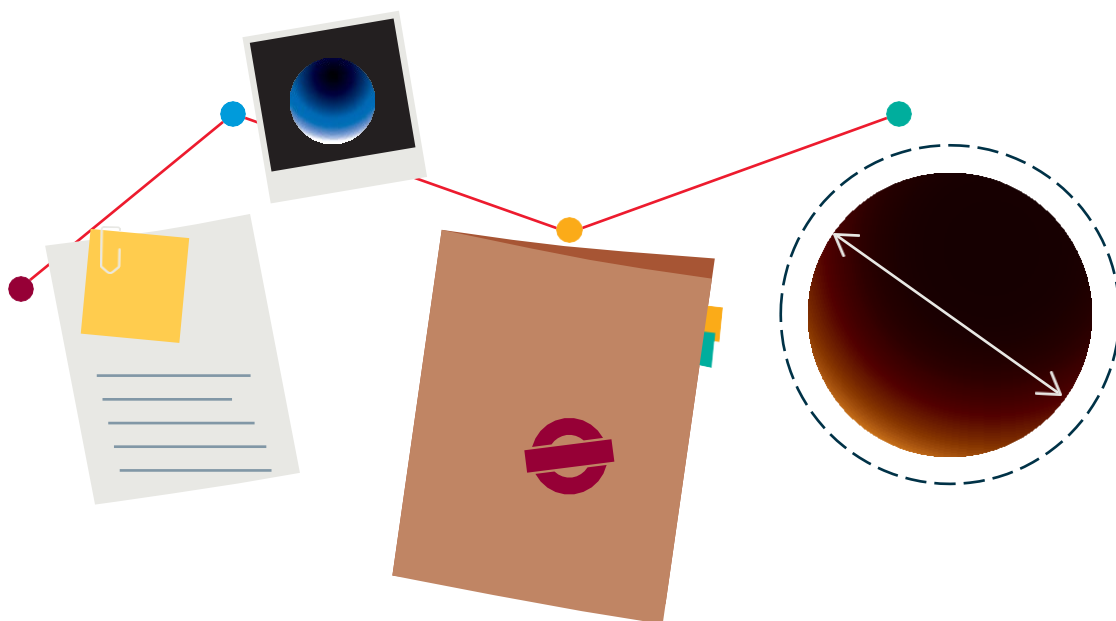


# učte s vesmírem

## → HACKNI EXOPLANETU

Staň se vesmírným detektivem





## PŘÍRUČKA PRO UČITELE

*Rychlá fakta*..... 03

*Úvod*..... 04

*Aktivita*..... 05

*Úkol 1: Analýza dat z KELT-3b* ..... 07

*Úkol 2: Analýza dat z TOI-560c* ..... 13

*Odkazy*..... 14

*Přílohy* ..... 15

**učte s vesmírem – hackni exoplanetu | P39**

[www.esa.int/education](http://www.esa.int/education)

**Vzdělávací kancelář ESA vítá zpětnou vazbu a připomínky**

[teachers@esa.int](mailto:teachers@esa.int)

**Produkce ESA Education ve spolupráci s ESA Science**

Copyright 2023 © Evropská kosmická agentura

## → HACKNI EXOPLANETU

### Staň se vesmírným detektivem

#### Rychlá fakta

**Předmět:** Fyzika, matematika, astronomie

**Věkové rozmezí:** 14 - 19 let

**Typ:** studentská aktivita a/nebo hackathon

**Složitost:** střední

**Doba přípravy učitele:** 1 hodina

**Potřebná doba výuky:** 90 minut na jeden úkol (celkem 3 hodiny)

**Cena:** nízká (0-10 eur)

**Umístění:** učebna

**Využívá:** počítač (není-li to možné, je navržena alternativa)

**Klíčová slova:** Fyzika, matematika, astronomie, exoplaneta, tranzit

#### Stručný popis

V této aktivitě budou studenti popisovat dvě exoplanety na základě analýzy dat získaných družicí ESA Cheops. Studenti budou pracovat jako skuteční vědci a budou na data aplikovat model, aby získali nejvhodnější parametry fitu.

Aktivitu lze provádět formou řízené výuky nebo formou projektové výuky, například v rámci hackathonu. V příručce pro učitele jsou uvedeny obě možnosti.

Aktivita jsou doplněny vysvětleními formou videí připravených odborníky na exoplanety.

#### Cíle učení

- Vědecky pracovat se skutečnými satelitními daty.
- Použít techniky matematické analýzy dat pomocí přizpůsobení modelu skutečným datům.
- Seznámit se s 3. Keplerovým zákonem a orbitální mechanikou.
- Pochopit, co je to tranzit exoplanety.
- Rozvíjet dovednosti týmové práce v časovém limitu.

#### Potřebujete také

Podpůrné videomateriály. Viz oddíl Odkazy.

- Úvod do Hackni exoplanetu – Staň se exoplanetárním detektivem
- *Allesfitter* mini tutoriál – průvodce fitováním nejlepšího modelu
- Jak určit velikost exoplanety
- Oběžná doba a vzdálenost exoplanety s využitím 3. Keplerova zákona
- Mohou být exoplanety obyvatelné?
- Z čeho se skládají exoplanety?

## → Úvod

Tato vzdělávací aktivita vznikla v rámci vůbec prvního hackathonu ESA Education pro středoškolské studenty: "**Hack an Exoplanet**". Tyto výzvy umožňují studentům využívat skutečná družicová data k výzkumu cizích světů a stát se na jeden den exoplanetárními detektivy.

V lednu 2023 pozorovala družice ESA Cheops (CHaracterising ExOPlanet Satellite) dvě exoplanety, KELT-3b a TOI-560c, speciálně pro tuto aktivitu. Analýzou dat z družice Cheops se studenti mohou připojit k vědcům ESA při hledání odpovědí a pomoci jim pochopit tyto dva záhadné cizí světy.

Úkoly spočívají v praktických činnostech, při nichž mají studenti analyzovat data poskytnutá z družice ESA Cheops. Studenti budou charakterizovat hlavní vlastnosti exoplanet s využitím podpůrných materiálů a výukové verze fitovacího nástroje *allesfitter*, připraveného speciálně pro tyto datové sady. Aktivity jsou doplněny písemnými i video vysvětlivkami a příklady, které připravili odborníci na exoplanety.

