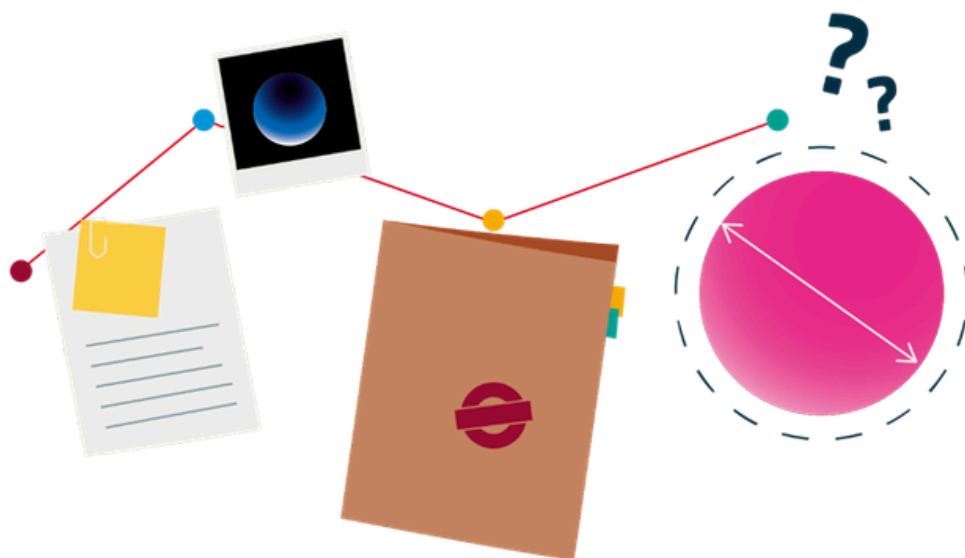


să învățăm prin spațiu

→ Investighează o exoplanetă

Devino detectiv spațial!





GHIDUL PROFESORULUI

Pe scurt	03
Introducere	05
Activitate.....	05
Investigația 1: Analiza datelor pentru KELT-3b.....	07
Investigația 2: Analiza datelor pentru TOI-560c	14
Investigația 3: Analiza datelor pentru K2-141b și K2-141c.....	18
Legături utile (link-uri)	26
Anexe	27

să învățăm prin spațiu – Investighează o exoplanetă | P39

www.esa.int/education

Biroul Educațional al ESA încurajează transmiterea de feedback și comentarii
teachers@esa.int

O producție ESA Education în colaborare cu ESA Science.

Traducere și adaptare ESERO România.

Copyright 2023 © European Space Agency

Ultima editare Mai 2025

Investighează o exoplanetă

Devino un detectiv spațial

DATE GENERALE

Disciplina: Fizică, Matematică, Astronomie

Grupa de vârstă: 14–19 ani

Tip: activitate pentru elevi și / sau hackathon

Complexitate: medie

Timp de pregătire pentru profesor: 1 oră

Durata lecției: 90 de minute per investigație
(4,5 ore în total)

Cost: redus (0–10 euro)

Locație: sala de clasă

Utilizează: computer (dacă nu este posibil,
este sugerată o alternativă)

Cuvinte-cheie: Fizică, Matematică,
Astronomie, Exoplanetă, Tranzit

Scurtă descriere

În cadrul acestei activități, elevii vor caracteriza exoplanete prin analiza datelor obținute de satelitul CHEOPS al ESA.

Elevii vor lucra asemenea unor oameni de știință reali și vor ajusta un model la datele disponibile pentru a obține parametrii cu cea mai bună potrivire.

Activitatea poate fi desfășurată într-un format ghidat sau într-un format bazat pe proiecte, de exemplu sub forma unui hackathon. Ghidul pentru profesori prezintă ambele opțiuni.

Activitățile sunt completate de explicații video realizate de experți în domeniul exoplanetelor.

Obiective de învățare

- Lucrează științific cu date reale provenite de la sateliți.
- Aplică tehnici matematice de analiză a datelor prin ajustarea unui model la date reale.
- Învăță despre a treia lege a lui Kepler și mecanica orbitală.
- Înțelege ce este un tranzit de exoplanetă.
- Dezvoltă abilități de lucru în echipă sub constrângeri de timp.

De asemenea, ai nevoie de :

Materiale video de sprijin. Consultați secțiunea „Linkuri”.

- Introducere în Hack an Exoplanet – devino detectiv de exoplanete
- Mini-tutorial Allesfitter – ghid pas cu pas pentru ajustarea celui mai bun model la date
- Cum se determină dimensiunea unei exoplanete
- Perioada orbitală și distanța unei exoplanete, folosind a treia lege a lui Kepler
- Pot fi exoplanetele locuibile?
- Din ce sunt alcătuite exoplanetele?

→ Introducere

„Investighează o exoplanetă” este o activitate care îi invită pe elevi să utilizeze date reale provenite de la sateliți pentru a crea profiluri ale unor exoplanete misterioase și pentru a deveni, pentru o zi, detectivi de exoplanete, investigând dosarele acestora.

În ianuarie 2023, satelitul CHEOPS (CHAracterising ExOPlanet Satellite) al ESA a observat două exoplanete, KELT-3b și TOI-560c, special pentru această activitate.

Ulterior, în septembrie 2023, CHEOPS a observat încă două exoplanete pentru această activitate, K2-141b și K2-141c, care orbitează aceeași stea.

Prin analizarea datelor CHEOPS, elevii se pot alătura oamenilor de știință ai ESA în căutarea răspunsurilor și pot contribui la înțelegerea acestor lumi extraterestre misterioase.

Aceasta este o activitate practică, în care elevii sunt așteptați să analizeze datele furnizate de satelitul CHEOPS al ESA. Elevii vor caracteriza principalele proprietăți ale exoplanetelor, folosind materialele de sprijin (dosarele de caz) și versiunea educațională a instrumentului de ajustare [allesfitter](#), pregătită special pentru aceste seturi de date.

Activitățile sunt însoțite de explicații și exemple atât scrise, cât și video, realizate de experți în domeniul exoplanetelor.

Activitățile pot fi prezentate într-un format ghidat sau într-un format bazat pe învățarea prin proiecte, de exemplu sub forma unui hackathon.

Ghidul pentru profesori prezintă ambele opțiuni.

Ce este o exoplanetă?

Exoplanetele, sau planetele extrasolare, sunt planete aflate în afara propriului nostru Sistem Solar, care orbitează o stea diferită de Soare.

Cum studiem exoplanetele?

În prezent, există peste 5 000 de exoplanete confirmate, în aproximativ 4 000 de sisteme stelare, însă exoplanetele sunt dificil de detectat. Semnalul pe care îl primim de la o exoplanetă este foarte mic în comparație cu semnalul mult mai puternic provenit de la stelele gazdă, mai mari și mai strălucitoare, de obicei mult sub 1%.

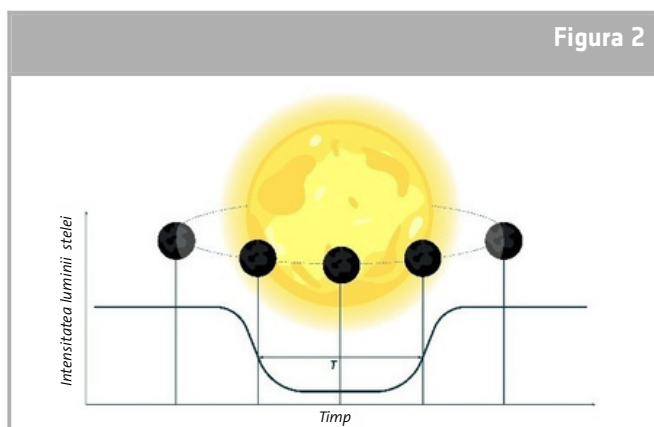


Figura 2

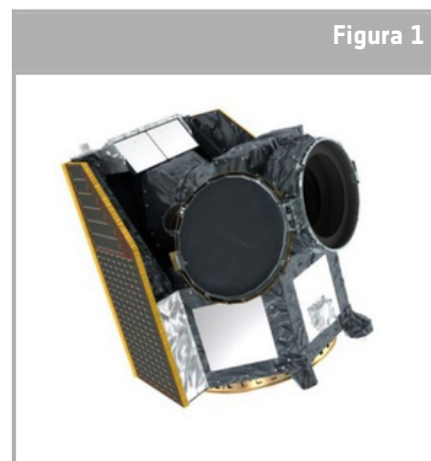
↑ Reprezentare a metodei fotometriei de tranzit.

Există diferite metode pentru detectarea și caracterizarea exoplanetelor; în această activitate vom utiliza metoda fotometriei de tranzit. Aceasta este cea mai utilizată metodă pentru descoperirea exoplanetelor.

Fotometrie – termenul fotometrie provine din greacă: photo („lumină”) și metry („măsurare”). Este o tehnică utilizată în astronomie pentru a măsura în mod cantitativ lumina provenită de la stele.

Tranzit – exoplaneta este detectată prin măsurarea unei diminuări a luminii care provine de la stea.

Figura 1



↑ Impresie artistică a satelitelui CHEOPS.

→ Activitate

Activitatea „Investighează o exoplanetă” este alcătuită din trei investigații, fiecare conținând informații necesare pentru a determina proprietățile exoplanetei respective:

- KELT-3b,
- TOI-560c și
- sistemul de exoplanete K2-141b și K2-141c.

Urmând instrucțiunile din materialele de sprijin și/sau informațiile prezentate în materialele video educaționale, elevii vor putea completa informațiile lipsă din dosarele de caz.

Se recomandă începerea cu KELT-3b, urmată de TOI-560c și, în final, de sistemul de exoplanete K2-141b și K2-141c.

Echipamente:

- Computer cu acces la internet pentru utilizarea instrumentului software [allesfitter](#), disponibil în browser.

Dacă acest pas nu este posibil, echipele pot folosi parametrii de potrivire optimă furnizați în:

- Anexa 1 – Curba de lumină a tranzitului exoplanetei KELT-3b,
- Anexa 2 – Curba de lumină a tranzitului exoplanetei TOI-560c și
- Anexa 3 – Curba de lumină a tranzitului exoplanetei K2-141b.
- Fișa de lucru pentru elevi, tipărită pentru fiecare grup, care include:
 - Harta de investigație a exoplanetelor
 - Dosarele de caz pentru KELT-3b, TOI-560c și K2-141b & c
 - Informații despre planetele Sistemului Solar
 - Ghidul allesfitter pas cu pas, tipărit pentru fiecare grup
- Calculator (opțional)
- Această activitate include și șase materiale video de sprijin pentru ghidarea echipelor (consultați secțiunea „Linkuri”):
 1. Introducere în Investighează o exoplanetă – devino detectiv de exoplanete
 2. Mini-tutorial allesfitter – ghid pas cu pas pentru ajustarea celui mai bun model la date
 3. Cum se determină dimensiunea unei exoplanete
 4. Perioada orbitală și distanța unei exoplanete, folosind a treia lege a lui Kepler
 5. Pot fi exoplanetele locuibile?
 6. Din ce sunt alcătuite exoplanetele?

Informațiile prezentate în materialele video sunt incluse și în acest ghid pentru profesori.

Exercițiu:

Seturile de date pentru obiectivele studiate au fost obținute de satelitul CHEOPS al ESA în lunile ianuarie și septembrie 2023, special pentru această activitate educațională. Datele au fost procesate de experți ai ESA și sunt pregătite pentru a fi utilizate de elevi.

Această activitate poate fi desfășurată într-un format ghidat sau într-un format bazat pe învățarea prin proiecte, de exemplu sub forma unui hackathon.

Ghidul pentru profesori prezintă ambele opțiuni.

Recomandăm realizarea acestei activități în echipe de 3–4 elevi. Acest lucru le va permite elevilor să discute cea mai bună abordare pentru completarea fiecărui dosar de caz și să analizeze împreună rezultatele.

Format ghidat

Începeți prin a introduce în clasă subiectul exoplanetelor. Vă sugerăm utilizarea acestui material video introductiv: Introducere în „Investighează o exoplanetă” (consultați secțiunea „Linkuri”).

- Împărțiți clasa în echipe de 3–4 elevi.
- Prezentați activitatea elevilor. Fiecare echipă va caracteriza principalele proprietăți ale unei exoplanete (se recomandă începerea cu KELT-3b) prin completarea dosarului de caz disponibil în fișa de lucru a elevilor.
- Echipele vor determina dimensiunea, perioada orbitală, distanța orbitală, locuibilitatea și compoziția exoplanetei și vor compara aceste proprietăți cu cele ale planetelor din Sistemul Solar. Harta de investigație a exoplanetelor oferă informații suplimentare pentru fiecare proprietate menționată.
- Distribuiți echipelor documentația de sprijin și acordați-le câteva minute pentru a o analiza.
- Stabiliți un interval de timp în care echipele să determine fiecare proprietate a exoplanetei.
- Înainte ca echipele să înceapă lucrul pentru determinarea fiecărei caracteristici, prezentați materialul video de sprijin corespunzător (consultați secțiunea „Linkuri”).
- Materialele video de sprijin includ informații despre modul de determinare a fiecărei proprietăți și soluția pentru KELT-3b.
- Asigurați-vă că echipele înțeleg cum se determină fiecare parametru înainte de a trece la următorul.
- După determinarea tuturor parametrilor, echipele vor prezenta și discuta concluziile lor în fața clasei.
- Ca pas următor, puteți propune realizarea investigațiilor 2 și 3, pentru a determina caracteristicile exoplanetei TOI-560c și ale sistemului de exoplanete K2-141b și c.

Format bazat pe proiecte – hackathon

Împărțiți clasa în echipe de 3–4 elevi.

