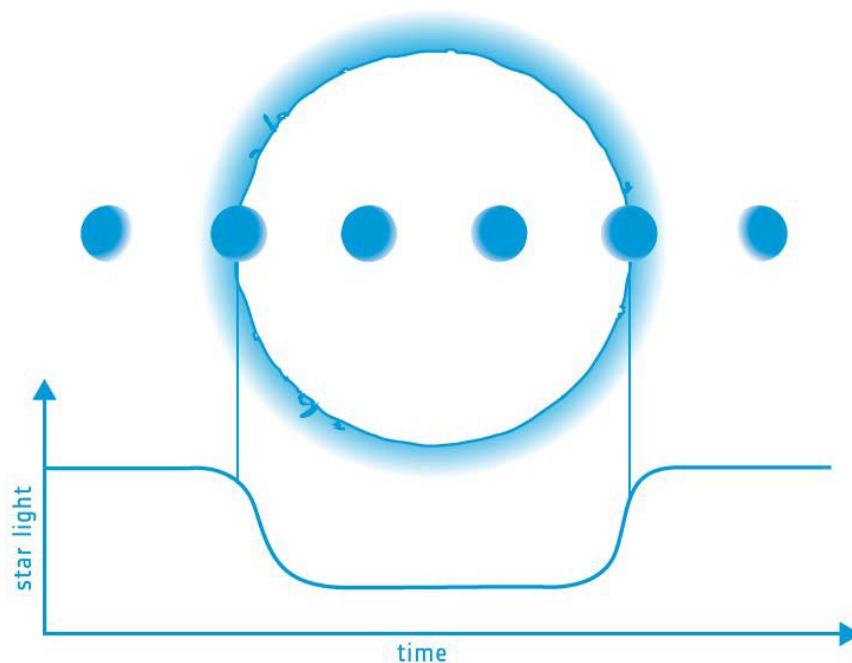
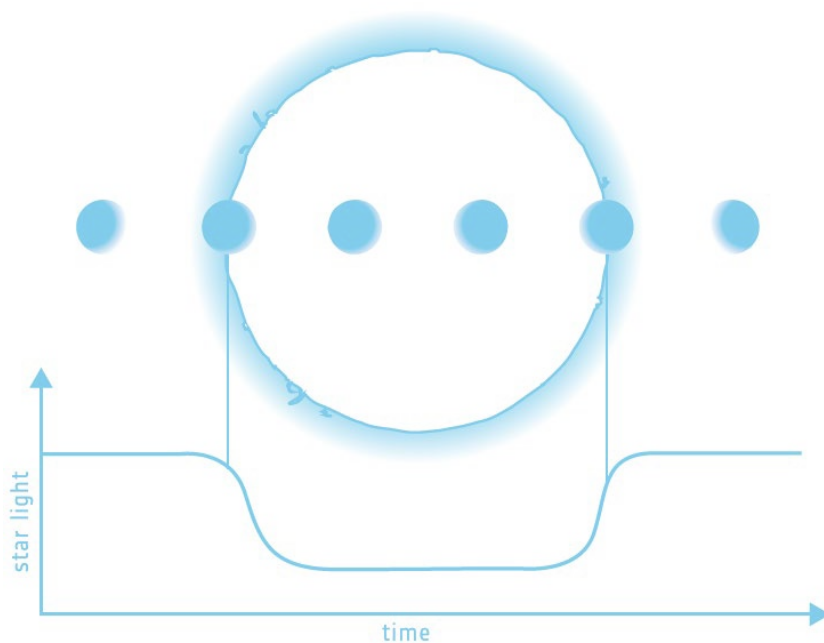


διδάσκω με

→ ΑΝΙΧΝΕΥΤΕΣ ΕΞΩΠΛΑΝΗΤΩΝ

Χαρακτηρισμός εξωπλανητών με χρήση δορυφορικών δεδομένων





Οδηγός δασκάλου

Γρήγορα γεγονότα

σελίδα 3

Περίληψη των δραστηριοτήτων

σελίδα 4

Εισαγωγή

σελίδα 5

Δραστηριότητα 1: Κατανόηση των

σελίδα 6

καμπυλών φωτός Δραστηριότητα 2: Να

σελίδα 9

γίνεις ντετέκτιβ εξωπλανητών

Φύλλο εργασίας

σελίδα 11

μαθητών

σελίδα 19

διδάξτε με το διάστημα - εξωπλανήτες ντετέκτιβ | P31

www.esa.int/education

Το Γραφείο Εκπαίδευσης της ESA καλωσορίζει σχόλια και παρατηρήσεις

teachers@esa.int

Μια παραγωγή της ESA Education

Copyright 2022 © Ευρωπαϊκός Οργανισμός Διαστήματος

→ ΑΝΙΧΝΕΥΤΕΣ ΕΞΩΠΛΑΝΗΤΩΝ

Χαρακτηρισμός εξωπλανητών με χρήση δορυφορικών δεδομένων

ΓΡΗΓΟΡΗΜΕΝΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Θέμα: Μαθηματικά, Φυσική, Αστρονομία

Εύρος ηλικίας: 13-18 ετών

Τύπος: Κατηγορία: Δραστηριότητα μαθητών, πρακτική μοντελοποίηση

Πολυπλοκότητα: μέτρια

Απαιτούμενος χρόνος μαθήματος: 45 λεπτά

Κόστος: χαμηλό (0-10 ευρώ)

Τοποθεσία: αίθουσα διδασκαλίας

Λέξεις-κλειδιά: Φυσική, Μαθηματικά, Αστρονομία, Εξωπλανήτες, Καμπύλες φωτός, Διελεύσεις, Τροχιές, Κλιμάκωση, Γραφήματα, Περίοδος

Σύντομη περιγραφή

Σε αυτή τη σειρά δραστηριοτήτων οι μαθητές θα μάθουν πώς οι επιστήμονες μελετούν εξωπλανήτες με τηλεσκόπια, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της διέλευσης. Επιπλέον, θα χαρακτηρίσουν εξωπλανήτες χρησιμοποιώντας δεδομένα από πρότυπες και πραγματικές δορυφορικές καμπύλες φωτός από τον δορυφόρο Cheops (CHaracterising ExOPlanet Satellite) της ESA.

Οι φοιτητές θα εξασκηθούν στην απεικόνιση και ερμηνεία δεδομένων και στην κλιμάκωση γραφικών παραστάσεων στο πλαίσιο του χαρακτηρισμού εξωπλανητών.

Αυτή η δραστηριότητα αποτελεί μέρος μιας σειράς που περιλαμβάνει το "Exoplanets in Motion" όπου οι μαθητές κατασκευάζουν το δικό τους μοντέλο διέλευσης και το "Exoplanets in a Box" όπου οι μαθητές κατασκευάζουν ένα μοντέλο διέλευσης μέσα σε ένα κουτί παπουτσιών και υπολογίζουν το μέγεθος ενός εξωπλανήτη.