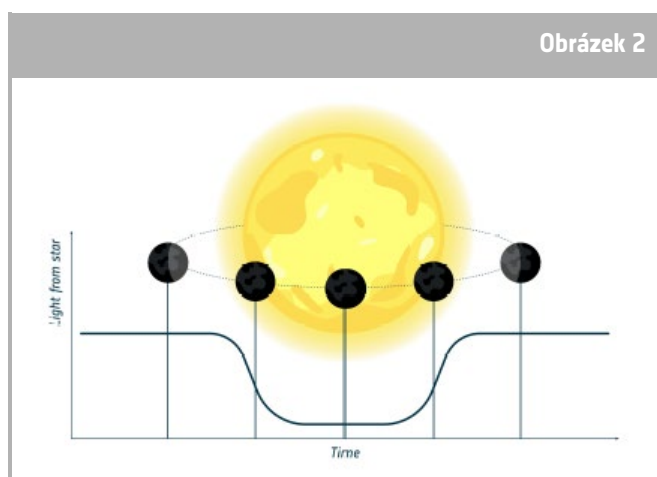
Aktivity mohou být prezentovány formou řízené výuky nebo formou projektové výuky, například v rámci hackathonu. Příručka pro učitele představuje obě možnosti.

### Co je to exoplaneta?

Exoplanety neboli extrasolární planety jsou planety mimo naši sluneční soustavu, které obíhají kolem jiné hvězdy, než je naše Slunce.

### Jak studujeme exoplanety?

V současné době je potvrzeno více než 5000 exoplanet v přibližně 4000 hvězdných systémech, ale exoplanety se obtížně detekují. Signál, který dostáváme od exoplanet, je velmi slabý ve srovnání s mnohem silnějším signálem pocházejícím od jejich větších a jasnějších mateřských hvězd, obvykle mnohem menší než 1 %.



↑ Zobrazení metody tranzitní fotometrie.

Existují různé metody detekce a popisu exoplanet, v této aktivitě použijeme **metodu tranzitní fotometrie**. Jedná se o nejběžnější metodu hledání exoplanet.

**Fotometrie** – slovo fotometrie pochází z řečtiny: foto "světlo" a metrie "měření". Je to technika používaná v astronomii ke kvantitativnímu měření množství světla z hvězd.

**Tranzit** – exoplaneta je detekována na základě měření poklesu množství světla přicházejícího od hvězdy.

Obrázek 1



↑ Umělecká představa družice Cheops.

## → Aktivita

Aktivita *Hackni exoplanetu* se skládá ze dvou úkolů. Prvním úkolem je analýza světelné křivky tranzitu obří exoplanety KELT-3b. Podle pokynů v podpůrném materiálu a/nebo podle informací v instruktážních videích budou studenti schopni odvodit vlastnosti KELT-3b.

Druhým úkolem je analýza světelné křivky tranzitu exoplanety typu mini-Neptun, TOI-560c. Po dokončení postupu pro KELT-3b by studenti měli být schopni samostatně dokončit analýzu dat TOI-560c podle podobného postupu.

## Vybavení

- Počítač s přístupem k internetu pro přístup k softwarovému nástroji *allesfitter* v prohlížeči. Pokud tento krok není možný, mohou týmy použít parametry nejlepšího fitu uvedené v **příloze 1** - Světelná křivka tranzitu exoplanety KELT-3b a **příloze 2** – Světelná křivka tranzitu exoplanety TOI-560c.
- Pracovní list pro studenty vytištěný pro každou skupinu obsahuje:
  - Schéma výzkumu exoplanet
  - Protokoly pro KELT-3b a TOI-560c
  - Informace o planetách Sluneční soustavy
  - Průvodce *allesfitter* krok za krokem
- Kalkulačka (volitelně)
- Tato aktivita obsahuje také šest podpůrných videí na pomoc týmům (viz oddíl Odkazy):
  - Úvod do Hackni exoplanetu – Staň se exoplanetárním detektivem
  - *Allesfitter* mini tutoriál – průvodce fitováním nejlepšího modelu
  - Jak určit velikost exoplanety
  - Oběžná doba a vzdálenost exoplanety s využitím 3. Keplerova zákona
  - Mohou být exoplanety obyvatelné?
  - Z čeho se skládají exoplanety?Informace z videí jsou uvedeny také v této příručce pro učitele.

## Cvičení:

Sady dat pro oba cíle byly získány družicí ESA Cheops ve dnech 22. a 23. ledna 2023 speciálně pro tuto vzdělávací aktivitu. Data byla zpracována odborníky ESA a jsou připravena k použití studenty.

Tuto aktivitu lze prezentovat formou řízené výuky nebo formou projektové výuky, například v rámci hackathonu. V příručce pro učitele jsou uvedeny obě možnosti.

Tuto aktivitu doporučujeme provádět v týmech po 3 až 4 studentech. To studentům umožní diskutovat o nejlepším postupu při plnění jednotlivých úkolů a diskutovat o výsledcích.

**Poznámka:** pokud je analýza údajů příliš složitá, mohou týmy doplnit protokol také vyhledáním informací na internetu.

## Řízený formát

- Začněte tím, že třídu seznámíte s tématem exoplanet. Doporučujeme použít toto úvodní video: *Úvod do Hackni exoplanetu*.
- Rozdělte třídu do týmů po 3 až 4 studentech.
- Předložte studentům úkol. Každý tým bude mít za úkol popsat hlavní vlastnosti exoplanety KELT-3b vyplněním protokolu, který je k dispozici v pracovních listech pro studenty. Týmy určí velikost, oběžnou dobu, střední oběžnou vzdálenost, teplotu a složení planety KELT-3b a porovnají její vlastnosti s planetami naší Sluneční soustavy. Více informací ke každé zmíněné vlastnosti najdete ve schématu výzkumu exoplanet.
- Rozdejte týmům podklady a dejte jim několik minut na jejich analýzu.
- Stanovte čas, jaký mají týmy na určení jednotlivých vlastností exoplanet. ***Předtím***, než týmy začnou pracovat na určení jednotlivých vlastností, představte jim příslušné doprovodné video. Podpůrná videa obsahují informace o tom, jak určit jednotlivé vlastnosti, a řešení pro KELT-3b.
- Ujistěte se, že týmy chápou, jak určit každý parameter, než přejdete k následujícímu.
- Po určení všech parametrů by týmy měly své závěry prezentovat a prodiskutovat se třídou.
- Jako další krok můžete navrhnout splnění úkolu 2 a určení vlastností exoplanety TOI-560c.

