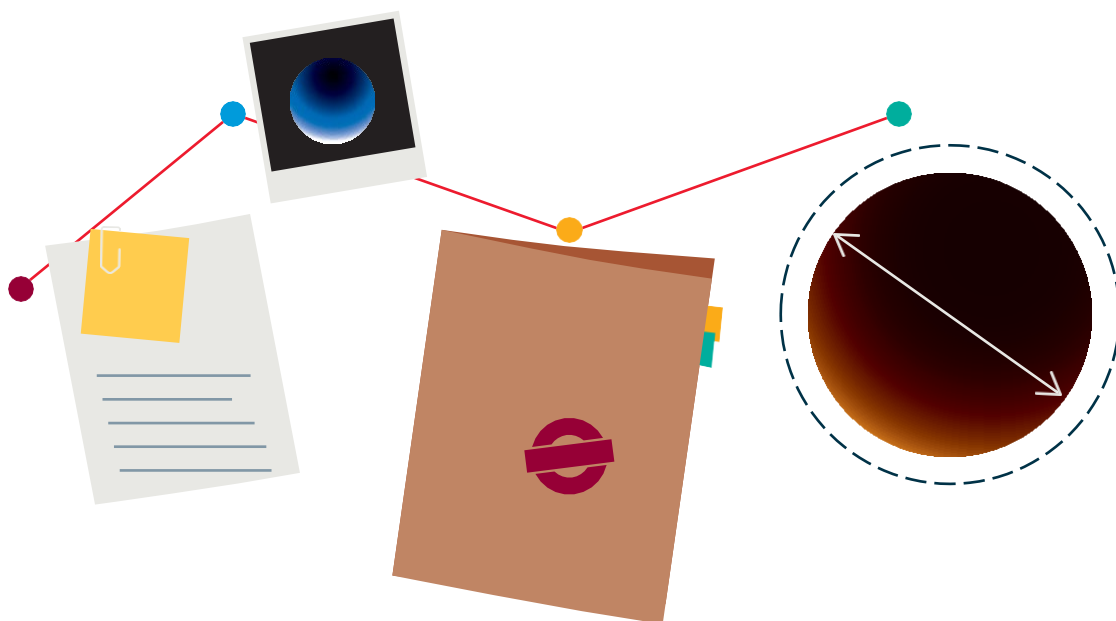


Διδάσκω με το διάστημα

→ ΧΑΚΑΡΕΤΕ ΕΝΑΝ ΕΞΩΠΛΑΝΗΤΗ

Γίνε ένας διαστημικός ντετέκτιβ





ΟΔΗΓΟΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟΥ

<i>Γρήγορα δεδομένα</i>	03
<i>Εισαγωγή</i>	04
<i>Δραστηριότητα</i>	05
<i>Πρόκληση 1: Ανάλυση των δεδομένων του KELT-3b</i>	07
<i>Πρόκληση 2: Ανάλυση δεδομένων TOI-560c</i>	13
<i>Σύνδεσμοι</i>	14
<i>Παραρτήματα</i>	15

Διδάσκω με το διάστημα - χακάρετε έναν εξωπλανήτη | P39
www.esa.int/education

Το Γραφείο Εκπαίδευσης της ESA καλωσορίζει σχόλια και παρατηρήσεις
teachers@esa.int

Μια παραγωγή της ESA Education σε συνεργασία με την ESA Science
Copyright 2023 © Ευρωπαϊκός Οργανισμός Διαστήματος

→ ΧΑΚΑΡΕΤΕ ΕΝΑΝ ΕΞΩΠΛΑΝΗΤΗ

Γίνε ένας διαστημικός ντετέκτιβ

Γρήγορα Δεδομένα

Θέμα: Φυσική, Μαθηματικά, Αστρονομία

Εύρος ηλικίας: 14 - 19 ετών

Τύπος: μαθητική δραστηριότητα ή/και hackathon

Πολυπλοκότητα: μέτρια

Χρόνος προετοιμασίας του εκπαιδευτικού: 1 ώρα

Απαιτούμενος χρόνος μαθήματος: 90 λεπτά ανά πρόκληση (3 ώρες συνολικά)

Κόστος: χαμηλό (0-10 ευρώ)

Τοποθεσία: αίθουσα διδασκαλίας

Περιλαμβάνει χρήση: υπολογιστή (εάν δεν είναι δυνατόν προτείνεται εναλλακτική λύση)

Λέξεις-κλειδιά: Φυσική, Μαθηματικά, Αστρονομία, Εξωπλανήτης, Διέλευση

Σύντομη περιγραφή

Σε αυτή τη δραστηριότητα, οι μαθητές θα χαρακτηρίσουν δύο εξωπλανήτες αναλύοντας δεδομένα που αποκτήθηκαν από τον δορυφόρο Cheops της ESA. Οι μαθητές θα εργαστούν ως πραγματικοί επιστήμονες και θα προσαρμόσουν ένα μοντέλο στα δεδομένα για να ανακτήσουν τις παραμέτρους που ταιριάζουν καλύτερα.

Η δραστηριότητα μπορεί να ολοκληρωθεί με τη χρήση καθοδηγούμενης μορφής ή με τη μορφή μάθησης μέσω πρότζεκτ, για παράδειγμα σε ένα hackathon. Ο οδηγός για τον εκπαιδευτικό παρουσιάζει και τις δύο επιλογές.

Οι δραστηριότητες συμπληρώνονται με επεξηγήσεις σε βίντεο που ετοιμάστηκαν από ειδικούς σε θέματα εξωπλανητών.

Μαθησιακοί στόχοι

- Εργαστείτε επιστημονικά με πραγματικά δορυφορικά δεδομένα.
- Εφαρμόστε τεχνικές μαθηματικής ανάλυσης δεδομένων με την προσαρμογή ενός μοντέλου σε πραγματικά δεδομένα.
- Μάθετε για τον Τρίτο Νόμο του Κέπλερ και την τροχιακή μηχανική.
- Κατανοήστε τι είναι η διέλευση ενός εξωπλανήτη.
- Ανάπτυξη δεξιοτήτων ομαδικής εργασίας υπό χρονικούς περιορισμούς.

Χρειάζεστε επίσης

Υποστηρικτικό υλικό βίντεο. Βλέπε ενότητα Σύνδεσμοι.

- Εισαγωγή στο Hack an Exoplanet - γίνετε ντετέκτιβ εξωπλανητών
- *Allesfitter* mini tutorial - βήμα προς βήμα οδηγός για το πώς να προσαρμόσετε το καλύτερο μοντέλο στα δεδομένα
- Πώς να προσδιορίσετε το μέγεθος ενός εξωπλανήτη
- Η περίοδος τροχιάς και η απόσταση ενός εξωπλανήτη, χρησιμοποιώντας τον Τρίτο Νόμο του Κέπλερ
- Θα μπορούσαν οι εξωπλανήτες να είναι κατοικήσιμοι;
- Από τι αποτελούνται οι εξωπλανήτες.

→ Εισαγωγή

Αυτή η εκπαιδευτική δραστηριότητα αναπτύχθηκε στο πλαίσιο του πρώτου ESA Education hackathon για μαθητές δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης: "Hack an Exoplanet". Οι προκλήσεις αυτές επιτρέπουν στους μαθητές να χρησιμοποιήσουν πραγματικά δορυφορικά δεδομένα για να ερευνήσουν εξωγήινους κόσμους και να γίνουν για μια μέρα ντετέκτιβ εξωπλανητών.

Τον Ιανουάριο του 2023, ο δορυφόρος Cheops (CHaracterising ExOPlanet Satellite) της ESA παρατήρησε δύο εξωπλανήτες, τον KELT-3b και τον TOI-560c, ειδικά για αυτή τη δραστηριότητα. Αναλύοντας τα δεδομένα του Cheops, οι μαθητές μπορούν να ακολουθήσουν τους επιστήμονες της ESA στην αναζήτηση απαντήσεων και να τους βοηθήσουν να κατανοήσουν αυτούς τους δύο μυστηριώδεις εξωγήινους κόσμους.



Εικόνα 1

↑ Καλλιτεχνική αποτύπωση του Cheops.