- Începeți prin a le prezenta elevilor conceptul de hackathon, utilizând acest material video introductiv: Introducere în „Investighează o exoplanetă” (consultați secțiunea „Linkuri”).
- Puteți permite echipelor să realizeze investigația în mod autonom (de exemplu ca temă pentru acasă sau ca proiect desfășurat la clasă) sau o puteți organiza ca un eveniment comun la nivel de clasă sau de școală.
- Dacă este necesar, consolidați înțelegerea activității în rândul elevilor. Fiecare echipă va trebui să caracterizeze principalele proprietăți ale unei exoplanete (se recomandă începerea cu KELT-3b), completând dosarul de caz disponibil în fișele de lucru ale elevilor. Echipele vor determina dimensiunea, perioada orbitală, distanța orbitală, locuibilitatea și compoziția exoplanetei și vor compara aceste proprietăți cu cele ale planetelor din Sistemul Solar. Harta de investigație a exoplanetelor oferă informații suplimentare pentru fiecare proprietate menționată.
- Distribuiți echipelor documentația de sprijin și stabiliți un interval de timp pentru completarea dosarului de caz al unei exoplanete. Recomandăm aproximativ 90 de minute pentru investigarea unei exoplanete.
- Pentru a vă asigura că echipele progresează constant, puteți stabili intervale de timp pentru determinarea fiecărei caracteristici sau puteți difuza materialul video de sprijin relevant și oferi indicații la momente-cheie. Materialele video de sprijin includ informații despre modul de determinare a fiecărei proprietăți și soluția pentru KELT-3b.
- După determinarea tuturor parametrilor, echipele vor prezenta și discuta concluziile lor cu întregul grup.
- Pentru extindere, puteți propune realizarea investigațiilor 2 și 3, pentru a determina caracteristicile exoplanetei TOI-560c și ale sistemului de exoplanete K2-141b și c.

→ Investigația 1 – Analiza datelor planetei KELT-3b

Toate informațiile necesare sunt disponibile în dosarul de caz din fișa de lucru a elevilor și pe platforma hackanexoplanet.esa.int/start-investigation.

Accesarea, procesarea și modelarea datelor satelitare

Datele pot fi accesate utilizând acest link: hackanexoplanet.esa.int/allesfitter

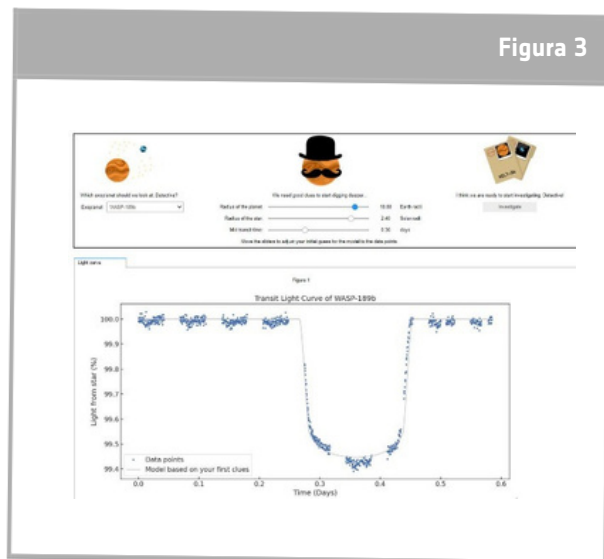
Această versiune a instrumentului allesfitter este o aplicație online care oferă acces facil și gratuit la datele satelitului CHEOPS, permițând modelarea mai multor exoplanete pe baza măsurătorilor de tranzit.

Aplicația poate fi accesată dintr-un browser de desktop.

Pentru a obține parametrii de potrivire optimă ai datelor, elevii trebuie să urmeze ghidul allesfitter pas cu pas din fișa de lucru a elevilor sau materialul video tutorial.

Acest ghid oferă instrucțiuni privind utilizarea versiunii educaționale a instrumentului allesfitter, disponibilă în browser.

Această versiune a instrumentului are deja seturile de date încărcate și permite explorarea unui număr limitat de parametri: raza planetei, raza stelei și momentul de mijloc al tranzitului.



↑ Interfața Allesfitter .

Notă: Dacă acest pas nu este posibil, echipele pot utiliza parametrii de potrivire optimă furnizați în Anexa 1 – Curba de lumină a tranzitului exoplanetei KELT-3b.

Cum se determină dimensiunea unei exoplanete?

Atunci când este utilizată metoda fotometriei de tranzit, telescopul măsoară variația cantității de lumină emisă de o stea pe o anumită perioadă de timp. Oamenii de știință analizează aceste date și ajustează modele pentru a identifica variații ale luminii stelare care pot fi cauzate de prezența unei exoplanete.

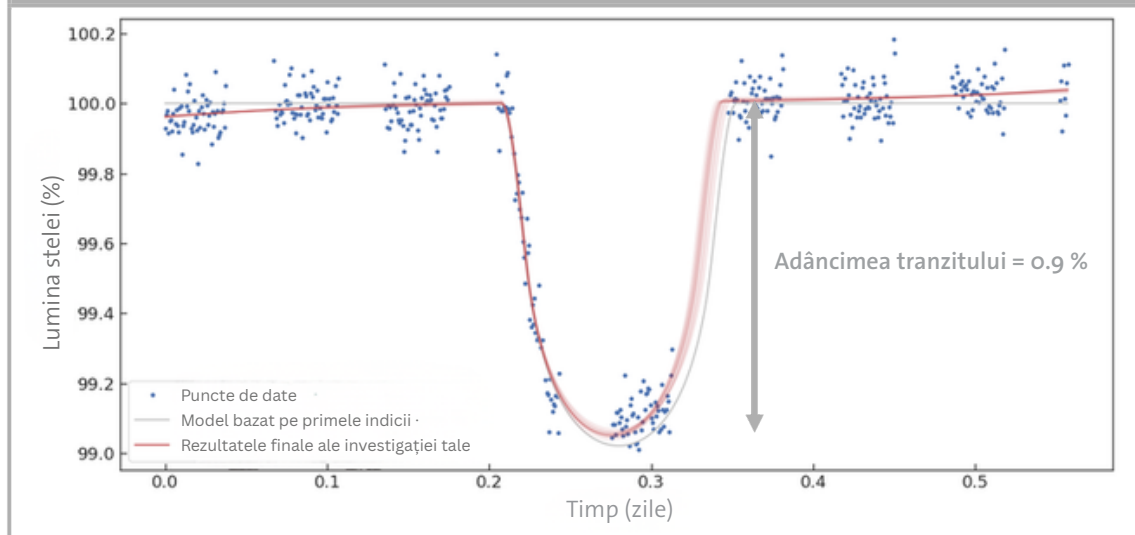
Prin această metodă, exoplaneta nu este observată direct (cu excepția unor cazuri foarte particulare).

În schimb, se măsoară scăderea cantității de lumină a stelei atunci când exoplaneta trece prin fața acesteia, între stea și telescop. Această scădere a luminii stelare este denumită **adâncimea/profunzimea tranzitului** și este proporțională cu aria proiectată a exoplanetei.

Este posibil să se determine raza exoplanetei (R_p) dacă se cunosc raza stelei (R_s) și adâncimea tranzitului:

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

Figura 4



↑ Datele CHEOPS pentru KELT-3b, împreună cu modelul de potrivire optimă al curbei de lumină a tranzitului, obținut cu [allesfitter](#).

Raza stelei KELT-3 este cunoscută și este furnizată în dosarul de caz: $R_s = 1,70 R_{\text{Soarelui (Sun)}}$.

Prin analiza datelor CHEOPS, putem măsura adâncimea tranzitului ca fiind de aproximativ 0,9 % (Figura 4).

Folosind relația de mai sus, putem calcula raza exoplanetei R_p . Introducând valorile cunoscute, obținem:

$$\sqrt{R_s^2 \times \frac{\text{adâncimea tranzitului}}{\text{lumina stelei în afara tranzitului}}} = \sqrt{(1.70 R_{\text{Soare}})^2 \times \frac{0.9}{100}} = 0.161 R_{\text{Soare}}$$

Pentru a exprima rezultatul în unități de rază terestră (raza planetei), folosim relația:

$$1 R_{\text{Soare}} = 109 R_{\text{Pământ}}$$

Astfel, raza exoplanetei este:

$$R_p = 0.161 \times 109 = 17.5 R_{\text{Pământ}}$$

Atunci când elevii folosesc software-ul [allesfitter](#), aceștia obțin o valoare de potrivire optimă pentru raza exoplanetei. Această valoare poate diferi semnificativ de estimarea simplificată realizată anterior.

Deși, la nivelul interfeței, elevii pot modifica doar trei parametri, software-ul [allesfitter](#) utilizează un model mult mai complex pentru ajustarea datelor. Acest model include și alți parametri suplimentari, care nu sunt vizibili utilizatorului, dar care permit o descriere mai completă și mai realistă a datelor observaționale.

Determinarea perioadei orbitale și distanța față de stea, folosind a treia lege a lui Kepler

Perioada orbitală, notată cu T , reprezintă timpul necesar unei planete pentru a parcurge o orbită completă în jurul stelei sale. Aceasta poate fi determinată prin identificarea momentului de mijloc al tranzitului (centrul tranzitului) pentru două tranzite consecutive ale aceleiași exoplanete și prin măsurarea intervalului de timp dintre acestea.

În cazul acestor observații, este disponibil un singur tranzit. Totuși, perioada orbitală poate fi estimată prin compararea datelor observaționale actuale cu datele obținute anterior, disponibile în arhivele de date.

După determinarea perioadei orbitale a exoplanetei, a treia lege a lui Kepler poate fi utilizată pentru a calcula distanța orbitală medie, notată cu d , dintre planetă și steaua în jurul căreia orbitează.

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

Unde G este constanta gravitațională, iar M_S reprezintă masa stelei.

Să analizăm datele pentru KELT-3b. În acest exercițiu, elevii trebuie să fie foarte atenți la unități.

Constanta gravitațională în unități SI este: $G = 6,67430 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$

Masa stelei KELT-3 este cunoscută: $M_S = 1,96 M_p$

Trebuie să convertim masa în unități SI: $M_S = 3,90 \times 10^{30} \text{ kg}$

Din potrivirea modelului în [allesfitter](#) sau din fișa de date, aflăm că perioada orbitală este: $T = 2,70339$ zile

Convertind perioada orbitală în secunde: $T = 233\,573 \text{ s}$

Acum avem toate informațiile necesare pentru a determina distanța dintre stea și exoplanetă.

$$d = \sqrt[3]{\frac{GM_S}{4\pi^2} T^2} = \sqrt[3]{\frac{6.67430 \times 10^{-11} \times 3.90 \times 10^{30}}{4\pi^2} 233573^2} = 7.11 \times 10^9 \text{ m} = \mathbf{0.048 \text{ au}}$$

Să comparăm perioada orbitală și distanța orbitală medie ale lui KELT-3b cu cele ale planetelor din Sistemul Solar:

Tabelul 1		
Planetă	Perioadă (zile)	Distanță orbitală medie (au)
KELT-3b	2.70339	0.048
Mercur	87.97	0.4
Pământ	365.25	1
Neptune	60266.25	30

↑ [Comparație între perioada orbitală și distanța orbitală medie pentru KELT-3b și planetele din Sistemul Solar](#)

KELT-3b are o perioadă orbitală mult mai scurtă decât Mercur, cea mai apropiată planetă de Soare din Sistemul nostru Solar, datorită distanței foarte mici a exoplanetei față de steaua sa gazdă.

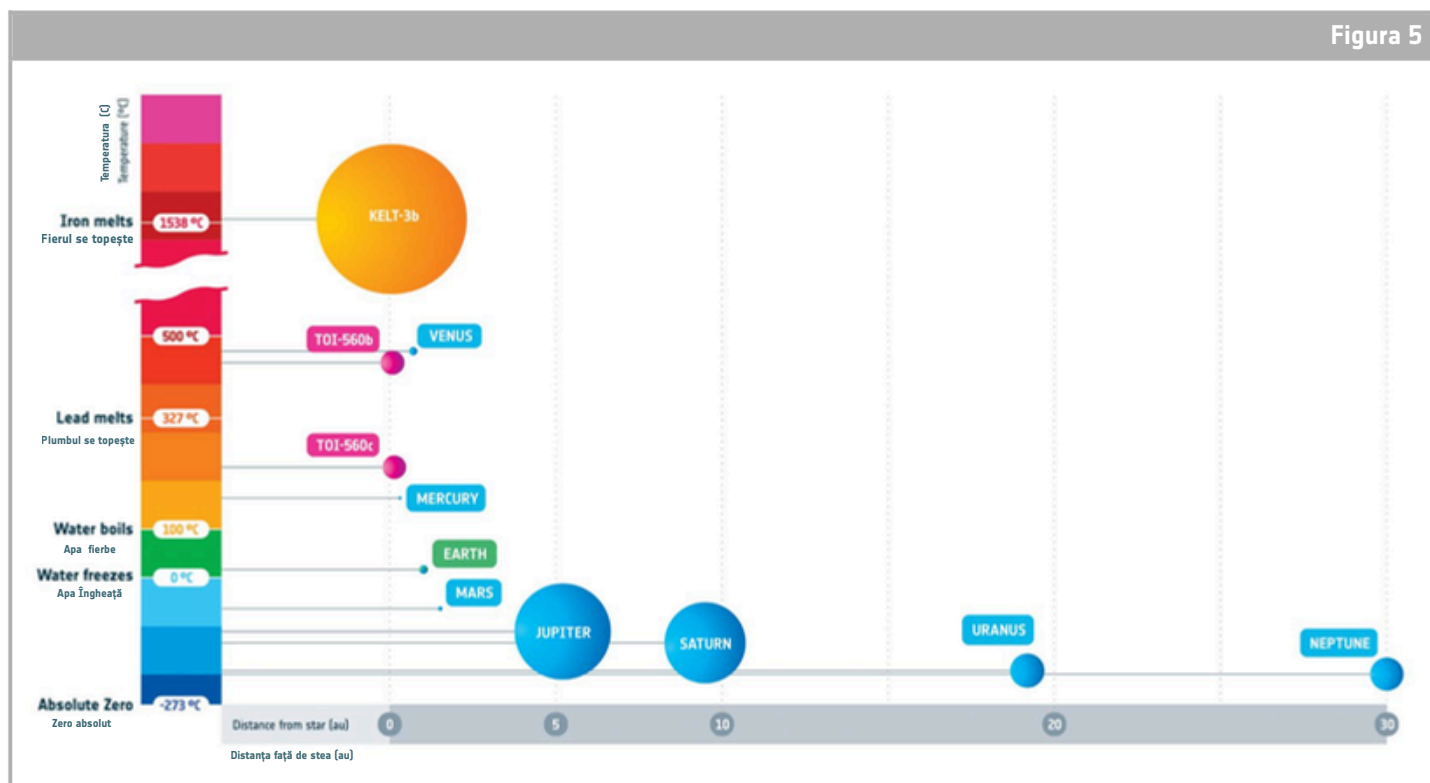
Metoda fotometriei de tranzit permite detectarea mai ușoară a planetelor care orbitează aproape de steaua lor, comparativ cu planetele aflate la distanțe mai mari, care au perioade orbitale mai lungi și, implicit, orbite mai largi.

