolmanteen lakiin ja ratamekaniikkaan.
- Ymmärrä, mitä eksoplaneetan kauttakulku on.
- Kehitä tiimityöskentelytaitoja aikarajoituksessa.

Tarvitset myös

Tukevaa videomateriaalia. Katso Linkit-osio.

- Johdanto Hack an Exoplanet - tule eksoplaneetta-etsiväksi
- *Allesfitter* mini tutorial - vaiheittainen opas parhaan mallin sovittamisesta dataan.
- Miten määritetään eksoplaneetan koko?
- Eksoplaneetan kiertoaika ja etäisyys Keplerin kolmannen lain avulla.
- Voisivatko eksoplaneetat olla asumiskelpoisia?
- Mistä eksoplaneetat koostuvat?

→ Johdanto

Tämä koulutustoiminta on kehitetty ensimmäisen ESA Education -hakathon-hackathonin yhteydessä, joka oli suunnattu toisen asteen opiskelijoille: "**Hack an Exoplanet**". Näiden haasteiden avulla oppilaat voivat käyttää todellisia satelliittitietoja tutkiakseen vieraita maailmoja ja ryhtyä päivän ajaksi eksoplaneettojen etsiviksi.

Tammikuussa 2023 ESA:n Cheops-satelliitti (CHaracterising ExOPlanet Satellite) havaitsi kaksi eksoplaneettaa, KELT-3b:n ja TOI-560c:n, erityisesti tätä toimintaa varten. Analysoimalla Cheopsin tietoja oppilaat voivat liittyä ESA:n tutkijoiden seuraan vastausten etsimisessä ja auttaa heitä ymmärtämään näitä kahta salaperäistä avaruusmaailmaa.



↑ Taiteilijan jäljennös Kheopsista.

Haasteet ovat käytännönläheisiä tehtäviä, joissa oppilaiden odotetaan analysoivan ESA:n Cheops-satelliitista saatuja tietoja. Opiskelijoiden tehtävänä on luonnehtia eksoplaneettojen tärkeimmät ominaisuudet hyödyntäen tukimateriaalia ja *allesfitter-työkalun* opetuskäyttöön tarkoitettua versiota, joka on laadittu erityisesti näitä aineistoja varten. Tehtäviin liittyy sekä kirjallisia että videoituja selityksiä ja esimerkkejä, jotka eksoplaneettojen asiantuntijat ovat laatineet.

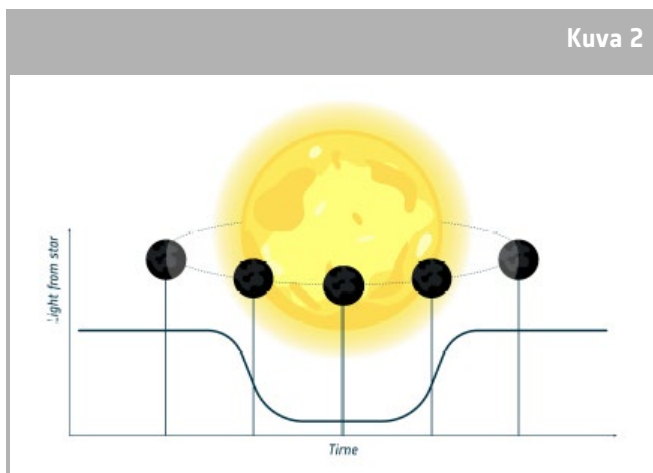
Toiminnot voidaan esittää ohjatussa muodossa tai projektipohjaisen oppimisen muodossa, esimerkiksi hackathonissa. Opettajan oppaassa esitellään molemmat vaihtoehdot.

Mikä on eksoplaneetta?

Eksoplaneetat eli aurinkokunnan ulkopuoliset planeetat ovat oman aurinkokuntamme ulkopuolisia planeettoja, jotka kiertävät muuta tähteä kuin Aurinkoamme.

Miten eksoplaneettoja tutkitaan?

Tällä hetkellä on olemassa yli 5000 vahvistettua eksoplaneettaa noin 4000 tähtijärjestelmässä, mutta eksoplaneettoja on vaikea havaita. Eksoplaneetoista saatu signaali on hyvin pieni verrattuna niiden isommista ja kirkkaammista isäntätähdistä tulevaan paljon suurempaan signaaliin, tyyppisesti alle 1 %.



↑ Läpikulkufotometriamenetelmän esitys.

Eksoplaneettojen havaitsemiseen ja luonnehtimiseen on olemassa erilaisia menetelmiä, ja tässä harjoituksessa käytämme **transit-fotometriamenetelmää**. Tämä on yleisin menetelmä eksoplaneettojen löytämiseksi.

Fotometria - sana fotometria tulee kreikan kielen sanoista photo "valo" ja metry "mitta". Se on tähtitieteessä käytetty tekniikka, jolla mitataan tähtien valoa määrällisesti.

Transit - eksoplaneetta havaitaan mittaamalla tähdestä tulevan valon himmeneminen.

→ Toiminta

Hack an Exoplanet -tehtävä koostuu kahdesta haasteesta. Ensimmäinen haaste on KELT-3b-jättiläisen eksoplaneetan valokäyrän analysointi. Seuraamalla tukimateriaalin ohjeita ja/tai opetusvideoiden tietoja oppilaat pystyvät päättämään KELT-3b:n ominaisuudet.

Toinen haaste on mini-Neptunuksen eksoplaneetan TOI-560c:n kauttakulkuvalokäyrän analyysi. Kun oppilaat ovat suorittaneet KELT-3b:n prosessin, heidän pitäisi pystyä suorittamaan TOI-560c:n data-analyysi itsenäisesti noudattamalla samanlaista prosessia.