Μαθησιακοί στόχοι

- Κατανόηση του τι είναι οι εξωπλανήτες και πώς τους ερευνούν οι δορυφόροι.
- Κατανόηση του τρόπου με τον οποίο χρησιμοποιείται η μέθοδος διέλευσης για τον χαρακτηρισμό των εξωπλανητών.
- Βελτίωση των πειραματικών δεξιοτήτων με την παρατήρηση και ερμηνεία των μετρούμενων καμπυλών φωτός.
- Μαθηματική σκέψη και μετατροπή ενός αφηρημένου μοντέλου σε πραγματικό μοντέλο.
- Ερμηνεία πειραματικών δεδομένων με τη χρήση μαθηματικών μοντέλων και διαγραμμάτων.
- Εξαγωγή συμπερασμάτων συγκρίνοντας ένα μοντέλο με ένα πραγματικό σύστημα εξωπλανήτη.
- Επικοινωνία επιστημονικών και μαθηματικών ευρημάτων σε συνομηλίκους.

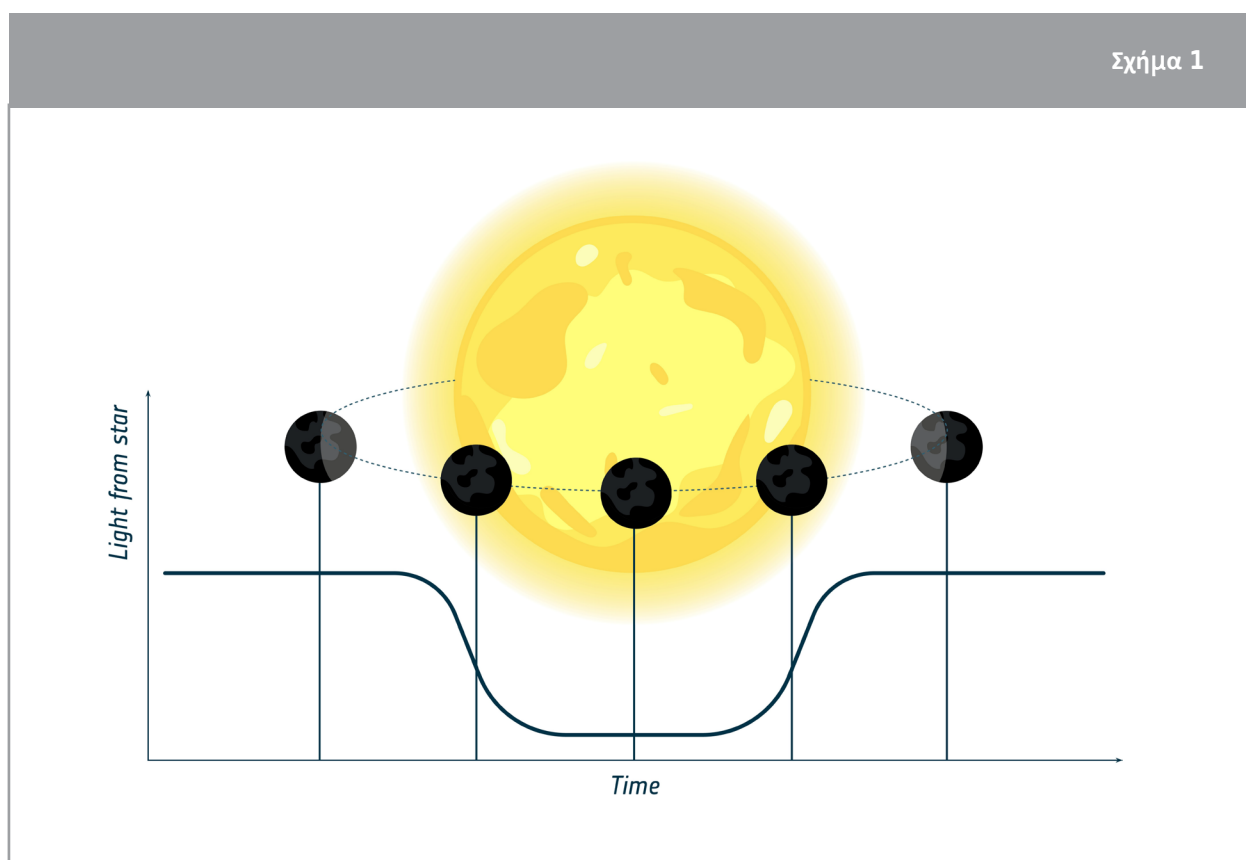
→ Σύνοψη των δραστηριοτήτων

Περίληψη των δραστηριοτήτων					
	Τίτλος	Περιγραφή	Αποτέλεσμα	Απαιτήσεις	Χρόνος
1	Κατανόηση των καμπυλών φωτός	Αναλύστε τόσο συνθετικές όσο και πραγματικές καμπύλες φωτός για να προσδιορίσετε τις πληροφορίες που περιέχουν σχετικά με το μοντέλο ή τα πραγματικά εξωπλανητικά συστήματα.	Κατανοήστε πώς και γιατί να κλιμακώνετε τα γραφήματα. Να αναπτύσσουν δεξιότητες ερμηνείας γραφημάτων και να τις χρησιμοποιούν για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με πραγματικά εξωπλανητικά συστήματα.	Καμία	30 λεπτά
2	Το να είσαι ντετέκτιβ εξωπλανητών	Αυτή η δραστηριότητα έχει ως στόχο να συνοψίσει τις γνώσεις που αποκτήθηκαν στις προηγούμενες δραστηριότητες και να περιγράψει τι μπορούν να μάθουν οι επιστήμονες από τις καμπύλες φωτός που μετρούνται από δορυφόρους.	Συσχετίστε τα ευρήματα από ένα μοντέλο με την πραγματική κατάσταση, χρησιμοποιώντας αναλογίες.	Καμία	10 λεπτά

→ Εισαγωγή

Σε αυτό το σύνολο δραστηριοτήτων, θα επικεντρωθούμε στις αναλύσεις καμπυλών φωτός που λαμβάνονται με τη μέθοδο της διέλευσης. Η μέθοδος αυτή έχει χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση και τον χαρακτηρισμό πολλών από τους γνωστούς μέχρι σήμερα εξωπλανήτες. Με τη χρήση αυτής της τεχνικής, τα τηλεσκόπια μετρούν με μεγάλη ακρίβεια την ποσότητα του φωτός που εκπέμπεται από μεμονωμένα αστέρια σε χρονικά διαστήματα από ώρες έως μήνες. Αυτή η μέτρηση του φωτός από ένα αντικείμενο ως συνάρτηση του χρόνου είναι γνωστή ως καμπύλη φωτός (βλ. Εικόνα 1). Αναλύοντας το σχήμα της καμπύλης φωτός και τα χαρακτηριστικά της, μπορούμε να μάθουμε τόσο για το άστρο όσο και για τυχόν εξωπλανήτες που βρίσκονται σε τροχιά γύρω από αυτό.

Όταν ένας εξωπλανήτης περνά μπροστά από το άστρο γύρω από το οποίο βρίσκεται σε τροχιά, μπλοκάρει ένα μικρό μέρος του φωτός από το άστρο - γνωστό ως διέλευση. Εάν ένα τηλεσκόπιο παρατηρεί το φως από το εν λόγω άστρο κατά τη διάρκεια αυτής της διέλευσης, θα μετρήσει μια μικρή βύθιση στην καμπύλη φωτός.



↑ Αναπαράσταση της βύθισης στην καμπύλη φωτός ενός αστέρα κατά τη διάρκεια μιας διέλευσης εξωπλανήτη.

