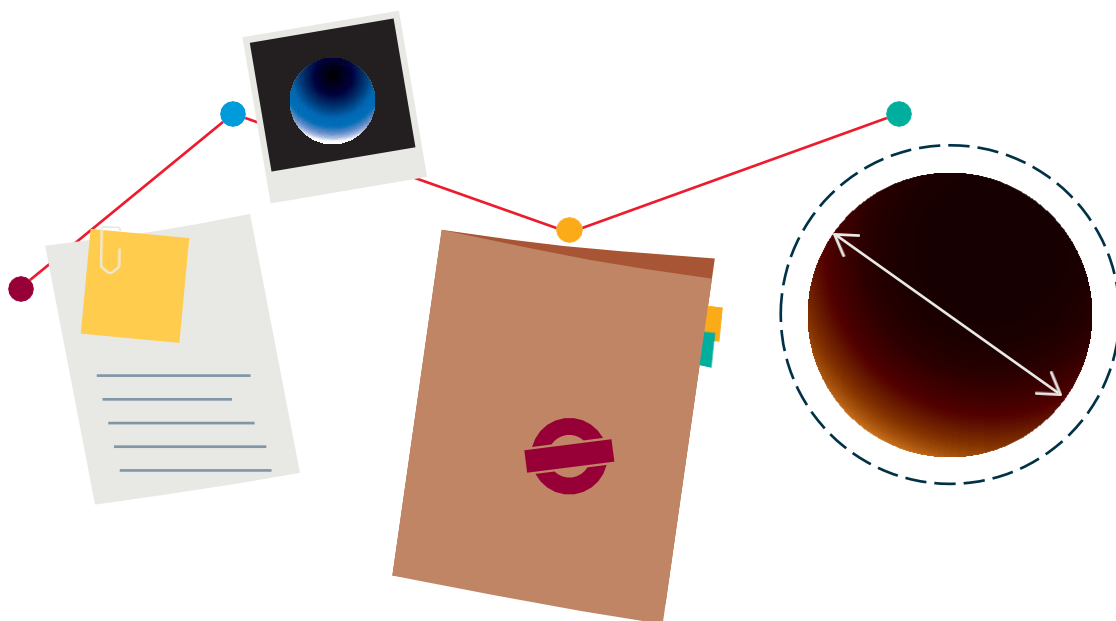


Õpetada kosmoses

→ HÄKKIDA EKSOPLANEET

Kosmosedetektiiviks saamine





ÕPETAJA JUHEND

<i>Kiirfaktid</i>	03
<i>Sissejuhatus</i>	04
<i>Tegevus</i>	05
<i>Ülesanne 1: KELT-3b andmete analüüs</i>	07
<i>Väljakutse 2: TOI-560c andmete analüüs</i>	13
<i>Lingid</i>	14
<i>Lisad</i>	15

õpetada kosmoses - häkkida eksoplaneeti | P39
www.esa.int/education

ESA haridusamet tervitab tagasisidet ja kommentaare
teachers@esa.int

ESA haridusprogramm koostöös ESA Science'iga
Copyright 2023 © Euroopa Kosmoseagentuur

→ HÄKKIDA EKSOPLANEET

Kosmosedetektiiviks saamine

Kiirfaktid

Teema: Füüsika, matemaatika, astronoomia

Vanusevahemik: 14 - 19 aastat

Tüüp: õpilaste tegevus ja/või häkaton

Keerukus: keskmine

Õpetaja ettevalmistusaeg: 1 tund

Vajalik õppetöö aeg: 90 minutit väljakutse kohta (kokku 3 tundi)

Maksumus: madal (0-10 eurot)

Asukoht: klassiruum

Kasutab: arvutit (kui see ei ole võimalik, siis soovitatakse alternatiivseid võimalusi).

Märksõnad: "Koolitus": Füüsika, matemaatika, astronoomia Exoplaneet, transiit

Lühikirjeldus

Selles tegevuses iseloomustavad õpilased kahte eksoplaneeti, analüüsides ESA satelliidi Cheops poolt saadud andmeid. Õpilased töötavad tõeliste teadlastena ja sobitavad andmete põhjal mudeli, et leida parimad parameetrid.

Tegevust võib sooritada juhendatud vormis või projektipõhise õppe vormis, näiteks häkatonis. Õpetaja juhendis on esitatud mõlemad võimalused.

Tegevusi täiendavad eksoplaneedi ekspertide koostatud selgitusvideod.

Õppe-eesmärgid

- Töötage teaduslikult reaalsete satelliidiandmetega.
- Rakendada matemaatilisi andmeanalüüsi meetodeid, sobitades mudeli reaalsele andmetele.
- Õppige tundma Kepleri kolmandat seadust ja orbitaalmehaanikat.
- Mõista, mis on eksoplaneedi transiit.
- Meeskonnatöö oskuste arendamine ajalise piirangu all.

Samuti on vaja

Toetavad videomaterjalid. Vt linkide osa.

- Sissejuhatus Hack an Exoplanet - muutu eksoplaneedi detektiiviks
- *Allesfitter* mini tutorial - samm-sammult juhend, kuidas sobitada parim mudel andmetele
- Kuidas määrata eksoplaneedi suurust
- Eksoplaneedi orbitaalperiood ja kaugus, kasutades Kepleri kolmandat seadust
- Kas eksoplaneetid võivad olla elamiskõlblikud?
- Millest koosnevad eksoplaneetid?

→ Sissejuhatus

See õppetegevus on välja töötatud ESA esimese keskkooliõpilastele mõeldud haridusalase häkatoni raames: "**Hack an Exoplanet**". Need väljakutsed võimaldavad õpilastel kasutada reaalseid satelliidiandmeid, et uurida võõraid maailmu ja muutuda üheks päevaks eksoplaneedi detektiivideks.

2023. aasta jaanuaris vaatles ESA satelliit Cheops (CHaracterising ExOPlanet Satellite) spetsiaalselt selle tegevuse jaoks kahte eksoplaneeti, KELT-3b ja TOI-560c. Cheopsi andmeid analüüsid saavad õpilased ühineda ESA teadlastega vastuste otsimisel ja aidata neil mõista neid kahte salapärast tulnukat maailma.



↑ Kheopsi kunstniku kujutis.

Väljakutsed on praktilised tegevused, mille käigus õpilased peavad analüüsima ESA satelliidilt Cheops saadud andmeid. Õpilased peavad iseloomustama eksoplaneetide peamisi omadusi, kasutades selleks abimaterjale ja spetsiaalselt nende andmekogumite jaoks koostatud sobitusvahendi *allesfitteri* õppeversiooni. Tegevuste juurde kuuluvad nii kirjalikud kui ka videomaterjalid ja näited, mille on koostanud eksoplaneediekspertid.