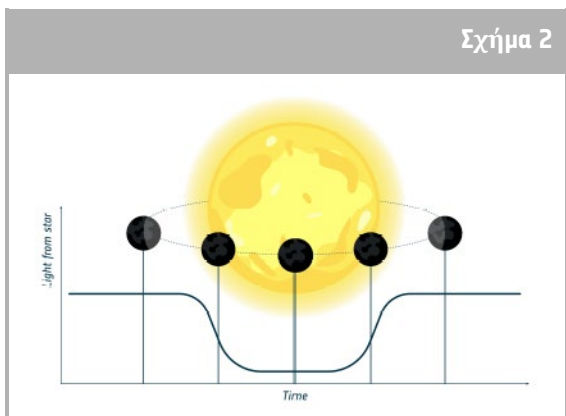
Οι προκλήσεις είναι πρακτικές (hands-on) δραστηριότητες στις οποίες οι μαθητές αναμένεται να αναλύσουν τα δεδομένα που παρέχονται από τον δορυφόρο Cheops της ESA. Οι μαθητές θα πρέπει να χαρακτηρίσουν τις κύριες ιδιότητες των εξωπλανητών, κάνοντας χρήση του υποστηρικτικού υλικού και της εκπαιδευτικής έκδοσης του εργαλείου προσαρμογής *allesfitter*, που έχει προετοιμαστεί ειδικά για αυτά τα σύνολα δεδομένων. Οι δραστηριότητες συνοδεύονται από γραπτές και βιντεοσκοπημένες επεξηγήσεις και παραδείγματα, που έχουν προετοιμαστεί από ειδικούς σε θέματα εξωπλανητών.

Οι δραστηριότητες μπορούν να παρουσιαστούν με τη χρήση καθοδηγούμενης μορφής ή με τη μορφή μάθησης μέσω πρότζεκτ, για παράδειγμα σε ένα hackathon. Ο οδηγός για τον εκπαιδευτικό παρουσιάζει και τις δύο επιλογές.

Τι είναι ένας εξωπλανήτης;

Οι εξωπλανήτες, ή εξωηλιακοί πλανήτες, είναι πλανήτες εκτός του δικού μας Ηλιακού Συστήματος που βρίσκονται σε τροχιά γύρω από ένα άστρο διαφορετικό από τον Ήλιο.

Σχήμα 2



↑ Αναπαράσταση της μεθόδου διέλευσης φωτομετρίας.

Πώς μελετάμε τους εξωπλανήτες;

Σήμερα υπάρχουν πάνω από 5000 επιβεβαιωμένοι εξωπλανήτες, σε περίπου 4000 αστρικά συστήματα, αλλά οι εξωπλανήτες είναι δύσκολο να ανιχνευθούν. Το σήμα που λαμβάνουμε από έναν εξωπλανήτη είναι πολύ μικρό σε σύγκριση με το πολύ μεγαλύτερο σήμα που προέρχεται από τα μεγαλύτερα, φωτεινότερα άστρα-ξενιστές τους, συνήθως πολύ λιγότερο από 1%.

Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι για την ανίχνευση και τον χαρακτηρισμό των εξωπλανητών, σε αυτή τη δραστηριότητα θα χρησιμοποιήσουμε τη **μέθοδο της διέλευσης φωτομετρίας**. Αυτή είναι η πιο συνηθισμένη μέθοδος για την ανεύρεση εξωπλανητών.

Φωτομετρία- η λέξη φωτομετρία προέρχεται από τα ελληνικά: photo "φως" και metry "μέτρο". Είναι μια τεχνική που χρησιμοποιείται στην αστρονομία για τη μέτρηση του φωτός από τα αστέρια με ποσοτικό τρόπο.

Διέλευση - ο εξωπλανήτης ανιχνεύεται με τη μέτρηση της εξασθένησης του φωτός που προέρχεται από το άστρο.

→ Δραστηριότητα

Η δραστηριότητα *Hack an Exoplanet* αποτελείται από δύο προκλήσεις. Η πρώτη πρόκληση είναι η ανάλυση της καμπύλης διέλευσης φωτός του γιγάντιου εξωπλανήτη KELT-3b. Ακολουθώντας τις οδηγίες στο υποστηρικτικό υλικό ή/και ακολουθώντας τις πληροφορίες στα εκπαιδευτικά βίντεο, οι μαθητές θα είναι σε θέση να εξάγουν τις ιδιότητες του KELT-3b.

Η δεύτερη πρόκληση είναι η ανάλυση της καμπύλης διέλευσης φωτός του εξωπλανήτη TOI-560c του μίνι Ποσειδώνα. Αφού ολοκληρώσουν τη διαδικασία για τον KELT-3b, οι μαθητές θα πρέπει να είναι σε θέση να ολοκληρώσουν αυτόνομα την ανάλυση των δεδομένων του TOI-560c ακολουθώντας μια παρόμοια διαδικασία.

Εξοπλισμός

- Υπολογιστής με πρόσβαση στο διαδίκτυο για πρόσβαση στο εργαλείο λογισμικού περιήγησης *allesfitter*. Εάν αυτό το βήμα δεν είναι δυνατό, οι ομάδες μπορούν να χρησιμοποιήσουν τις παραμέτρους καλύτερης προσαρμογής που παρέχονται στο **παράρτημα 1** – Καμπύλη διέλευσης φωτός του εξωπλανήτη KELT-3b και στο **παράρτημα 2** - Καμπύλη διέλευσης φωτός του εξωπλανήτη TOI-560c.
- Φύλλο εργασίας μαθητών εκτυπωμένο για κάθε ομάδα, που περιλαμβάνει:
 - Χάρτη διερεύνησης εξωπλανητών
 - Φακέλους υποθέσεων KELT-3b και TOI-560c
 - Πληροφορίες για τους πλανήτες του ηλιακού συστήματος
 - Βήμα προς βήμα οδηγό *allesfitter*
- Αριθμομηχανή (προαιρετικά)
- Αυτή η δραστηριότητα περιλαμβάνει επίσης έξι υποστηρικτικά βίντεο για την καθοδήγηση των ομάδων (βλ. ενότητα Σύνδεσμοι):
 - Εισαγωγή στο Hack an Exoplanet - γίνετε ντετέκτιβ εξωπλανητών
 - Allesfitter* mini tutorial - οδηγός βήμα προς βήμα για το πώς να προσαρμόσετε το καλύτερο μοντέλο στα δεδομένα
 - Πώς να προσδιορίσετε το μέγεθος ενός εξωπλανήτη
 - Η περίοδος τροχιάς και η απόσταση ενός εξωπλανήτη, χρησιμοποιώντας τον Τρίτο Νόμο του Κέπλερ
 - Θα μπορούσαν οι εξωπλανήτες να είναι κατοικήσιμοι;
 - Από τι αποτελούνται οι εξωπλανήτες;

Οι πληροφορίες που παρέχονται στα βίντεο παρουσιάζονται επίσης σε αυτόν τον οδηγό για τον εκπαιδευτικό.

Άσκηση:

Τα σύνολα δεδομένων για τους δύο στόχους ελήφθησαν από τον δορυφόρο *Cheops* της ESA στις 22 και 23 Ιανουαρίου 2023, ειδικά για αυτή την εκπαιδευτική δραστηριότητα. Τα δεδομένα επεξεργάστηκαν από ειδικούς της ESA και είναι έτοιμα να χρησιμοποιηθούν από τους μαθητές.

Η δραστηριότητα αυτή μπορεί να παρουσιαστεί με τη χρήση καθοδηγούμενης μορφής ή με τη μορφή μάθησης μέσω πρότζεκτ, για παράδειγμα σε έναν hackathon. Ο οδηγός για τον εκπαιδευτικό παρουσιάζει και τις δύο επιλογές.

Συνιστούμε την ολοκλήρωση αυτής της δραστηριότητας σε ομάδες των 3 έως 4 μαθητών. Αυτό θα επιτρέψει στους μαθητές να συζητήσουν την καλύτερη προσέγγιση για την ολοκλήρωση κάθε πρόκλησης και να συζητήσουν τα αποτελέσματα.

Σημείωση: εάν η ανάλυση των δεδομένων είναι πολύ περίπλοκη, οι ομάδες μπορούν επίσης να συμπληρώσουν τον φάκελο της υπόθεσης αναζητώντας τις πληροφορίες στο διαδίκτυο.