Laitteet

- Tietokone, jolla on pääsy Internetiin, jotta voit käyttää selainohjelmistoa *allesfitter*. Jos tämä ei ole mahdollista, ryhmät voivat käyttää parhaita soitusparametreja, jotka on esitetty **liitteessä 1** - Exoplaneetan KELT-3b transitiovalokäyrä ja **liitteessä 2** - Exoplaneetan TOI-560c transitiovalokäyrä.
- Jokaiselle ryhmälle tulostettu oppilaan työlehti, joka sisältää:
 - Eksoplaneettojen tutkimuskartta
 - KELT-3b- ja TOI-560c-tapauksia koskevat asiakirjat.
 - Tietoa aurinkokunnan planeetoista
 - Vaiheittainen *allesfitter*-opas
- Laskin (valinnainen)
- Tässä toiminnassa on myös kuusi tukivideota, jotka opastavat ryhmiä (ks. Linkit-osio):
 - Johdanto Hack an Exoplanet - tule eksoplaneetta-etsiväksi
 - *Allesfitter* mini tutorial - vaiheittainen opas parhaan mallin sovittamisesta dataan.
 - Miten määritetään eksoplaneetan koko?
 - Eksoplaneetan kiertoaika ja etäisyys Keplerin kolmannen lain avulla.
 - Voisivatko eksoplaneetat olla asumiskelpoisia?
 - Mistä eksoplaneetat koostuvat?

Videoiden sisältämät tiedot esitetään myös tässä opettajan oppaassa.

Harjoitus:

ESA:n Cheops-satelliitti sai näitä kahta kohdetta koskevat datasarjat 22. ja 23. tammikuuta 2023 erityisesti tätä koulutustoimintaa varten. ESA:n asiantuntijat ovat käsitelleet tiedot, ja ne ovat valmiita oppilaiden käyttöön.

Tämä toiminta voidaan esittää ohjatussa muodossa tai projektipohjaisen oppimisen muodossa, esimerkiksi hackathonissa. Opettajan oppaassa esitellään molemmat vaihtoehdot.

Suosittellemme tämän tehtävän suorittamista 3-4 oppilaan ryhmissä. Näin oppilaat voivat keskustella parhaasta lähestymistavasta kunkin haasteen suorittamiseen ja keskustella tuloksista.

Huomautus: jos tietojen analysointi on liian monimutkaista, ryhmät voivat myös täydentää tapauskansiota etsimällä tietoja verkosta.

Ohjattu muoto

- Aloita esittelemällä luokalle eksoplaneetat. Suosittelemme tämän esittelyvideon käyttöä: *Johdanto eksoplaneetan hakkerointiin*.
- Jaa luokka 3-4 oppilaan ryhmiin.
- Esittele haaste oppilaille. Kunkin ryhmän on luonnehdittava KELT-3b:n eksoplaneetan tärkeimmät ominaisuudet täyttämällä oppilaiden työlehdistä löytyvä tapauskansio. Joukkueiden on määritettävä KELT-3b:n koko, kiertoaika, kiertoetäisyys, lämpötila ja koostumus ja verrattava sen ominaisuuksia aurinkokuntamme planeettoihin. Eksoplaneettojen tutkimuskartassa on lisätietoja kustakin mainitusta ominaisuudesta.
- Jaa liiteasiakirjat ryhmille ja anna niille muutama minuutti aikaa analysoida niitä.
- Asettakaa ryhmille aika kunkin eksoplaneetan ominaisuuden määrittämiseen. ***Ennen kuin*** joukkueet aloittavat työnsä kunkin ominaisuuden määrittämiseksi, esittele heille vastaava tukivideo. Tukivideot sisältävät tietoa siitä, miten kukin ominaisuus määritetään, sekä KELT-3b:n ratkaisuun.
- Varmista, että ryhmät ymmärtävät, miten kukin parametri määritetään, ennen kuin siirrytään seuraavaan.
- Kun kaikki parametrit on määritetty, ryhmien on esiteltävä johtopäätöksensä ja keskusteltava niistä luokan kanssa.
- Seuraavaksi voit ehdottaa, että suoritat tehtävän 2 ja määrittelet eksoplaneetan TOI-560c ominaisuudet.

Projektipohjainen muoto - hackathon

- Jaa luokka 3-4 oppilaan ryhmiin.
- Aloita esittelemällä hackathon-käsite oppilaille tämän esittelyvideon avulla: *Hack an Exoplanet -hankkeen esittely: Introduction to Hack an Exoplanet*
- Voit antaa ryhmien suorittaa haasteet itsenäisesti (esimerkiksi kotitehtävinä tai luokahuoneprojektina) tai tehdä ne yhteisessä luokahuoneessa tai koulutapahtumassa.
- Vahvista tarvittaessa oppilaille haasteen käsitettä. Kunkin ryhmän on luonnehdittava KELT-3b:n eksoplaneetan tärkeimmät ominaisuudet täyttämällä oppilaiden työlehdissä oleva tapaustiedosto. Ryhmien on määritettävä KELT-3b:n koko, kiertoaika, kiertoetäisyys, lämpötila ja koostumus ja verrattava sen ominaisuuksia aurinkokuntamme planeettoihin. Eksoplaneettojen tutkimuskartassa on lisätietoja kustakin mainitusta ominaisuudesta.
- Jaa tukevat asiakirjat ryhmille ja anna heille aikaa koko tehtävän suorittamiseen, ehdotamme noin 90 minuuttia KELT-3b:n analysointiin.
- Jotta tiimit edistyisivät tasaisesti, voit asettaa kunkin ominaisuuden määrittämiselle aikarajan tai näyttää asiaa tukevan videon ja antaa vinkkejä tiettyinä hetkinä. Tukivideoissa on tietoa kunkin ominaisuuden määrittämisestä ja KELT-3b:n ratkaisu.
- Kun kaikki parametrit on määritetty, ryhmien on esiteltävä johtopäätöksensä ja keskusteltava niistä koko ryhmän kanssa.
- Seuraavaksi voit ehdottaa, että suoritat tehtävän 2 ja määrittelet eksoplaneetan TOI-560c ominaisuudet.

→ Haaste 1 - KELT-3b:n tietojen analysointi

Satelliittitietojen käyttö ja sovittaminen

Tietoihin pääsee käsiksi tästä linkistä: hackanexoplanet.esa.int/allesfitter.

Tämä *allesfitter-versio* on online-sovellus, joka tarjoaa helpon ja ilmaisen pääsyn Cheops-satelliittitietoihin ja mahdollistaa useiden eksoplaneettojen mallintamisen kauttakulkumittausten perusteella. Sitä voi käyttää työpöytäselaimella.