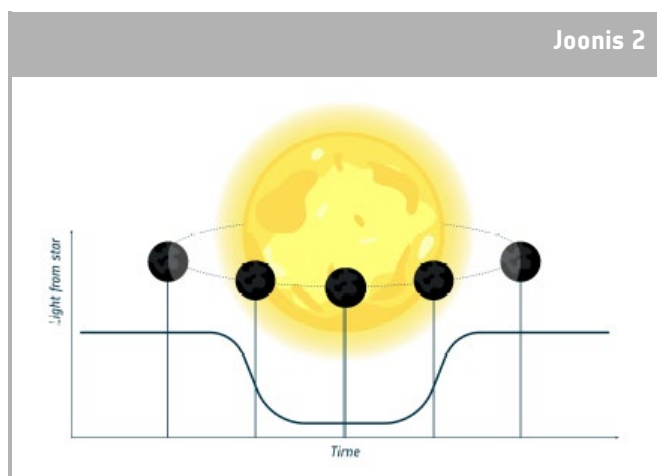
Tegevusi võib esitada juhendatud vormis või projektipõhise õppe vormis, näiteks häkatonil. Õpetaja käsiraamatus on esitatud mõlemad võimalused.

Mis on eksoplaneet?

Eksoplaneetid ehk ekstraplaanid on planeetid väljaspool meie Päikesesüsteemi, mis tiirlevad ümber mõne muu tähe kui meie Päike.

Kuidas me uurime eksoplaneete?

Praegu on üle 5000 kinnitatud eksoplaneedi umbes 4000 tähesüsteemis, kuid eksoplaneete on raske avastada. Signaal, mida me saame eksoplaneedilt, on väga väike võrreldes nende suuremate ja heledamate peremeestaevade palju suurema signaaliga, tavaliselt palju vähem kui 1%.



↑ Transiitfotomeetria meetodi esitus.

Eksoplaneetide avastamiseks ja iseloomustamiseks on erinevaid meetodeid, selles tegevuses kasutame **transiitfotomeetria meetodit**. See on kõige levinum meetod eksoplaneetide leidmiseks.

Fotomeetria - sõna fotomeetria tuleneb kreeka keelest: photo "valgus" ja metry "mõõt". See on astronoomias kasutatav tehnika tähtede valguse kvantitatiivseks mõõtmiseks.

Transiit - eksoplaneet avastatakse, mõõtes tähelt tuleva valguse tuhmumist.

→ Tegevus

Tegevus "*Hack an Exoplanet*" koosneb kahest ülesandest. Esimene ülesanne on hiiglasliku eksoplaneedi KELT-3b transiitvalguskõvera analüüs. Järgides abimaterjalis esitatud juhiseid ja/või õppevideotes esitatud teavet, saavad õpilased tuletada KELT-3b omadused.

Teine väljakutse on mini-Neptuuni eksoplaneedi TOI-560c transiidi valguskõvera analüüs. Pärast KELT-3b protsessi lõpetamist peaksid õpilased olema võimelised iseseisvalt lõpetama TOI-560c andmete analüüsi, järgides sarnast protsessi.

Seadmed

- Arvuti, millel on juurdepääs internetile, et pääseda ligi brauseri tarkvaravahendile *allesfitter*. Kui see samm ei ole võimalik, võivad meeskonnad kasutada parima sobitamise parameetreid, mis on esitatud **lisas 1** - Exoplaneedi KELT-3b transiitvalguskõver ja **lisas 2** - Exoplaneedi TOI-560c transiitvalguskõver.
- Õpilase tööleht, mis on trükitud igale rühmale, sisaldab:
 - Eksoplaneedi uurimise kaart
 - KELT-3b ja TOI-560c toimikud
 - Teave Päikesesüsteemi planeetide kohta
 - Samm-sammult *allesfitteri* juhend
- Kalkulaator (valikuline)
- Selle tegevuse juurde kuulub ka kuus toetavat videot, mis juhatavad meeskondi (vt jaotist "Lingid"):
 - Sissejuhatus Hack an Exoplanet - muutu eksoplaneedi detektiiviks
 - *Allesfitter* mini tutorial - samm-sammult juhend, kuidas sobitada parim mudel andmetele
 - Kuidas määrata eksoplaneedi suurust
 - Eksoplaneedi orbitaalperiood ja kaugus, kasutades Kepleri kolmandat seadust
 - Kas eksoplaneedid võivad olla elamiskõlblikud?
 - Millest koosnevad eksoplaneedid?

Videos esitatud teave on esitatud ka käesolevas õpetaja käsiraamatus.

Harjutus:

Kahe sihtmärgi andmekogumid saadi ESA satelliidi Cheops abil 22. ja 23. jaanuaril 2023. aastal spetsiaalselt selle õppetegevuse jaoks. Andmed on töödeldud ESA ekspertide poolt ja need on valmis õpilastele kasutamiseks.

Seda tegevust võib esitada juhendatud vormis või projektipõhise õppe vormis, näiteks häkatonil. Õpetaja juhendis on esitatud mõlemad võimalused.

Soovitame selle tegevuse sooritamist 3-4 õpilasest koosnevates meeskondades. See võimaldab õpilastel arutleda iga ülesande lahendamiseks parima lähenemisviisi üle ja arutada tulemusi.

Märkus: kui andmete analüüs on liiga keeruline, võivad meeskonnad täiendada juhtumi toimikut ka veebist teavet otsides.

Juhendatud formaat

- Alustage klassile eksoplaneetide teema tutvustamisest. Soovitame kasutada seda sissejuhatavat videot: *Sissejuhatus eksoplaneedi häkkimisse*.
- Jagage klass 3-4-liikmelisteks meeskondadeks.
- Esitage õpilastele väljakutse. Iga meeskond peab iseloomustama eksoplaneedi KELT-3b peamisi omadusi, täites õpilaste töölehtedel oleva juhtumi toimiku. Meeskonnad peavad määrama KELT-3b suuruse, orbitaalperioodi, orbitaalkauguse, temperatuuri ja koostise ning võrdlema selle omadusi meie Päikesesüsteemi planeetidega. Eksoplaneedi uurimise kaardil on iga mainitud omaduse kohta rohkem teavet.
- Jagage meeskondadele tõendavad dokumendid ja andke neile paar minutit aega nende analüüsimiseks.
- Määrake meeskondadele aeg iga eksoplaneedi omaduse määramiseks. ***Enne kui*** meeskonnad alustavad tööd iga omaduse määramiseks, esitage neile vastav toetav video. Tugivideod sisaldavad teavet selle kohta, kuidas määrata iga omadust ja KELT-3b lahendust.
- Veenduge, et meeskonnad mõistavad, kuidas iga parameetrit määrata, enne kui liigute järgmise parameetri juurde.
- Pärast kõigi parameetrite kindlaksmääramist peaksid meeskonnad esitama ja arutama oma järeldusi klassiga.
- Järgmise sammuna võite teha ettepaneku täita väljakutse 2 ja määrata kindlaks eksoplaneedi TOI-560c omadused.