Καθοδηγούμενη μορφή

- Ξεκινήστε παρουσιάζοντας στην τάξη το θέμα των εξωπλανητών. Προτείνουμε τη χρήση αυτού του εισαγωγικού βίντεο: *Εισαγωγή στο Hack an Exoplanet*.
- Χωρίστε την τάξη σε ομάδες των 3-4 μαθητών.
- Παρουσιάστε την πρόκληση στους μαθητές. Κάθε ομάδα θα πρέπει να χαρακτηρίσει τις κύριες ιδιότητες του εξωπλανήτη KELT-3b συμπληρώνοντας τον φάκελο περίπτωσης που είναι διαθέσιμος στα φύλλα εργασίας των μαθητών τους. Οι ομάδες θα πρέπει να προσδιορίσουν το μέγεθος, την τροχιακή περίοδο, την τροχιακή απόσταση, τη θερμοκρασία και τη σύνθεση του KELT-3b και να συγκρίνουν τις ιδιότητές του με τις ιδιότητες των πλανητών του ηλιακού μας συστήματος. Ο χάρτης διερεύνησης εξωπλανητών παρέχει περισσότερες πληροφορίες για κάθε ιδιότητα που αναφέρεται.
- Μοιράστε το υποστηρικτικό υλικό στις ομάδες και δώστε τους λίγα λεπτά για να το αναλύσουν.
- Ορίστε ένα χρόνο για να προσδιορίσουν οι ομάδες κάθε ιδιότητα του εξωπλανήτη. **Πριν** οι ομάδες αρχίσουν την εργασία τους για τον προσδιορισμό κάθε ιδιότητας, παρουσιάστε τους το αντίστοιχο υποστηρικτικό βίντεο. Τα υποστηρικτικά βίντεο περιλαμβάνουν πληροφορίες σχετικά με τον τρόπο προσδιορισμού κάθε ιδιότητας και τη λύση για το KELT-3b.
- Βεβαιωθείτε ότι οι ομάδες κατανοούν τον τρόπο προσδιορισμού κάθε παραμέτρου πριν προχωρήσουν στην επόμενη.
- Αφού καθορίσουν όλες τις παραμέτρους, οι ομάδες θα πρέπει να παρουσιάσουν και να συζητήσουν τα συμπεράσματά τους με την τάξη.
- Ως επόμενο βήμα μπορείτε να προτείνετε να ολοκληρώσετε την Πρόκληση 2 και να προσδιορίσετε τα χαρακτηριστικά του εξωπλανήτη TOI-560c.

Μορφή βασισμένη στη μέθοδο πρότζετ-hackathon

- Χωρίστε την τάξη σε ομάδες των 3-4 μαθητών.
- Ξεκινήστε με την εισαγωγή της έννοιας του hackathon στους μαθητές χρησιμοποιώντας αυτό το εισαγωγικό βίντεο: *Εισαγωγή στο Hack an Exoplanet*
- Μπορείτε να αφήσετε τις ομάδες να εκτελέσουν τις προκλήσεις αυτόνομα (π.χ. ως εργασία για το σπίτι ή ως έργο στην τάξη) ή να το κάνουν σε μια κοινή τάξη ή σχολική εκδήλωση.
- Εάν χρειάζεται, ενισχύστε την έννοια της πρόκλησης στους μαθητές. Κάθε ομάδα θα πρέπει να χαρακτηρίσει τις κύριες ιδιότητες του εξωπλανήτη KELT-3b συμπληρώνοντας τον φάκελο περίπτωσης που υπάρχει στα φύλλα εργασίας των μαθητών τους. Οι ομάδες θα πρέπει να προσδιορίσουν το μέγεθος, την τροχιακή περίοδο, την τροχιακή απόσταση, τη θερμοκρασία και τη σύνθεση του KELT-3b και να συγκρίνουν τις ιδιότητές του με τις ιδιότητες των πλανητών του ηλιακού μας συστήματος. Ο χάρτης διερεύνησης εξωπλανητών παρέχει περισσότερες πληροφορίες για κάθε ιδιότητα που αναφέρεται.
- Διανείμετε στις ομάδες το υποστηρικτικό υλικό και δώστε τους ένα χρονικό περιθώριο για να ολοκληρώσουν την πλήρη πρόκληση, προτείνουμε περίπου 90 λεπτά για την ανάλυση του KELT-3b.
- Για να βεβαιωθείτε ότι οι ομάδες έχουν σταθερή πρόοδο, μπορείτε να ορίσετε ένα χρονικό πλαίσιο για τον προσδιορισμό κάθε χαρακτηριστικού ή να δείξετε το σχετικό υποστηρικτικό βίντεο και να δώσετε συμβουλές σε συγκεκριμένες στιγμές. Τα υποστηρικτικά βίντεο περιλαμβάνουν πληροφορίες σχετικά με τον τρόπο προσδιορισμού κάθε ιδιότητας και τη λύση για τον KELT-3b.
- Αφού καθορίσουν όλες τις παραμέτρους, οι ομάδες θα πρέπει να παρουσιάσουν και να συζητήσουν τα συμπεράσματά τους με όλη την ομάδα.
- Ως επόμενο βήμα μπορείτε να προτείνετε να ολοκληρώσετε την Πρόκληση 2 και να προσδιορίσετε τα χαρακτηριστικά του εξωπλανήτη TOI-560c.

→ Πρόκληση 1 - Ανάλυση των δεδομένων του KELT-3b

Πρόσβαση και προσαρμογή των δορυφορικών δεδομένων

Μπορείτε να αποκτήσετε πρόσβαση στα δεδομένα ακολουθώντας αυτόν τον σύνδεσμο: hackanexoplanet.esa.int/allesfitter

Αυτή η έκδοση του *allesfitter* είναι μια διαδικτυακή εφαρμογή που παρέχει εύκολη και δωρεάν πρόσβαση στα δεδομένα του δορυφόρου Cheops, επιτρέποντας τη μοντελοποίηση πολλαπλών εξωπλανητών από μετρήσεις διέλευσης. Η πρόσβαση σε αυτήν μπορεί να γίνει από ένα πρόγραμμα περιήγησης για σταθερούς υπολογιστές.

Για να ανακτήσουν τις παραμέτρους καλύτερης προσαρμογής των δεδομένων, οι μαθητές θα πρέπει να ακολουθήσουν τον βήμα προς βήμα οδηγό του *allesfitter* στο φύλλο εργασίας του μαθητή ή να παρακολουθήσουν το βίντεο με το σεμινάριο. Αυτός ο οδηγός θα παρέχει οδηγίες για τον τρόπο χρήσης της εκπαιδευτικής έκδοσης του εργαλείου *allesfitter* που βασίζεται σε πρόγραμμα περιήγησης. Αυτή η έκδοση του εργαλείου έχει ήδη ανεβάσει τα σύνολα δεδομένων και επιτρέπει μόνο τη διερεύνηση συγκεκριμένων παραμέτρων: ακτίνα πλανήτη, ακτίνα αστέρα και χρόνος μέσης μετάβασης.

Σημείωση: Εάν αυτό το βήμα δεν είναι δυνατό, οι ομάδες μπορούν να χρησιμοποιήσουν τις παραμέτρους καλύτερης προσαρμογής που παρέχονται στο **παράρτημα 1** - Καμπύλη διέλευσης φωτός του εξωπλανήτη KELT-3b και στο **παράρτημα 2** - Καμπύλη διέλευσης φωτός του εξωπλανήτη TOI-560c.

Πώς προσδιορίζεται το μέγεθος ενός εξωπλανήτη;

Όταν χρησιμοποιείται η μέθοδος της διέλευσης φωτομετρίας, το τηλεσκόπιο μετρά την ποσότητα του φωτός του αστέρα κατά τη διάρκεια μιας χρονικής περιόδου. Οι επιστήμονες προσαρμόζουν μοντέλα στα δεδομένα για να προσπαθήσουν να ανιχνεύσουν μεταβολές στο φως του αστέρα που θα μπορούσαν να προκληθούν από έναν εξωπλανήτη.