Parhaan sovituksen parametrien löytämiseksi datasta oppilaiden tulisi noudattaa opiskelijan työpaperissa olevaa allesfitter-opasta vaihe vaiheelta tai seurata video-opetusta. Tässä oppaassa annetaan ohjeet allesfitter-työkalun selainpohjaisen opetusversion käytöstä. Tähän työkalun versioon on jo ladattu datasarjat, ja se mahdollistaa vain tiettyjen parametrien tutkimisen: planeetan säde, tähden säde ja keskipitkän matkan aika.



↑ Allesfitter-käyttöliittymä.

Huomautus: Jos tämä vaihe ei ole mahdollinen, ryhmät voivat käyttää **liitteessä 1** - KELT-3b:n eksoplaneetan transitiovalokäyrä ja **liitteessä 2** - TOI-560c:n eksoplaneetan transitiovalokäyrä esitettyjä parhaita sovitusparametreja.

Miten määritetään eksoplaneetan koko?

Kun käytetään transit-fotometriamenetelmää, kaukoputki mittaa tähden valon määrää tietyn ajanjakson aikana. Tutkijat sovittavat tietoihin malleja, joiden avulla he yrittävät havaita tähden valon vaihtelut, jotka voisivat johtua eksoplaneetasta.

Käytettäessä kauttakulkufotometriamenetelmää emme havaitse eksoplaneettaa suoraan (paitsi hyvin erityisissä tapauksissa). Sen sijaan mittaamme sen tähden valon määrän, jonka eksoplaneetta estää kulkiessaan tähden ja kaukoputken välistä.

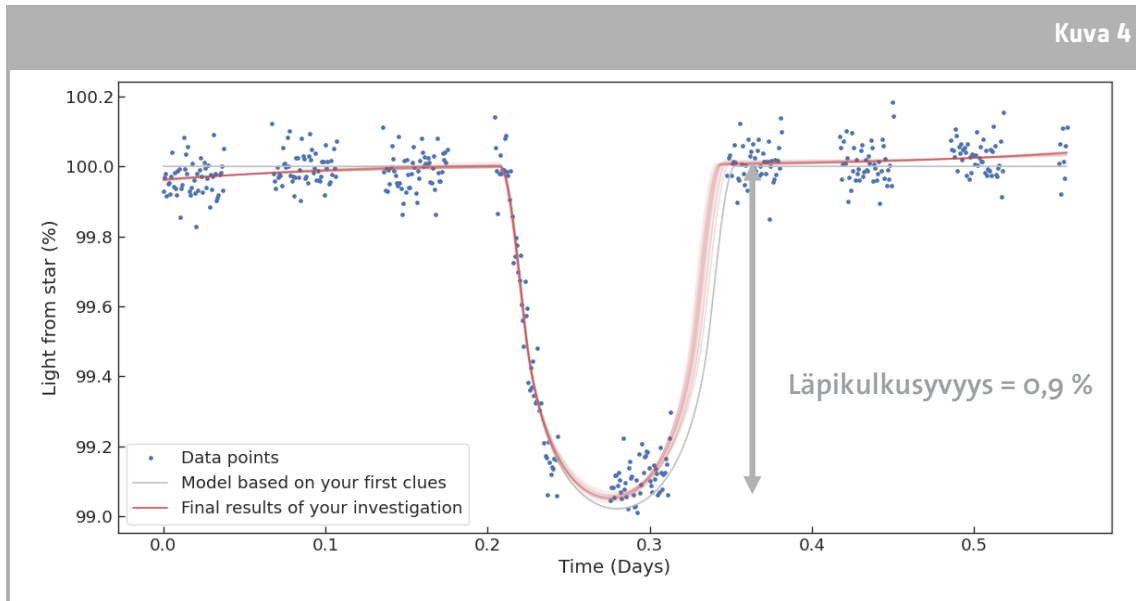
Eksoplaneetan peittämää tähden valon määrää kutsutaan tavallisesti läpikulkusyvyydeksi. Tämä arvo on verrannollinen eksoplaneetan projisoituun pinta-alaan.

Eksoplaneetan säde (R_p) voidaan määrittää, jos tunnetaan tähden säde (R_s) ja läpikulkusyvyydeksi:

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

KELT-3b-esimerkki:

Analysoidaan nyt esimerkkinä KELT-3b:n tietoja.



↑ KELT-3b-tiedot Cheopsista ja *allesfitterin* parhaan sovitusmallin mukainen kauttakulkuvalokäyrä.

KELT-3-tähden säde on tiedossa, ja se ilmoitetaan tapausta koskevassa asiakirjassa: $R_s = 1,70 R_{Sun}$
Analysoimalla Cheopsin tietoja voimme mitata transitiosyvyyden olevan noin 0,9 % (kuva 4).

Yllä olevan yhtälön avulla: $R_p = \sqrt{R_s^2 \times \frac{transit\ depth}{100}} = \sqrt{1,70^2 \times \frac{0,9}{100}} = 0,161 R_{Sun}$

Muuntaminen Maan säteiden yksiköihin: $R_p = 0,161 \times 109 = 17,5 R_{Earth}$

Kun opiskelijat suorittavat allesfitter-ohjelmiston, he saavat säteen parhaan sovitusarvon. Tämä arvo voi poiketa huomattavasti tästä yksinkertaisesta arviosta. Käyttöliittymässä opiskelijat voivat muuttaa vain kolmea parametria, mutta allesfitter-ohjelmisto sovittaa dataan monimutkaisen mallin, jossa on useita piiloparametreja, jotka voivat antaa täydellisemmän sovituksen dataan.

Miten määritetään kiertoaika ja etäisyys Keplerin kolmannen lain avulla?

Planeetan kiertoaika T on aika, jonka planeetta tarvitsee kiertääkseen yhden täyden kiertoradan tähtensä ympäri. Tämä voidaan mitata etsimällä saman eksoplaneetan kahden peräkkäisen kiertoradan keskikiertoaika (kiertoradan keskikohta) ja mittaamalla niiden välinen aikaväli.

Näistä havainnoista meillä on vain yksi kauttakulku, mutta voimme ekstrapoloida kiertoradan keston vertaamalla nykyisiä havaintotietoja aiempiin havaintotietoihin, jotka löytyvät tietoarkistosta.

Kun tiedämme eksoplaneetan kiertoaikajakson, voimme käyttää Keplerin kolmatta lakia

päätelläksemme planeetan ja tähden välisen keskimääräisen kiertoetäisyyden d .