## Projektový formát – hackathon

- Rozdělte třídu do týmů po 3 až 4 žácích.
- Začněte tím, že studentům představíte koncept hackathonu pomocí tohoto úvodního videa: *Úvod do Hackni exoplanetu*.
- Můžete nechat týmy plnit úkoly samostatně (například jako domácí úkol nebo třídní projekt) nebo je plnit v rámci společné hodiny či školní akce.
- V případě potřeby studentům připomeňte koncept úkolu. Každý tým bude mít za úkol popsat hlavní vlastnosti exoplanety KELT-3b vyplněním protokolu, který je k dispozici v pracovních listech pro studenty. Týmy určí velikost, oběžnou dobu, střední oběžnou vzdálenost, teplotu a složení planety KELT-3b a porovnají její vlastnosti s planetami naší sluneční soustavy. Více informací ke každé zmíněné vlastnosti najdete ve schématu výzkumu exoplanet.
- Rozdejte týmům podklady a určete čas na dokončení celého úkolu, doporučujeme přibližně 90 minut na analýzu KELT-3b.
- Abyste zajistili, že týmy budou postupovat plynule, můžete stanovit časový rámec pro určení jednotlivých vlastností nebo promítnout příslušné podpůrné video a poskytnout tipy v určených okamžicích. Podpůrná videa obsahují informace o tom, jak určit jednotlivé vlastnosti, a řešení pro KELT-3b.
- Po určení všech parametrů by týmy měly své závěry prezentovat a prodiskutovat s celou skupinou.
- Jako další krok můžete navrhnout splnění úkolu 2 a určení vlastností exoplanety TOI-560c.

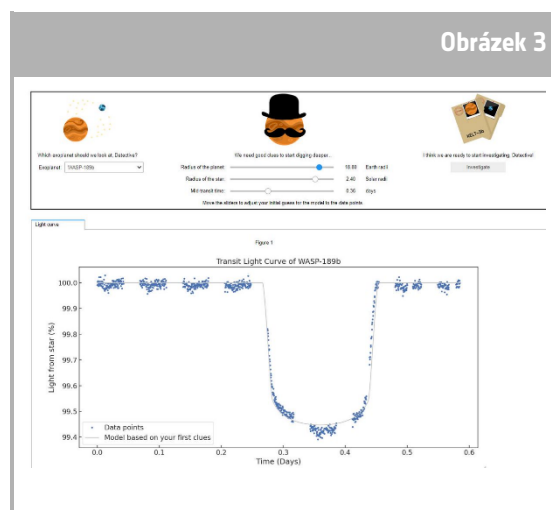
## → Úkol 1 - Analýza dat z KELT-3b

### Přístup k satelitním datům a jejich fitování

Data jsou k dispozici na tomto odkazu: [hackanexoplanet.esa.int/allesfitter](http://hackanexoplanet.esa.int/allesfitter).

Tato verze *allesfitter* je online aplikace, která poskytuje snadný a bezplatný přístup k datům z družice Cheops a umožňuje modelovat více exoplanet na základě měření tranzitů. Lze k ní přistupovat z internetového prohlížeče.

Pro získání parametrů nejlepšího fitu dat by studenti měli postupovat krok za krokem podle průvodce *allesfitter* v pracovním listu pro studenty nebo podle videonávodu. Tento průvodce poskytne návod, jak používat výukovou verzi nástroje *allesfitter* v prohlížeči. Tato verze nástroje již má datové sady nahrané a umožňuje pouze zkoumání určitých parametrů: poloměru planety, poloměru hvězdy a času středu tranzitu.



↑ Rozhraní *Allesfitter*.

**Poznámka:** Pokud tento krok není možný, mohou týmy použít parametry nejlepšího fitu uvedené v **příloze 1** – Světelná křivka tranzitu exoplanety KELT-3b a **příloze 2** – Světelná křivka tranzitu exoplanety TOI-560c.

### Jak určit velikost exoplanety?

Při použití metody tranzitní fotometrie měří dalekohled množství světla z hvězdy za určitý časový úsek. Vědci na tato data fitují modely, aby se pokusili odhalit změny v množství světla z hvězdy, které by mohly být způsobeny exoplanetou.

Při použití metody tranzitní fotometrie exoplanetu přímo nedetekujeme (s výjimkou velmi specifických případů). Místo toho měříme množství světla z hvězdy, které exoplaneta blokuje při průchodu mezi hvězdou a dalekohledem.

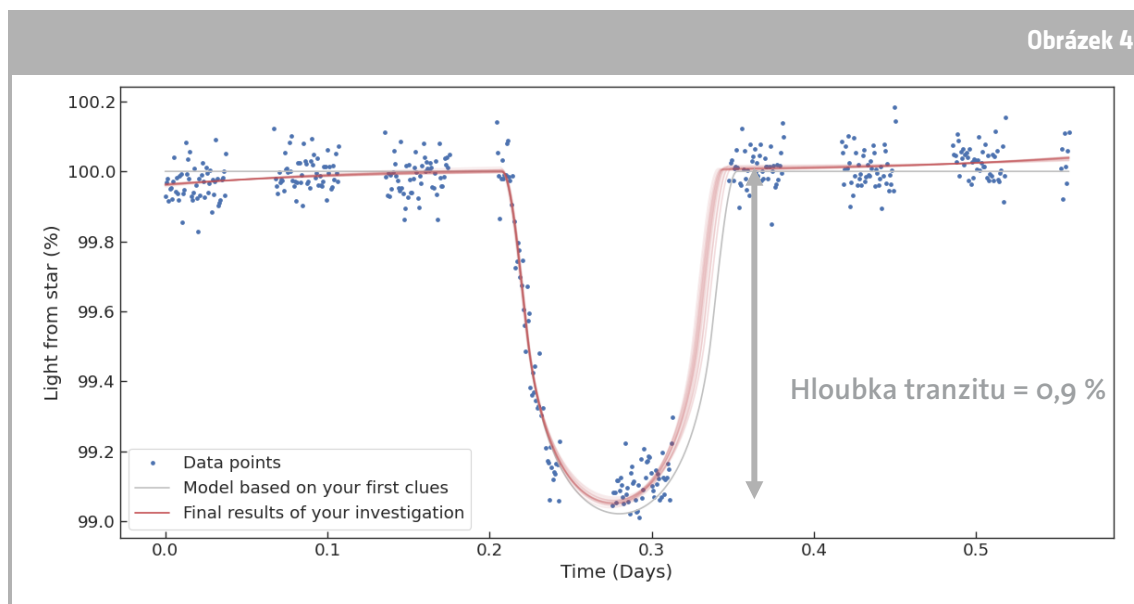
Množství světla hvězdy, které exoplaneta blokuje, se obvykle označuje jako hloubka tranzitu. Tato hodnota je úměrná ploše exoplanety promítnuté na disku hvězdy.