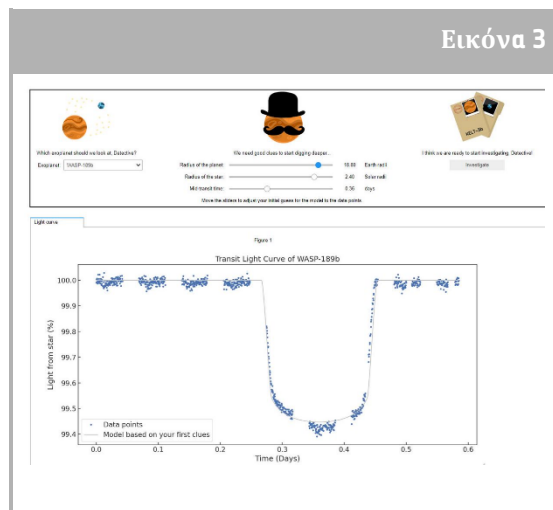
Όταν χρησιμοποιούμε τη μέθοδο της διέλευσης φωτομετρίας, δεν ανιχνεύουμε άμεσα τον εξωπλανήτη (εκτός από πολύ συγκεκριμένες περιπτώσεις). Αντ' αυτού μετράμε την ποσότητα του φωτός του αστέρα που εμποδίζει ο εξωπλανήτη όταν περνάει μεταξύ του αστέρα και του τηλεσκοπίου.

Η ποσότητα του φωτός του αστέρα που εμποδίζει ο εξωπλανήτη αναφέρεται συνήθως ως βάθος της διέλευσης. Και η τιμή αυτή είναι ανάλογη με την προβαλλόμενη επιφάνεια του εξωπλανήτη.

Είναι δυνατόν να προσδιοριστεί η ακτίνα του εξωπλανήτη (R_p) εάν γνωρίζετε την ακτίνα του αστέρα (R_s) και το βάθος διέλευσης:

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

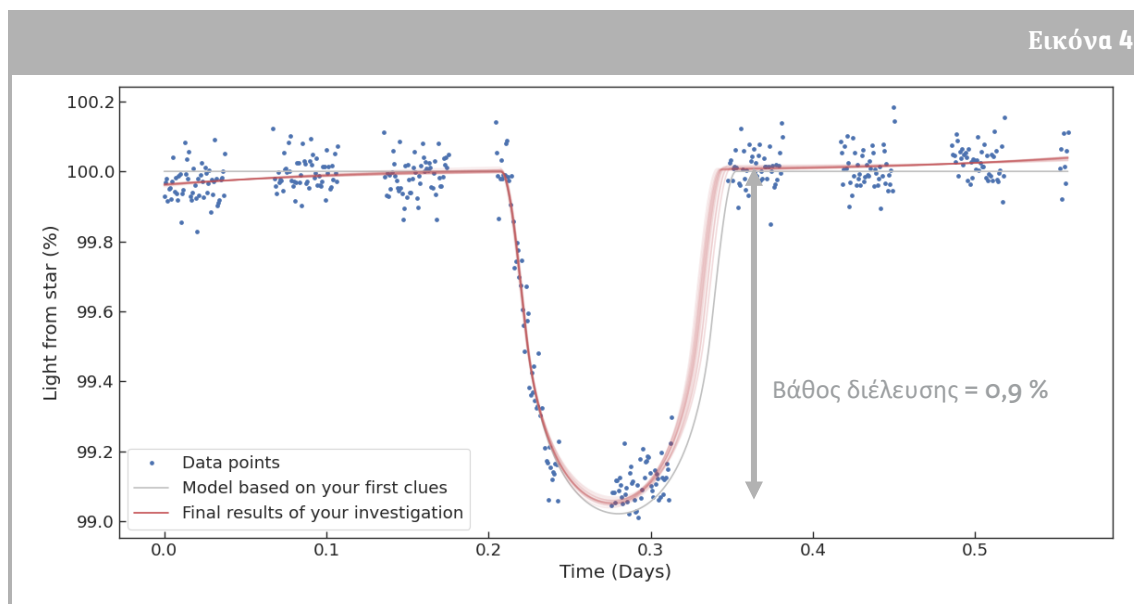
Εικόνα 3



↑ Περιβάλλον *Allesfitter*.

Παράδειγμα KELT-3b:

Ας αναλύσουμε τώρα τα δεδομένα του KELT-3b ως παράδειγμα.



↑ Δεδομένα KELT-3b από τον Cheops με το μοντέλο καλύτερης προσαρμογής της καμπύλης διέλευσης φωτός από το *allesfitter*.

Η ακτίνα του αστέρα KELT-3 είναι γνωστή και παρέχεται στον φάκελο της υπόθεσης: $R_s = 1,70 R_{Sun}$

Αναλύοντας τα δεδομένα του Cheops μπορούμε να μετρήσουμε το βάθος διέλευσης σε περίπου 0,9 % (Σχήμα 4).

Χρησιμοποιώντας την παραπάνω εξίσωση: $R_p = \sqrt{R_s^2 \times \frac{\text{Βάθος διέλευσης}}{100}} = \sqrt{1,70^2 \times \frac{0,9}{100}} = 0,161 R_{Sun}$

Μετατροπή σε μονάδες γήινης ακτίνας: $R_p = 0,161 \times 109 = 17,5 R_{Earth}$

Όταν οι μαθητές τρέξουν το λογισμικό *allesfitter* θα ανακτήσουν μια τιμή καλύτερης προσαρμογής για την ακτίνα. Αυτή η τιμή μπορεί να διαφέρει σημαντικά από αυτή την απλή εκτίμηση. Στη διεπαφή οι μαθητές μπορούν να μεταβάλλουν μόνο τρεις παραμέτρους, αλλά το λογισμικό *allesfitter* προσαρμόζει τα δεδομένα με ένα σύνθετο μοντέλο με πολλές περισσότερες κρυφές παραμέτρους που μπορεί να παρέχει μια πιο ολοκληρωμένη προσαρμογή στα δεδομένα.

Πώς να προσδιορίσετε την περίοδο και την απόσταση της τροχιάς, χρησιμοποιώντας τον Τρίτο Νόμο του Κέπλερ

Η περίοδος τροχιάς, T , ενός πλανήτη είναι ο χρόνος που χρειάζεται ο πλανήτης για να ολοκληρώσει μια πλήρη τροχιά γύρω από το άστρο του. Αυτή μπορεί να μετρηθεί με την εύρεση του μέσου χρόνου διέλευσης (το κέντρο της διέλευσης) δύο διαδοχικών διελεύσεων του ίδιου εξωπλανήτη και τη μέτρηση του χρονικού διαστήματος μεταξύ τους.

Για αυτές τις παρατηρήσεις έχουμε μόνο μία διέλευση, αλλά μπορούμε να προεκτείνουμε την περίοδο της τροχιάς συγκρίνοντας τα τρέχοντα δεδομένα παρατήρησης με προηγούμενα δεδομένα παρατήρησης που βρίσκονται στο αρχείο δεδομένων.

Αφού γνωρίζουμε την περίοδο τροχιάς του εξωπλανήτη, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τον τρίτο νόμο του Κέπλερ για να εξάγουμε τη μέση τροχιακή απόσταση, d , μεταξύ του πλανήτη και του άστρου.

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

Όπου G είναι η βαρυτική σταθερά και M_s είναι η μάζα του αστέρα.

Παράδειγμα KELT-3b:

Ας αναλύσουμε τώρα τα δεδομένα του KELT-3b ως παράδειγμα. Σε αυτή την άσκηση οι μαθητές θα πρέπει να δώσουν ιδιαίτερη προσοχή στις μονάδες.

- Η βαρυτική σταθερά σε μονάδες SI είναι $G = 6,67430 \times 10^{-11} m^3 kg^{-1} s^{-2}$
- Η μάζα του αστέρα KELT-3 είναι γνωστή: $M_s = 1,96 M_{Sun}$
- Πρέπει να μετατρέψουμε τη μάζα του σε μονάδες SI: $M_s = 3,90 \times 10^{30} kg$
- Από την προσαρμογή του μοντέλου μάθαμε ότι η τροχιακή περίοδος, $T = 2,70339$ ημέρες. Μετατρέποντας την περίοδο τροχιάς σε δευτερόλεπτα: $T = 233573 s$

Τώρα έχουμε όλες τις πληροφορίες που απαιτούνται για να προσδιορίσουμε την απόσταση μεταξύ του άστρου και του εξωπλανήτη.