Το βάθος της βύθισης εξαρτάται άμεσα από το ποσοστό του φωτός του άστρου που εμποδίζεται από τον διερχόμενο εξωπλανήτη, το οποίο εξαρτάται από το μέγεθος του εξωπλανήτη σε σχέση με το άστρο. Όσο μεγαλύτερος είναι ο πλανήτης σε σχέση με το άστρο, τόσο περισσότερο φως θα μπλοκάρει. Αν γνωρίζουμε το μέγεθος του άστρου, μπορούμε να προσδιορίσουμε το μέγεθος του πλανήτη.

→ Δραστηριότητα 1: Κατανόηση των καμπυλών φωτός

Αυτή η άσκηση θα καλύψει την κλιμάκωση και την ερμηνεία γραφικών παραστάσεων τόσο προσομοιωμένων όσο και πραγματικών δορυφορικών δεδομένων.

Ως εισαγωγή στους εξωπλανήτες, προτείνεται η ολοκλήρωση της δραστηριότητας "Εξωπλανήτες σε κίνηση".

Για να εισαγάγετε τους μαθητές στο θέμα των εξωπλανητών μπορείτε επίσης να χρησιμοποιήσετε το υλικό βίντεο που είναι διαθέσιμο στους παρακάτω συνδέσμους ή να χρησιμοποιήσετε τις πληροφορίες υποβάθρου ως συμπληρωματική πηγή.

Παρακάτω παρατίθενται ορισμένες προτάσεις βίντεο της ESA:

- Meet the Experts series - Άλλοι κόσμοι: https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2020/07/Meet_the_Experts_Other_worlds
- Γνωρίστε τον Cheops, τον δορυφόρο που χαρακτηρίζει τους εξωπλανήτες: http://www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2019/12/Meet_Cheops_the_Characterising_Exoplanet_Satellite
- Το Paxi εξερευνά εξωπλανήτες! https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2019/12/Paxi_explores_εξωπλανήτες

Αφού οι μαθητές γνωρίσουν τους εξωπλανήτες, τη μέθοδο διέλευσης και τον Χέοπα, μπορούν να εργαστούν στη Δραστηριότητα 1 του φύλλου εργασίας των μαθητών.

Άσκηση 1 - Γραφήματα κλίμακας

Η κατανόηση της κλιμάκωσης των γραφικών παραστάσεων είναι μια σημαντική δεξιότητα τόσο στα μαθηματικά όσο και στις φυσικές επιστήμες. Σε αυτή την άσκηση, οι μαθητές θα δουν ένα παράδειγμα πραγματικών δεδομένων που λήφθηκαν από τον δορυφόρο Cheops και θα το χρησιμοποιήσουν για να δουν πώς κλιμακώνονται οι γραφικές παραστάσεις ώστε να αποκομίσουν όσο το δυνατόν περισσότερες πληροφορίες από τα δεδομένα που περιέχονται σε αυτές.

Σε αυτά τα γραφήματα, το φως από το αστέρι στον άξονα y εμφανίζεται ως ποσοστό της μέσης τιμής που μετρήθηκε από το συγκεκριμένο αστέρι κατά τη διάρκεια της περιόδου παρατήρησης. Τα ίδια ακριβώς δεδομένα απεικονίζονται και στα δύο γραφήματα αυτής της άσκησης, αλλά το καθένα εμφανίζει διαφορετική κλίμακα.

Σημείωση: Καθώς το γράφημα εμφανίζει το φως από το αστέρι ως ποσοστό της μέσης τιμής φωτεινότητας, αυτή η μέση φωτεινότητα θεωρείται ίση με την τιμή 100% στον άξονα y. Εάν κατά τη διάρκεια των παρατηρήσεων συμβαίνουν γεγονότα που αυξάνουν την ποσότητα του φωτός που μετράται, για παράδειγμα αστρικές εκλάμψεις, τότε μετριοούνται τιμές φωτεινότητας πάνω από τη μέση τιμή και απεικονίζονται στο γράφημα ως μετρήσεις πάνω από το 100%.

Συζήτηση

Ακολουθούν οι απαντήσεις στην άσκηση 1. Συζητήστε τις απαντήσεις μαζί με την αρχή της κλιμάκωσης με τους μαθητές σας.

1.1. Οι μαθητές θα πρέπει να αναγνωρίσουν ότι στο Σχήμα 3, η διέλευση είναι πολύ πιο εύκολο να εντοπιστεί από ό,τι στο Σχήμα 2, λόγω της διαφορετικής κλιμάκωσης του άξονα y.

1.2. Στο Σχήμα 2 η καμπύλη φωτός φαίνεται σχεδόν σταθερή, ενώ στο Σχήμα 3 είναι ορατή μια μείωση του ποσοστού του φωτός από τον αστέρα στην καμπύλη μεταξύ 6,5 h και 10,75 h.

Ο χρόνος (ώρες) που εμφανίζεται στον άξονα x είναι ο ίδιος και για τα δύο γραφήματα.

Οι τιμές του φωτός από το αστέρι (%) που εμφανίζονται στον άξονα y είναι διαφορετικές. Στο πρώτο γράφημα οι τιμές κυμαίνονται από 0% έως 110%, ενώ στο κλιμακωτό γράφημα όπου είναι ορατή η βύθιση οι τιμές κυμαίνονται από 99,3% έως 100,1%.

Άσκηση 2 - Ερμηνεία καμπυλών φωτός

Στην άσκηση αυτή θα δοθούν στους μαθητές παραδείγματα προσομοιωμένων καμπυλών φωτός διέλευσης και οδηγίες για το πώς να διαβάζουν και να ερμηνεύουν τις γραφικές παραστάσεις τους. Η άσκηση αυτή μπορεί να ολοκληρωθεί σε ζεύγη ή ατομικά.

Πρόσθετες πληροφορίες: η ποσότητα του αστρικού φωτός που εμποδίζεται από τον πλανήτη σχετίζεται άμεσα με την προβαλλόμενη έκταση του πλανήτη. Το φως που εμποδίζει ο πλανήτης είναι ανάλογο R_p^2/R_s^2 π ρ ο ς , όπου R_p είναι η ακτίνα του πλανήτη, και R_s είναι η ακτίνα του αστέρα. Αν ένας πλανήτης εμποδίζει διπλάσιο φως, αυτό δεν σημαίνει ότι ο πλανήτης είναι διπλάσιος: για να εμποδίσει διπλάσια ποσότητα φωτός ο πλανήτης πρέπει να είναι $\sqrt{2}$ (= περίπου 1,41) φορές μεγαλύτερος.