Projektipõhine formaat - häkaton

- Jagage klass 3-4-liikmelisteks meeskondadeks.
- Alustage õpilastele häkatoni kontseptsiooni tutvustamisega, kasutades selleks seda sissejuhatavat videot: *Sissejuhatus Hack an Exoplanet: Sissejuhatus Hack an Exoplanet*
- Võid lasta meeskondadel lahendada ülesandeid iseseisvalt (näiteks kodutööna või klassiprojektina) või teha seda ühise klassi- või kooliürituse raames.
- Vajaduse korral kinnistage õpilastele väljakutse mõistet. Iga meeskond peab iseloomustama eksoplaneedi KELT-3b peamisi omadusi, täites oma õpilaste töölehtedel oleva juhtumi toimiku. Meeskonnad peavad määrama KELT-3b suuruse, orbitaalperioodi, orbitaalkauguse, temperatuuri ja koostise ning võrdlema selle omadusi meie Päikesesüsteemi planeetidega. Eksoplaneedi uurimise kaardil on iga mainitud omaduse kohta rohkem teavet.
- Jagage meeskondadele toetav dokumentatsioon ja andke neile aega, et nad saaksid kogu ülesande täita, soovitame umbes 90 minutit KELT-3b analüüsiks.
- Selleks, et tagada meeskondade pidev edasimineku, võite määrata iga omaduse määramiseks ajakava või näidata asjakohast toetavat videot ja anda nõuandeid konkreetsetel hetkedel. Tugivideod sisaldavad teavet iga omaduse määramise kohta ja KELT-3b lahendust.
- Pärast kõigi parameetrite kindlaksmääramist peaksid meeskonnad esitama ja arutama oma järeldusi kogu rühmaga.
- Järgmise sammuna võite teha ettepaneku täita väljakutse 2 ja määrata kindlaks eksoplaneedi TOI-560c omadused.

→ Väljakutse 1 - KELT-3b andmete analüüs

Juurdepäas satelliitandmetele ja nende kohandamine

Andmetega saab tutvuda järgmise lingi kaudu: hackanexoplanet.esa.int/allesfitter

See *allesfitteri* versioon on veebirakendus, mis pakub lihtsat ja tasuta juurdepääsu Cheopsi satelliidiandmetele, võimaldades mitmete eksoplaneetide modelleerimist transiitmõõtmiste põhjal. Seda saab kasutada lauaarvuti brauserist.

Andmete parima sobivuse parameetrite väljaselgitamiseks peaksid õpilased järgima õpilase töölehel toodud *kõikfitteri* samm-sammult juhendit või jälgima videoõpetust. Selles juhendis antakse juhiseid *allesfitteri* tööriista brauseripõhise õppeversiooni kasutamiseks. Selle tööriista versioonis on andmekogumid juba üles laetud ja see võimaldab uurida ainult konkreetseid parameetreid: planeedi raadius, tähe raadius ja keskpaiga aeg.



↑ *Allesfitteri* liides.

Märkus: Kui see samm ei ole võimalik, võivad meeskonnad kasutada parima sobivuse parameetreid, mis on esitatud **lisas 1** - Eksoplaneedi KELT-3b transiitvalgusköver ja **lisas 2** - Eksoplaneedi TOI-560c transiitvalgusköver.

Kuidas määrata eksoplaneedi suurust?

Transiitfotomeetria meetodi kasutamisel mõõdab teleskoop tähtede valguse hulka teatud aja jooksul. Teadlased kohandavad andmeid mudelitega, et püüda avastada tähtede valguse muutusi, mis võivad olla põhjustatud eksoplaneedist.

Transiitfotomeetria meetodit kasutades ei tuvasta me eksoplaneeti otse (välja arvatud väga spetsiifilistel juhtudel). Selle asemel mõõdame tähtede valguse hulka, mida eksoplaneet blokeerib, kui ta läbib tähe ja teleskoobi vahel.

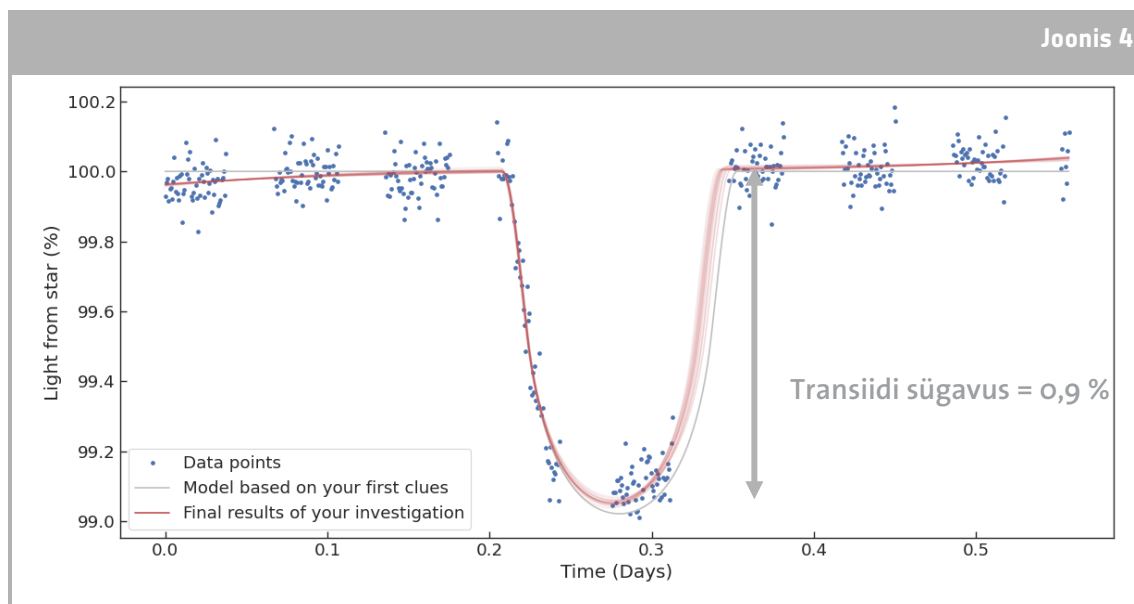
Tähe valguse hulka, mida eksoplaneet blokeerib, nimetatakse tavaliselt transiidi sügavuseks. Ja see väärtus on proportsionaalne eksoplaneedi projitseeritud pindalaga.