Poloměr exoplanety ( $R_p$ ) je možné určit, pokud známe poloměr hvězdy ( $R_s$ ) a hloubku tranzitu:

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

## Příklad KELT-3b:

Jako příklad si nyní rozebereme data z KELT-3b.



↑ Data KELT-3b z družice Cheops s nejlepším modelem světelné křivky tranzitu z *allesfitter*.

Poloměr hvězdy KELT-3 je znám a je uveden v protokolu:  $R_s = 1,70 R_{Sun}$

Analýzou dat z Cheopsu můžeme zjistit, že hloubka tranzitu je přibližně 0,9 % (Obrázek 4).

Podle výše uvedené rovnice:  $R_p = \sqrt{R_s^2 \times \frac{\text{hloubka tranzitu}}{100}} = \sqrt{1,70^2 \times \frac{0,9}{100}} R_{Sun} = 0,161 R_{Sun}$

Převod na jednotku poloměrů Země:  $R_p = 0,161 \times 109 R_{Earth} = 17,5 R_{Earth}$

Když studenti spustí software *allesfitter*, získají hodnotu nejlepšího fitu pro poloměr. Tato hodnota se může výrazně lišit od tohoto jednoduchého odhadu. V rozhraní mohou studenti měnit pouze tři parametry, ale software *allesfitter* fituje data pomocí komplexního modelu s několika dalšími skrytými parametry, které mohou poskytnout úplnější fitování dat.

## Jak určit oběžnou dobu a vzdálenost pomocí 3. Keplerova zákona

Oběžná doba planety  $T$  je doba, za kterou planeta oběhne kolem své hvězdy jeden celý oběh. Lze ji změřit tak, že se zjistí čas středu tranzitu dvou po sobě jdoucích tranzitů téže exoplanety a změří se časový interval mezi nimi.

Pro tato pozorování máme k dispozici pouze jeden tranzit, ale můžeme extrapolovat oběžnou dobu porovnáním současných pozorovacích dat s předchozími pozorovacími daty nalezenými v archivu dat.

Když známe oběžnou dobu exoplanety, můžeme pomocí 3. Keplerova zákona odvodit střední oběžnou vzdálenost  $d$  mezi planetou a hvězdou.



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

Kde  $G$  je gravitační konstanta a  $M_s$  je hmotnost hvězdy.

### Příklad KELT-3b:

Jako příklad si nyní rozebereme data KELT-3b. V tomto cvičení by studenti měli věnovat velkou pozornost jednotkám.

- Gravitační konstanta v jednotkách SI je  $G = 6,67430 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$
- Hmotnost hvězdy KELT-3 je známa:  $M_s = 1,96 M_{Sun}$
- Musíme převést jeho hmotnost na jednotky SI:  $M_s = 3,90 \cdot 10^{30} \text{ kg}$
- Ze shody s modelem jsme zjistili, že oběžná doba  $T = 2,70339$  dne. Po přepočtení oběžné doby na sekundy:  $T = 233\,573 \text{ s}$

Nyní máme všechny informace potřebné k určení vzdálenosti mezi hvězdou a exoplanetou.

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

Porovnejme nyní oběžnou dobu a střední oběžnou vzdálenost KELT-3b s planetami naší Sluneční soustavy:

Tabulka 1		
Planeta	Oběžná doba (dny)	Střední oběžná vzdálenost (au)
KELT-3b	2,70339	0,048
Merkur	87,97	0,4
Země	365,25	1
Neptun	60 266,25	30

↑ Srovnání oběžných dob a středních oběžných vzdáleností pro KELT-3b a planety ve Sluneční soustavě

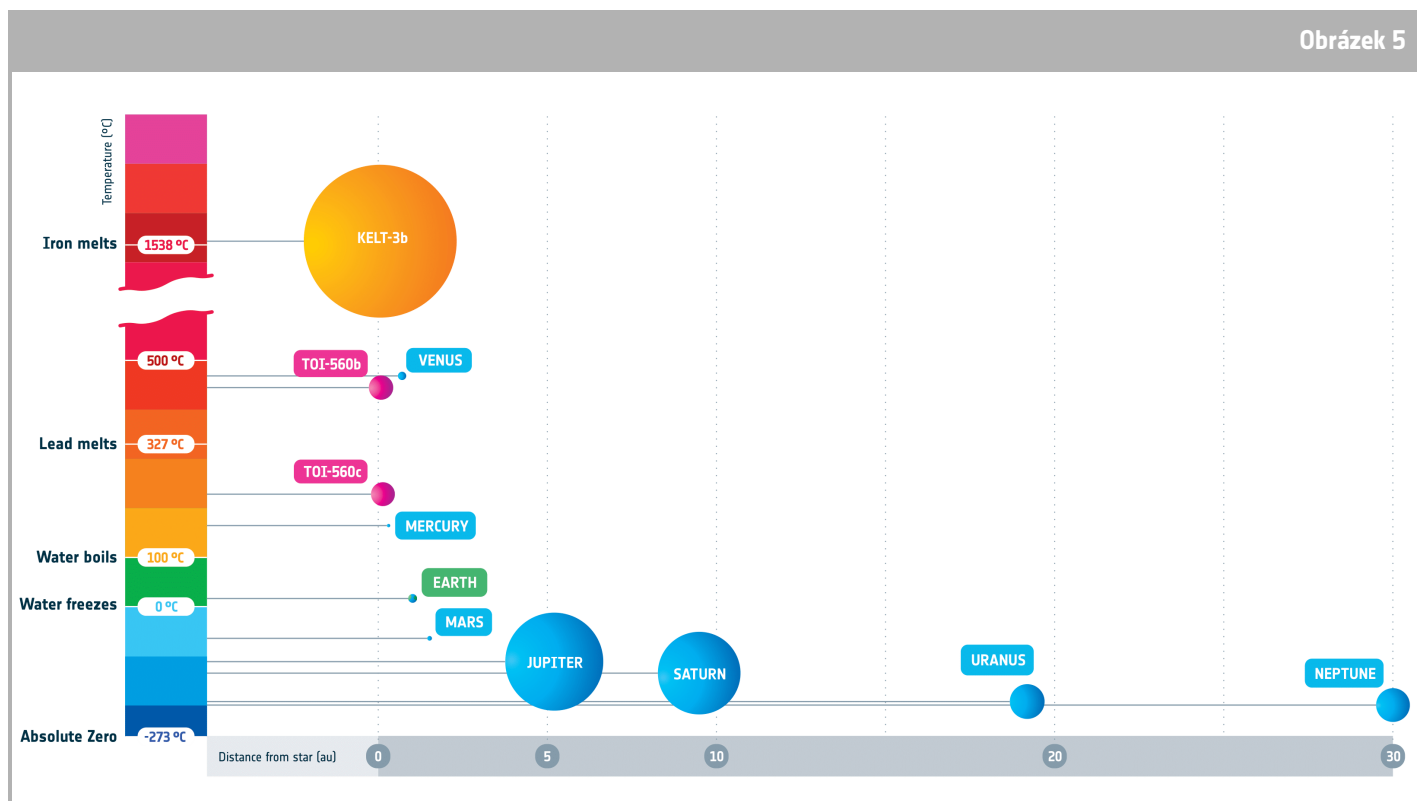
Vzhledem k malé vzdálenosti exoplanety od její mateřské hvězdy má KELT-3b mnohem kratší oběžnou dobu než Merkur, který je Slunci nejbliže v naší Sluneční soustavě. Metoda tranzitní fotometrie identifikuje planety na těchto typech oběžných drah snadněji než planety podobné těm v naší Sluneční soustavě.