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

Jossa G on gravitaatiovakio ja M_s on tähden massa.

KELT-3b-esimerkki:

Analysoidaan nyt esimerkkinä KELT-3b:n tietoja. Tässä harjoituksessa oppilaiden on kiinnitettävä erityistä huomiota yksiköihin.

- Gravitaatiovakio SI-yksiköissä on $G = 6,67430 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$
- KELT-3-tähden massa tunnetaan: $M_s = 1,96 M_{Sun}$
- Meidän on muunnettava sen massa SI-yksiköihin: $M_s = 3,90 \times 10^{30} \text{ kg}$
- Mallin sovittamisesta saimme selville, että kiertoaika $T = 2,70339 \text{ päivää}$. Muunnetaan kiertoaika sekunneiksi: $T = 233\,573 \text{ s}$

Meillä on nyt kaikki tarvittavat tiedot tähden ja eksoplaneetan välisen etäisyyden määrittämiseksi.

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

Verrataan nyt KELT-3b:n jaksoa ja keskimääräistä kiertoetäisyyttä aurinkokuntamme planeettoihin:

Taulukko 1		
Planeetta	Jakso (päivää)	Keskimääräinen kiertorataetäisyys (au)
KELT-3b	2,70339	0,048
Elohopea	87,97	0,4
Maa	365,25	1
Neptunus	60 266,25	30

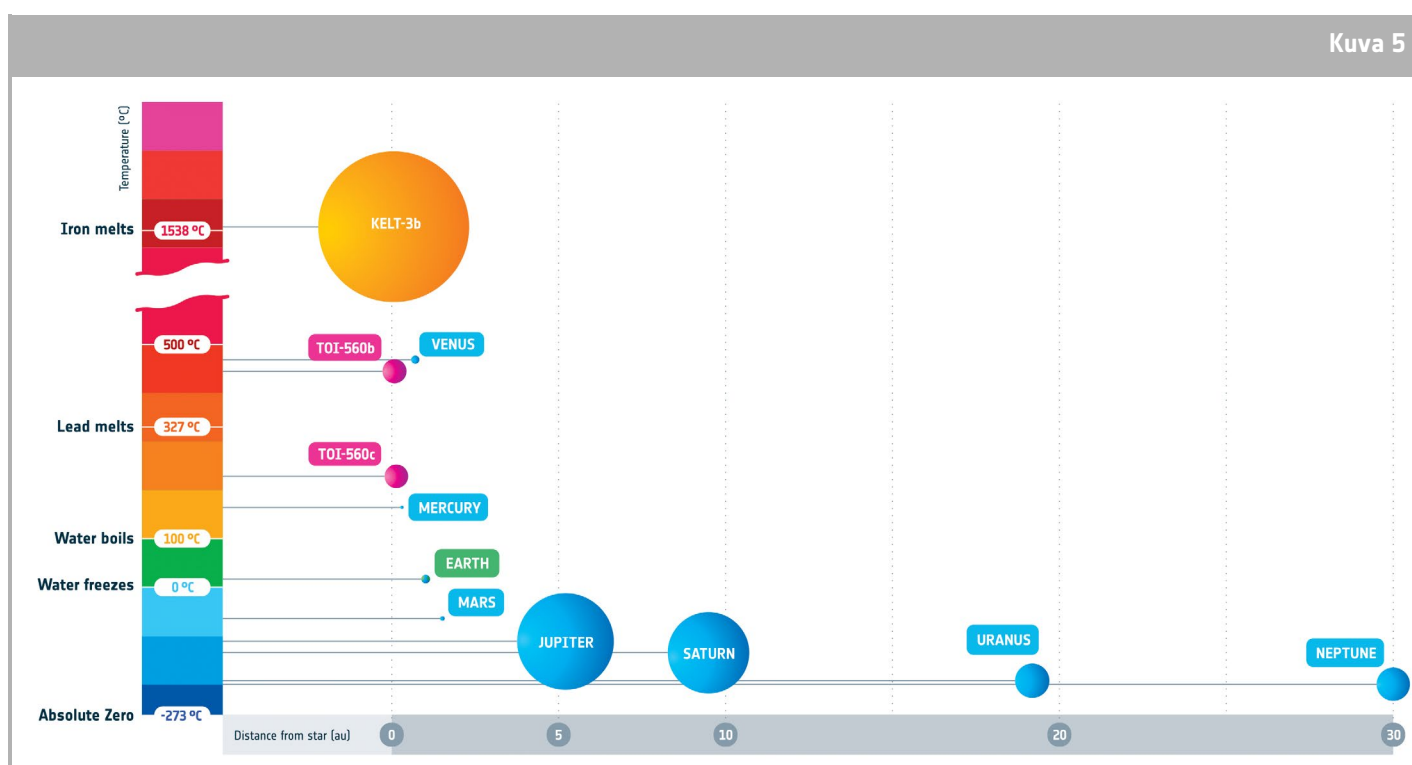
[↑ KELT-3b:n ja aurinkokunnan planeettojen jakson ja keskimääräisen kiertoetäisyyden vertailu.](#)

KELT-3b:n kiertoaika on paljon lyhyempi kuin Merkuriuksen, aurinkokuntamme Aurinkoa lähimmän planeetan, koska eksoplaneetan etäisyys isäntätähteensä on pieni. Läpikulkufotometriamenetelmä tunnistaa tämäntyypisillä kiertoradoilla olevat planeetat helpommin kuin Aurinkokuntamme kaltaiset planeetat.

Mistä tiedämme, voisiko eksoplaneetta olla asumiskelpoinen?

Maa on tähän päivään asti ainoa paikka maailmankaikkeudessa, jossa tiedetään olevan elämää. Ei myöskään tiedetä, voisiko elämä kehittyä ja elää olosuhteissa, jotka ovat hyvin erilaiset kuin planeetallamme vallitsevat olosuhteet. Tutkiessaan eksoplaneettoja ja määritellessään mahdollisia asuttavuuden edellytyksiä tutkijat pyrkivät löytämään Maata muistuttavat olosuhteet, kuten lämpötilan.