Eksoplaneedi raadiust (R_p) on võimalik määrata, kui on teada tähe raadius (R_s) ja transiidisügavus:

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

KELT-3b näide:

Analüüsimis näid näitena KELT-3b andmeid.



↑ KELT-3b andmed Cheopsist koos *allesfitteri* transiidi valguskõvera parima sobitusmudeliga.

Tähe KELT-3 raadius on teada ja esitatud toimikus: $R_s = 1,70 R_{Sun}$

Analüüsis Cheopsi andmeid, saame mõõta transiidsügavuseks ligikaudu 0,9 % (joonis 4).

Kasutades ülaltoodud võrrandit: $R_p = \sqrt{R_s^2 \times \frac{\text{transit depth}}{100}} = \sqrt{1,70^2 \times \frac{0,9}{100}} = 0,161 R_{Sun}$

Ümberarvestamine Maa raadiuse ühikutesse: $R_p = 0,161 \times 109 = 17,5 R_{Earth}$

Kui õpilased käivitavad *allesfitteri* tarkvara, saavad nad raadiuse jaoks parima sobivuse väärtuse. See väärtus võib oluliselt erineda sellest lihtsast hinnangust. Kasutajaliideses saavad õpilased muuta ainult kolme parameetrit, kuid *allesfitteri* tarkvara sobib andmetele keerulise mudeli abil, millel on veel mitu varjatud parameetrit, mis võib anda andmetele täielikuma sobivuse.

Kuidas määrata orbitaalperioodi ja kaugust, kasutades Kepleri kolmandat seadust

Planeedi tiirlemisperiood T on aeg, mis kulub planeedil ühe täispöörde läbimiseks ümber oma tähe. Seda saab mõõta, kui leida ühe ja sama eksoplaneedi kahe järjestikuse transiidi keskpunkt (transiidi keskpunkt) ja mõõta nende vahelist ajavahemikku.

Nende vaatluste puhul on meil ainult üks transiit, kuid me saame ekstrapoleerida orbitaalperioodi, võrreldes praeguseid vaatlusandmeid varasemate vaatlusandmetega, mis on leitud andmearhiivist.

Pärast eksoplaneedi orbitaalperioodi teadmist saame kasutada Kepleri kolmandat seadust, et tuletada

planeedi ja tähe vaheline keskmine orbitaalkaugus d .

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

Kus G on gravitatsioonikonstant ja M_s on tähe mass.

KELT-3b näide:

Analüüsime nüüd näitena KELT-3b andmeid. Selles harjutuses peaksid õpilased pöörama suurt tähelepanu ühikutele.

- Gravitatsioonikonstant SI-ühikutes on $G = 6,67430 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$
- Tähe KELT-3 mass on teada: $M_s = 1,96 M_{\text{sun}}$
- Me peame selle massi teisendama SI-ühikutesse: $M_s = 3,90 \times 10^{30} \text{ kg}$
- Mudeli sobitamisest saime teada, et orbitaalperiood $T = 2,70339 \text{ päeva}$. Orbitaalperioodi ümberarvestamine sekunditeks: $T = 233\,573 \text{ s}$

Nüüd on meil olemas kogu vajalik teave, et määrata tähe ja eksoplaneedi vaheline kaugus.

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

Võrdleme nüüd KELT-3b perioodi ja keskmist orbitaalkaugust meie Päikesesüsteemi planeetidega:

Tabel 1		
Planeet	Ajavahemik (päeva)	Keskmine orbitaalkaugus (au)
KELT-3b	2,70339	0,048
Elavhõbe	87,97	0,4
Maa	365,25	1
Neptuun	60 266,25	30

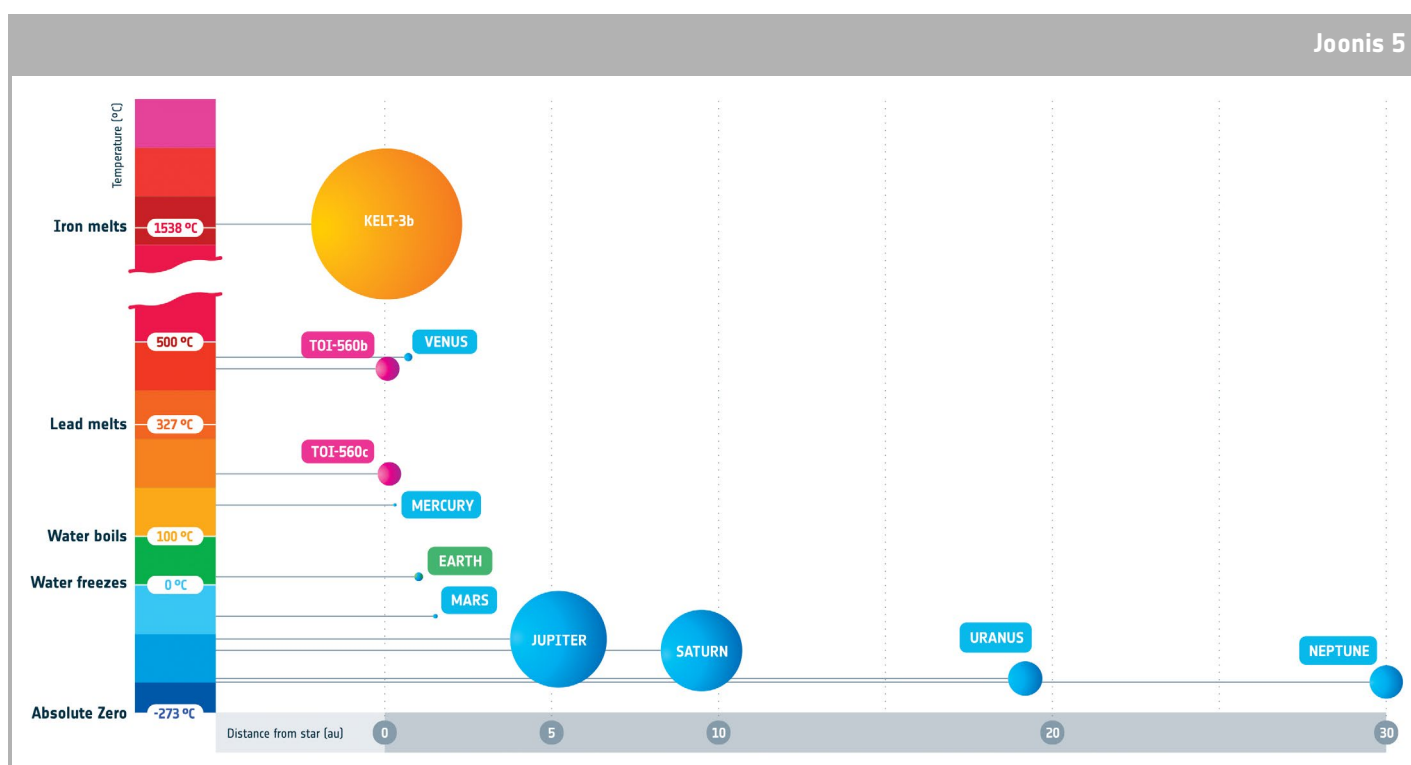
[↑ KELT-3b ja Päikesesüsteemi planeetide perioodide ja keskmise orbitaalkauguse võrdlus](#)