## Jak poznáme, že by exoplaneta mohla být obyvatelná?

Země je dnes jediným známým místem ve vesmíru, kde se vyskytuje život. Není také známo, zda by se

život mohl vyvinout a existovat v podmínkách velmi odlišných od těch, které panují na naší planetě. Při zkoumání exoplanet a definování možných podmínek obyvatelnosti se vědci snaží zjistit podobné podmínky jako na Zemi, například teplotu.

Důležitým faktorem pro obyvatelnost, který je třeba vzít v úvahu, je teplota. Teplota planety je většinou určena její vzdáleností od mateřské hvězdy. Pokud planeta obíhá kolem hvězdy ve vzdálenosti, kde se na jejím povrchu může vyskytovat **kapalná voda**, nachází se v **obyvatelné zóně** své mateřské hvězdy.



↑ Diagram znázorňující velikost a teplotu planet v závislosti na vzdálenosti od mateřské hvězdy. Velikost a vzdálenost planet jsou znázorněny dvěma různými měřítky.

### Venuše: výjimka ve Sluneční soustavě

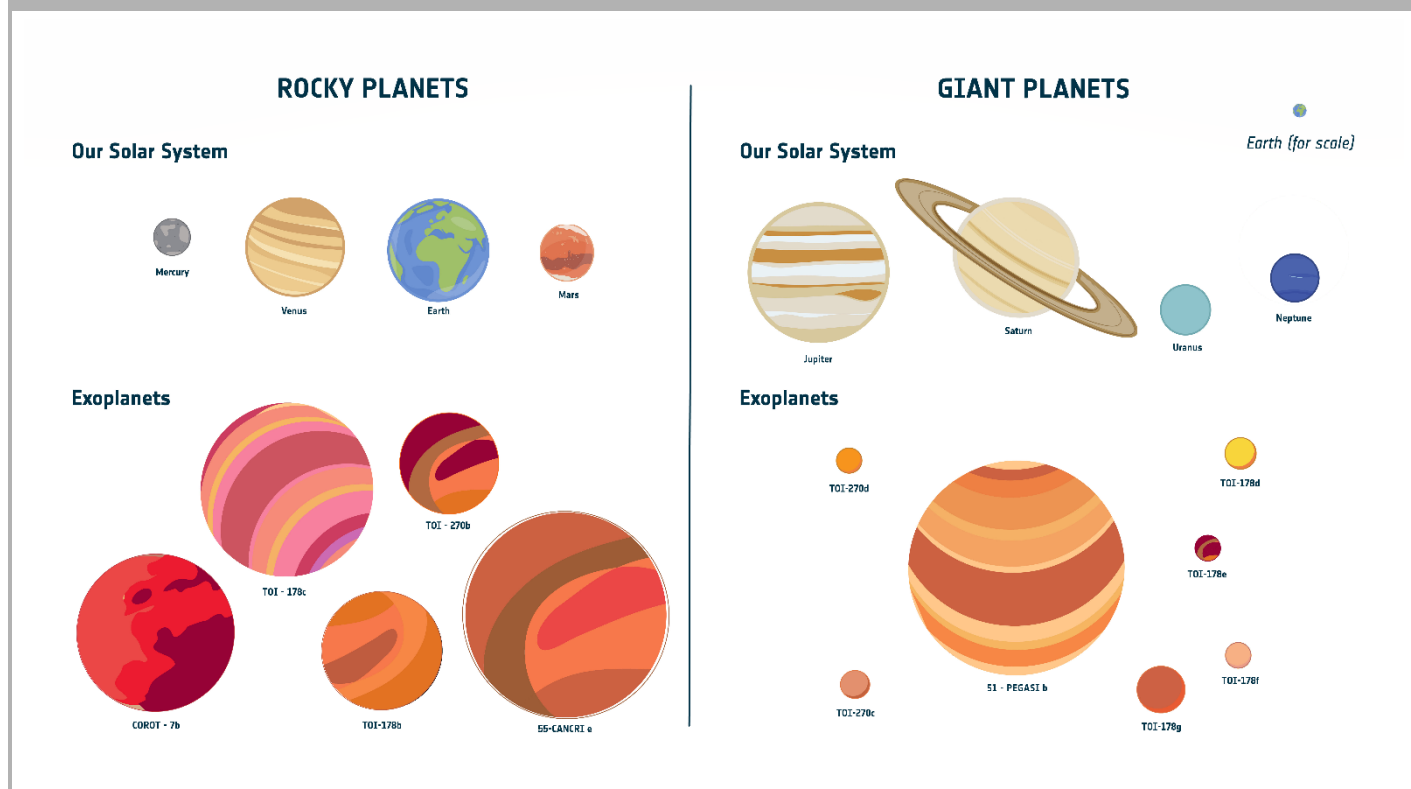
Teplotu měřenou na povrchu planety ovlivňuje také její atmosféra. Ve Sluneční soustavě je extrémním příkladem Venuše. Její hustá atmosféra působí jako skleník a zahřívá povrch nad teplotu tání olova, takže je teplejší než Merkur, přestože je vzdálenější od Slunce.

### Příklad KELT-3b:

Probereme nyní jako příklad KELT-3b. KELT-3b pravděpodobně nehostí život, protože se nachází příliš blízko své mateřské hvězdy, takže teplota na povrchu planety je velmi vysoká, nad bodem tání železa. Většina aminokyselin, stavebních kamenů života, by takové extrémní teploty nepřežila. Planeta je také bombardována vysokou úrovní záření kvůli své velmi malé vzdálenosti od mateřské hvězdy.