Cum putem afla dacă o exoplanetă ar putea fi locuibilă?

Până în prezent, Pământul rămâne singurul loc din Univers despre care știm cu certitudine că adăpostește viață. Nu se știe încă dacă viața ar putea apărea și exista în condiții foarte diferite de cele întâlnite pe planeta noastră.

De aceea, atunci când analizează exoplanetele și evaluează posibilitatea ca acestea să fie locuibile, oamenii de știință caută condiții similare cu cele de pe Pământ, cum ar fi temperatura. Temperatura unei planete depinde în mare măsură de distanța sa față de steaua în jurul căreia orbitează.

O planetă se află în zona locuibilă a steii sale atunci când orbitează la o distanță care permite existența apei în stare lichidă la suprafața sa.



↑ Diagramă care prezintă dimensiunea și temperatura planetelor în funcție de distanța față de steaua gazdă. Dimensiunea planetelor și distanța sunt reprezentate folosind două scale diferite.

Determinarea temperaturii unei exoplanete este dificilă. De aceea, cercetătorii folosesc o mărime numită temperatura de echilibru. Aceasta este calculată pornind de la ipoteza că energia absorbită de exo-planetă de la steaua sa gazdă (lumina steii) este egală cu energia pe care exoplaneta o emite. Calculul ține cont de dimensiunea steii, temperatura acesteia și distanța dintre stea și exoplanetă.

Planeta Pământ

Temperatura medie reală de la suprafața unei planete poate fi foarte diferită de temperatura de echilibru. De exemplu, temperatura de echilibru a Pământului este de aproximativ -18°C , în timp ce temperatura medie de la suprafața sa este de 15°C .

Această diferență se datorează în principal efectului de seră, prin care gazele din atmosferă absorb și reemit radiația infraroșie înapoi către suprafața planetei, contribuind astfel la încălzirea acesteia.

Dacă dorești să afli mai multe despre efectul de seră pe Pământ și despre schimbările climatice, poți explora proiectul educațional Climate Detectives și resursele disponibile în cadrul acestuia.

Venus: excepția din Sistemul Solar

În Sistemul Solar, Venus este un exemplu extrem. Atmosfera sa foarte densă acționează ca un efect de seră și încălzește suprafața până la temperaturi peste punctul de topire al plumbului, făcând ca Venus să fie mai fierbinte decât Mercur, deși se află mai departe de Soare.

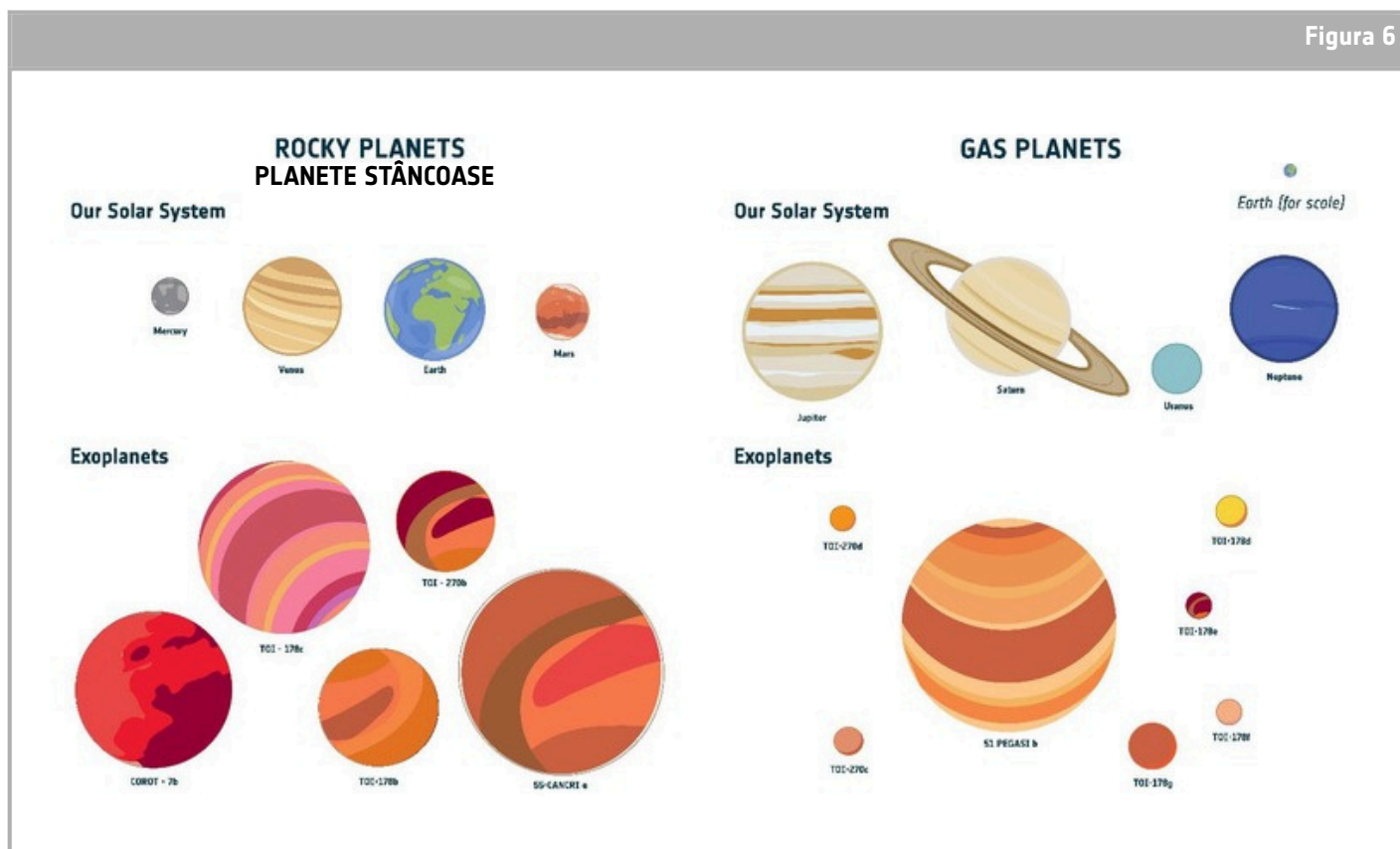
KELT-3b:

KELT-3b este foarte puțin probabil să poată găzdui viață, deoarece se află extrem de aproape de steaua sa gazdă. Această proximitate face ca temperatura de la suprafața planetei să fie foarte ridicată, depășind chiar și punctul de topire al fierului.

În astfel de condiții extreme, majoritatea aminoacizilor — elementele de bază ale vieții — nu ar putea supraviețui. În plus, planeta este supusă unor niveluri foarte ridicate de radiație, ca urmare a distanței sale foarte mici față de steaua gazdă.

Din ce sunt alcătuite exoplanetele?

În Sistemul Solar, planetele sunt de obicei împărțite în două categorii: planete stâncoase și planete gazoase. Totuși, exoplanetele pot fi foarte diferite de planetele vecine cu care suntem obișnuiți.



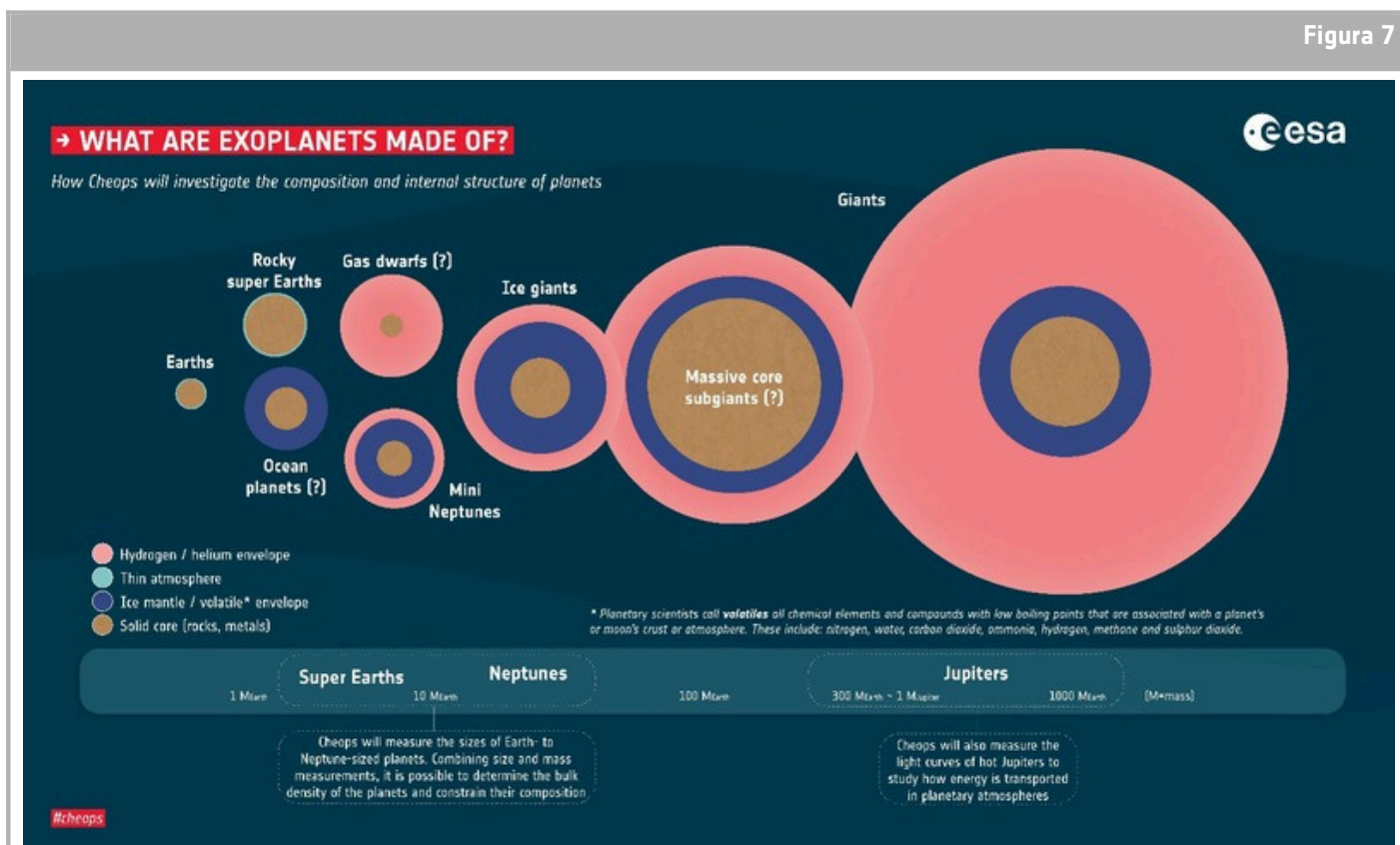
↑ Exemple de impresii artistice ale unor exoplanete reale, deja descoperite, care orbitează stele apropiate.

Masa și volumul unei exoplanete sunt, de obicei, determinate cu erori relativ mari asociate valorilor obținute. Aceste erori se propagă apoi în calculul densității medii a exoplanetei, ceea ce duce la o incertitudine a valorii densității cuprinsă, în general, între 10% și 30%.

Densitatea medie reprezintă o valoare globală, ceea ce înseamnă că diferite regiuni ale unei exoplanete pot avea densități diferite. De exemplu, densitatea medie a Pământului este de 5,5 g/cm³, însă nucleul intern al Pământului este mult mai dens decât mantaua.

Figura 7 arată că fiecare planetă poate avea regiuni cu densități diferite.

Figura 7



↑ Modul în care CHEOPS va studia compoziția și structura internă a exoplanetelor.

Deși densitatea medie oferă indicii despre compoziția internă a unei exoplanete, alte tehnici, precum spectroscopia, sunt utilizate pentru a studia proprietățile atmosferei acesteia.

Prin această metodă, lumina provenită de la stea sau de la exoplanetă este descompusă în diferite lungimi de undă, ceea ce permite determinarea compoziției atmosferei exoplanetei sau a prezenței și acoperirii norilor.