KELT-3b tiirlemisperiood on palju lühem kui Merkuuril, meie Päikesesüsteemi Päikesele lähimal planeedil, kuna eksoplaneet on oma peremeestaevast palju kaugemal. Transiitfotomeetria meetodiga tuvastatakse sedalaadi orbiitidel olevad planeedid kergemini kui meie Päikesesüsteemi omad.

Kuidas me teame, kas eksoplaneet võib olla elamiskõlblik?

Tänapäevani on Maa ainus koht universumis, kus on teadaolevalt elu. Samuti ei ole teada, kas elu võiks areneda ja eksisteerida meie planeedil valitsevatest tingimustest väga erinevates tingimustes. Eksoplaneetide uurimisel ja võimalike elamiskõlblike tingimuste määramisel püüavad teadlased leida Maaga sarnaseid tingimusi, näiteks temperatuuri.

Oluline tegur, mida tuleb arvestada elamiskõlblikkuse puhul, on temperatuur. Planeedi temperatuuri määrab enamasti selle kaugus peremeestaevast. Kui planeet tiirleb tähe ümber sellisel kaugusel, et selle pinnal võib olla **vedelat vett**, on planeet oma peremeestaeva elamiskõlblikus **tsoonis**.



↑ Diagramm, millel on kujutatud planeetide suurus ja temperatuur sõltuvalt kaugusest peremeestaevast. Planeetide suurus ja kaugus on kujutatud kahe erineva skaalaga.

Veenus: erand Päikesesüsteemis

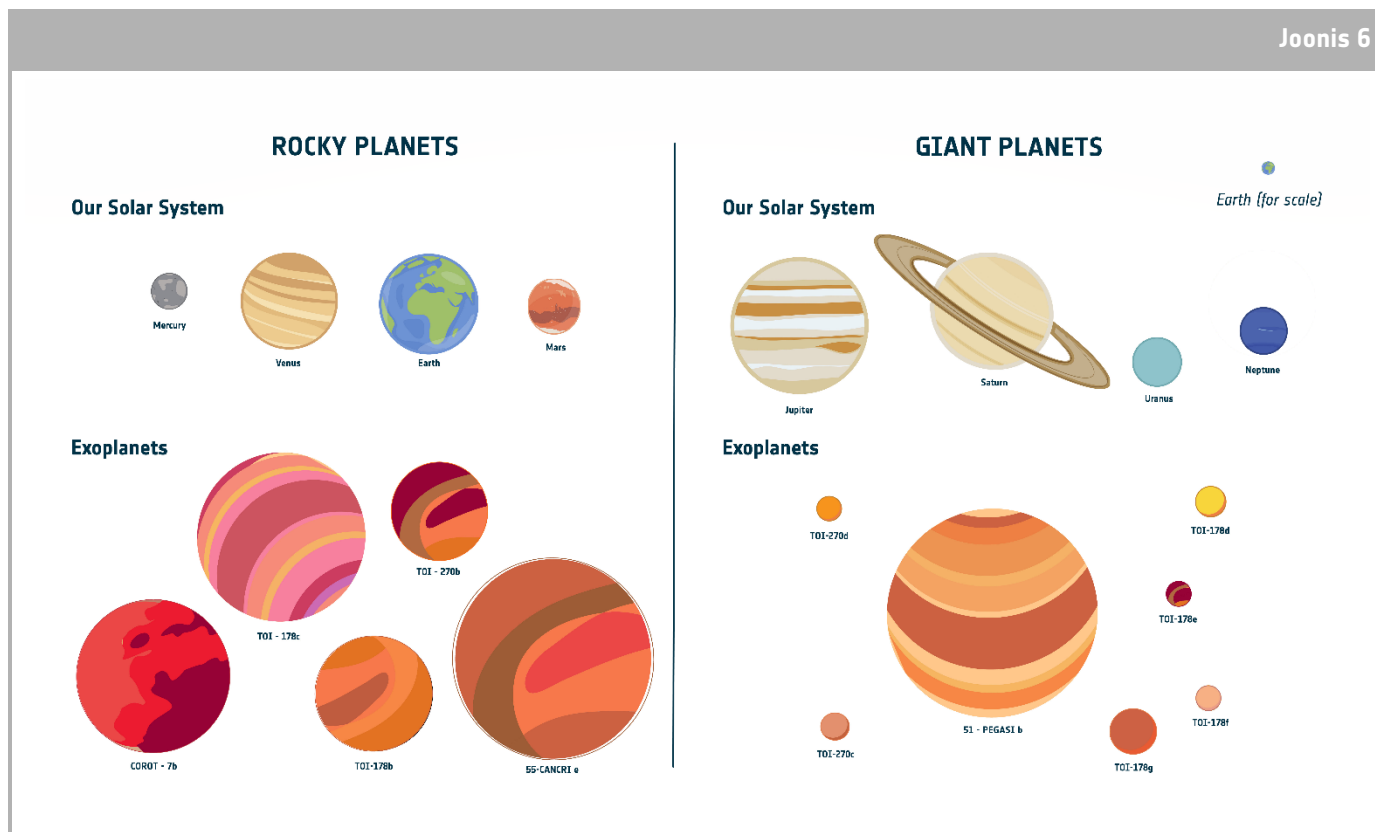
Planeedi pinnal mõõdetud temperatuuri mõjutab ka selle atmosfäär. Päikesesüsteemis on Veenus äärmuslik näide. Selle paks atmosfäär toimib kasvuhoonena ja soojendab pinna üle plii sulamistemperatuuri, mistõttu on ta soojem planeet kui Merkuur, kuigi ta on Päikesest kaugemal.