Tärkeä asumiskelpoisuuteen vaikuttava tekijä on lämpötila. Planeetan lämpötila määräytyy useimmiten sen etäisyyden perusteella isäntätähteensä nähden. Kun planeetta kiertää tähteä sellaisella etäisyydellä, että sen pinnalla voi olla **nestemäistä vettä**, planeetta on isäntätähtensä **elinkelpoisella vyöhykkeellä**.



↑ Kaavio, jossa esitetään planeettojen koko ja lämpötila suhteessa etäisyyteen sen isäntätähteestä.

Planeettojen koko ja etäisyys esitetään kahdella eri asteikolla.

Venus: poikkeus aurinkokunnassa

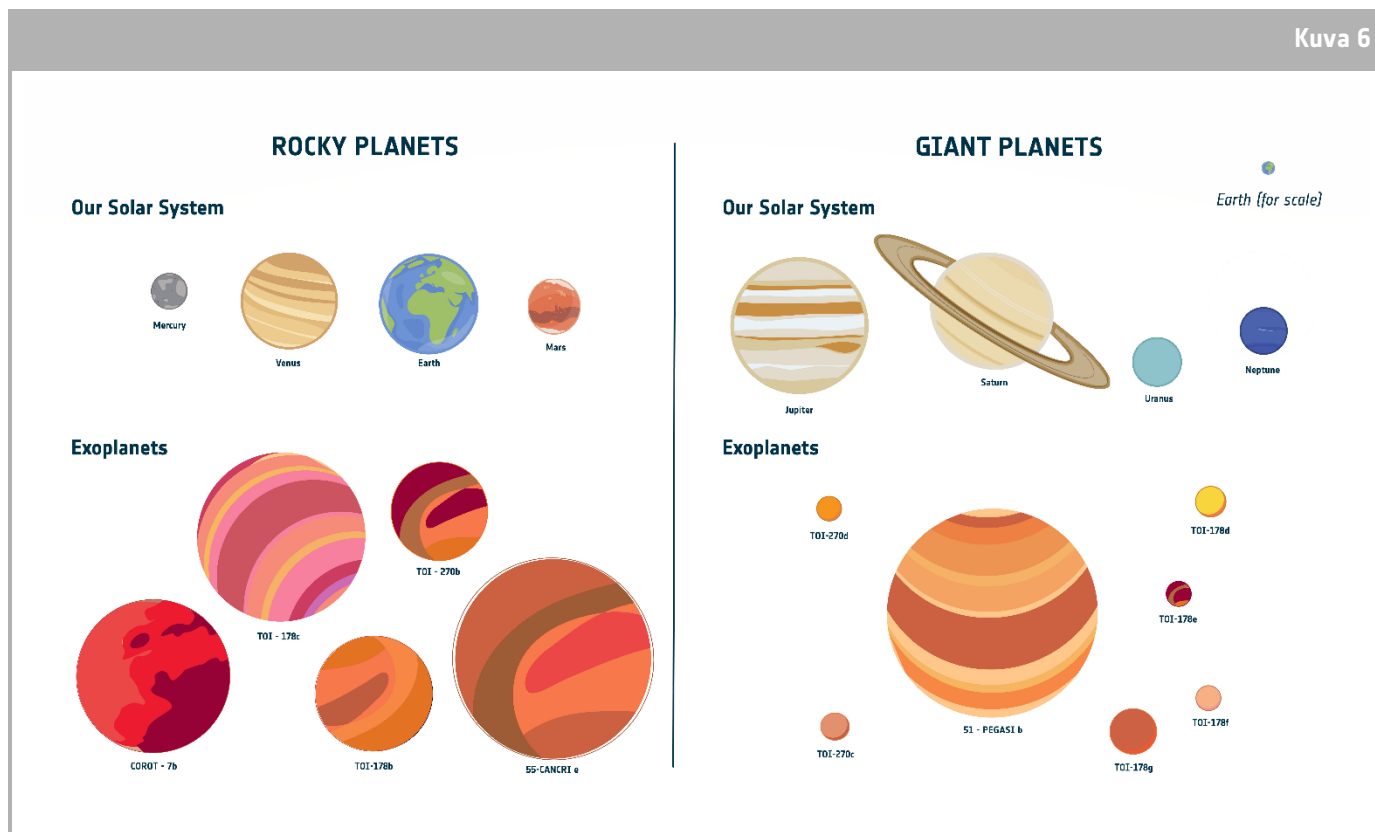
Planeetan pinnalla mitattuun lämpötilaan vaikuttaa myös sen ilmakehä. Aurinkokunnassa Venus on äärimmäinen esimerkki. Sen paksu ilmakehä toimii kasvihuoneena ja lämmittää pinnan lyijyn sulamispisteen yläpuolelle, mikä tekee siitä Merkuriusta lämpimämmän planeetan, vaikka se on kauempana Auringosta.

KELT-3b-esimerkki:

Keskustellaan nyt esimerkkinä KELT-3b:stä. KELT-3b:llä ei todennäköisesti ole elämää, koska se on liian lähellä isäntätähteään, minkä vuoksi sen pintalämpötila on hyvin korkea, yli raudan sulamispisteen. Useimmat aminohapot, elämän rakennusaineet, eivät selviä tällaisissa äärimmäisissä lämpötiloissa. Planeettaa pommittaa myös suuri määrä säteilyä, koska se on hyvin lähellä isäntätähteään.

Mistä eksoplaneetat koostuvat?

Aurinkokunnassamme planeetat jaetaan yleensä kahteen luokkaan: kivipitoisiin ja kaasumaisiin. Eksoplaneetat voivat kuitenkin olla hyvin erilaisia kuin meille tutut naapuriplaneetat.



↑ Esimerkkejä taiteilijan jäljitelmistä todellisista eksoplaneetoista, joita on jo löydetty kiertämässä läheisiä tähtiä.

Laskemalla eksoplaneetan keskimääräinen **tiheys**, ρ voidaan saada käsitys eksoplaneetan koostumuksesta.

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

M on eksoplaneetan massa ja V on eksoplaneetan tilavuus.

Eksoplaneetan massa ja tilavuus määritetään yleensä siten, että arvoihin liittyy suuri virhe. Nämä virheet siirtyvät sitten eksoplaneetan tiheyden laskentaan, jolloin tiheysarvoon syntyy 10-30 prosentin epävarmuus.