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

Ας συγκρίνουμε τώρα την περίοδο και τη μέση τροχιακή απόσταση του KELT-3b με τους πλανήτες του ηλιακού μας συστήματος:

Πίνακας 1		
Πλανήτης	Περίοδος (ημέρες)	Μέση τροχιακή απόσταση (au)
KELT-3b	2.70339	0.048
Ερμής	87.97	0.4
Γη	365.25	1
Ποσειδώνας	60266.25	30

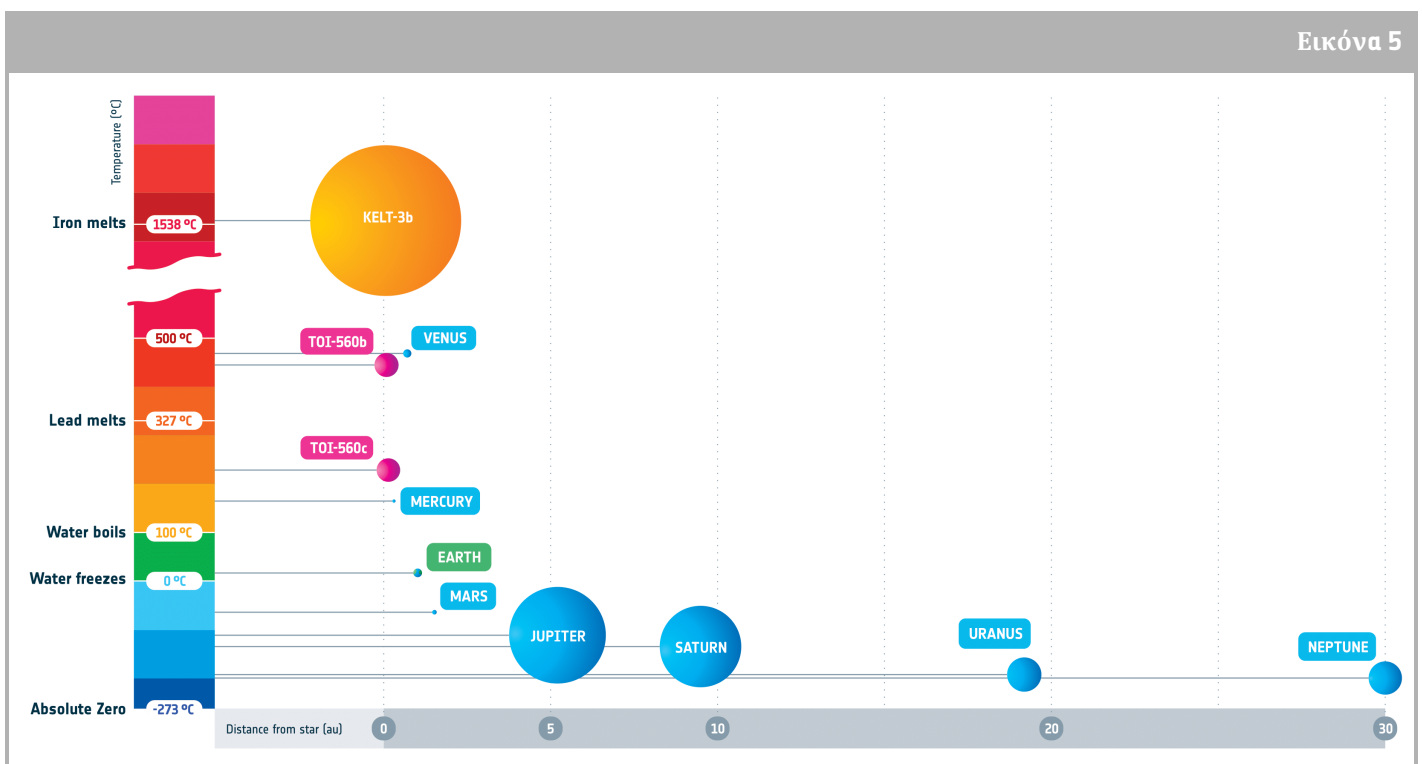
↑ Σύγκριση της περιόδου και της μέσης τροχιακής απόστασης για το KELT-3b και τους πλανήτες του ηλιακού συστήματος

Ο KELT-3b έχει πολύ μικρότερη τροχιακή περίοδο από τον Ερμή, τον πλησιέστερο στον Ήλιο πλανήτη του ηλιακού μας συστήματος, λόγω της μικρής απόστασης του εξωπλανήτη από το άστρο-ξενιστή του. Η μέθοδος της διέλευσης φωτομετρίας εντοπίζει πλανήτες σε τέτοιου είδους τροχιές πιο εύκολα από ό,τι εντοπίζει πλανήτες όπως αυτοί του ηλιακού μας συστήματος.

Πώς γνωρίζουμε αν ένας εξωπλανήτης μπορεί να είναι κατοικήσιμος;

Μέχρι σήμερα, η Γη είναι το μόνο μέρος στο σύμπαν που είναι γνωστό ότι φιλοξενεί ζωή. Είναι επίσης άγνωστο αν η ζωή θα μπορούσε να αναπτυχθεί και να υπάρξει σε συνθήκες πολύ ανόμοιες με αυτές που υπάρχουν στον πλανήτη μας. Όταν εξετάζουν εξωπλανήτες και καθορίζουν τις πιθανές συνθήκες κατοικησιμότητας, οι επιστήμονες προσπαθούν να εντοπίσουν συνθήκες παρόμοιες με αυτές της Γης, όπως η θερμοκρασία.

Ένας σημαντικός παράγοντας που πρέπει να ληφθεί υπόψη για την κατοικησιμότητα είναι η θερμοκρασία. Η θερμοκρασία ενός πλανήτη καθορίζεται κυρίως από την απόστασή του από το άστρο που τον φιλοξενεί. Όταν ένας πλανήτης περιστρέφεται γύρω από ένα άστρο σε μια απόσταση όπου μπορεί να υπάρχει **υγρό νερό στην** επιφάνειά του, ο πλανήτης βρίσκεται στην **κατοικήσιμη ζώνη του** άστρου-ξενιστή του.



↑ Διάγραμμα που παρουσιάζει το μέγεθος και τη θερμοκρασία των πλανητών σε σχέση με την απόσταση από το άστρο-ξενιστή τους. Το μέγεθος και η απόσταση των πλανητών απεικονίζονται με δύο διαφορετικές κλίμακες.

Αφροδίτη: η εξαίρεση στο ηλιακό σύστημα

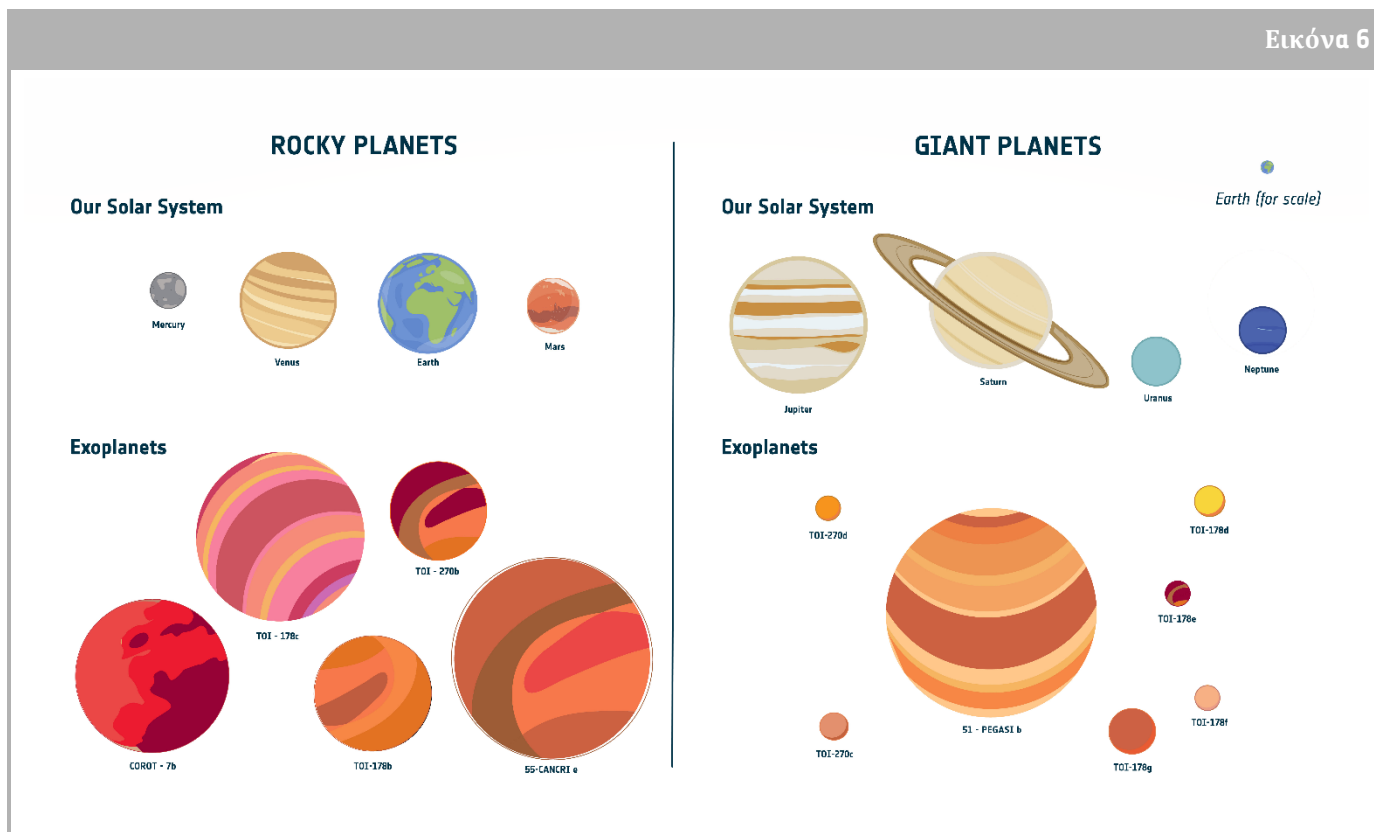
Η θερμοκρασία που μετράται στην επιφάνεια ενός πλανήτη επηρεάζεται επίσης από την ατμόσφαιρά του. Στο ηλιακό σύστημα, η Αφροδίτη είναι ένα ακραίο παράδειγμα. Η πυκνή ατμόσφαιρά της λειτουργεί ως θερμοκήπιο και θερμαίνει την επιφάνεια πάνω από το σημείο τήξης του μολύβδου, καθιστώντας την θερμότερο πλανήτη από τον Ερμή, παρά το γεγονός ότι απέχει περισσότερο από τον Ήλιο.