KELT-3b näide:

Räägime nüüd näitena KELT-3b-st. KELT-3b on ebatõenäoline elupaigaks, sest see on oma peremeestaevale liiga lähedal, mistõttu selle pinnatemperatuur on väga kõrge, üle raua sulamistemperatuuri. Enamik aminohappeid, elu ehitusplokid, ei elaks sellistel äärmuslikel temperatuuridel üle. Samuti pommitatakse planeeti suure kiirgusega, sest ta on oma peremeestaevale väga lähedal.

Millest koosnevad eksoplaneedid?

Meie Päikesesüsteemis jagatakse planeedid tavaliselt kahte kategooriasse: kivised ja gaasilised. Kuid eksoplaneedid võivad olla väga erinevad meie tuttavatest naaberplaneetidest.



↑ Näited kunstnike muljetest reaalistest eksoplaneetidest, mis on juba avastatud lähedal asuvate tähtede ümber tiirlemas.

Arvutades eksoplaneedi keskmise **tiheduse**, ρ on võimalik saada aimu eksoplaneedi koostisest.

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

Kus M on eksoplaneedi mass ja V on eksoplaneedi ruumala.

Eksoplaneedi mass ja ruumala määratakse tavaliselt suure veaga, mis on seotud nende väärtustega. Need vead kanduvad seejärel edasi eksoplaneedi tiheduse arvutamisse, tekitades tiheduse väärtuse määramatuse vahemikus 10% kuni 30%.

Eksoplaneetide uurimiseks kasutatakse teistsugust tehnikat, mida nimetatakse spektroskoopiaks. Selle meetodi abil jagatakse tähe või eksoplaneedi valgus eri lainepikkustele, mis võimaldab määrata eksoplaneedi **atmosfääri koostist** või pilvede katvust.

KELT-3b näide:

Analüüsime nüüd näitena KELT-3b andmeid. KELT-3b mass on $617 M_{\text{Earth}}$. Seda väärtust ei ole võimalik määrata transiitfotomeetria põhjal. See määrati varasemate vaatluste põhjal, kasutades teistsugust tehnikat, mida nimetatakse radiaalkiiruseks.

Esimeses harjutuses määrasime juba KELT-3b raadiuse. Teades raadiust, saame arvutada eksoplaneedi ruumala, eeldades, et see on täiuslik kera: $V = \frac{4}{3} \pi R^3$.

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

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

* See raadiuse väärtus on hinnatud transiidisügavuse arvutuse põhjal, õpilased võivad kasutada ka *allesfitteri* parima sobivuse mudeli väärtust.

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

See väärtus on palju väiksem kui Jupiteri keskmine tihedus ja lähemal WASP-189b (tuntud kuum Jupiteri eksoplaneet) tihedusele. Väike kaugus selle peremeestaevast ja kõrge temperatuur muudavad eksoplaneedi "pundunud".

KELT-3b kokkuvõte

KELT-3b on kuum Jupiter, mis tiirleb ümber Päikese sarnase tähe KELT-3, mis asub Maast umbes 690 valgusaasta kaugusel.

KELT-3b tiirleb oma peremeestaevale väga lähedal, rohkem kui 10 korda lähemal kui Maa tiirleb ümber Päikese. Eksoplaneedil kulub vaid 2,7 päeva, et läbida täielik orbiit ümber KELT-3.

Tänu oma peremeestaeva lähedusele on eksoplaneedi keskmine temperatuur väga kõrge, üle raua sulamistemperatuuri, mis muudab ta täiesti elamiskõlblikuks.

KELT-3b koosneb peamiselt vesinikust ja heeliumist, sarnaselt Jupiterile. Eksoplaneedi kõrge temperatuuri ja tähe läheduse tõttu on selle atmosfäär väga laiendatud (paisutatud) ja selle keskmine tihedus on väga madal.

Tabel 2	
Eksoplaneet	KELT-3b
Planeedi tüüp	Kuum Jupiter
Raadius (R_{Earth})	16,81 (alates allesfitter)
	17,5 (alates transiidisügavusest)
Mass (M_{Earth})	617 ± 105
Orbitaalperiood (päeva)	2,70339
Keskmine orbitaalkaugus (au)	~0,048
Tihedus (g/cm^3)	~0,63
Keskmine temperatuur ($^{\circ}\text{C}$)	~1 543

[↑ KELT-3b omaduste hindamise kokkuvõte](#)

Esitage oma projekt

Meeskonnad saavad esitada oma meeskonna Hack an Exoplanet projekti Hack an Exoplanet platvormil, et saada osalemistunnistus. Oma projekti esitamiseks külastage hackanexoplanet.esa.int/submit-your-project.

→ Väljakutse 2 - TOI-560c andmete analüüs

Pärast KELT-3b analüüsi lõpetamist peaksid meeskonnad olema võimelised järgima sama analüüsiprotsessi TOI-560c andmete puhul.

Kogu vajalik teave on kättesaadav juhtumi toimikus õpilase töölehel ja aadressil hackanexoplanet.esa.int/challenges.

Meeskonnad saavad esitada oma projekti Hack an Exoplanet platvormil Hack an Exoplanet, et saada osalemistunnistus. Oma meeskonna projekti esitamiseks külastage hackanexoplanet.esa.int/submit-your-project.

Parima projekti auhind:

Parima projekti auhinna võitmiseks peaksid meeskonnad esitama oma uurimusajakirja TOI-560c kohta.

Teie meeskonna esitatud taotlus peaks sisaldama teie analüüsi Cheopsi andmete kohta TOI-560c kohta ning see peaks järgima teadusliku artikli formaati, mis sisaldab kokkuvõtet, analüüsi ja tulemusi ning järeldusi.

Võitnud meeskonnad saavad ESA maiuspalad ning võimaluse osaleda 17. juulil 2023 veebiseminaril koos Nobeli füüsikapreemia laureaadi Didier Queloziga. Võistluste esitamise tähtaeg on 14. juuni 2023.

Oma projekti esitamiseks külastage hackanexoplanet.esa.int/submit-your-project.

→ LINKSID

Toetavad ressursid

Häkkida eksoplaneet:

hackanexoplanet.esa.int

Häkkida eksoplaneedi haridustöötajate tegevusjuhhis

hackanexoplanet.esa.int/et/educators-guide

AllesFitter tarkvara hariduslik versioon:

hackanexoplanet.esa.int/allesfitter

Sissejuhatus Hack an Exoplanet - muutu eksoplaneedi detektiiviks

hackanexoplanet.esa.int/et/challenges

Allesfitter mini tutorial - samm-sammult juhend, kuidas sobitada parim mudel andmetele

hackanexoplanet.esa.int/et/allesfitter-guide

Kuidas määrata eksoplaneedi suurust

hackanexoplanet.esa.int/et/challenges-size

Eksoplaneedi orbitaalperiood ja kaugus, kasutades Kepleri kolmandat seadust

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

Kas eksoplaneetid võivad olla elamiskõlblikud?