Toinen eksoplaneettojen tutkimiseen käytetty tekniikka on spektroskopia. Tässä tekniikassa tähdestä tai eksoplaneetasta saatu valo jaetaan eri aallonpituuksiin, jolloin voidaan määrittää eksoplaneetan **ilmakehän koostumus** tai pilvipeite.

KELT-3b-esimerkki:

Analysoidaan nyt esimerkkinä KELT-3b:n tietoja. KELT-3b:n massa on $617 M_{\text{Earth}}$. Tätä arvoa ei ole mahdollista määrittää transit-fotometriasta. Se määritettiin aiemmista havainnoista käyttäen erilaista tekniikkaa, jota kutsutaan radiaalinopeudeksi.

Ensimmäisessä harjoituksessa määritimme jo KELT-3b:n säteen. Kun tiedämme säteen, voimme laskea

eksoplaneetan tilavuuden olettaen, että se on täydellinen pallo: $V = \frac{4}{3} \pi R^3$.

$$M_p = 617 M_{\text{Earth}} = 3,685 \times 10^{30} \text{ g} \quad M = 617 M = 3,685 \times 10^6 \text{ g}$$

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

*Tämä säteen arvo arvioitiin läpikulkusyvyyden laskennan perusteella, opiskelijat voivat käyttää myös *allesfitterin* parhaan sovitusmallin arvoa.

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

Tämä arvo on paljon pienempi kuin Jupiterin keskimääräinen tiheys ja lähempänä WASP-189b:n (tunnettu kuuma Jupiterin eksoplaneetta) tiheyttä. Pieni etäisyys isäntätähteensä ja korkea lämpötila tekevät eksoplaneetasta "pöhöttyneen".

KELT-3b:n yhteenveto

KELT-3b on kuuma Jupiter, joka kiertää Auringon kaltaista tähteä, KELT-3:a, noin 690 valovuoden päässä Maasta.

KELT-3b kiertää hyvin lähellä isäntätähteään, yli 10 kertaa lähempänä kuin Maa kiertää Aurinkoa. Eksoplaneetta tarvitsee vain 2,7 päivää kiertääkseen KELT-3:n täyden kiertoradan.

Koska eksoplaneetta sijaitsee lähellä isäntätähteään, sen keskilämpötila on hyvin korkea, yli raudan sulamislämpötilan, mikä tekee siitä täysin asumiskelpoisen.

KELT-3b koostuu pääosin vedystä ja heliumista, kuten Jupiter. Eksoplaneetan korkean lämpötilan ja tähden läheisyyden vuoksi sen ilmakehä on hyvin laajeneva (pöhöttynyt) ja sen keskimääräinen tiheys on hyvin alhainen.

Taulukko 2	
Eksoplaneetta	KELT-3b
Planeetan tyyppi	Kuuma Jupiter
Säde (R_{Earth})	16,81 (allesfitteriltä)
	17,5 (kauttakulkusyvyydestä)
Massa (M_{Earth})	617 ± 105
Kiertoaika (päivää)	2,70339
Keskimääräinen kiertorataetäisyys (au)	$\sim 0,048$
Tiheys (g/cm^3)	$\sim 0,63$
Keskilämpötila ($^{\circ}\text{C}$)	~ 1543

[↑ Yhteenveto KELT-3b:n ominaisuuksien arvioinnista](#)

Lähetä projektisi

Joukkueet voivat lähettää joukkueensa Hack an Exoplanet -projektin Hack an Exoplanet -alustalle saadakseen osallistumistodistuksen. Voit lähettää projektisi osoitteessa hackanexoplanet.esa.int/submit-your-project.

→ Haaste 2 - TOI-560c-tietojen analysointi

Kun KELT-3b:n analyysi on saatu valmiiksi, ryhmien pitäisi pystyä noudattamaan samaa analyysiprosessia TOI-560c:n tietojen osalta.

Kaikki tarvittavat tiedot löytyvät tapaustiedostosta opiskelijan työlehdessä ja osoitteesta hackanexoplanet.esa.int/challenges.

Joukkueet voivat lähettää Hack an Exoplanet -projektinsa Hack an Exoplanet -alustalle ja saada osallistumistodistuksen. Voit lähettää tiimisi projektin osoitteessa hackanexoplanet.esa.int/submit-your-project.

Parhaan projektin palkinto:

Voittaakseen parhaan projektin palkinnon ryhmien on toimitettava TOI-560c:tä koskeva tutkimuspäiväkirjansa.

Ryhmänne hakemuksen tulisi sisältää analyysin TOI-560c:n Cheops-tiedoista, ja sen tulisi noudattaa tieteellisen artikkelin muotoa, joka sisältää tiivistelmän, analyysin ja tulokset sekä päätelmät.

Voittajajoukkueet saavat ESA:n lahjat sekä mahdollisuuden osallistua webinaariin fysiikan Nobelpalkitun Didier Quelozin kanssa 17. heinäkuuta 2023. Kilpailuehdotusten viimeinen jättöpäivä on 14. kesäkuuta 2023.

Voit lähettää projektisi osoitteessa hackanexoplanet.esa.int/submit-your-project.

→ LINKIT

Tukivarat

Hakkeroi eksoplaneetta:
hackanexoplanet.esa.int

Hakkeroi eksoplaneetta-kouluttajien opas toimintaan
hackanexoplanet.esa.int/fi/educators-guide

AllesFitter-ohjelmiston koulutusversio:
hackanexoplanet.esa.int/allesfitter

Johdanto Hack an Exoplanet - tule eksoplaneetta-etsiväksi
hackanexoplanet.esa.int/fi/challenges

Allesfitter mini tutorial - vaiheittainen opas parhaan mallin sovittamisesta dataan.
hackanexoplanet.esa.int/fi/allesfitter-guide

Miten määritetään eksoplaneetan koko?
hackanexoplanet.esa.int/fi/challenges-size

Eksoplaneetan kiertoaika ja etäisyys Keplerin kolmannen lain avulla.
hackanexoplanet.esa.int/fi/challenges-orbital-period-and-distance

Voisivatko eksoplaneetat olla asumiskelpoisia?
hackanexoplanet.esa.int/fi/challenges-temperature-and-habitability