Παράδειγμα KELT-3b:

Ας συζητήσουμε τώρα για τον KELT-3b ως παράδειγμα. Ο KELT-3b είναι απίθανο να φιλοξενεί ζωή επειδή βρίσκεται πολύ κοντά στο άστρο που τον φιλοξενεί, με αποτέλεσμα η θερμοκρασία της επιφάνειάς του να είναι πολύ υψηλή, πάνω από το σημείο τήξης του σιδήρου. Τα περισσότερα αμινοξέα, τα δομικά στοιχεία της ζωής, δεν θα επιβίωναν σε τέτοιες ακραίες θερμοκρασίες. Ο πλανήτης βομβαρδίζεται επίσης από υψηλά επίπεδα ακτινοβολίας εξαιτίας της πολύ κοντινής απόστασής του από το άστρο-ξενιστή του.

Από τι αποτελούνται οι εξωπλανήτες;

Στο ηλιακό μας σύστημα, οι πλανήτες χωρίζονται συνήθως σε δύο κατηγορίες: τους βραχώδεις και τους αέριους. Ωστόσο, οι εξωπλανήτες μπορεί να είναι πολύ διαφορετικοί από τους γειτονικούς πλανήτες που έχουμε συνηθίσει.



↑ Παραδείγματα καλλιτεχνικών αποτυπώσεων πραγματικών εξωπλανητών που έχουν ήδη ανακαλυφθεί σε τροχιά γύρω από κοντινά άστρα.

Υπολογίζοντας τη μέση **πυκνότητα** ενός εξωπλανήτη, ρ είναι δυνατόν να έχουμε μια ιδέα για τη σύνθεση του εξωπλανήτη.

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

Όπου M είναι η μάζα του εξωπλανήτη και V είναι ο όγκος του εξωπλανήτη.

Η μάζα και ο όγκος του εξωπλανήτη προσδιορίζονται συνήθως με ένα μεγάλο σφάλμα που συνδέεται με τις τιμές. Τα σφάλματα αυτά μεταδίδονται στη συνέχεια στον υπολογισμό της πυκνότητας του εξωπλανήτη, δημιουργώντας μια αβεβαιότητα στην τιμή της πυκνότητας της τάξης του 10% έως 30%.

Μια διαφορετική τεχνική που χρησιμοποιείται για τη μελέτη των εξωπλανητών ονομάζεται φασματοσκοπία. Με την τεχνική αυτή το φως που λαμβάνεται από το αστέρι ή τον εξωπλανήτη χωρίζεται σε διαφορετικά μήκη κύματος, επιτρέποντας τον προσδιορισμό της **ατμοσφαιρικής σύνθεσης** ή της κάλυψης των νεφών του εξωπλανήτη.

Παράδειγμα KELT-3b:

Ας αναλύσουμε τώρα τα δεδομένα του KELT-3b ως παράδειγμα. Η μάζα του KELT-3b είναι $617 M_{\text{Earth}}$. Η τιμή αυτή δεν είναι δυνατόν να προσδιοριστεί από τη φωτομετρία διέλευσης. Προσδιορίστηκε από προηγούμενες παρατηρήσεις χρησιμοποιώντας μια διαφορετική τεχνική που ονομάζεται ακτινική ταχύτητα.

Στην πρώτη άσκηση προσδιορίσαμε ήδη την ακτίνα του KELT-3b. Γνωρίζοντας την ακτίνα, μπορούμε να υπολογίσουμε τον όγκο του εξωπλανήτη, υποθέτοντας ότι είναι μια τέλεια σφαίρα: $V = \frac{4}{3}\pi R^3$.

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

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

* Αυτή η τιμή της ακτίνας εκτιμήθηκε από τον υπολογισμό του βάθους διέλευσης, οι μαθητές μπορούν επίσης να χρησιμοποιήσουν την τιμή του μοντέλου *allesfitter* που ταιριάζει καλύτερα.

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

Αυτή η τιμή είναι πολύ μικρότερη από τη μέση πυκνότητα του Δία και πιο κοντά στην πυκνότητα του WASP-189b (ενός γνωστού θερμού εξωπλανήτη του Δία). Η μικρή απόσταση από το άστρο-ξενιστή του και η υψηλή θερμοκρασία του κάνουν τον εξωπλανήτη "φουσκωτό".

Περίληψη KELT-3b

Ο KELT-3b είναι ένας θερμός Δίας σε τροχιά γύρω από ένα άστρο σαν τον Ήλιο, το KELT-3, σε απόσταση περίπου 690 ετών φωτός από τη Γη.

Ο KELT-3b βρίσκεται σε τροχιά πολύ κοντά στο άστρο που τον φιλοξενεί, πάνω από 10 φορές πιο κοντά από ό,τι η Γη σε τροχιά γύρω από τον Ήλιο. Ο εξωπλανήτη χρειάζεται μόνο 2,7 ημέρες για να ολοκληρώσει μια πλήρη τροχιά γύρω από το KELT-3.

Λόγω της εγγύτητάς του στο άστρο-ξενιστή του, η μέση θερμοκρασία του εξωπλανήτη είναι πολύ υψηλή, πάνω από τη θερμοκρασία τήξης του σιδήρου, καθιστώντας τον απολύτως κατοικήσιμο.

Ο KELT-3b αποτελείται κυρίως από υδρογόνο και ήλιο, παρόμοια με τον Δία. Λόγω της υψηλής θερμοκρασίας του εξωπλανήτη και της εγγύτητας με το άστρο, η ατμόσφαιρά του είναι πολύ εκτεταμένη (φουσκωμένη) και η μέση πυκνότητά του είναι πολύ χαμηλή.

Πίνακας 2	
Εξωπλανήτης	KELT-3b
Τύπος πλανήτη	Καυτός Δίας
Ακτίνα (R_{Earth})	16,81 (από <i>allesfitter</i>)
	17,5 (από το βάθος διέλευσης)
Μάζα (M_{Earth})	617 ± 105
Περίοδος τροχιάς (ημέρες)	2,70339
Μέση τροχιακή απόσταση (au)	~0,048
Πυκνότητα (g/cm^3)	~0,63
Μέση θερμοκρασία ($^{\circ}\text{C}$)	~1543

↑ Περίληψη της εκτίμησης των ιδιοτήτων του KELT-3b

Υποβάλετε το έργο σας

Οι ομάδες μπορούν να υποβάλουν το έργο Hack an Exoplanet της ομάδας τους στην πλατφόρμα Hack an Exoplanet για να λάβουν πιστοποιητικό συμμετοχής. Για να υποβάλετε το έργο σας επισκεφθείτε την ιστοσελίδα hackanexoplanet.esa.int/submit-your-project.