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

Millest koosnevad eksoplaneetid?

hackanexoplanet.esa.int/et/challenges-composition

Teaduslikud viited KELT-3b kohta

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

ESA ressursid

ESA klassiressursid

esa.int/Education/Classroom_resources

Õpetada koos eksoplaneetidega

esa.int/Education/Teach_with_Exoplanets

Meet Cheops: Exoplaneeti iseloomustav satelliit

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

ESA kosmoseprojektid

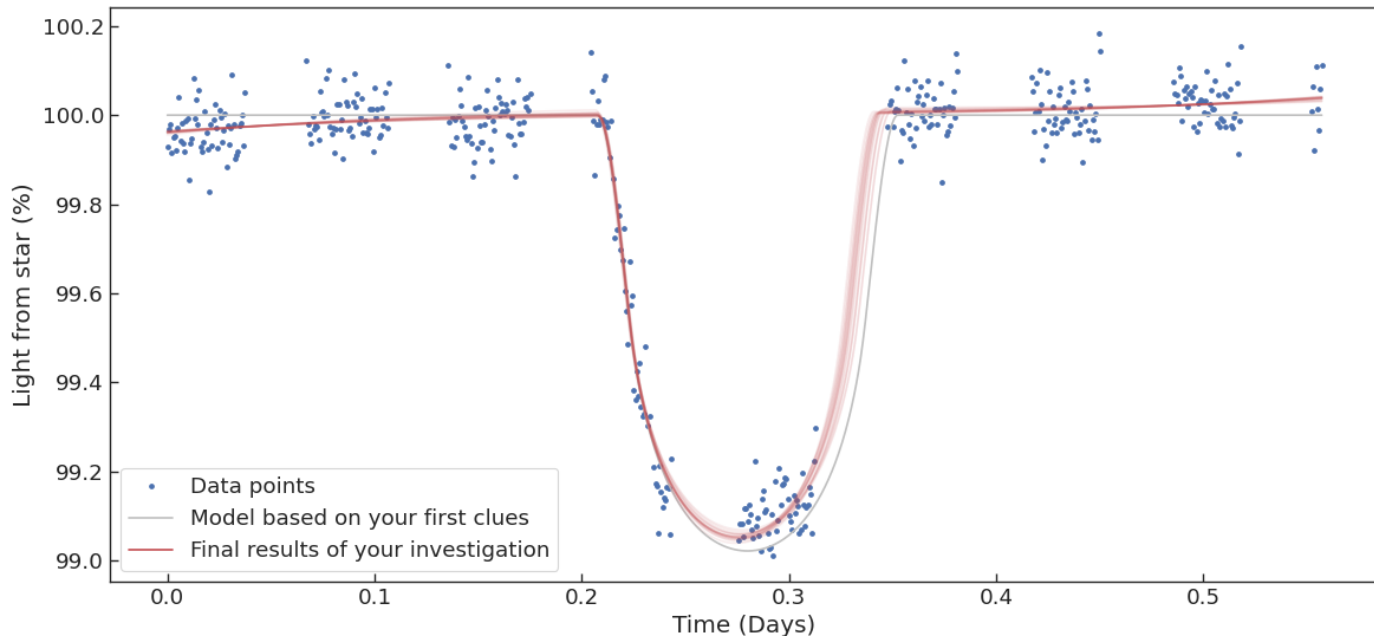
Cheops - Exoplaneedi satelliitide iseloomustamine

esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Cheops

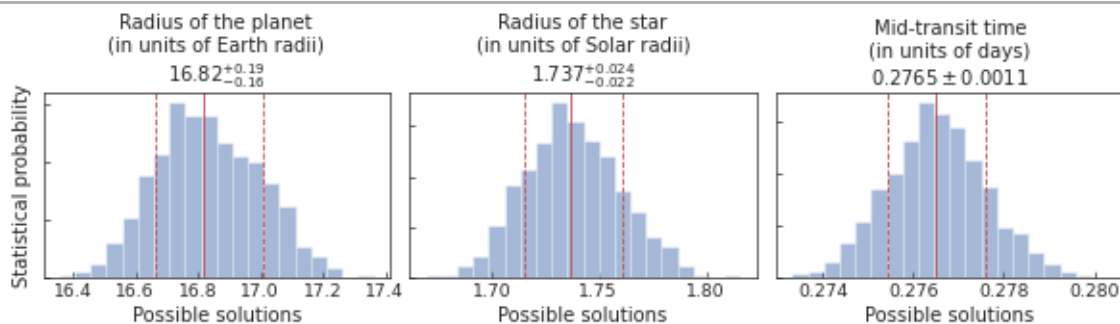
→ 1. lisa

Eksoplaneedi KELT-3b transiidi valguskõver

KELT-3b parima mudeli sobitamise tulemused *allesfitterist*



↑ Transiidi valguskõvera parim sobiv mudel.



- Histogrammid näitavad iga parameetri teatava väärtuse tõenäosust.
- Keskmine pidev joon näitab iga parameetri mediaanväärtust.
- Sellest vasakul ja paremal asuvad katkendlikud jooned tähistavad vastavalt alumist ja ülemist piiri.
- Neid nimetatakse 1-sigma määramatusteks. See tähendab, et statistiliselt võime olla 68% ulatuses kindlad, et tegelik väärtus jääb nende piiridesse.
- Pange tähele, et see tähendab, et on võimalik, et parameetri tegelik väärtus jääb neist piiridest väljapoole; need on ainult statistilised määramatused, mitte lõplikud piirid.