### Z čeho se skládají exoplanety?

V naší Sluneční soustavě se planety obvykle dělí na dvě kategorie: kamenné a plynné. Exoplanety však mohou být velmi odlišné od našich planetárních sousedů, na které jsme zvyklí.



↑ Ukázky uměleckých představ skutečných exoplanet, které již byly objeveny kolem blízkých hvězd.

Výpočtem střední **hustoty** exoplanety,  $\rho$ , je možné získat představu o složení exoplanety.

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

Kde  $M$  je hmotnost exoplanety a  $V$  je objem exoplanety.

Hmotnost a objem exoplanety bývají obvykle určeny s velkou chybou. Tyto chyby se pak promítají do výpočtu hustoty exoplanety, čímž vzniká nejistota hodnoty hustoty v rozmezí 10 % až 30 %.

Jiná technika používaná ke studiu exoplanet se nazývá spektroskopie. Při této technice se světlo přijaté od hvězdy nebo exoplanety rozdělí na různé vlnové délky, což umožňuje určit **složení atmosféry** exoplanety nebo pokrytí mraky.

### Příklad KELT-3b:

Jako příklad si nyní rozebereme data z KELT-3b. Hmotnost hvězdy KELT-3b je  $617 M_{\text{Earth}}$ . Tuto hodnotu není možné určit z tranzitní fotometrie. Byla určena z předchozích pozorování pomocí jiné techniky, tzv. měření radiální rychlosti.

V prvním cvičení jsme již určili poloměr KELT-3b. Když známe poloměr, můžeme vypočítat objem exoplanety za předpokladu, že se jedná o dokonalou kouli:  $V = \frac{4}{3} \pi R^3$ .

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

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

\* Tato hodnota poloměru byla odhadnuta z výpočtu hloubky tranzitu, studenti mohou také použít hodnotu nejlepšího fitu z *allesfitter*.

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

Tato hodnota je mnohem menší než průměrná hustota Jupiteru a blíží se hustotě WASP-189b (známá exoplaneta typu horký Jupiter). Malá vzdálenost od mateřské hvězdy a vysoká teplota činí exoplanetu “nafouklou”.

## Shrnutí KELT-3b

KELT-3b je horký Jupiter obíhající kolem hvězdy podobné Slunci, KELT-3, vzdálené od Země přibližně 690 světelných let.

KELT-3b obíhá velmi blízko své mateřské hvězdy, více než desetkrát blíže, než Země obíhá kolem Slunce. Exoplaneta potřebuje pouhých 2,7 dne k dokončení plného oběhu kolem KELT-3.

Vzhledem k blízkosti k mateřské hvězdě je střední teplota exoplanety velmi vysoká, vyšší než teplota tání železa, takže je zcela neobyvatelná.

KELT-3b se skládá převážně z vodíku a helia, podobně jako Jupiter. Vzhledem k vysoké teplotě exoplanety a blízkosti hvězdy je její atmosféra velmi rozšířená (“nadýchaná”) a její střední hustota je velmi nízká.

Tabulka 2	
Exoplaneta	KELT-3b
Typ planety	Horký Jupiter
Poloměr ( $R_{Earth}$ )	16,81 (podle <i>allesfitter</i> )
	17,5 (z hloubky tranzitu)
Hmotnost ( $M_{Earth}$ )	$617 \pm 105$
Doba oběhu ( <i>dny</i> )	2,70339
Střední oběžná vzdálenost ( <i>au</i> )	$\sim 0,048$
Hustota ( $g/cm^3$ )	$\sim 0,63$
Průměrná teplota ( $^{\circ}C$ )	$\sim 1543$

[↑ Shrnutí odhadu vlastností KELT-3b](#)

## Odešlete svůj projekt

Týmy mohou svůj týmový projekt Hackni exoplanetu odeslat na platformu Hack an Exoplanet a získat certifikát o účasti. Svůj projekt můžete odeslat na adrese [hackanexoplanet.esa.int/submit-your-project](https://hackanexoplanet.esa.int/submit-your-project)

## → Úkol 2 - Analýza dat z TOI-560c

Po dokončení analýzy KELT-3b by týmy měly být schopny analyzovat stejným způsobem data týkající se TOI-560c.

Všechny potřebné informace jsou k dispozici v protokolu v pracovním listu pro studenty a na adrese [hackanexoplanet.esa.int/challenges](https://hackanexoplanet.esa.int/challenges).

Týmy mohou svůj projekt Hackni exoplanetu odeslat na platformu Hack an Exoplanet a získat certifikát o účasti. Projekt svého týmu můžete odeslat na adrese [hackanexoplanet.esa.int/submit-your-project](https://hackanexoplanet.esa.int/submit-your-project).

### Cena za nejlepší projekt:

Aby měly týmy šanci získat cenu za nejlepší projekt, měly by zaslat svůj investigativní článek o TOI-560c.

Práce vašeho týmu by měla obsahovat analýzu dat z družice Cheops pro TOI-560c a měla by mít formát vědeckého článku včetně abstraktu, analýzy, výsledků a závěrů.

Vítězné týmy obdrží od ESA dárky a také možnost zúčastnit se 17. července 2023 webináře s nositelem Nobelovy ceny za fyziku Didierem Quelozem. Uzávěrka pro odevzdání je 14. června 2023.

Svůj projekt můžete odevzdat na adrese [hackanexoplanet.esa.int/submit-your-project](https://hackanexoplanet.esa.int/submit-your-project).

## → ODKAZY

### Podpůrné zdroje

Hackni exoplanetu:

[hackanexoplanet.esa.int](http://hackanexoplanet.esa.int)

Průvodce pro pedagogy pro Hackni exoplanetu

[hackanexoplanet.esa.int/cz/educators-guide](http://hackanexoplanet.esa.int/cz/educators-guide)

Výuková verze softwaru AllesFitter:

[hackanexoplanet.esa.int/allesfitter](http://hackanexoplanet.esa.int/allesfitter)

Úvod do Hackni exoplanetu – Staň se exoplanetárním detektivem

[hackanexoplanet.esa.int/cz/challenges](http://hackanexoplanet.esa.int/cz/challenges)

*Allesfitter* mini tutoriál – průvodce fitováním nejlepšího modelu

[hackanexoplanet.esa.int/cz/allesfitter-guide](http://hackanexoplanet.esa.int/cz/allesfitter-guide)

Jak určit velikost exoplanety

[hackanexoplanet.esa.int/cz/challenges-size](http://hackanexoplanet.esa.int/cz/challenges-size)

Oběžná doba a vzdálenost exoplanety podle 3. Keplerova zákona

[hackanexoplanet.esa.int/cz/challenges-orbital-period-and-distance](http://hackanexoplanet.esa.int/cz/challenges-orbital-period-and-distance)

Mohou být exoplanety obyvatelné?