KELT-3b:

Masa lui KELT-3b este de 617 mase terestre (MPământului). Această valoare nu poate fi determinată prin metoda fotometriei de tranzit, ci a fost obținută din observații anterioare, folosind o altă tehnică numită viteză radială. Mai multe informații despre metoda vitezei radiale pot fi găsite în resursa educațională pentru clasă Exoplanets in Motion - Exoplanete în mișcare.

În primul exercițiu am determinat deja raza lui KELT-3b. Cunoscând această rază, putem calcula volumul exoplanetei, presupunând că aceasta are forma unei sfere perfecte:

$$V = \frac{4}{3} \pi R^3$$

$$M_p^* = 617M_{\text{Pământ}} = 3.685 \times 10^{30}g$$

$$R_p^{**} = 17.5R_{\text{Pământ}} = 1.116 \times 10^{10}cm$$

$$V_p = \frac{4}{3}\pi R_p^3 = 5.822 \times 10^{30}cm^3$$

* Elevii pot căuta online masa Pământului.

**Această valoare a razei a fost estimată pe baza calculului adâncimii tranzitului; elevii pot folosi și valoarea obținută din modelul de potrivire optimă din *allesfitter*. Raza Pământului poate fi găsită online.

Introducând aceste valori în ecuație, obținem:

$$\rho = \frac{M}{V} = 0.63 \text{ g/cm}^3$$

Această valoare este mult mai mică decât densitatea medie a lui Jupiter și este mai apropiată de densitatea medie a lui WASP-189b (o exoplanetă cunoscută de tip Jupiter fierbinte). Distanța foarte mică față de steaua gazdă și temperatura de echilibru ridicată fac ca exoplaneta să fie „umflată” (puffy).

Rezumat pentru exoplaneta KELT-3b

KELT-3b este o exoplanetă de tip Jupiter fierbinte care orbitează o stea asemănătoare Soarelui, KELT-3, aflată la aproximativ 690 de ani-lumină de Pământ.

KELT-3b se află extrem de aproape de steaua sa gazdă, de peste 10 ori mai aproape decât orbitează Pământul în jurul Soarelui.

Exoplaneta are nevoie de doar 2,7 zile pentru a parcurge o orbită completă în jurul stelei KELT-3. Din cauza proximității față de steaua gazdă, temperatura de echilibru a exoplanetei este foarte ridicată, depășind punctul de topire al fierului, ceea ce o face complet nelocuibilă.

KELT-3b este alcătuită în principal din hidrogen și heliu, similar cu Jupiter. Datorită temperaturii sale ridicate și a distanței foarte mici față de stea, atmosfera exoplanetei este foarte extinsă („umflată”), iar densitatea sa medie este foarte scăzută.

Table 2	
Exoplaneta	KELT-3b
Tip de planetă	Jupiter fierbinte
Rază (raportată la raza Pământului)	16.8 (din <i>allesfitter</i>)
	17.5 (din adâncimea tranzitului)
Masă (raportată la masa Pământului)	617
Perioada orbitală (zile)	2.70
Distanță orbitală medie (ua)	~0.048
Densitate medie (g/cm³)	~0.63
Temperatura de echilibru (°C)	~1543

[↑ Rezumat al estimării proprietăților exoplanetei KELT-3b](#)

➔ Investigația 2 – Analysis of TOI-560c data

După finalizarea analizei pentru KELT-3b, echipele ar trebui să poată urma același proces de analiză și pentru datele aferente exoplanetei TOI-560c.

Toate informațiile necesare sunt disponibile în dosarul de caz din fișa de lucru a elevilor și pe platforma hackanexoplanet.esa.int/start-investigation.

Accesarea, procesarea și modelarea datelor satelitare

Datele pot fi accesate folosind acest link: hackanexoplanet.esa.int/allsfitter-guide.

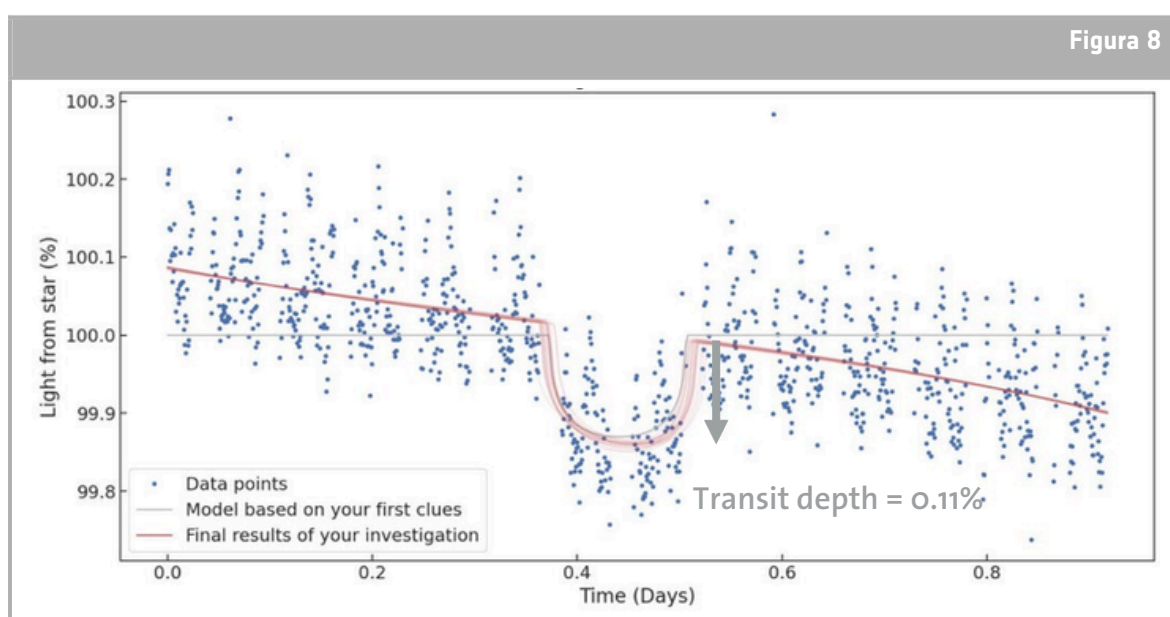
Dacă nu aveți acces la un computer conectat la internet, puteți utiliza fișa de date din Anexa 2. Mai multe informații despre accesarea și analiza datelor pot fi găsite în secțiunea Investigația 1 – Analiza datelor pentru KELT-3b.

Cum se determină dimensiunea unei exoplanete?

Mai multe informații despre determinarea dimensiunii unei exoplanete pot fi găsite în *Investigation 1 – secțiunea Analiza datelor pentru KELT-3b*.

Raza unei exoplanete (R_p) poate fi determinată dacă sunt cunoscute raza steii (R_s) și adâncimea tranzitului:

$$\text{Adâncimea tranzitului}(\%) \approx \frac{\pi R_p^2}{\pi R_s^2} \times 100$$



↑ Datele CHEOPS pentru TOI-560c, împreună cu modelul de potrivire optimă al curbei de lumină a tranzitului, obținut cu *allesfitter*.

Raza stelei TOI-560 este cunoscută și este furnizată în dosarul de caz: $R_s = 0,65$ raza Soarelui. Prin analiza datelor CHEOPS, putem măsura adâncimea tranzitului ca fiind de aproximativ 0,11 % (Fig. 7). Folosind ecuația de mai sus:

$$R_p = \sqrt{R_s^2 \times \frac{\text{adâncimea tranzitului}}{\text{lumina stelei în afara tranzitului}}} = \sqrt{(0.681 R_{\text{Soarelui}})^2 \times \frac{0.050}{100}} = 0.015 R_{\text{Soarelui}}$$

Conversia în unități raportate la raza Pământului se face folosind relația:

raza Soarelui = 109 raze ale Pământului

Rezultă: $R_p = 0,0216 \times 109 = 2,4$ raze ale Pământului

Raza lui TOI-560c a fost rotunjită la două cifre semnificative, din cauza dificultății de a determina adâncimea tranzitului din curba de lumină cu o precizie mai mare de atât.

Cercetătorii care studiază exoplanetele folosesc calculatoare pentru a măsura adâncimea tranzitului, putând astfel obține valori mult mai precise decât cele determinate manual, prin citirea unui grafic. Pe baza observațiilor de tranzit realizate cu alte telescoape, oamenii de știință au stabilit că TOI-560c are o rază de 2,39 raze ale Pământului, cu o incertitudine de $\pm 0,1$ raze ale Pământului.

Cum se determină perioada orbitală și distanța față de stea, folosind a treia lege a lui Kepler

Mai multe informații despre determinarea perioadei orbitale și a distanței orbitale ale unei exoplanete pot fi găsite în secțiunea Investigația 1 – Analiza datelor pentru KELT-3b.

Să analizăm datele pentru TOI-560c. În acest exercițiu, elevii trebuie să fie foarte atenți la unități.

- Constanta gravitațională în unități SI este: $G = 6,67430 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$
- Masa stelei TOI-560 este cunoscută: $M_s = 0,73$ mase ale Soarelui
- Trebuie să convertim masa în unități SI: $M_s = 1,5 \times 10^{30} \text{ kg}$
- Din potrivirea modelului în allessfitter sau din fișa de date, aflăm perioada orbitală : $T = 18,8797$ zile
- Convertind perioada orbitală în secunde: $T = 1\,631\,210 \text{ s}$

Acum avem toate informațiile necesare pentru a determina distanța dintre stea și exoplanetă.

$$d = \sqrt[3]{\frac{GM_s}{4\pi^2} T^2} = \sqrt[3]{\frac{6.67430 \times 10^{-11} \times 1.5 \times 10^{30}}{4\pi^2} 1631210^2} = 1.89 \times 10^{10} \text{ m} = \mathbf{0.13 \text{ au}}$$

Distanța orbitală a Pământului este de 1 unitate astronomică (au) , astfel că distanța orbitală a lui TOI-560c este de aproximativ 8 ori mai mică decât distanța orbitală a Pământului și de 2,7 ori mai mare decât distanța orbitală a lui KELT-3b. Pentru alte comparații, consultați Tabelul 1.

Cum putem determina dacă o exoplanetă ar putea fi locuibilă?

Mai multe informații despre evaluarea locuibilității unei exoplanete pot fi găsite în secțiunea: Investigația 1 – Analiza datelor pentru KELT-3b.

Temperatura de echilibru a lui TOI-560c este de 225 °C, la o distanță orbitală de 0,13 unități astronomice, în comparație cu temperatura de echilibru a Pământului, de -18 °C, la o distanță orbitală de 1 unitate astronomică. Prin urmare, TOI-560c este prea fierbinte pentru ca apa lichidă să poată exista, iar exoplaneta nu se află în zona locuibilă a stelei sale gazdă.

Pământul prezintă un efect de seră, care face ca temperatura medie de la suprafață să fie de 15 °C, și nu de -18 °C. În mod similar, dacă TOI-560c ar avea o atmosferă care produce un efect de seră, temperatura de la suprafața exoplanetei ar putea fi chiar mai ridicată.

Masa unei stele și temperatura sa sunt strâns legate. Masa stelei gazdă a lui TOI-560c este de doar 79% din masa Soarelui, ceea ce înseamnă că steaua este mai rece decât Soarele. Cu toate acestea, TOI-560c orbitează relativ aproape de steaua sa, iar din acest motiv temperatura de echilibru a exoplanetei este ridicată (225 °C).

Având în vedere temperatura sa mare și distanța foarte mică față de steaua gazdă, TOI-560c orbitează mult prea aproape pentru ca apa lichidă să se poată forma. Prin urmare, este puțin probabil ca această exoplanetă să fie locuibilă pentru forme de viață asemănătoare celor de pe Pământ, cu excepția unor forme de viață extrem de diferite de cele cunoscute.

Din ce sunt alcătuite exoplanetele?

Mai multe informații despre compoziția unei exoplanete pot fi găsite în secțiunea: Investigația 1 – Analiza datelor pentru KELT-3b.

Masa exoplanetei este: $M_p = 9,70$ mase ale Pământului = $5,79 \times 10^{28}$ g

Raza exoplanetei este: $R_p = 2,39$ raze ale Pământului = $1,52 \times 10^9$ cm

Volumul exoplanetei se calculează folosind formula volumului unei sfere:

$$V_p = \left(\frac{4}{3}\right) \times \pi \times R_p^3 = 1,47 \times 10^{28} \text{ cm}^3$$

* Elevii pot căuta online masa Pământului.

** Această valoare a razei a fost estimată pe baza calculului adâncimii tranzitului; elevii pot folosi și valoarea obținută din modelul de potrivire optimă din *allesfitter*. Raza Pământului poate fi găsită online.

Introducând aceste valori în ecuație, obținem:

$$\rho = \frac{M}{V} = 3.9 \text{ g/cm}^3$$

Prin urmare, TOI-560c are o densitate medie de puțin peste 5 ori mai mare decât cea a lui KELT-3b (care este de 0,69 g/cm³) și de puțin peste jumătate din densitatea Pământului (care este de 5,5 g/cm³).

Așa cum a fost explicat în exemplul lui KELT-3b, densitatea medie poate fi utilizată pentru a obține indicii despre compoziția unei exoplanete. De exemplu, putem stabili dacă exoplaneta este o planetă stâncoasă, un gigant gazos sau un gigant de gheață. Utilizarea unei alte tehnici — numită spectroscopie — contribuie, de asemenea, la înțelegerea atmosferei exoplanetei.

Cu o densitate de 3,9 g/cm³, TOI-560c este probabil o planetă stâncoasă.