→ Πρόκληση 2 - Ανάλυση δεδομένων TOI-560c

Μετά την ολοκλήρωση της ανάλυσης του KELT-3b οι ομάδες θα πρέπει να είναι σε θέση να ακολουθήσουν την ίδια διαδικασία ανάλυσης για τα δεδομένα του TOI-560c.

Όλες οι απαραίτητες πληροφορίες είναι διαθέσιμες στον φάκελο της υπόθεσης στο φύλλο εργασίας του μαθητή και στη διεύθυνση hackanexoplanet.esa.int/challenges.

Οι ομάδες μπορούν να υποβάλουν το έργο τους Hack an Exoplanet στην πλατφόρμα Hack an Exoplanet για να λάβουν πιστοποιητικό συμμετοχής. Για να υποβάλετε το έργο της ομάδας σας επισκεφθείτε την ιστοσελίδα hackanexoplanet.esa.int/submit-your-project.

Βραβείο καλύτερου έργου:

Για να έχουν την ευκαιρία να κερδίσουν το Βραβείο Καλύτερου Έργου, οι ομάδες θα πρέπει να υποβάλουν το ερευνητικό τους περιοδικό σχετικά με τον TOI-560c.

Η υποβολή της ομάδας σας θα πρέπει να περιλαμβάνει την ανάλυσή σας των δεδομένων του Cheops για τον TOI-560c και θα πρέπει να ακολουθεί τη μορφή επιστημονικής εργασίας, η οποία θα περιλαμβάνει περίληψη, ανάλυση, αποτελέσματα και συμπεράσματα.

Οι νικήτριες ομάδες θα λάβουν καλούδια της ESA, καθώς και την ευκαιρία να συμμετάσχουν σε διαδικτυακό σεμινάριο με τον Νομπελίστα Φυσικής Didier Queloz, στις 17 Ιουλίου 2023. Η προθεσμία υποβολής προτάσεων λήγει στις 14 Ιουνίου 2023.

Για να υποβάλετε το έργο σας επισκεφθείτε την ιστοσελίδα hackanexoplanet.esa.int/submit-your-project.

→ ΣΥΝΔΕΣΜΟΙ

Υποστηρικτικοί πόροι

Χακάρετε έναν εξωπλανήτη:

hackanexoplanet.esa.int

Hack an exoplanet οδηγός εκπαιδευτικού για τη δραστηριότητα

hackanexoplanet.esa.int/el/educators-guide

AllesFitter εκπαιδευτική έκδοση του λογισμικού:

hackanexoplanet.esa.int/allesfitter

Εισαγωγή στο Hack an Exoplanet - γίνετε ντετέκτιβ εξωπλανητών

hackanexoplanet.esa.int/el/challenges

Allesfitter mini tutorial - βήμα προς βήμα οδηγός για το πώς να προσαρμόσετε το καλύτερο μοντέλο στα δεδομένα

hackanexoplanet.esa.int/el/allesfitter-guide

Πώς να προσδιορίσετε το μέγεθος ενός εξωπλανήτη

hackanexoplanet.esa.int/el/challenges-size

Η περίοδος τροχιάς και η απόσταση ενός εξωπλανήτη, χρησιμοποιώντας τον τρίτο νόμο του Κέπλερ

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

Θα μπορούσαν οι εξωπλανήτες να είναι κατοικήσιμοι;

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

Από τι αποτελούνται οι εξωπλανήτες;

hackanexoplanet.esa.int/el/challenges-composition

Επιστημονικές αναφορές για τον KELT-3b

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

Πόροι της ESA

Πηγές ESA για την τάξη

esa.int/Education/Classroom_resources

Διδάξτε με εξωπλανήτες

esa.int/Education/Teach_with_Exoplanets

Γνωρίστε τον Cheops: ο δορυφόρος χαρακτηρισμού του εξωπλανήτη

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

Διαστημικά έργα ESA

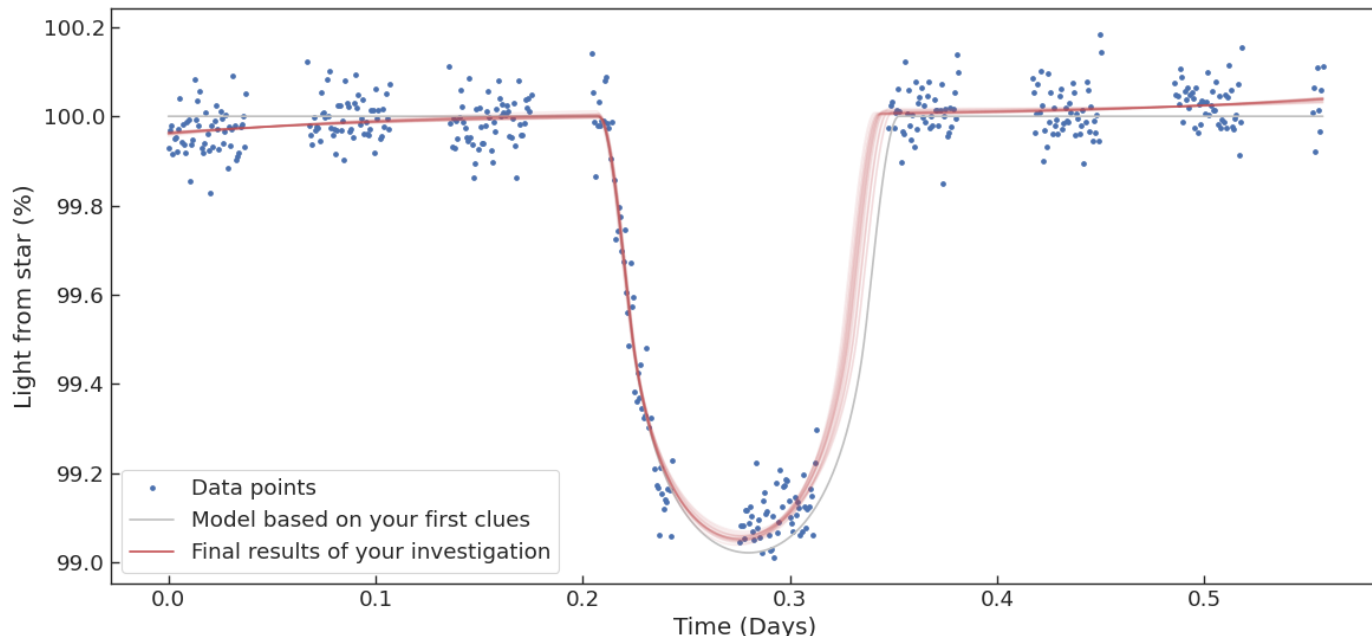
Cheops - CHaracterising ExOPlanet Satellite

esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Cheops

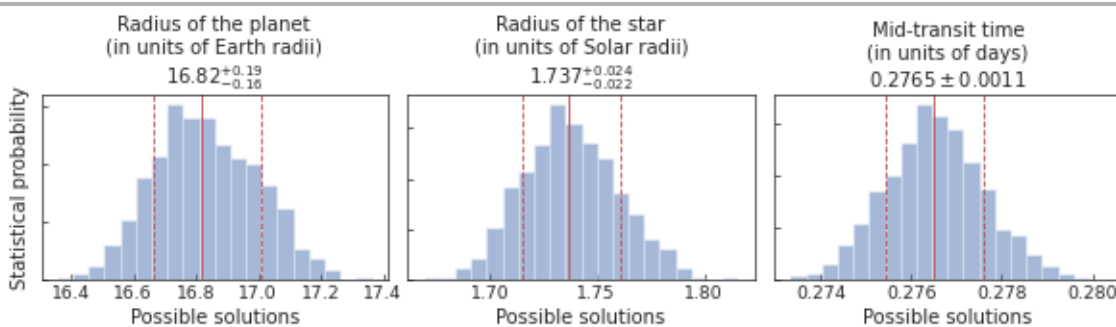
→ Παράρτημα 1

Καμπύλη διέλευσης φωτός του εξωπλανήτη KELT-3b

Αποτελέσματα καλύτερης προσαρμογής του μοντέλου KELT-3b από το *allesfitter*



↑ Μοντέλο καλύτερης προσαρμογής καμπύλης διέλευσης φωτός.