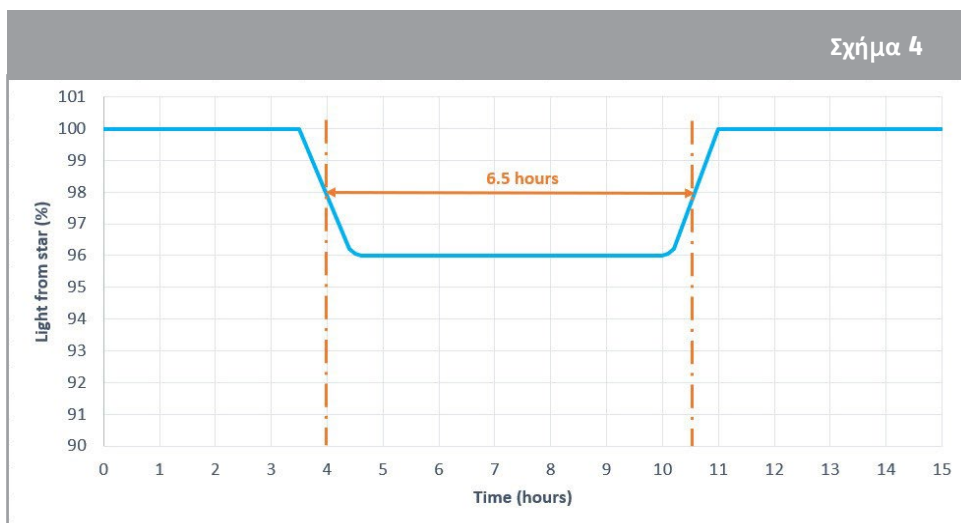
Συζήτηση

Βρείτε τις απαντήσεις στην άσκηση 2 παρακάτω:

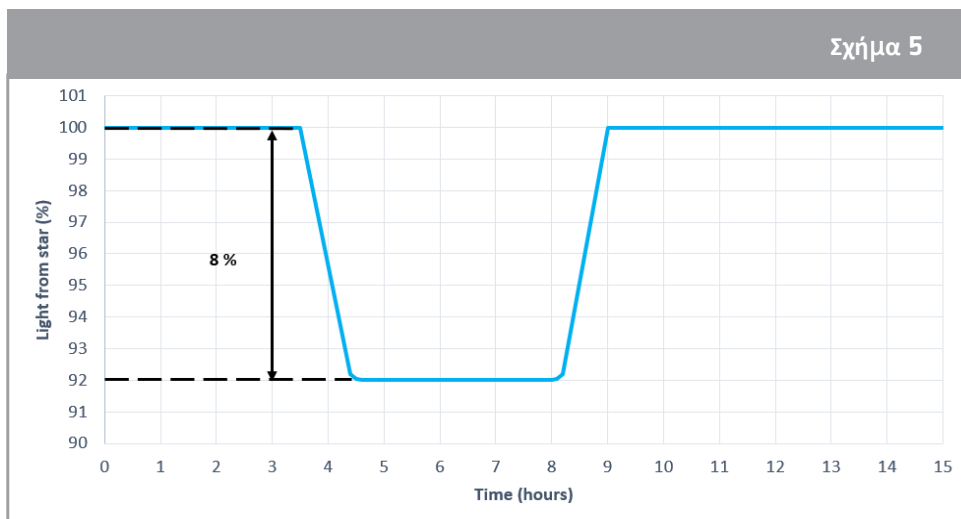
2.1.

2.2. Ο εξωπλανήτης που παρατηρήθηκε για να παραχθεί αυτή η καμπύλη φωτός χρειάστηκε **4,5 ώρες** για να περάσει μπροστά από το άστρο και μπλόκαρε το **4% του** φωτός από το άστρο.

2.2.



2.3



Αφού οι μαθητές ολοκληρώσουν αυτή την άσκηση μόνοι τους ή σε ζευγάρια, συζητήστε τα αποτελέσματα στην τάξη για να προετοιμάσετε τους μαθητές για την ερμηνεία πραγματικών δεδομένων του Cheops.

Άσκηση 3 - Ερμηνεία πραγματικών δορυφορικών δεδομένων

Σε αυτή την άσκηση οι μαθητές θα χρησιμοποιήσουν τις έννοιες που διδάχθηκαν στις προηγούμενες ασκήσεις για να ερμηνεύσουν μια καμπύλη φωτός διέλευσης του WASP 189b που παρατηρήθηκε από τον δορυφόρο Cheops της ESA.

Συζήτηση

Βρείτε τις σωστές απαντήσεις που αναφέρονται παρακάτω.

- 3.1. 4,5 ώρες
- 3.2. 0.55%

Πρόσθετες πληροφορίες:

Κατά την ανάλυση των πραγματικών δεδομένων οι μαθητές σας μπορεί να παρατηρήσουν κάποιες διαφορές μεταξύ των προσομοιωμένων δεδομένων και των πραγματικών δεδομένων. Οι μαθητές μπορεί να έχουν ερωτήσεις σχετικά με την προσαρμογή ή τα κενά στην καμπύλη φωτός.

Η προσαρμογή είναι η διαδικασία κατασκευής μιας καμπύλης με βάση μια μαθηματική συνάρτηση που έχει την καλύτερη προσαρμογή σε μια σειρά σημείων δεδομένων.

Υπάρχουν δύο τύποι γεγονότων που συμβαίνουν κατά τη διάρκεια της τροχιάς του Χέοπα, τα οποία σημαίνουν ότι μερικές φορές δεν μπορούμε να μετράμε συνεχώς το φως από ένα αστέρι. Τα γεγονότα αυτά δημιουργούν κενά στην καμπύλη φωτός. Το πρώτο είναι όταν το αστέρι εμποδίζεται από τη Γη, γνωστό ως γήινη απόκρυψη. Το δεύτερο συμβαίνει όταν ο Cheops περνάει πάνω από μια περιοχή του Νότιου Ατλαντικού όπου υπάρχουν πολλές διαταραχές στα πολύ ευαίσθητα όργανα του δορυφόρου. Οι διαταραχές έχουν τόσο μεγάλη επίδραση που οι επιστήμονες δεν προσπαθούν καν να μετρήσουν το φως του άστρου όταν ο δορυφόρος περνάει από αυτή την περιοχή.

Άσκηση 4 - Περίοδος τροχιάς

Αυτή η άσκηση επικεντρώνεται στον τρόπο με τον οποίο μπορεί να προσδιοριστεί η τροχιακή περίοδος από μια καμπύλη φωτός.

Σημείωση: η περίοδος περιφοράς ενός πλανήτη είναι ο χρόνος που χρειάζεται ο πλανήτης για να ολοκληρώσει μια πλήρη περιφορά γύρω από το αστέρι του. Αυτή μπορεί να μετρηθεί με την εύρεση του κέντρου δύο διαδοχικών διελεύσεων του ίδιου εξωπλανήτη και τη μέτρηση του χρονικού διαστήματος μεταξύ τους.

Συζήτηση

Βρείτε τις σωστές απαντήσεις που αναφέρονται παρακάτω.

- 4.1. 3 ημέρες
- 4.2. Σε αυτή την απάντηση οι μαθητές θα πρέπει να είναι σε θέση να περιγράψουν με δικά τους λόγια ότι υπάρχουν δύο εξωπλανήτες που μπορούμε να εντοπίσουμε να περιφέρονται γύρω από το ίδιο αστέρι σε αυτό το εξωπλανητικό σύστημα. Επιπλέον, η απάντηση θα πρέπει να περιλαμβάνει ότι οι βαθύτερες βυθίσεις στην καμπύλη υποδηλώνουν έναν μεγαλύτερο πλανήτη που έχει περίοδο 3 γήινων ημερών και εμποδίζει το 2% του φωτός από το αστέρι και ότι οι ρηχότερες βυθίσεις στην καμπύλη υποδηλώνουν έναν μικρότερο πλανήτη που έχει περίοδο τροχιάς 2,5 γήινων ημερών και εμποδίζει το 1% του φωτός. Εάν

έχετε εισαγάγει την έννοια ότι το φως που εμποδίζει ένας εξωπλανήτης είναι ανάλογο με R_p^2/R_S^2

τότε οι μαθητές θα πρέπει να είναι σε θέση να αναγνωρίσουν ότι ο μεγαλύτερος πλανήτης είναι επομένως 1,4 φορές μεγαλύτερος από τον μικρότερο πλανήτη.