În Sistemul nostru Solar, Mercur, Venus, Pământul și Marte sunt planetele stâncoase.

Rezumat pentru planeta TOI-56oc

TOI-56oc este o exoplanetă de tip Mini-Neptun care orbitează o stea mică, portocaliu-roșie, numită TOI-560, cunoscută și sub denumirea HD 73583, situată în constelația Hidra, la aproximativ 100 de ani-lumină de Pământ. Steaua TOI-560 este mai mică și mai rece decât Soarele nostru.

Pe lângă TOI-56oc, în jurul acestei stele mai orbitează o a doua planetă, TOI-56ob.

TOI-56oc se află pe o orbită mai apropiată de steaua sa gazdă (0,13 unități astronomice) decât orbita lui Mercur în jurul Soarelui (0,387 unități astronomice), dar nu la fel de aproape precum KELT-3b, care orbitează la 0,048 unități astronomice de steaua sa.

Exoplaneta are nevoie de 18,9 zile pentru a parcurge o orbită completă în jurul stelei TOI-560, comparativ cu perioada orbitală a lui Mercur, de 88 de zile, și cu perioada orbitală foarte scurtă a lui KELT-3b, de 2,7 zile. Să nu uităm că Pământul are o perioadă orbitală de aproximativ 365 de zile.

Din cauza apropierii față de steaua gazdă, temperatura de echilibru a exoplanetei este ridicată, mult peste punctul de fierbere al apei, ceea ce face ca TOI-56oc să fie complet nelocuibilă pentru oameni și pentru formele de viață cunoscute de pe Pământ.

Totuși, deoarece steaua TOI-560 este mai mică și mai rece decât Soarele nostru, chiar dacă TOI-56oc se află mai aproape de steaua sa gazdă decât este Mercur de Soare, exoplaneta are o temperatură de echilibru de 225 °C, cu doar aproximativ 60 °C mai ridicată decât cea a lui Mercur.

Densitatea medie a lui TOI-56oc este de 3,9 g/cm³, ceea ce reprezintă peste jumătate din densitatea medie a Pământului. Acest lucru sugerează că TOI-56oc este o planetă stâncoasă, similară cu Mercur, Venus, Pământul și Marte.

Table 2

Exoplaneta	TOI-56oc
Tip de planetă	Mini Neptun
Rază (raportată la raza Pământului)	2.4 (din allessfitter)
	2.4 (din adâncimea tranzitului)
Masă (raportată la masa Pământului)	9.70
Perioada orbitală (zile)	18.9
Distanță orbitală medie (ua)	~0.13
Densitate medie (g/cm ³)	~3.9
Temperatura de echilibru (°C)	~225

[↑ Rezumat al estimării proprietăților exoplanetei TOI-56oc](#)

➔ Investigația 3 – Analiza datelor pentru K2-141b și K2-141c

După finalizarea analizei pentru KELT-3b și TOI-560c, echipele ar trebui să poată urma același proces de analiză și pentru datele provenite de la cele două exoplanete din sistemul K2-141.

Această etapă este puțin mai avansată, deoarece sunt analizate două exoplanete din același sistem planetar. Toate informațiile necesare sunt disponibile în dosarul de caz din fișa de lucru a elevilor și pe platforma: hackanexoplanet.esa.int/start-investigation.

Sistemul planetar K2-141 se află la aproximativ 200 de ani-lumină de Pământ. Acest lucru înseamnă că lumina are nevoie de aproximativ 200 de ani pentru a ajunge de la K2-141 la Pământ. Prin comparație, lumina Soarelui ajunge la Pământ în aproximativ 8 minute.

Cel mai rapid obiect construit de om până în prezent este sonda spațială Parker Solar Probe, care a atins o viteză maximă de 191 km/s, adică 0,064% din viteza luminii. Chiar și la această viteză maximă, sondei Parker Solar Probe i-ar lua peste 310 000 de ani pentru a ajunge la K2-141 — aproximativ aceeași durată de timp de când există specia noastră, Homo sapiens. Întreaga istorie a omenirii și fiecare viață umană trăită pe Pământ sunt cuprinse în acest interval de timp.

Până în prezent, oamenii de știință au descoperit două exoplanete în sistemul K2-141. K2-141b este clasificată drept o „Super-Pământ”, datorită dimensiunii sale, iar K2-141c este o planetă de tip Neptun. Ambele exoplanete au fost descoperite în anul 2018 de satelitul Kepler al NASA, în a doua fază a misiunii sale — de unde și prefixul K2. Sistemul exoplanetar a fost observat de CHEOPS în septembrie 2023.

Accesarea, procesarea și modelarea datelor satelitare

Datele pot fi accesate folosind acest link: hackanexoplanet.esa.int/allesfitter-guide.

Dacă nu ai acces la un computer conectat la internet, poți utiliza fișa de date din Anexa 3. Informații suplimentare despre accesarea și analiza (potrivirea) datelor se găsesc în secțiunea Investigația 1 – Analiza datelor pentru KELT-3b.

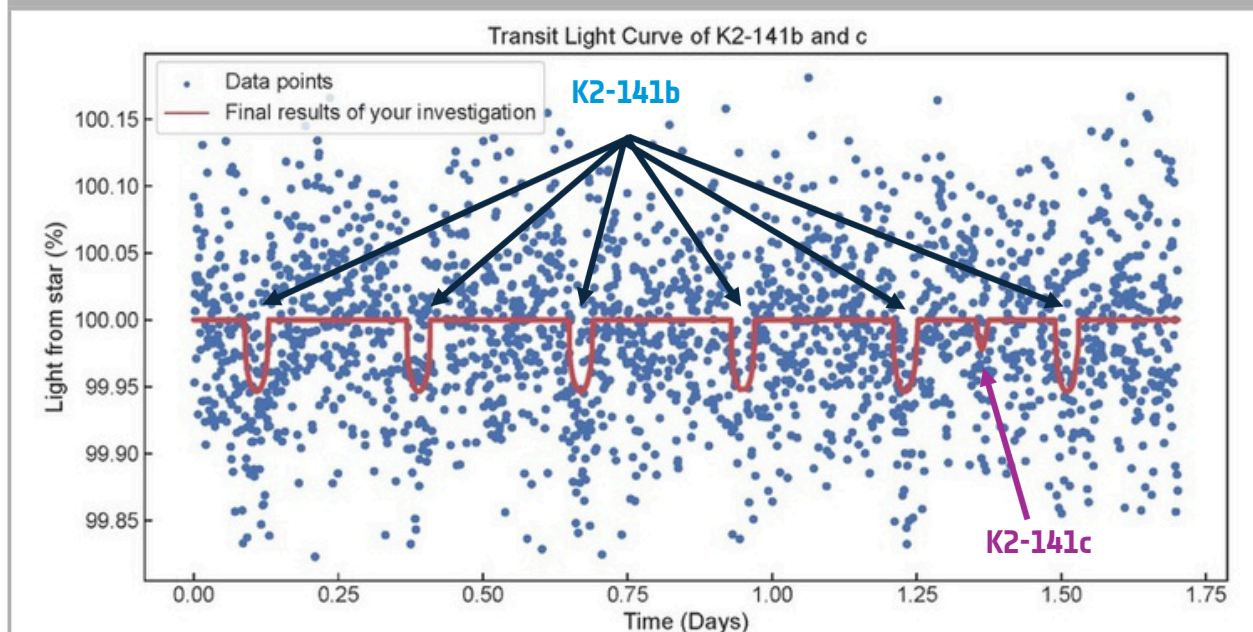
Cum determinăm mărimea unei exoplanete?

Mai multe informații despre determinarea dimensiunii unei exoplanete se găsesc în secțiunea: Investigația 1 – Analiza datelor pentru KELT-3b.

Este posibil să se determine raza exoplanetei (R_p) dacă se cunosc raza stelei (R_s) și adâncimea tranzitului.

$$\text{Adâncimea tranzitului}(\%) \approx \frac{\pi R_p^2}{\pi R_s^2} \times 100$$

Figura 9



↑ Datele pentru K2-141b și K2-141c, obținute de CHEOPS, împreună cu modelul de potrivire optimă al curbei de lumină a tranzitului, realizat cu ajutorul instrumentului allessfitter.

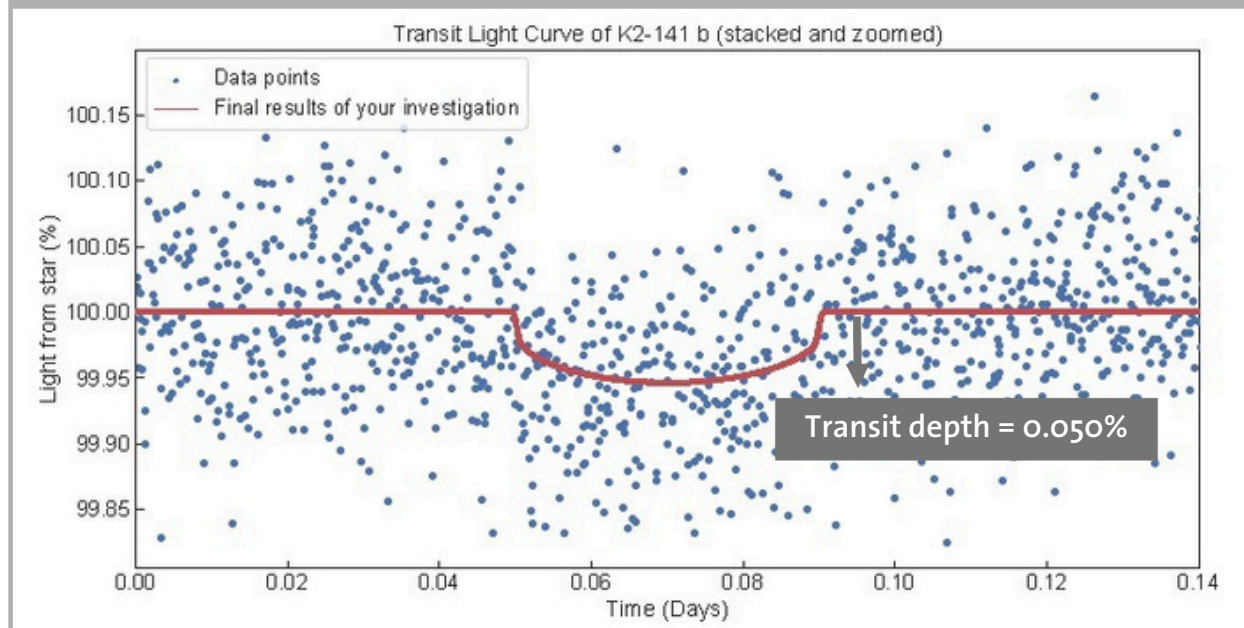
Figura 9 prezintă curba de lumină a steii K2-141. Se observă mai multe scăderi ale luminozității, care apar la intervale regulate, precum și o singură scădere mai puțin adâncă. Scăderile repetate corespund tranzitelor exoplanetei K2-141b, iar scăderea unică, mai superficială, reprezintă tranzitul exoplanetei K2-141c.

Folosind adâncimea unui singur tranzit și intervalul de timp dintre tranzite, se pot determina raza planetei și, respectiv, perioada sa orbitală.

K2-141b

În Figura 9 pot fi observate șase tranzite individuale ale exoplanetei K2-141b. Curbele de lumină ale acestor tranzite pot fi suprapuse („stacked”) unele peste altele pentru a obține o singură curbă de lumină a tranzitului, mai precisă, așa cum este ilustrat în Figura 10.

Figura 10



↑ Datele pentru K2-141b, obținute de CHEOPS, suprapuse („stacked”) unele peste altele, împreună cu modelul de potrivire optimă al curbei de lumină a tranzitului, realizat cu ajutorul instrumentului allessfitter.

Raza stelei K2-141 este cunoscută și este specificată în fișierul de caz: $R_s = 0,681$ din raza Soarelui. Prin analiza datelor obținute de CHEOPS, se poate măsura adâncimea tranzitului, care este de aproximativ 0,050% (Figura 10).

Folosind ecuația de mai sus, se poate determina raza exoplanetei (R_p).

$$R_p = \sqrt{R_s^2 \times \frac{\text{adâncimea tranzitului}}{\text{lumina stelei în afara tranzitului}}} = \sqrt{(0.681R_{\text{Soarelui}})^2 \times \frac{0.050}{100}} = 0.015R_{\text{Soarelui}}$$

Conversia în unități raportate la raza Pământului se face folosind relația:

1 rază a Soarelui = 109 raze ale Pământului

Rezultă: $R_p = 0,015 \times 109 = 1,635$ raze ale Pământului

Aceasta este valoarea razei exoplanetei K2-141b, exprimată în raze ale Pământului.

Raza exoplanetei K2-141b a fost rotunjită la două cifre semnificative, din cauza dificultății de a determina adâncimea tranzitului din curba de lumină cu o precizie mai mare de două cifre semnificative.

Cercetătorii care studiază exoplanetele folosesc calculatoare pentru a măsura adâncimea tranzitului și pot obține astfel măsurători mai precise decât cele realizate manual, prin citirea valorilor direct de pe un grafic.