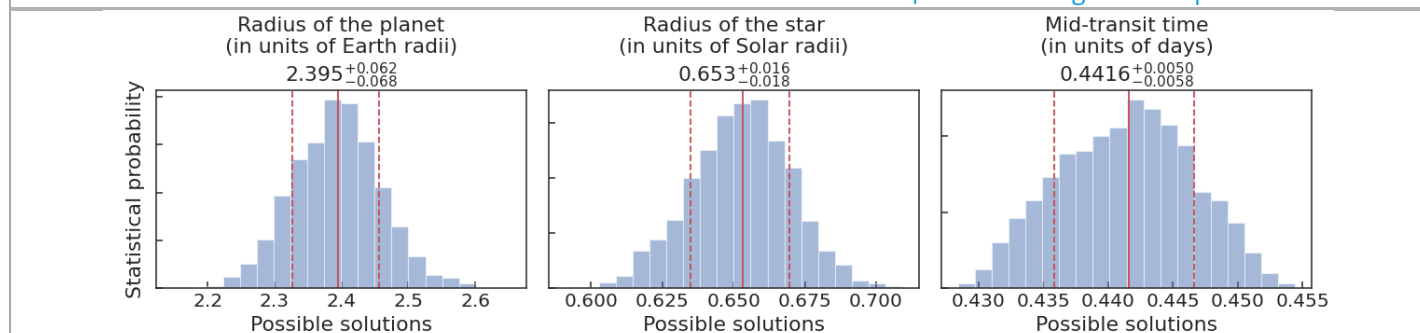
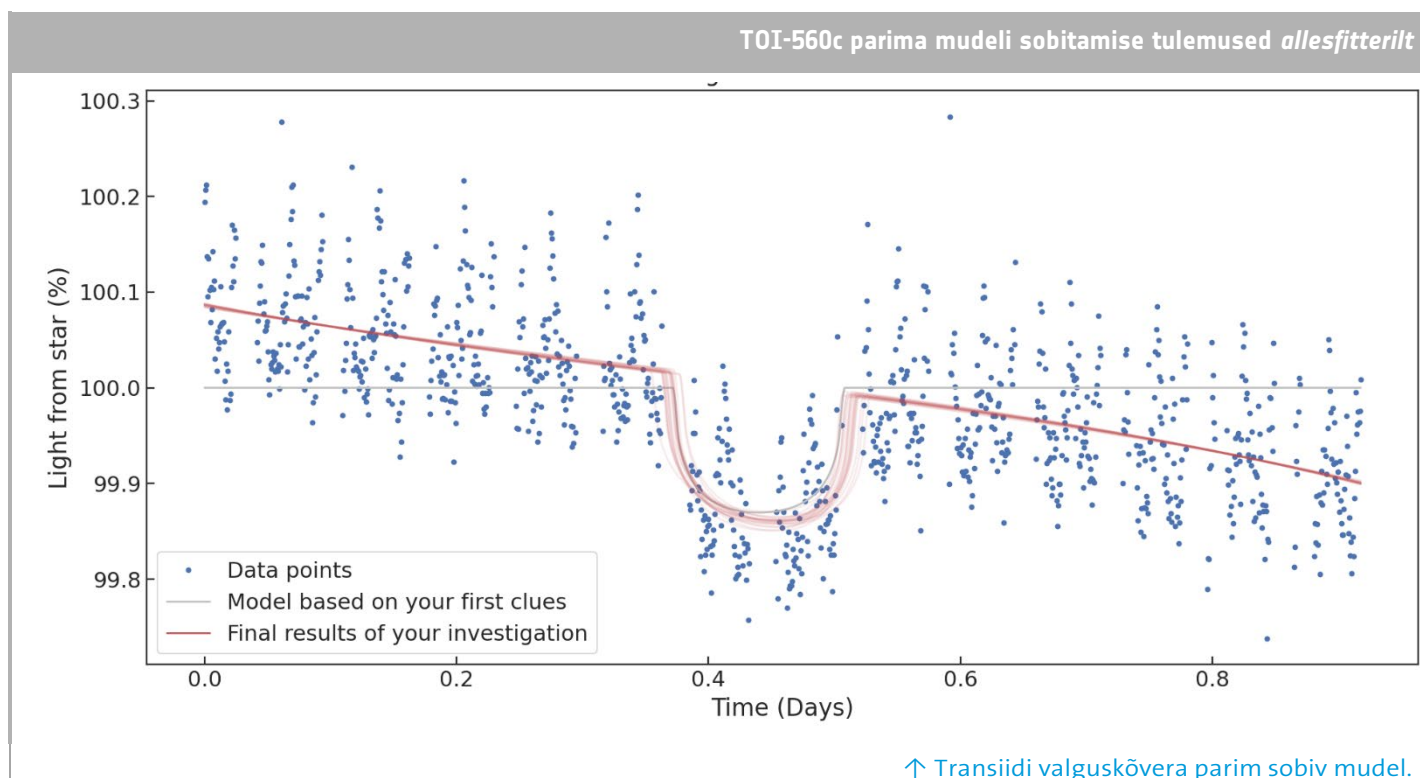
↑ KELT-3b kõigi parameetrite väärtuste statistilise tõenäosuse histogramm.

Nimi	Mediaanväärtus	Väiksem viga	Ülemine viga	Juhtumi märkus
Planeedi raadius (Maa raadiuse ühikutes)	16,82	0,16	0,19	Kheopsi tähelepanekud
Tähe raadius (Päikese raadiuse ühikutes)	1,737	0,022	0,024	Kheopsi tähelepanekud
Keskmine transiidiaeg (päevaühikutes)	0,2765	0,0011	0,0011	Kheopsi tähelepanekud
Orbitaalperiood (päevaühikutes)	2,70339			Muud tähelepanekud arhiivist

↑ Tabel koos kõige paremini sobivate mudeliparameetritega.

→ 2. lisa

Eksoplaneedi TOI-560c transiidi valgusköver



- Histogrammid näitavad iga parameetri teatava väärtuse tõenäosust.
- Keskmine pidev joon näitab iga parameetri mediaanväärtust.
- Sellest vasakul ja paremal asuvad katkendlikud jooned tähistavad vastavalt alumist ja ülemist piiri.
- Neid nimetatakse 1-sigma määramatusteks. See tähendab, et statistiliselt võime olla 68% ulatuses kindlad, et tegelik väärtus jääb nende piiridesse.
- Pange tähele, et see tähendab, et on võimalik, et parameetri tegelik väärtus jääb neist piiridest väljapoole; need on ainult statistilised määramatused, mitte lõplikud piirid.

↑ [TOI-560c kõigi parameetrite väärtuste statistilise tõenäosuse histogramm.](#)

Nimi	Mediaanväärtus	Väiksem viga	Ülemine viga	Juhtumi märkus
Planeedi raadius (Maa raadiuse ühikutes)	2,395	0,068	0,062	Kheopsi tähelepanekud
Tähe raadius (Päikese raadiuse ühikutes)	0,653	0,018	0,016	Kheopsi tähelepanekud
Keskmine transiidiaeg (päeväühikutes)	0,4416	0,0058	0,0050	Kheopsi tähelepanekud
Orbitaalperiood (päeväühikutes)	18,8797			Muud tähelepanekud arhiivist

↑ [Tabel koos kõige paremini sobivate mudeliparameetritega.](#)