→ Δραστηριότητα 2 - Να είσαι ντετέκτιβ εξωπλανητών

Σε αυτή τη δραστηριότητα, οι μαθητές θα εφαρμόσουν όσα έμαθαν από την ανάλυση των προηγούμενων καμπυλών φωτός και θα ερμηνεύσουν μια παρατήρηση ενός εξωπλανητικού συστήματος που έγινε από τον Χέοπα, όπως ένας πραγματικός επιστήμονας.

Άσκηση 1: Περιγραφή παρατηρήσεων εξωπλανητών

Οι προτάσεις πρέπει να συμπληρωθούν ως εξής:

Όταν ένας εξωπλανήτης περνάει μεταξύ του δορυφόρου και του άστρου, μπλοκάρει ένα μικρό μέρος του φωτός από το άστρο, προκαλώντας μια βύθιση στην καμπύλη φωτός. Αυτό ονομάζεται διέλευση.

Εάν παρατηρηθούν πολλαπλές τροχιές του ίδιου εξωπλανήτη, τότε το χρονικό διάστημα μεταξύ των βυθίσεων που ανιχνεύονται στην καμπύλη φωτός αποτελεί άμεσο μέτρο της τροχιακής περιόδου του πλανήτη.

Ένας μεγαλύτερος εξωπλανήτης παράγει μια βαθύτερη βύθιση στην καμπύλη φωτός που μετρήθηκε και ένας μικρότερος εξωπλανήτης παράγει μια ρηχότερη βύθιση.

Οι μεμονωμένοι εξωπλανήτες μπορούν να διακριθούν μεταξύ τους από το βάθος των βυθίσεων που προκαλούν στην καμπύλη φωτός και από την περίοδο της τροχιάς τους.

Αν θέλετε να προκαλέσετε τους μαθητές της τάξης σας, μπορείτε να τους αφήσετε να διατυπώσουν το συμπέρασμά τους με δικά τους λόγια. Κατά τη συζήτηση των συμπερασμάτων που διατύπωσαν οι μαθητές σας, βεβαιωθείτε ότι οι παρατηρήσεις και τα συμπεράσματα δεν μπερδεύονται και ότι τα συμπεράσματά τους προκύπτουν από τις παρατηρήσεις.

Άσκηση 2: Παρατήρηση εξωπλανητών

Στη δεύτερη άσκηση, οι μαθητές καλούνται να ερμηνεύσουν πραγματικά δεδομένα του Cheops όπως ακριβώς θα έκανε ένας επαγγελματίας επιστήμονας. Αν κάποιοι μαθητές χρειάζονται βοήθεια, μπορείτε να τους υποστηρίξετε με τις ερωτήσεις που εμφανίζονται παρακάτω για να τους βοηθήσετε να δομήσουν την ερμηνεία της καμπύλης φωτός.

1. Πόσους εξωπλανήτες έχει το παρατηρούμενο σύστημα;
2. Ποια είναι η τροχιακή περίοδος/διάστημα κάθε εξωπλανήτη;
3. Πόσο φως (σε %) μπλοκάρει κάθε εξωπλανήτης;
4. Μπορείτε να πείτε κάτι για τα μεγέθη των εξωπλανητών;
5. Βλέπετε κάτι άλλο αξιοσημείωτο; Προσπαθήστε να το περιγράψετε με δικά σας λόγια και να το ερμηνεύσετε αν είναι δυνατόν.

Πρόσθετες πληροφορίες: Το σύστημα TOI-178 βρίσκεται μόλις 205 έτη φωτός μακριά από τη Γη. Η εξωπλανητική αποστολή Cheops της ESA αποκάλυψε ότι πρόκειται για ένα μοναδικό πλανητικό σύστημα που αποτελείται από έξι εξωπλανήτες, πέντε από τους οποίους είναι κλειδωμένοι σε έναν σπάνιο ρυθμικό χορό καθώς περιφέρονται γύρω από το κεντρικό τους άστρο. Σημειώστε ότι σε αυτό το σύνολο δεδομένων μόνο 4 πλανήτες είναι αναγνωρίσιμοι (b, c, d και e).

Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται τροχιακός συντονισμός και σημαίνει ότι υπάρχουν μοτίβα που επαναλαμβάνονται καθώς οι πλανήτες περιφέρονται γύρω από το άστρο, με ορισμένους πλανήτες να ευθυγραμμίζονται κάθε λίγες τροχιές. Μπορείτε να απεικονίσετε αυτό το φαινόμενο σε αυτό το animation: <https://youtu.be/-WenvRGgysY>

Οι δύο εσωτερικοί πλανήτες (β και γ) έχουν γήινες πυκνότητες, παρόμοιες με τη Γη, και οι τέσσερις εξωτερικοί πλανήτες (δ, ε, στ και ζ) είναι αέριοι, με πυκνότητες όπως ο Ποσειδώνας και ο Δίας.

Ενώ οι πλανήτες στο σύστημα ΤΟΙ-178 περιφέρονται γύρω από το άστρο τους με πολύ ομαλό τρόπο, οι πυκνότητές τους δεν ακολουθούν κάποιο συγκεκριμένο μοτίβο. Ένας από τους εξωπλανήτες, ένας πυκνός, γήινος πλανήτης σαν τη Γη βρίσκεται ακριβώς δίπλα σε έναν πλανήτη παρόμοιου μεγέθους αλλά πολύ χνουδωτό - σαν μίνι-Δία, και δίπλα σε αυτόν είναι ένας πλανήτης που μοιάζει πολύ με τον Ποσειδώνα.

Χαρακτηρισμός εξωπλανητών με χρήση δορυφορικών δεδομένων

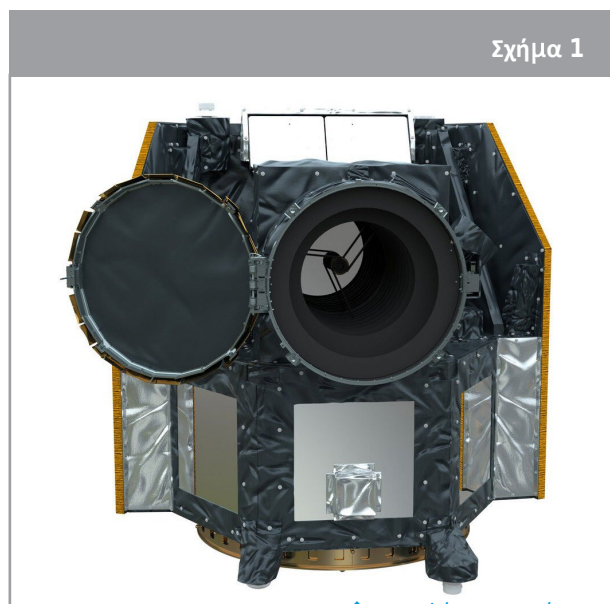
→ Εισαγωγή

Μελετώντας μεγάλο αριθμό διαφορετικών εξωπλανητών, οι επιστήμονες είναι σε θέση να κατανοήσουν πώς σχηματίζονται και εξελίσσονται τα εξωπλανητικά συστήματα. Αυτό είναι ένα σημαντικό βήμα στην πορεία προς την κατανόηση του ηλιακού μας συστήματος και της θέσης μας στο σύμπαν.