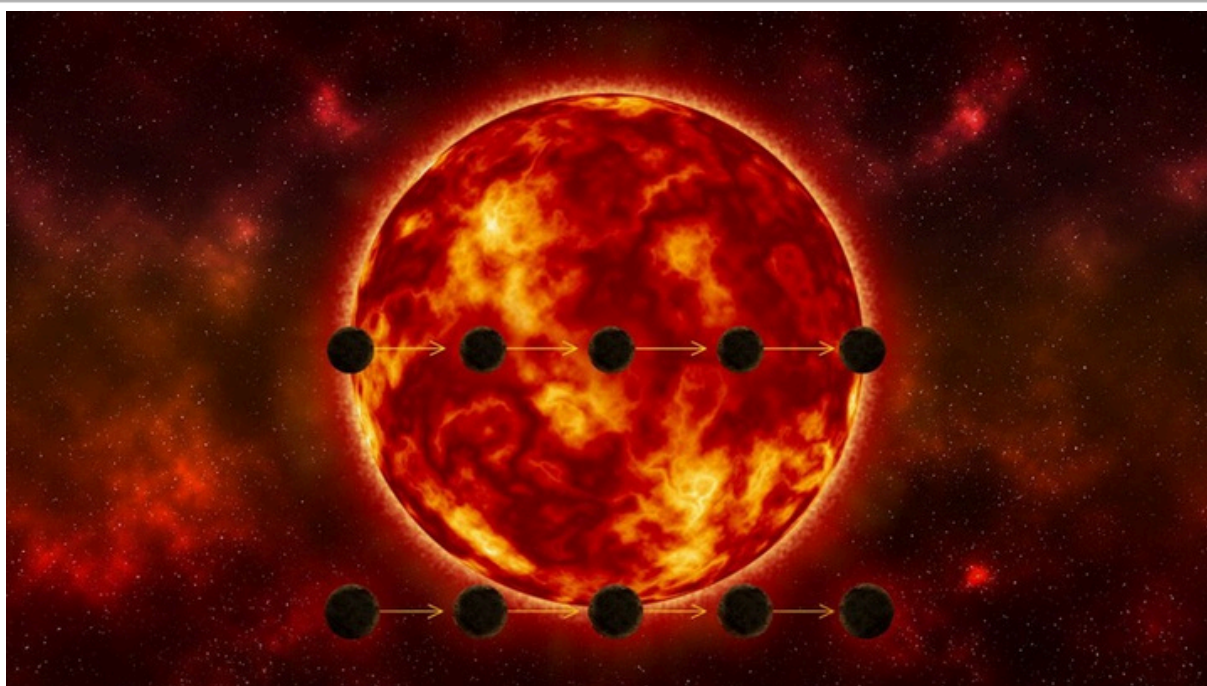
Pe baza observațiilor de tranzit realizate cu alte telescoape, oamenii de știință au determinat că K2-141b are o rază de 1,51 raze ale Pământului, cu o incertitudine de $\pm 0,05$ raze ale Pământului.

Raza calculată în acest exercițiu se află ușor în afara intervalului de incertitudine, diferență care poate fi explicată prin erori mici de rotunjire și de măsurare. Având în vedere că eroarea este minimă, putem presupune în mod rezonabil că calculul a fost realizat corect.

K2-141c

Scăderea unică și mai puțin adâncă a luminozității (Figura 9) este cauzată de tranzitul exoplanetei K2-141c. Acest tranzit este de tip „tangențial” (grazing), ceea ce înseamnă că – așa cum este observat de pe Pământ (sau de către un telescop aflat în apropierea Pământului, precum CHEOPS) – doar o parte a exoplanetei acoperă discul stelei-gazdă în timpul tranzitului și blochează lumina emisă de aceasta.

Figura 11

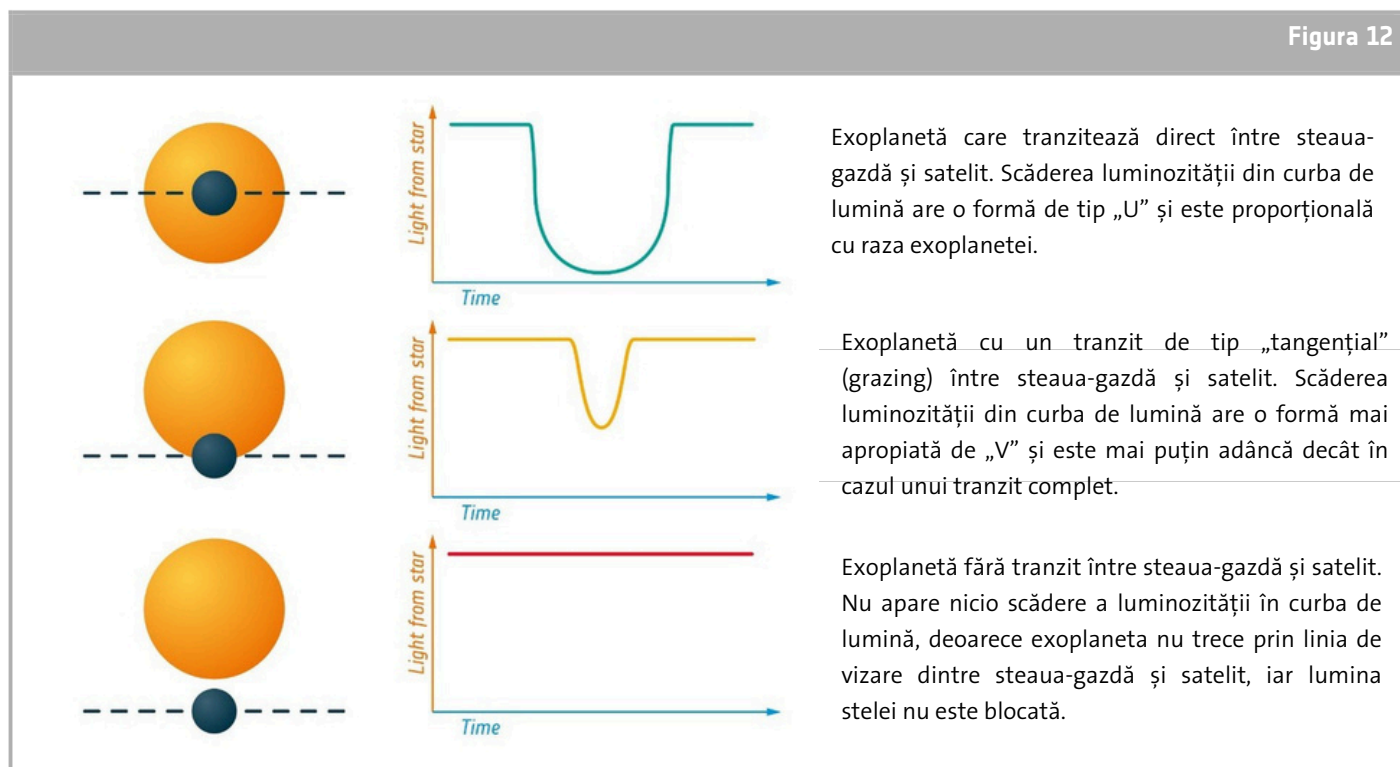


↑ Comparație între traiectorii de tranzit. Traiectoria de sus arată o planetă care tranzitează întregul disc al stelei. Traiectoria de jos arată o planetă care abia atinge marginea stelei, realizând un tranzit de tip tangențial (grazing).

(Credit: NASA, ESA, E. Wheatley – Space Telescope Science Institute)

Scăderea luminozității din curba de lumină este, prin urmare, mai puțin adâncă decât ne-am aștepta pentru o planetă de această dimensiune și are o formă caracteristică de tip „V”. Acest lucru înseamnă că nu putem folosi doar adâncimea tranzitului pentru a determina raza planetei, deoarece planeta ar părea mai mică decât este în realitate.

Figura 12 oferă o reprezentare vizuală a motivului pentru care un tranzit de tip tangențial (grazing) nu poate fi utilizat pentru a calcula raza unei exoplanete.



↑ Reprezentare a curbelor de lumină pentru exoplanete care tranzitează steaua-gazdă în moduri diferite.

Ajustarea (potrivirea) curbelor de lumină corespunzătoare tranzitelor de tip tangențial (grazing) este complexă și poate conduce la estimări ale razei exoplanetei cu incertitudini mari, în special în situațiile în care curba de lumină este foarte puțin adâncă și datele sunt foarte zgomotoase, așa cum este cazul aici pentru K2-141c.

Calcululele de acest tip sunt prea complexe pentru domeniul de aplicare al acestei activități destinate elevilor. Prin urmare, valoarea estimată a razei exoplanetei K2-141c este furnizată în fișierul de caz. Această valoare poate fi utilizată de elevi pentru a calcula densitatea medie a planetei.

Cum se determină perioada orbitală și distanța, folosind a treia lege a lui Kepler

Mai multe informații despre determinarea perioadei orbitale și a distanței față de steaua-gazdă pentru o exoplanetă pot fi găsite în secțiunea Investigația 1 – Analiza datelor pentru KELT-3b.

Ambele exoplanete se află pe orbite foarte apropiate de steaua-gazdă. K2-141b este cea mai apropiată dintre cele două și are o perioadă orbitală mai mică de 7 ore. Aceasta este una dintre cele mai scurte perioade orbitale ale unei planete descoperite până în prezent; de fapt, planeta este clasificată drept USP (ultra-short period), adică o planetă cu perioadă orbitală extrem de scurtă.

Nu uita că perioada orbitală a Pământului este de aproximativ 365 de zile, ceea ce evidențiază cât de extreme sunt aceste sisteme planetare.

Figura 9 prezintă șase tranzite ale exoplanetei K2-141b. Perioada orbitală poate fi estimată prin măsurarea intervalului de timp dintre două tranzite consecutive. Dacă sunt vizibile mai mult de două tranzite, se poate măsura intervalul de timp dintre primul și ultimul tranzit și apoi se împarte la numărul de tranzite, pentru a determina intervalul mediu de timp dintre tranzite și, astfel, pentru a reduce eroarea de măsurare.

Cercetătorii care studiază exoplanetele folosesc calculatoare pentru a măsura tranzitele și pot obține astfel valori mult mai precise ale perioadei orbitale decât cele determinate prin măsurători manuale, realizate direct de pe un grafic. Elevii pot obține o valoare precisă a perioadei orbitale folosind instrumentul allesfitter sau consultând fișa de date.

K2-141b

Să analizăm datele pentru K2-141b. În acest exercițiu, elevii trebuie să fie foarte atenți la unități.

- Constanta gravitațională în unități SI este: $G = 6.67430 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$
- Masa stelei (M_s) este cunoscută: $M_s = 0.708$ masa Soarelui
- Este necesar să convertim această masă în unități SI: $M_s = 1.41 \times 10^{30} \text{ kg}$
- Din potrivirea modelului în allesfitter sau din fișa de date, știm că perioada orbitală este: $T = 0.280325$ zile. Convertind perioada orbitală în secunde: $T = 24220.08 \text{ s}$.

Acum avem toate informațiile necesare pentru a determina distanța dintre stea și exoplanetă.

$$d = \sqrt[3]{\frac{GM_s}{4\pi^2} T^2} = \sqrt[3]{\frac{6.67430 \times 10^{-11} \times 1.41 \times 10^{30}}{4\pi^2} 24220.08^2} = 1.12 \times 10^{10} \text{ m} = \mathbf{0.0075 \text{ au}}$$

Distanța orbitală a Pământului este de 1 unitate astronomică (ua), așa că distanța orbitală a lui K2-141b este de aproximativ 130 de ori mai mică decât distanța orbitală a Pământului!

Distanța sa orbitală este, de asemenea, de aproximativ 17 ori mai mică decât cea a lui TOI-560c (la 0,13 unități astronomice (ua)) și de aproximativ 6 ori mai mică decât cea a lui KELT-3b (la 0,048 unități astronomice (ua)). Pentru mai multe comparații, consultă Tabelul 1.

K2-141c

Să analizăm datele pentru K2-141c. În acest exercițiu, elevii trebuie să fie foarte atenți la unități.

- Constanta gravitațională în unități SI este: $G = 6.67430 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$
- Masa stelei (M_s) este cunoscută: $M_s = 0.708$ masa Soarelui
- Este necesar să convertim această masă în unități SI: $M_s = 1.41 \times 10^{30} \text{ kg}$
- În fișierul de caz pentru elevi este menționat că perioada orbitală este: $T = 7.74850$ zile.
- Convertind perioada orbitală în secunde: $T = 669470.4 \text{ s}$.

$$d = \sqrt[3]{\frac{GM_s}{4\pi^2} T^2} = \sqrt[3]{\frac{6.67430 \times 10^{-11} \times 1.41 \times 10^{30}}{4\pi^2} \times 669470.4^2} = 1.02 \times 10^{10} \text{ m} = \mathbf{0.068 \text{ au}}$$

Distanța orbitală a Pământului este de 1 unitate astronomică (ua), așa că distanța orbitală a lui K2-141c este de aproape 15 ori mai mică decât distanța orbitală a Pământului!

Distanța sa orbitală este, de asemenea, de aproximativ jumătate din cea a lui TOI-560c (la 0,13 unități astronomice (ua)) și de aproximativ 1,5 ori mai mare decât cea a lui KELT-3b (la 0,048 unități astronomice (ua)). Comparativ cu K2-141b, perioada orbitală a lui K2-141c este de aproximativ 9 ori mai mare.

Pentru mai multe comparații, consultă Tabelul 1.

Cum știm dacă o exoplanetă ar putea fi locuibilă?

Mai multe informații despre determinarea potențialului de locuibilitate al unei exoplanete pot fi găsite în secțiunea: Investigația 1 – Analiza datelor pentru KELT-3b.

Steaua-gazdă, K2-141, este mai mică decât Soarele nostru, având doar aproximativ 71% din masa Soarelui. Ca urmare, K2-141 este mai rece decât Soarele și – din cauza diferenței de temperatură – apare portocalie, nu galbenă, așa cum este Soarele nostru.