Mistä eksoplaneetat koostuvat?
hackanexoplanet.esa.int/fi/challenges-composition

KELT-3b:n tieteelliset viitteet
exoplanetarchive.ipac.caltech.edu/overview/KELT-3

ESA:n resurssit

ESA:n resurssit luokahuoneessa
esa.int/Education/Classroom_Resources

Opetus eksoplaneettojen kanssa
esa.int/Education/Teach_with_Exoplanets

Tutustu Cheopsiin: eksoplaneettoja kuvaava satelliitti
esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2019/12/Meet_Cheops_the_Characterising_Exoplanet_Satellite

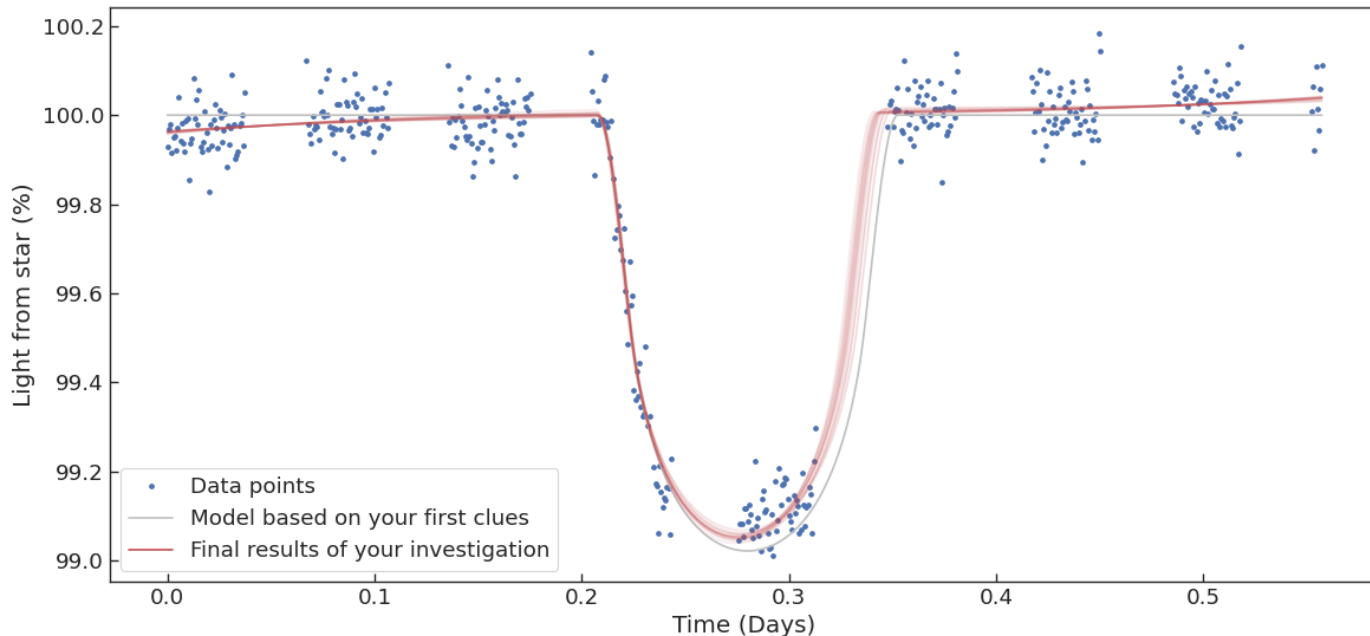
ESA:n avaruushankkeet

Cheops - eksoplaneettojen satelliittikuvaus CHaracterising ExOPlanet Satellite (CHaracterising ExOPlanet Satellite)
esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Cheops

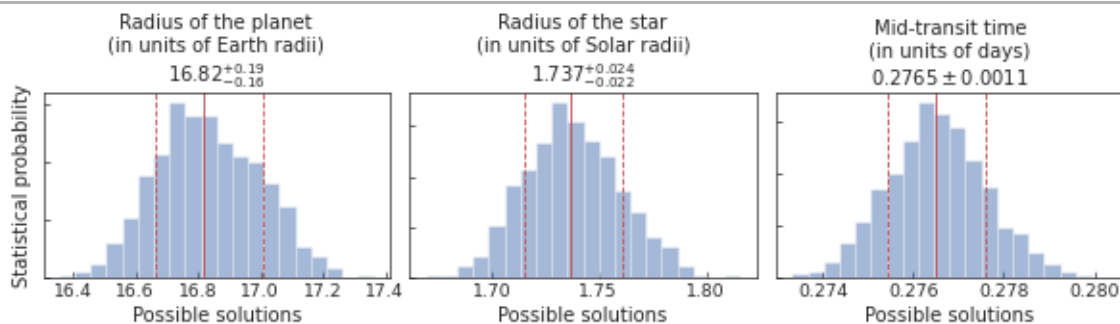
→ Liite 1

Eksoplaneetan KELT-3b transiiovalokäyrä

KELT-3b:n parhaan mallin sovitus tulokset *allesfitteristä*



[↑ Transit-valokäyrän paras sovitusmalli.](#)



- Histogrammit osoittavat kunkin parametrin todennäköisyyden saada tietty arvo.
- Keskimmäinen yhtenäinen viiva osoittaa kunkin parametrin mediaaniarvon.
- Sen vasemmalla ja oikealla puolella olevat katkoviivat osoittavat alarajan ja ylärajan.
- Näitä kutsutaan 1-sigman epävarmuuksiksi. Se tarkoittaa, että tilastollisesti voimme olla 68 % varmoja siitä, että todellinen arvo on niiden sisällä.
- Huomaa, että tämä tarkoittaa, että on mahdollista, että parametrien todellinen arvo on näiden rajojen ulkopuolella; ne ovat vain tilastollisia epävarmuuksia, eivät lopullisia rajoja.