Σε αυτό το σύνολο δραστηριοτήτων, θα χρησιμοποιήσετε πραγματικά δεδομένα που συλλέγονται από τον δορυφόρο Cheops (CHaracterising ExOPlanet Satellite) της ESA.

Μέσω της ακριβούς μέτρησης των καμπυλών φωτός κοντινών αστεριών που είναι γνωστό ότι φιλοξενούν έναν διερχόμενο εξωπλανήτη, το Cheops είναι σε θέση να προσδιορίσει το μέγεθος αυτών των εξωπλανητών. Συνδυάζοντας αυτές τις πληροφορίες με άλλες μετρήσεις, οι επιστήμονες θα είναι σε θέση να προσδιορίσουν

την πυκνότητα των εξωπλανητών. Για ορισμένους συγκεκριμένους εξωπλανήτες μπορούμε να προσδιορίσουμε ακόμη και αν έχουν νέφη.



Σχήμα 1

↑ Δορυφόρος του Χέοπα

Το γνωρίζατε:

Ο WASP 189 b είναι ένας μεγάλος αέριος εξωπλανήτης που είναι περίπου 50% μεγαλύτερος σε μέγεθος από τον Δία. Αυτός ο γιγάντιος εξωπλανήτης βρίσκεται σε τροχιά 2,7 γήινων ημερών γύρω από ένα άστρο που είναι πάνω από 2000°C θερμότερο από τον Ήλιο μας και σχεδόν 2,5 φορές μεγαλύτερο.



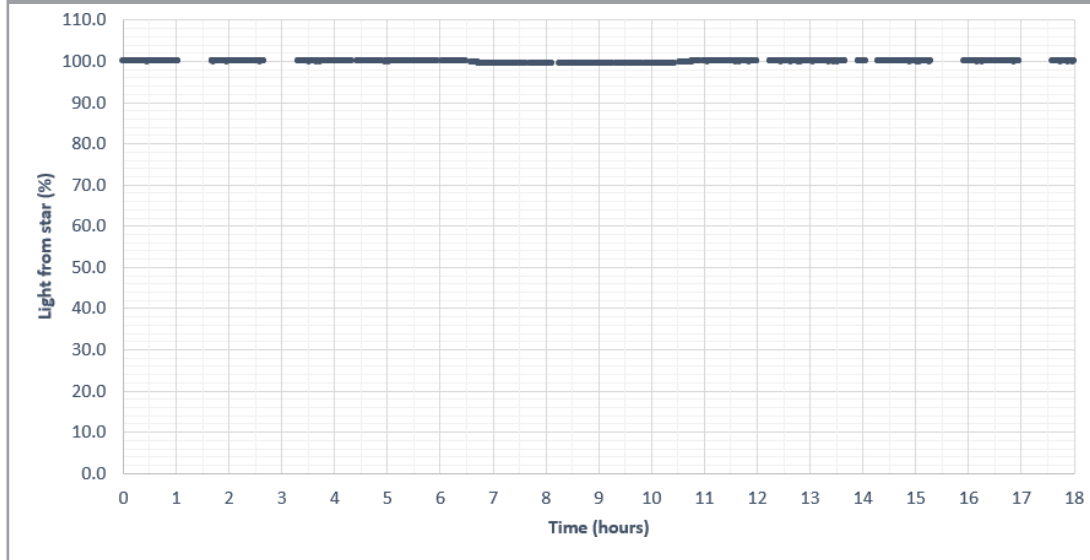
→ Δραστηριότητα 1: Κατανόηση των καμπυλών φωτός

Όταν ένας δορυφόρος παρατηρεί εξωπλανητικές διελεύσεις, το βάθος, το σχήμα και η θέση της βύθισης στην καμπύλη φωτός μπορεί να μας δώσει πληροφορίες για το εξωπλανητικό σύστημα. Σε αυτή τη δραστηριότητα θα εξερευνήσετε περαιτέρω αυτή την ιδέα χρησιμοποιώντας πραγματικά δεδομένα του δορυφόρου Cheops.

Άσκηση 1 - Γραφήματα κλίμακας

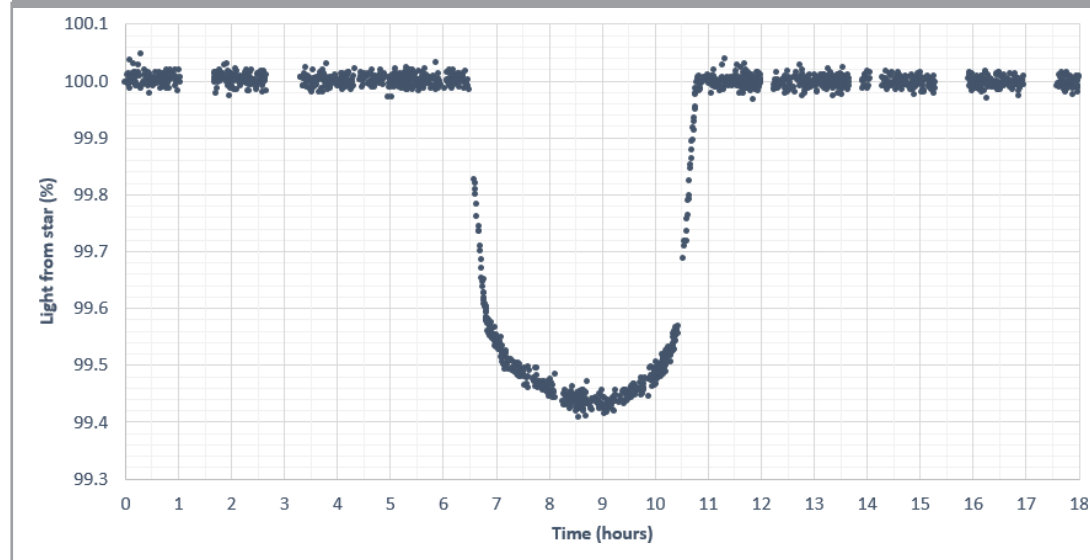
Οι εξωπλανήτες είναι συνήθως ένα μικρό κλάσμα του μεγέθους του άστρου γύρω από το οποίο περιστρέφονται, για παράδειγμα η Γη είναι το $1/100$ του μεγέθους του Ήλιου και ο Δίας το $1/100$ της διαμέτρου του Ήλιου. Επομένως, η ποσότητα του φωτός που εμποδίζεται είναι συχνά μικρότερη από το ένα τοις εκατό του συνολικού φωτός από το άστρο.

Σχήμα 2



↑ καμπύλη φωτός διέλευσης του WASP 189b που αποκτήθηκε με το Cheops.