K2-141b

K2-141b orbitează mai aproape de steaua-gazdă decât KELT-3b, TOI-560c sau planeta sa vecină K2-141c, aflându-se la o distanță de doar 0,0075 unități astronomice. Astfel, orbita lui K2-141b este mult prea apropiată pentru a se afla în zona locuibilă a stelei, iar planeta este prea fierbinte pentru ca apa lichidă să poată exista.

Prin urmare, deși exoplaneta este clasificată drept o „Super-Pământ”, având unele caracteristici similare, K2-141b este mult prea fierbinte pentru ca viața, așa cum o cunoaștem, să poată supraviețui, chiar și în cazul organismelor extremofile. Temperatura sa este atât de ridicată încât fierul ar putea să se topească la suprafața planetei.

K2-141c

K2-141c orbitează mai aproape de steaua-gazdă decât orbitează Pământul în jurul Soarelui sau TOI-560c în jurul stelei sale, dar se află mai departe de stea decât planeta vecină K2-141b și mai departe decât KELT-3b. Prin urmare, K2-141c este, de asemenea, prea fierbinte pentru ca viața, așa cum o cunoaștem, să poată exista.

Din ce sunt compuse exoplanetele?

Mai multe informații despre compoziția unei exoplanete pot fi găsite în secțiunea Investigația 1 – Analiza datelor pentru KELT-3b.

K2-141b

$M_p^* = 4,97$ mase ale Pământului = $2,97 \times 10^{28}$ g

$R_p^{**} = 1,51$ raze ale Pământului = $9,63 \times 10^8$ cm

$V_p = (4/3) \cdot \pi \cdot R_p^3 = 3,74 \times 10^{27}$ cm³

* Elevii pot căuta online masa Pământului.

** Această valoare a razei a fost estimată pe baza calculului adâncimii tranzitului; elevii pot folosi, de asemenea, valoarea obținută din modelul de potrivire optimă *allesfitter*. Raza Pământului poate fi găsită online.

Dacă introducem aceste valori în ecuație, rezultă:

$$\rho = \frac{M}{V} = 7.9 \text{ g/cm}^3$$

Densitatea medie a Pământului este de aproximativ 5,5 g/cm³, valoare apropiată de densitatea medie a lui K2-141b – acesta fiind încă un motiv pentru care exoplaneta este clasificată drept o „Super-Pământ”.

Cercetătorii care studiază exoplanetele au calculat pentru K2-141b o densitate de 8,2 g/cm³, cu o incertitudine de ±1,1 g/cm³. Prin urmare, valoarea obținută în acest exercițiu se încadrează bine în acest interval.

K2-141c

Așa cum s-a discutat anterior, tranzitul exoplanetei K2-141c este de tip „tangențial” (grazing). Acest lucru înseamnă că doar o parte a exoplanetei traversează discul stelei-gazdă în timpul tranzitului. Prin urmare, dimensiunea planetei determinată doar din adâncimea tranzitului reprezintă doar o fracțiune din valoarea reală.

Din acest motiv, vom utiliza valoarea razei determinată din alte observații realizate de cercetători (vezi fișierul de caz). Este important de remarcat incertitudinile mari asociate acestei valori a razei, care apar din cauza dificultății de a ajusta curbe de lumină foarte puțin adânci și zgomotoase. În consecință, densitatea medie calculată va avea, la rândul ei, o incertitudine mare.

Aceasta este o bună oportunitate de a le explica elevilor că oamenii de știință nu dispun întotdeauna de toate informațiile necesare pentru a formula o concluzie sigură sau că, uneori, folosesc date obținute de alți cercetători, iar partajarea informațiilor este esențială pentru progresul științific.

Cercetătorii care studiază exoplanetele au determinat că masa lui K2-141c este < 8,0 M_p. Prin urmare, densitatea medie a lui K2-141c va fi o valoare maximă, iar acest calcul va utiliza inegalități, ceea ce va reprezenta o provocare interesantă pentru elevi, deoarece este posibil să nu fi lucrat anterior cu inegalități.

$$M_p^* < 8,0 M_{\text{Pământ}} \rightarrow M_p < 4,8 \times 10^{28} \text{ g}$$

$$R_p^{**} = 7,0 R_{\text{Pământ}} = 4,5 \times 10^9 \text{ cm}$$

$$V_p = \left(\frac{4}{3}\right) \cdot \pi \cdot R_p^3 = 3,8 \times 10^{29} \text{ cm}^3$$

* Elevii pot căuta online masa Pământului.

** Valoarea razei este furnizată în fișierul de caz.

Dacă introducem aceste valori în ecuație, rezultă:

$$\rho = \frac{M}{V} \rightarrow \rho < 0.13 \text{ g/cm}^3$$

Prin urmare, densitatea medie a lui K2-141c (deoarece masa reprezintă o limită superioară) este mai mică de 0,13 g/cm³.

Chiar dacă densitatea medie este mai mică de 0,13 g/cm³, densitatea unor regiuni specifice ale planetei poate fi mai mare decât această valoare. Densitatea medie reprezintă o valoare medie, astfel încât diferite părți ale exoplanetei pot avea densități diferite (vezi Figura 7).

Rezumat pentru exoplanetele K2-141b și K2-141c

K2-141b este o „Super-Pământ”, iar K2-141c este o exoplanetă de tip Neptun, ambele orbitând o stea mică, portocalie, numită K2-141, aflată la aproximativ 200 de ani-lumină de Pământ. K2-141 este mai mică și mai rece decât Soarele nostru.

K2-141b orbitează foarte aproape de steaua-gazdă, mai aproape decât orbitează Mercur în jurul Soarelui nostru și chiar mai aproape decât KELT-3b și TOI-560c orbitează stelele lor. Exoplaneta are nevoie de aproximativ 7 ore pentru a parcurge o orbită completă în jurul lui K2-141.

K2-141c orbitează, de asemenea, aproape de steaua-gazdă, dar la o distanță de 9 ori mai mare decât cea a planetei vecine K2-141b, astfel că are nevoie de aproximativ 7,7 zile pentru a finaliza o orbită completă în jurul stelei.

Din cauza apropierii sale de steaua-gazdă, temperatura de echilibru a lui K2-141b este foarte ridicată, mult peste punctul de topire al fierului, ceea ce face planeta complet nelocuibilă pentru oameni și pentru viața de tip terestru. Planeta vecină K2-141c este mai rece – orbitând la o distanță de 9 ori mai mare – dar este în continuare prea fierbinte pentru oameni sau pentru viața de tip terestru.

Densitatea medie (densitatea globală) a lui K2-141b este de același ordin de mărime cu densitatea medie a Pământului, ceea ce sugerează că este o planetă stâncoasă.

Tabelul 4

Exoplaneta	K2-141b	K2-141c
Tip de planetă	Super-Pământ	Seamănă cu Neptun
Rază (raportată la raza Pământului)	1.5 (din allessfitter)	Nu avem informație disponibilă în allessfitter
	1.6 (din adâncimea tranzitului)	7.0 (din literatură)
Masă (raportată la masa Pământului)	4.97	< 8.0
Perioada orbitală (zile)	0.280	7.75
Distanță orbitală medie (ua)	~ 0.0075	~ 0.068
Densitate medie (g/cm ³)	~ 7.9	< 0.13
Temperatură de echilibru (°C)	~ 1830	~ 422

→ LINK-uri

Resurse educaționale

Hackanexoplanet:
hackanexoplanet.esa.int

Ghidul profesorului:

hackanexoplanet.esa.int/start-investigation

AllesFitter varianta educațională:

hackanexoplanet.esa.int/allesfitter

Allesfitter mini tutorial – ghid pas cu pas pentru potrivirea datelor pe model:

hackanexoplanet.esa.int/allesfitter-guide

Cum determini dimensiunea unei exoplanete:

hackanexoplanet.esa.int/challenges-size

Perioada orbitală și distanța unei exoplanete, folosind a treia lege a lui Kepler

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

Când pot fi exoplanetele locuibile?

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

Din ce sunt formate exoplanetele?

hackanexoplanet.esa.int/challenges-composition

Referințe științifice pentru exoplanetele KELT-3, TOI-560 și K2-141

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

exoplanetarchive.ipac.caltech.edu/overview/TOI-560

exoplanetarchive.ipac.caltech.edu/overview/K2-141

Resurse educaționale ESA

ESAc classroomresources

esa.int/Education/Classroom_resources

Învăță despre spațiu: exoplanete

esa.int/Education/Teach_with_Exoplanets

CHEOPS: Satelitul care caracterizează exoplanetele

hackanexoplanet.esa.int/meet-cheops

ESA proiecte spațiale

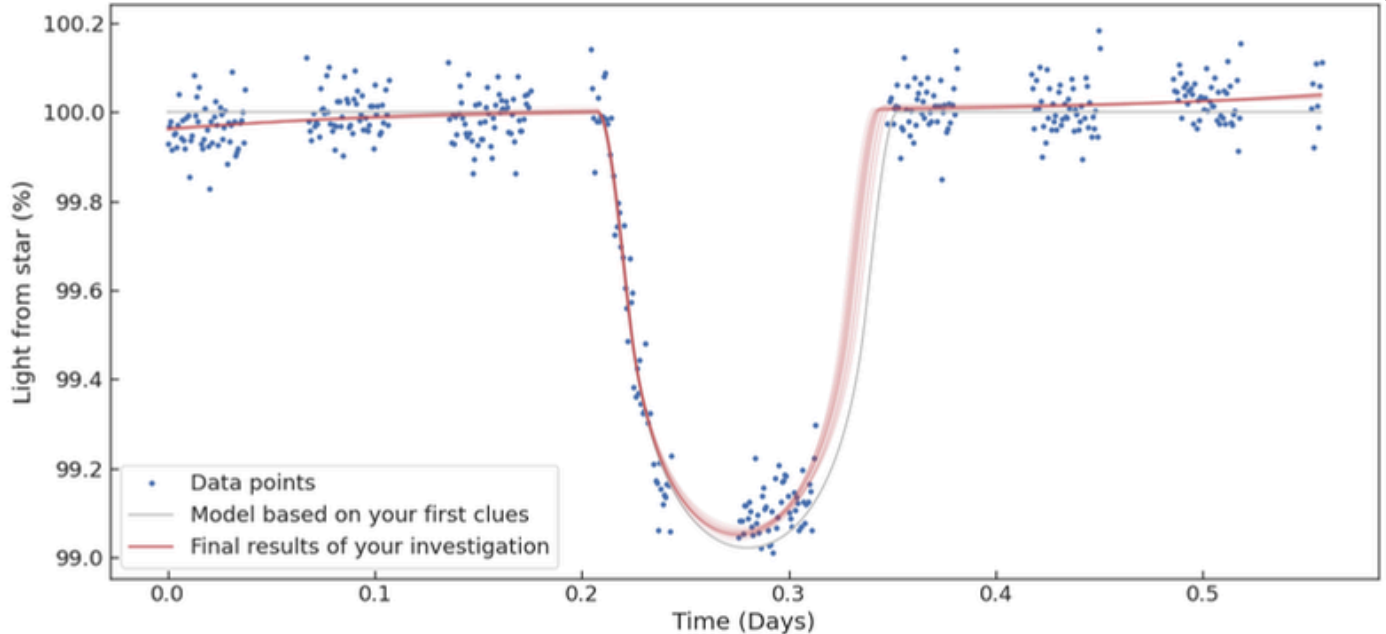
Cheops - CHaracterisingExOPlanet Satellite

esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Cheops

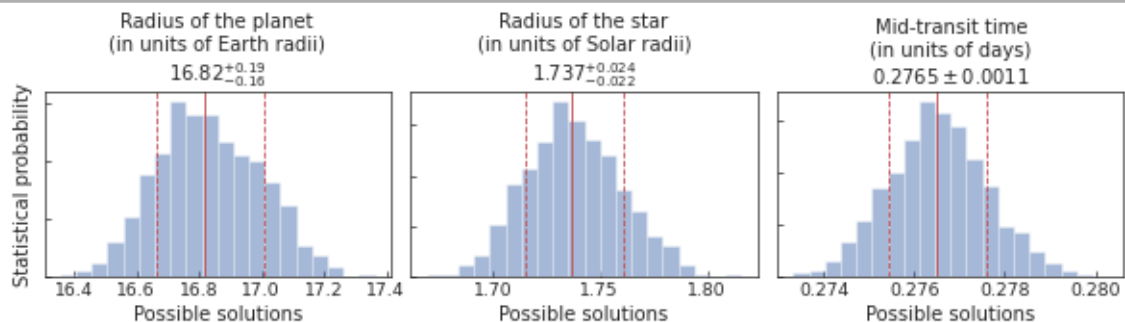
→ Anexa 1

Curba de lumină a tranzitului a exoplanetei KELT-3b

Rezultatele potrivirii optime a modelului pentru KELT-3b, obținute cu allessfitter



↑ Modelul de potrivire optimă al curbei de lumină a tranzitului



- Histogramele arată probabilitatea ca fiecare parametru să aibă o anumită valoare.
- Linia centrală, continuă, indică valoarea mediană a fiecărui parametru.
- Liniile întrerupte din stânga și din dreapta acesteia indică limitele inferioară și superioară, respectiv.
- Acestea sunt numite incertitudini de tip 1-sigma. Din punct de vedere statistic, acest lucru înseamnă că putem fi siguri în proporție de 68% că valoarea reală se află în interiorul acestui interval.
- Reține că acest lucru înseamnă că este posibil ca valoarea reală a unui parametru să se afle în afara acestor limite; ele reprezintă doar incertitudini statistice, nu limite absolute.