- Τα ιστογράμματα δείχνουν την πιθανότητα κάθε παράμετρος να έχει μια συγκεκριμένη τιμή.
- Η κεντρική, συμπαγής γραμμή δείχνει τη διάμεση τιμή κάθε παραμέτρου.
- Οι διακεκομμένες γραμμές αριστερά και δεξιά του υποδεικνύουν το κατώτερο και το ανώτερο όριο, αντίστοιχα.
- Αυτές ονομάζονται αβεβαιότητες 1-σίγμα. Αυτό σημαίνει ότι στατιστικά μπορούμε να είμαστε 68% σίγουροι ότι η πραγματική τιμή βρίσκεται εντός αυτών.
- Σημειώστε ότι αυτό σημαίνει ότι είναι πιθανό η πραγματική τιμή μιας παραμέτρου να βρίσκεται εκτός αυτών των ορίων- πρόκειται μόνο για στατιστικές αβεβαιότητες και όχι για οριστικά όρια.

↑ Ιστογράμματα της στατιστικής πιθανότητας όλων των τιμών των παραμέτρων του KELT-3b

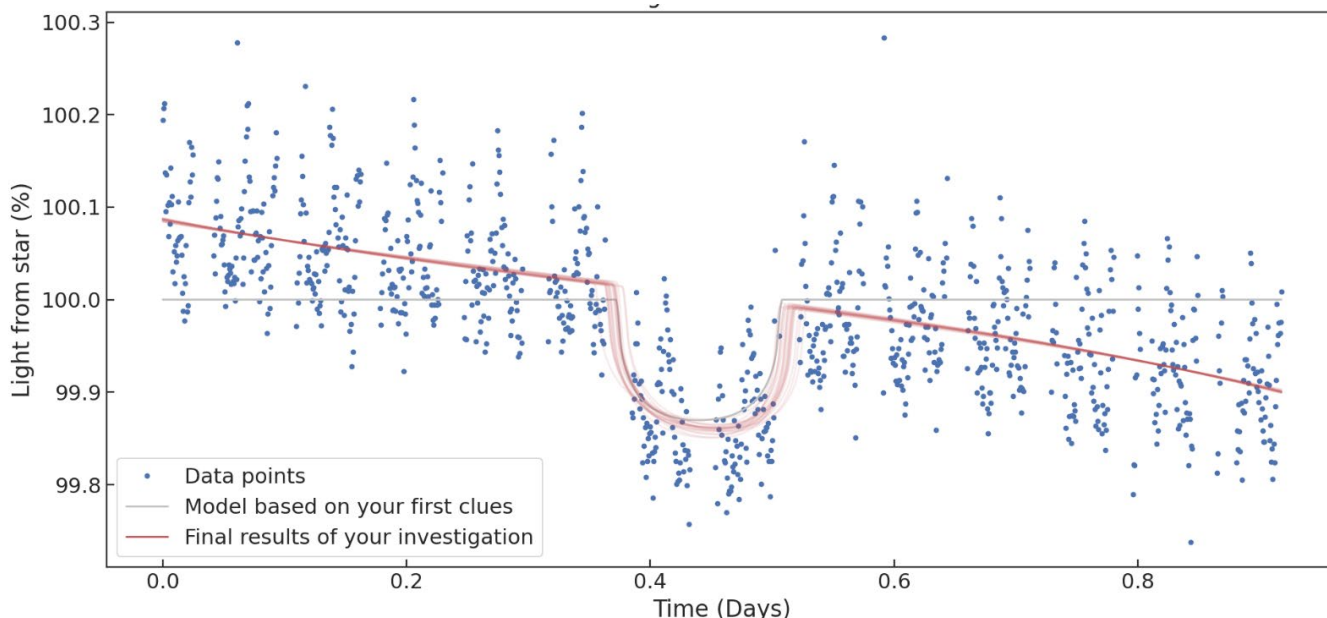
Όνομα	Διάμεση τιμή	Χαμηλότερο σφάλμα	Ανώτερο σφάλμα	Σημείωμα υπόθεσης
Ακτίνα του πλανήτη (σε μονάδες γήινης ακτίνας)	16,82	0,16	0,19	Παρατηρήσεις του Χέοπα
Ακτίνα του αστέρα (σε μονάδες ηλιακής ακτίνας)	1,737	0,022	0,024	Παρατηρήσεις του Χέοπα
Χρόνος ενδιάμεσης μεταφοράς (σε μονάδες ημερών)	0,2765	0,0011	0,0011	Παρατηρήσεις του Χέοπα
Περίοδος τροχιάς (σε μονάδες ημερών)	2,70339			Άλλες παρατηρήσεις από το αρχείο

↑ Πίνακας με τις παραμέτρους του μοντέλου που ταιριάζουν καλύτερα.

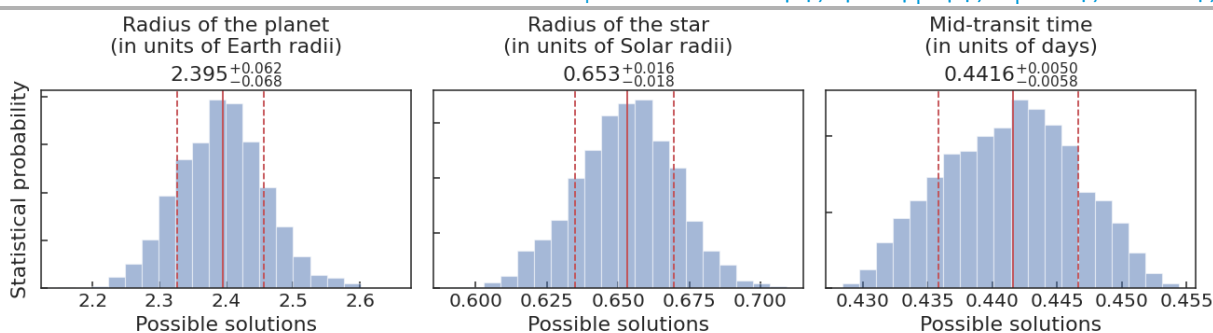
→ Παράρτημα 2

Καμπύλη διέλευσης φωτός του εξωπλανήτη TOI-560c

TOI-560c καλύτερα αποτελέσματα προσαρμογής μοντέλου από το *allesfitter*



↑ Μοντέλο καλύτερης προσαρμογής καμπύλης διέλευσης φωτός.



- Τα ιστογράμματα δείχνουν την πιθανότητα κάθε παράμετρος να έχει μια συγκεκριμένη τιμή.
- Η κεντρική, συμπαγής γραμμή δείχνει τη διάμεση τιμή κάθε παραμέτρου.
- Οι διακεκομμένες γραμμές αριστερά και δεξιά του υποδεικνύουν το κατώτερο και το ανώτερο όριο, αντίστοιχα.
- Αυτές ονομάζονται αβεβαιότητες 1-σίγμα. Αυτό σημαίνει ότι στατιστικά μπορούμε να είμαστε 68% σίγουροι ότι η πραγματική τιμή βρίσκεται εντός αυτών.
- Σημειώστε ότι αυτό σημαίνει ότι είναι πιθανό η πραγματική τιμή μιας παραμέτρου να βρίσκεται εκτός αυτών των ορίων- πρόκειται μόνο για στατιστικές αβεβαιότητες και όχι για οριστικά όρια.

↑ Ιστόγραμμα της στατιστικής πιθανότητας όλων των τιμών των παραμέτρων του TOI-560c

Όνομα	Διάμεση τιμή	Χαμηλότερο σφάλμα	Ανώτερο σφάλμα	Σημείωμα υπόθεσης
Ακτίνα του πλανήτη (σε μονάδες γήινης ακτίνας)	2,395	0,068	0,062	Παρατηρήσεις του Χέοπα
Ακτίνα του αστέρα (σε μονάδες ηλιακής ακτίνας)	0,653	0,018	0,016	Παρατηρήσεις του Χέοπα
Χρόνος ενδιάμεσης μεταφοράς (σε μονάδες ημερών)	0,4416	0,0058	0,0050	Παρατηρήσεις του Χέοπα
Περίοδος τροχιάς (σε μονάδες ημερών)	18,8797			Άλλες παρατηρήσεις από το αρχείο

↑ Πίνακας με τις παραμέτρους του μοντέλου που ταιριάζουν καλύτερα.