Σχήμα 3



↑ Η ίδια καμπύλη φωτός διέλευσης του WASP 189b που λήφθηκε με το Cheops, με διαφορετική κλίμακα στον άξονα y.

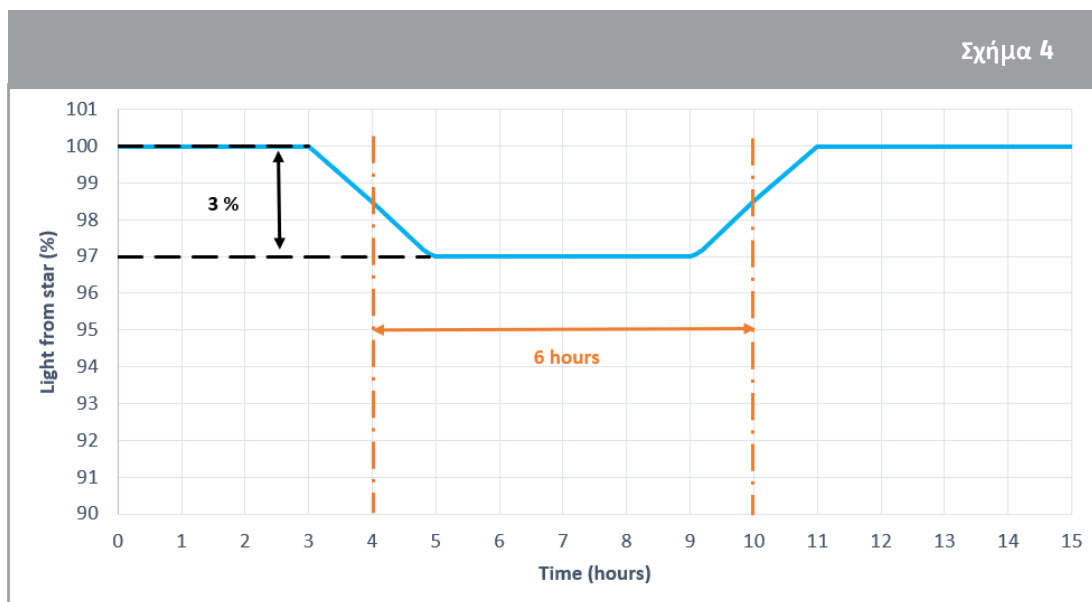
Θεωρήστε την καμπύλη φωτός διέλευσης του WASP 189b, που λήφθηκε με τον Χέοπα, η οποία παρουσιάζεται στα Σχήματα 2 και 3:

1.1. Μπορείτε να αναγνωρίσετε τη διέλευση του εξωπλανήτη τόσο στην Εικόνα 2 όσο και στην Εικόνα 3;

1.2. Συγκρίνετε τις δύο γραφικές παραστάσεις και περιγράψτε τις διαφορές παρακάτω:

Άσκηση 2 - Ερμηνεία καμπυλών φωτός

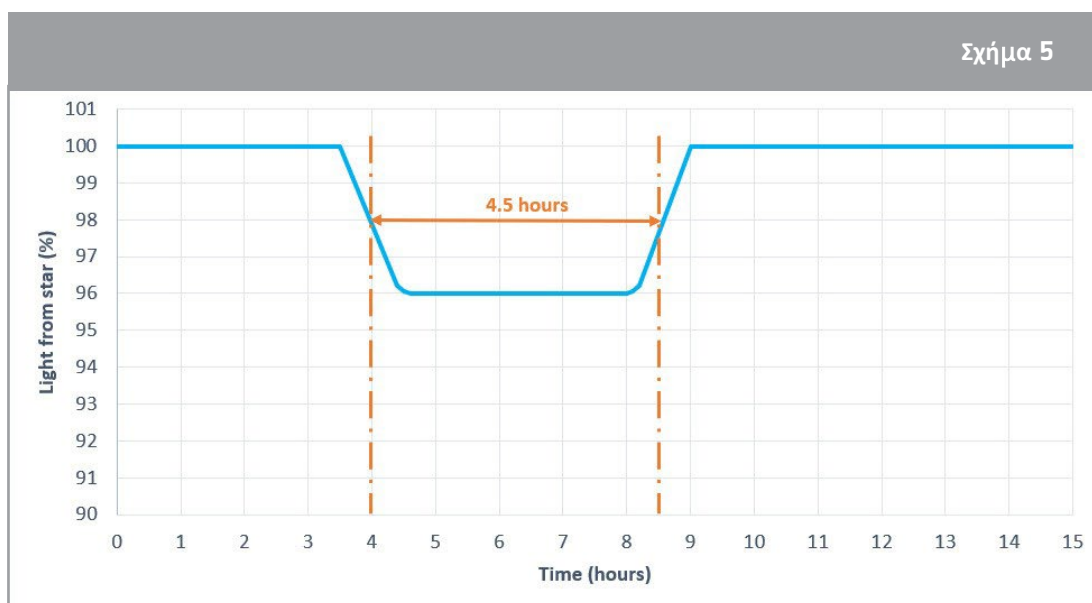
Παρακάτω μπορείτε να δείτε μια απλουστευμένη αναπαράσταση της καμπύλης φωτός ενός αστέρα που μετράται κατά τη στιγμή της διέλευσης ενός εξωπλανήτη. Οι διακεκομμένες γραμμές δείχνουν πώς μπορείτε να προσδιορίσετε ορισμένες από τις βασικές πληροφορίες για το σύστημα του εξωπλανήτη από τη γραφική παράσταση:



↑ Παράδειγμα προσομοιωμένης καμπύλης φωτός.

Μπορούμε να προσδιορίσουμε από την καμπύλη φωτός, ότι ο εξωπλανήτης που παρατηρήθηκε χρειάστηκε 6 ώρες για να περάσει μπροστά από το αστέρι, και μπλόκαρε το 3% του φωτός του άστρου.