↑ Histogramă a probabilității statistice pentru toate valorile parametrilor exoplanetei KELT-3b

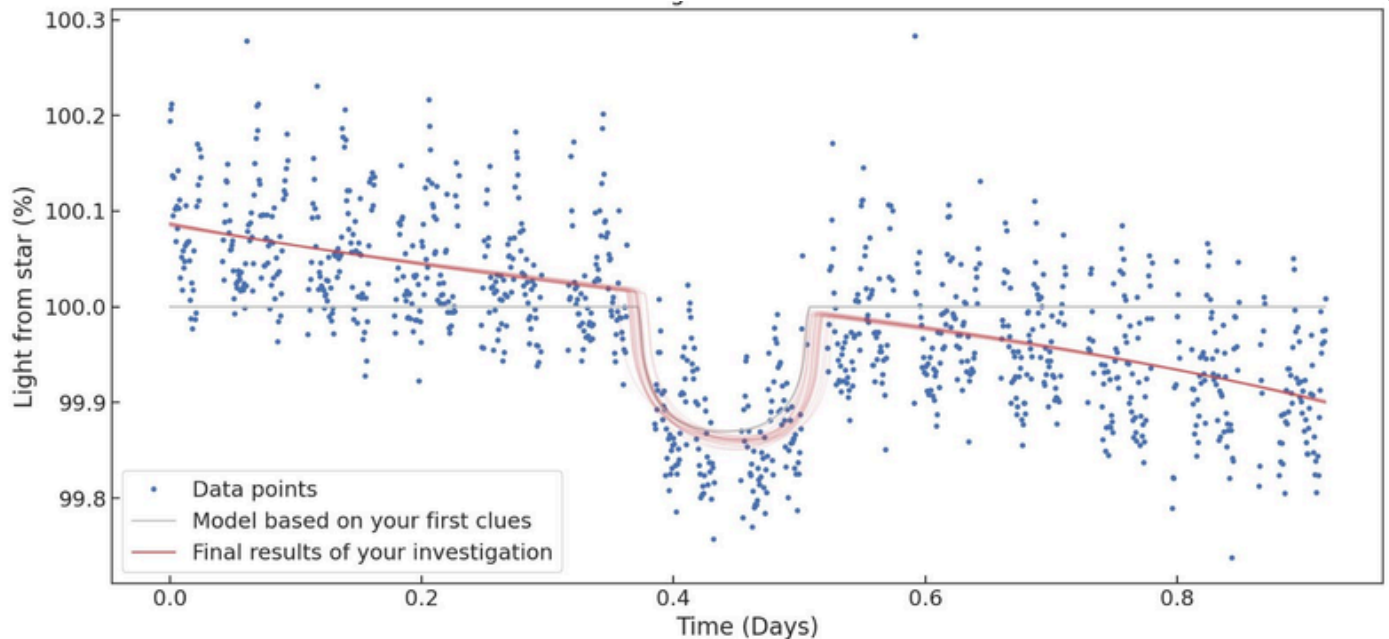
Nume	Valoarea medie	Eroarea minimă	Eroare maximă	Notă de caz
Raza planetei (în unități raportate la raza Pământului)	16.82	0.16	0.19	Observații Cheops
Raza stelei (în unități raportate la raza Soarelui)	1.737	0.022	0.024	Observații Cheops
Momentul de mijloc al tranzitului (în zile)	0.2765	0.0011	0.0011	Observații Cheops
Perioada orbitală (în zile)	2.70339			Alte tipuri de observații din arhivă
Distanța orbitală (unități astronomice)				

↑ Tabel cu parametrii modelului de potrivire optimă

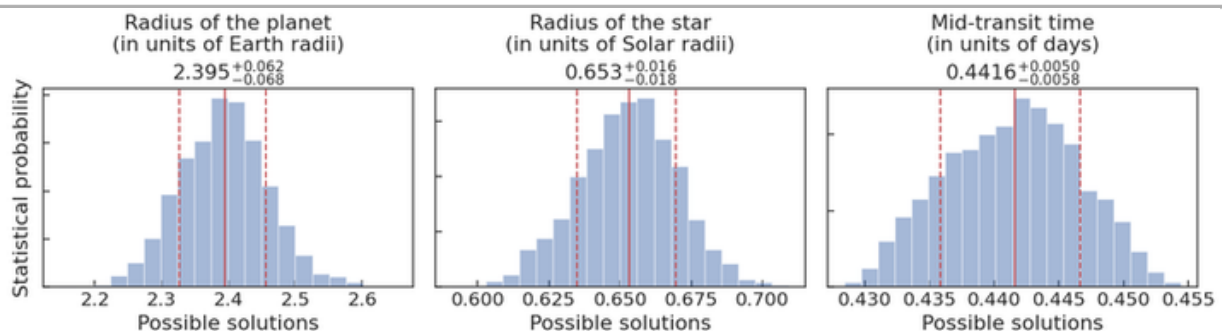
→ Anexa 2

Curba de lumină a tranzitului a exoplanetei TOI-560c

Rezultatele potrivirii optime a modelului pentru TOI-560c, obținute cu allesfitter



↑ Modelul de potrivire optimă al curbei de lumină a tranzitului



- Histogramele arată probabilitatea ca fiecare parametru să aibă o anumită valoare.
- Linia centrală, continuă, indică valoarea mediană a fiecărui parametru.
- Liniile întrerupte din stânga și din dreapta acestuia indică limitele inferioară și superioară, respectiv.
- Acestea sunt numite incertitudini de tip 1-sigma. Din punct de vedere statistic, acest lucru înseamnă că putem fi siguri în proporție de 68% că valoarea reală se află în interiorul acestui interval.
- Reține că este posibil ca valoarea reală a unui parametru să se afle în afara acestor limite; acestea reprezintă doar incertitudini statistice, nu limite absolute.

↑ Histogramă a probabilității statistice pentru toate valorile parametrilor exoplanetei TOI-560c

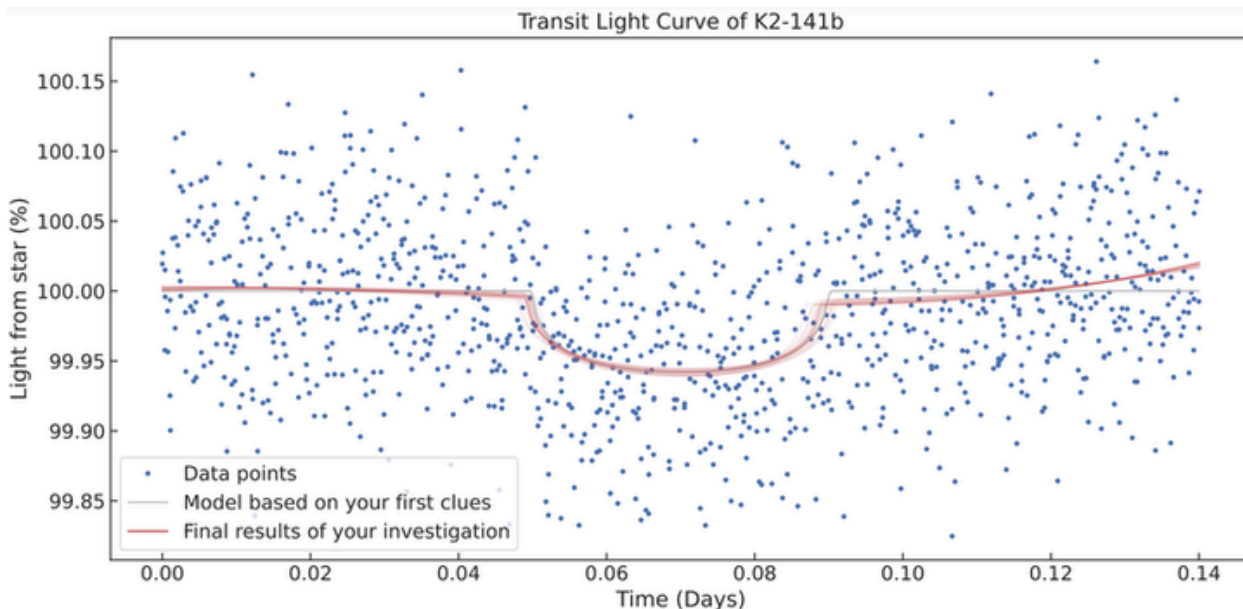
Nume	Valoarea medie	Eroare minimă	Eroare maximă	Notă de caz
Raza planetei (în unități raportate la raza Pământului)	2.395	0.068	0.062	Observații Cheops
Raza stelei (în unități raportate la raza Soarelui)	0.653	0.018	0.016	Observații Cheops
Momentul de mijloc al tranzitului (în zile)	0.4416	0.0058	0.0050	Observații Cheops
Perioada orbitală (în zile)	18.8797			Alte tipuri de observații din arhivă
Distanța orbitală (unități astronomice)				

↑ Tabel cu parametrii modelului de potrivire optimă

→ Anexă 3

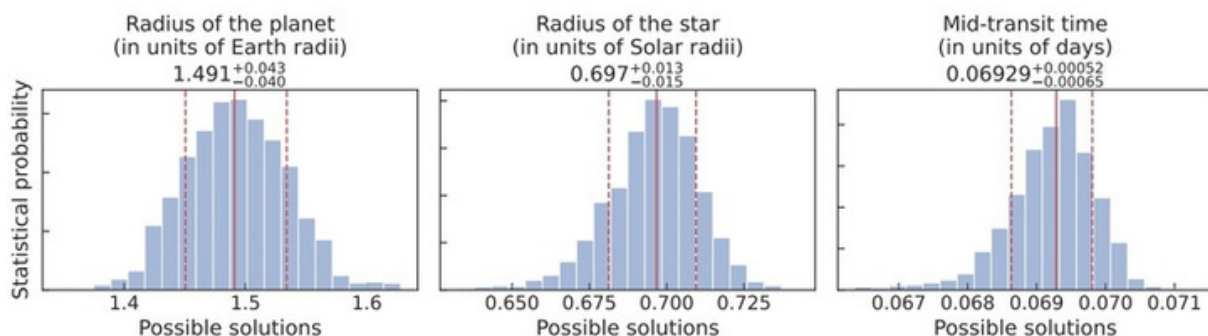
Curba de lumină a tranzitului a exoplanetei K2-141b

Rezultatele potrivirii optime a modelului pentru K2-141b, obținute cu allessfitter



↑ Modelul de potrivire optimă al curbei de lumină a tranzitului

Histograms of the statistical probability of all parameter values of K2-141b



- Histogramele arată probabilitatea ca fiecare parametru să aibă o anumită valoare.
- Linia centrală, continuă, indică valoarea mediană a fiecărui parametru.
- Liniile întrerupte din stânga și din dreapta acestora indică limitele inferioară și superioară, respectiv.
- Acestea sunt numite incertitudini de tip 1-sigma. Din punct de vedere statistic, acest lucru înseamnă că putem fi siguri în proporție de 68% că valoarea reală se află în interiorul acestui interval.
- Reține că este posibil ca valoarea reală a unui parametru să se afle în afara acestor limite; acestea reprezintă doar incertitudini statistice, nu limite definite.

↑ ↑ Histogramă a probabilității statistice pentru toate valorile parametrilor exoplanetei K2-141b

Nume	Valoare medie	Eroare minimă	Eroare maximă	Notă de caz
Raza planetei (în unități raportate la raza Pământului)	1.491	0.040	0.043	Observații Cheops
Raza steii (în unități raportate la raza Soarelui)	0.697	0.015	0.013	Observații Cheops
Momentul de mijloc al tranzitului (în zile)	0.06929	0.00065	0.00052	Observații Cheops
Perioada orbitală (în zile)	0.280325			Alte observații din arhivă
Distanța orbitală (unități astronomice)				

↑ Tabel cu parametrii modelului de potrivire optimă

→ Anexa 4: Fișă informativă despre planetele Sistemului Solar

	Planetă	Raza ($R_{\text{Pământ}}$)	Masa ($M_{\text{Pământ}}$)	Distanța orbitală medie (ua)	Perioada orbitală (zile)	Densitate (g/cm ³)	Temperatura medie la suprafața (°C)
Planete stâncoase	Mercur	0.383	0.055	0.39	88	5.43	167
	Venus	0.949	0.815	0.72	224.7	5.24	464
	Pământ	1	1	1	365.25	5.51	15
	Marte	0.532	0.107	1.5	687	3.93	-65
Giganți gazoși	Jupiter	11.21	317.8	5.2	4331	1.33	-110
	Saturn	9.45	95.2	9.6	10747	0.69	-140
	Uranus	4.01	14.5	19.2	30589	1.27	-195
	Neptun	3.88	17.1	30.2	59800	1.64	-200

→ Anexă 5: Tabel comparativ al datelor despre exoplanete

Exoplanetă	KELT-3b	TOI-560c	K2-141b	K2-141c
Tip de planetă	Jupiter fierbinte	Mini Neptun	Super Pământ	Similar cu Neptun
Raza ($R_{\text{pământului}}$)	16.8 (din allesfitter)	2.4 (din allesfitter)	1.5 (din allesfitter)	Nu se poate determina cu allesfitter
	17.5 (din adâncimea tranzitului)	2.4 (din adâncimea tranzitului)	1.6 (din adâncimea tranzitului)	7.0 (Malavolta et al. 2018)
Masa ($M_{\text{pământ}}$)	617	9.70	4.97	< 8.0
Perioadă orbitală (zile)	2.70	18.9	0.280	7.75
Distanța orbitală medie (ua)	0.048	0.13	0.0075	0.068
Densitate (g/cm^3)	0.63	3.9	7.9	< 0.13
Temperatura de echilibru (°C)	1543 (Pepper et al. 2013)	225 (Barragán et al. 2021)	~1830 (Bonomo et al. 2023)	~422 (Bonomo et al. 2023)