[hackanexoplanet.esa.int/cz/challenges-temperature-and-habitability](http://hackanexoplanet.esa.int/cz/challenges-temperature-and-habitability)

Z čeho se skládají exoplanety?

[hackanexoplanet.esa.int/cz/challenges-composition](http://hackanexoplanet.esa.int/cz/challenges-composition)

Odborné zdroje pro KELT-3b

[exoplanetarchive.ipac.caltech.edu/overview/KELT-3](http://exoplanetarchive.ipac.caltech.edu/overview/KELT-3)

### Zdroje ESA

Zdroje ESA ve pro výuku

[esa.int/Education/Classroom\\_resources](http://esa.int/Education/Classroom_resources)

Výuka s exoplanetami

[esa.int/Education/Teach\\_with\\_Exoplanets](http://esa.int/Education/Teach_with_Exoplanets)

Seznamte se s družicí Cheops – Characterising ExOPlanet Satellite

[esa.int/ESA\\_Multimedia/Videos/2019/12/Meet\\_Cheops\\_the\\_Characterising\\_Exoplanet\\_Satellite](http://esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2019/12/Meet_Cheops_the_Characterising_Exoplanet_Satellite)

### Vesmírné projekty ESA

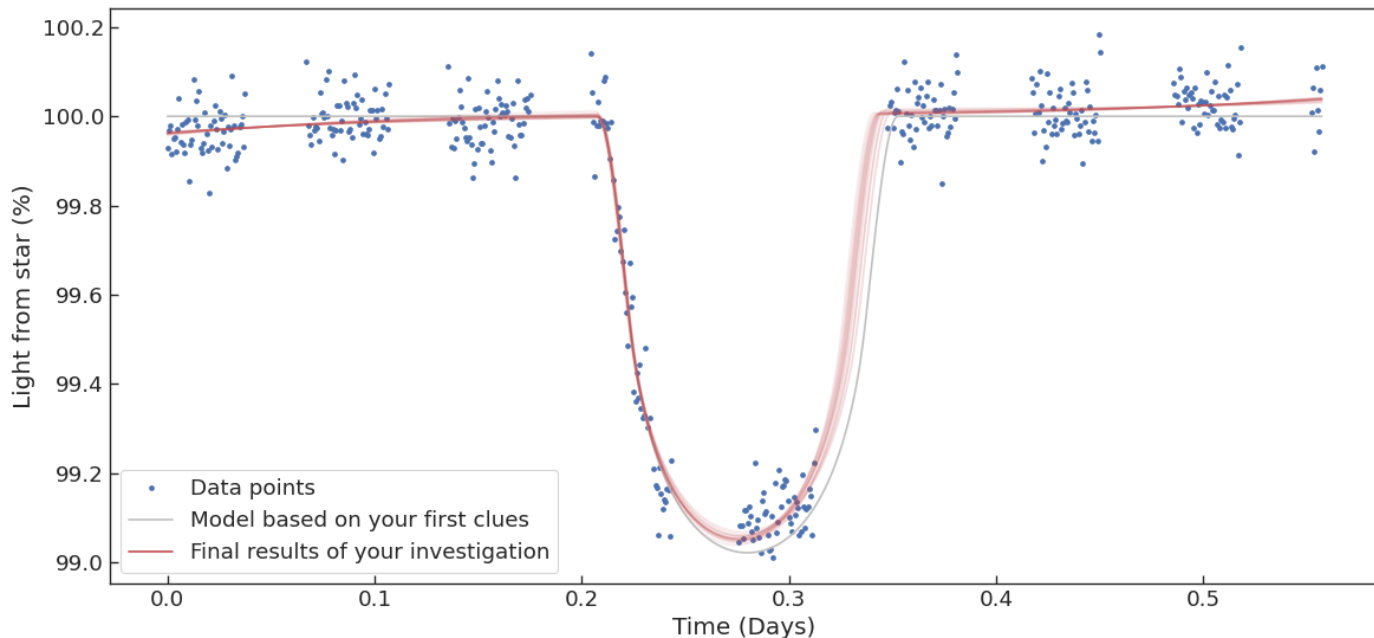
Cheops – Characterising ExOPlanet Satellite

[esa.int/Science\\_Exploration/Space\\_Science/Cheops](http://esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Cheops)

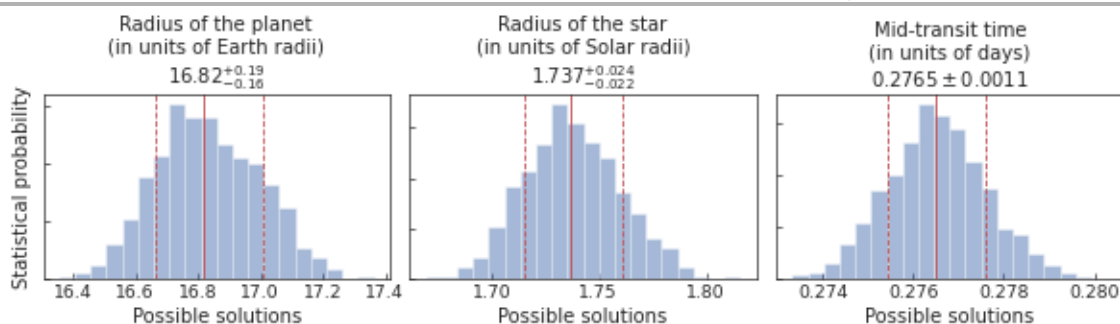
## → Příloha 1

### Světelná křivka tranzitu exoplanety KELT-3b

Výsledky fitování nejlepším modelem KELT-3b z *allesfitter*



[↑ Nejlepší model světelné křivky tranzitu.](#)



- Histogramy ukazují pravděpodobnost, že daný parametr bude mít určitou hodnotu.
- Střední plná čára ukazuje hodnotu mediánu každého parametru.
- Přerušované čáry vlevo a vpravo od ní označují dolní, resp. horní hranici nejistoty.
- Tyto nejistoty se nazývají 1-sigma nejistoty. To znamená, že statisticky si můžeme být jisti na 68 %, že skutečná hodnota leží v jejich rozmezí.
- Všimněte si, že to znamená, že je možné, že skutečná hodnota parametru leží mimo tyto meze; jedná se pouze o statistické nejistoty, nikoli o definitivní limity.