[↑ KELT-3b:n kaikkien parametrien tilastollisen todennäköisyyden histogrammi.](#)

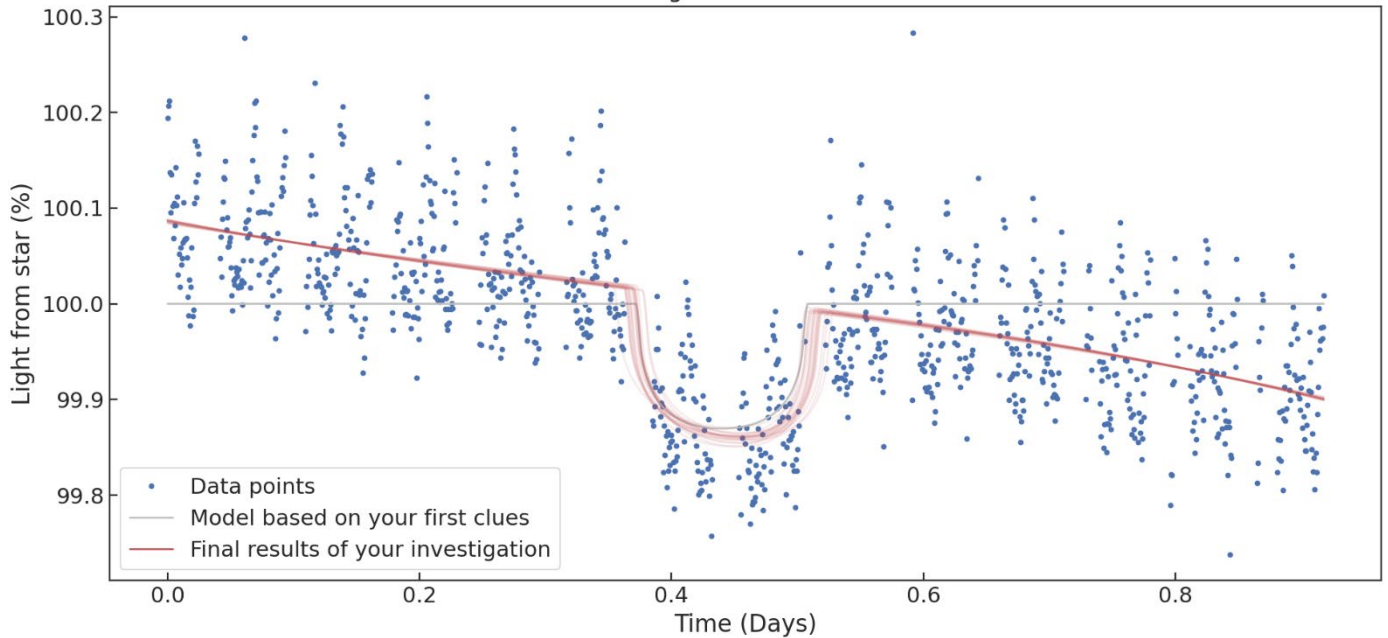
Nimi	Mediaaniarvo	Alempi virhe	Ylempi virhe	Asiaa koskeva huomautus
Planeetan säde (maapallon säteiden yksiköissä).	16,82	0,16	0,19	Kheopsin havainnot
Tähden säde (aurion säteiden yksiköissä).	1,737	0,022	0,024	Kheopsin havainnot
Kaikkikuljetuksen puoliväli (päivinä)	0,2765	0,0011	0,0011	Kheopsin havainnot
kiertoaika (päivinä)	2,70339			Muita havaintoja arkistosta

[↑ Taulukko, jossa on mallin parametrit, jotka sopivat parhaiten.](#)

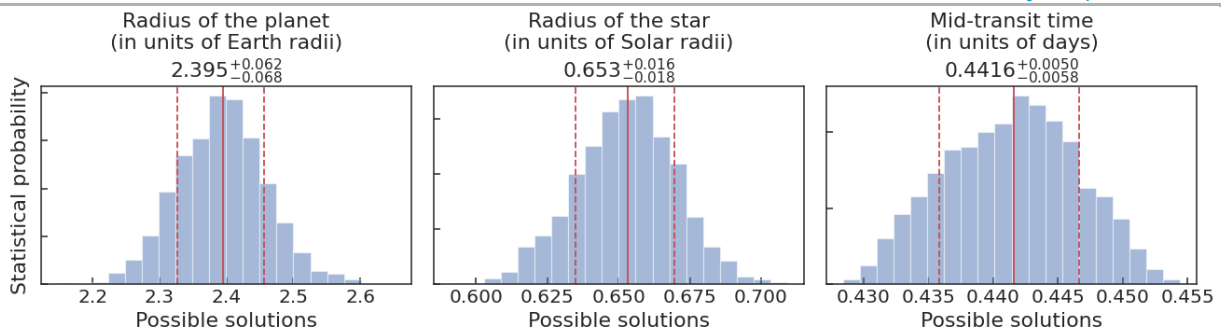
→ Liite 2

Exoplaneetan TOI-560c transit-valokäyrä.

TOI-560c parhaan mallin sovitus tulokset *allesfitteristä*



[↑ Transit-valokäyrän paras sovitusmalli.](#)



- Histogrammit osoittavat kunkin parametrin todennäköisyyden saada tietty arvo.
- Keskimmäinen yhtenäinen viiva osoittaa kunkin parametrin mediaaniarvon.
- Sen vasemmalla ja oikealla puolella olevat katkoviivat osoittavat alarajan ja ylärajan.
- Näitä kutsutaan 1-sigman epävarmuuksiksi. Se tarkoittaa, että tilastollisesti voimme olla 68 % varmoja siitä, että todellinen arvo on niiden sisällä.
- Huomaa, että tämä tarkoittaa, että on mahdollista, että parametrien todellinen arvo on näiden rajojen ulkopuolella; ne ovat vain tilastollisia epävarmuuksia, eivät lopullisia rajoja.

[↑ Kaikkien TOI-560c:n parametriarvojen tilastollisen todennäköisyyden histogrammi.](#)

Nimi	Mediaaniarvo	Alempi virhe	Ylempi virhe	Asiaa koskeva huomautus
Planeetan säde (maapallon säteiden yksiköissä).	2,395	0,068	0,062	Kheopsin havainnot
Tähden säde (aurion säteiden yksiköissä).	0,653	0,018	0,016	Kheopsin havainnot
Kauttakuljetuksen puoliväli (päivinä)	0,4416	0,0058	0,0050	Kheopsin havainnot
kiertoaika (päivinä)	18,8797			Muita havaintoja arkistosta

[↑ Taulukko, jossa on mallin parametrit, jotka sopivat parhaiten.](#)