[↑ Histogram statistické pravděpodobnosti všech hodnot parametrů KELT-3b](#)

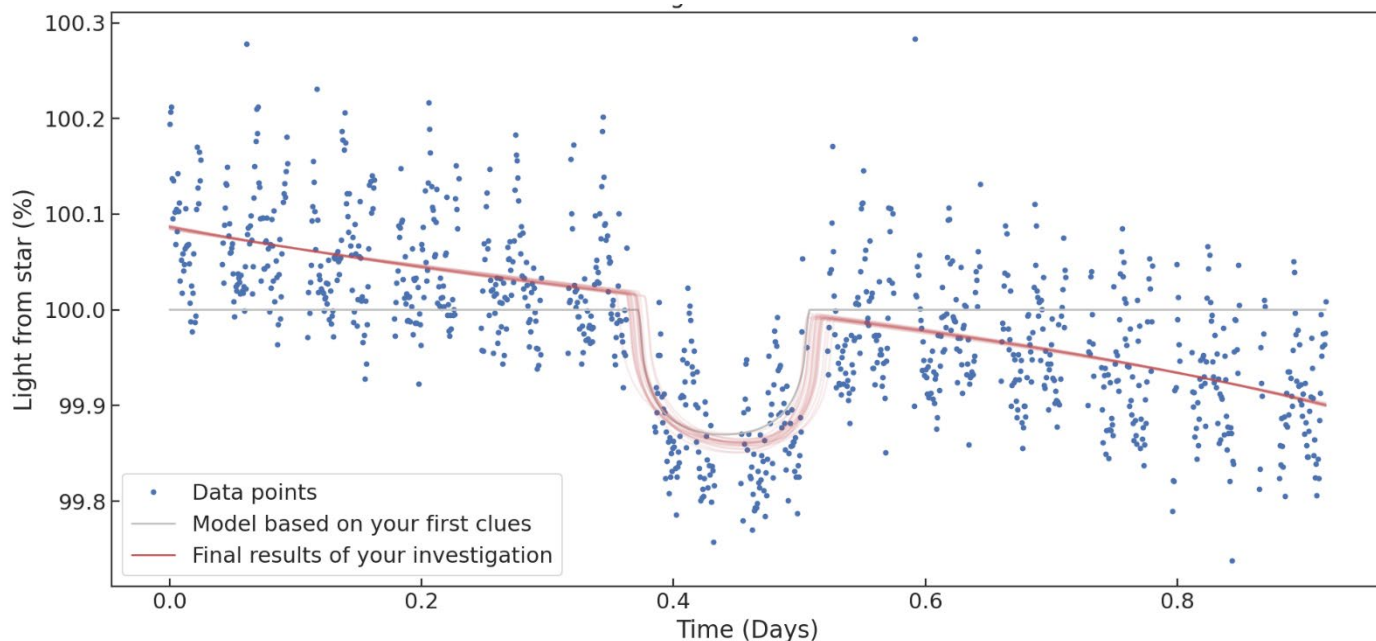
Název	Medián	Dolní chyba	Horní chyba	Případová poznámka
Poloměr planety (v jednotkách poloměrů Země)	16,82	0,16	0,19	Pozorování družice Cheops
Poloměr hvězdy (v jednotkách slunečního poloměru)	1,737	0,022	0,024	Pozorování družice Cheops
Čas středu tranzitu (v jednotkách dnů)	0,2765	0,0011	0,0011	Pozorování družice Cheops
Oběžná doba (v jednotkách dnů)	2,70339			Další poznatky z archivu

[↑ Tabulka s parametry nejvhodnějšího modelu.](#)

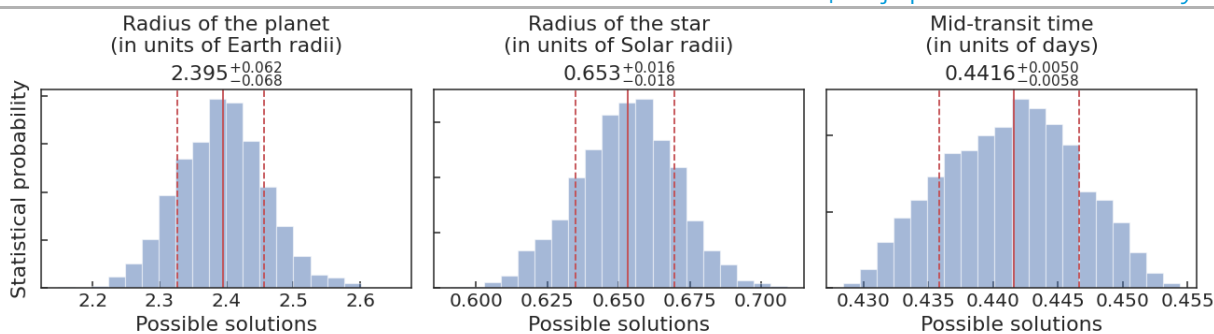
## → Příloha 2

### Světelná křivka tranzitu exoplanety TOI-560c

Výsledky fitování nejlepším modelem TOI-560c z *allesfitteru*



↑ Nejlepší model světelné křivky tranzitu.



- Histogramy ukazují pravděpodobnost, že každý parametr bude mít určitou hodnotu.
- Střední plná čára ukazuje hodnotu mediánu každého parametru.
- Přerušované čáry vlevo a vpravo od ní označují dolní, resp. horní hranici nejistoty.
- Tyto nejistoty se nazývají 1-sigma nejistoty. To znamená, že statisticky si můžeme být jisti na 68 %, že skutečná hodnota leží v jejich rozmezí.
- Všimněte si, že to znamená, že je možné, že skutečná hodnota parametru leží mimo tyto meze; jedná se pouze o statistické nejistoty, nikoli o definitivní limity.

↑ Histogram statistické pravděpodobnosti všech hodnot parametrů TOI-560c

Název	Medián	Dolní chyba	Horní chyba	Případová poznámka
Poloměr planety (v jednotkách poloměrů Země)	2,395	0,068	0,062	Pozorování družice Cheops
Poloměr hvězdy (v jednotkách slunečního poloměru)	0,653	0,018	0,016	Pozorování družice Cheops
Čas středu tranzitu (v jednotkách dnů)	0,4416	0,0058	0,0050	Pozorování družice Cheops
Oběžná doba (v jednotkách dnů)	18,8797			Další poznatky z archivu

↑ Tabulka s parametry nevhodnějšího modelu.