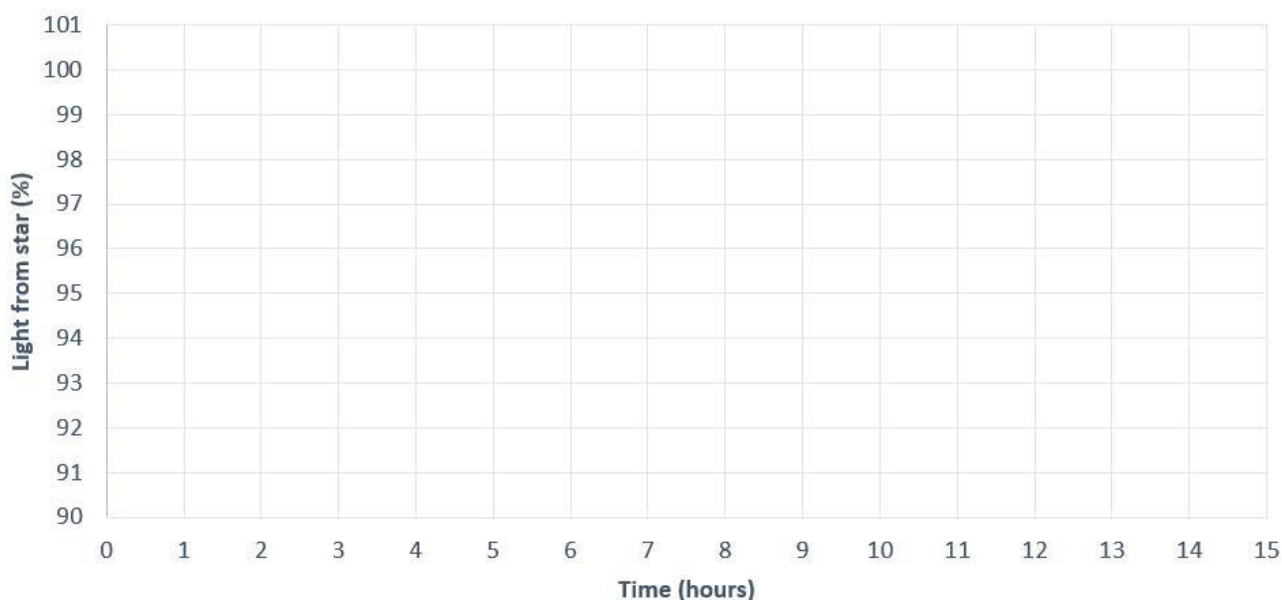
2.1. Εξετάστε την καμπύλη φωτός στο Σχήμα 5 και συμπληρώστε τις πληροφορίες που λείπουν



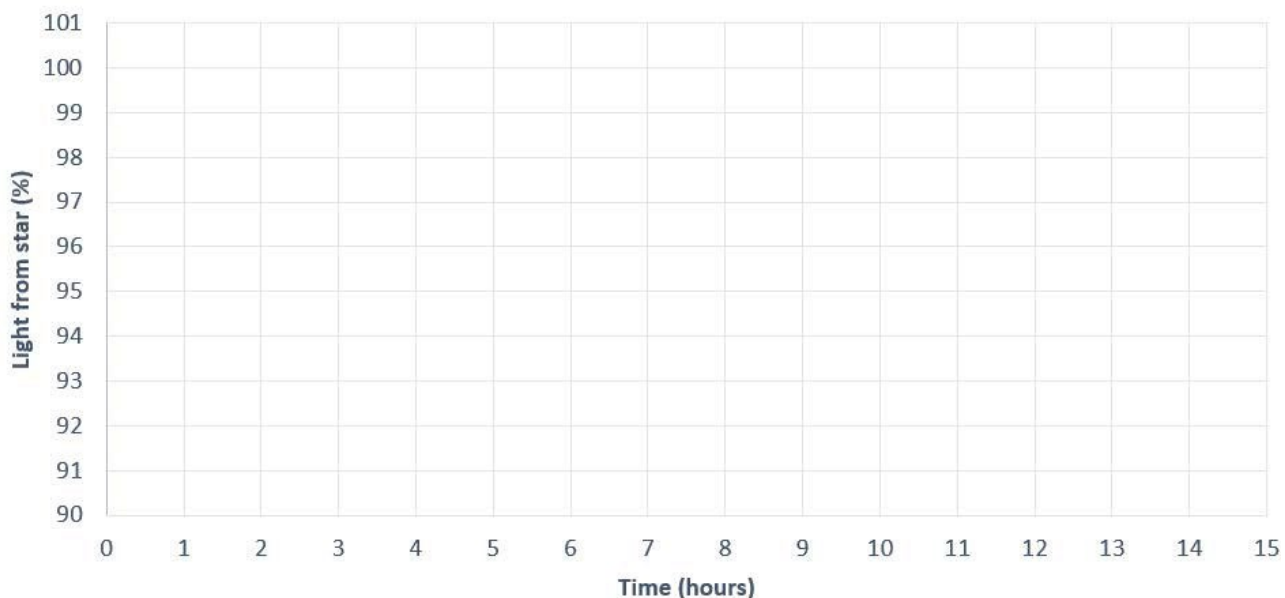
↑ Προσομοιωμένη καμπύλη φωτός.

Ο εξωπλανήτης που παρατηρήθηκε για να παραχθεί αυτή η καμπύλη φωτός χρειάστηκε _____ ώρες για να περάσει μπροστά από το άστρο, και μπλόκαρε _____% του φωτός από το άστρο.

- 2.2. Σκιαγραφήστε την αναμενόμενη καμπύλη φωτός για έναν εξωπλανήτη που έχει το ίδιο μέγεθος με αυτόν της Εικόνας 5, αλλά χρειάζεται δύο ώρες περισσότερο χρόνο για τη διέλευσή του:

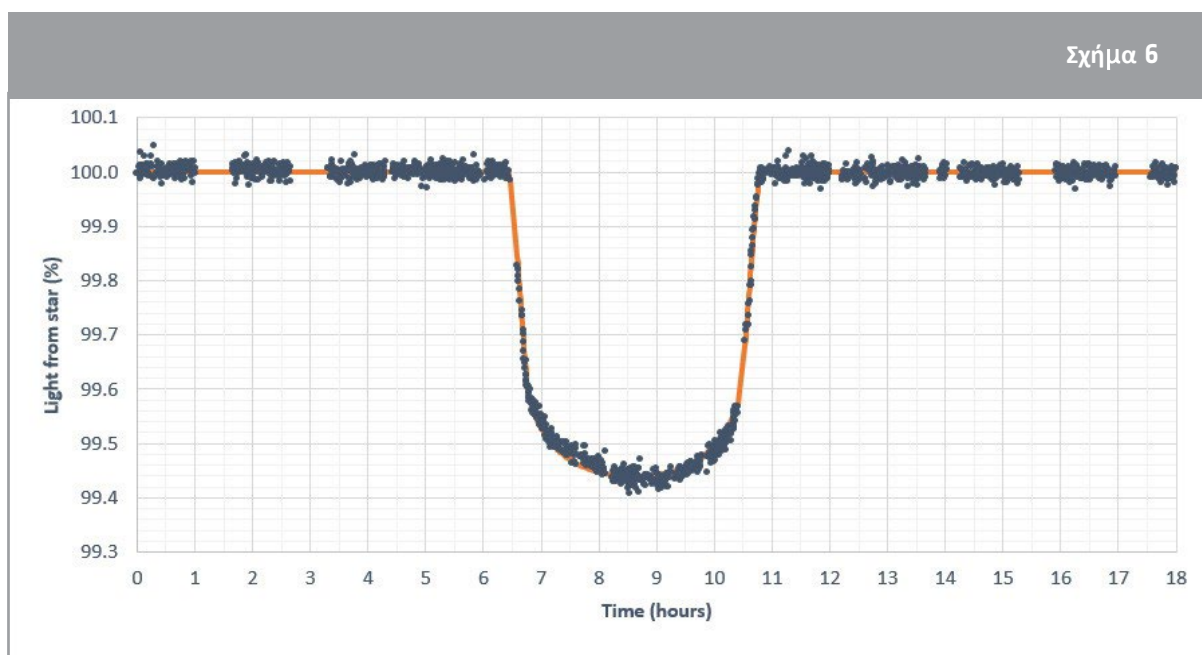


- 2.3. Σκιαγραφήστε την καμπύλη φωτός για έναν διαφορετικό εξωπλανήτη που βρίσκεται σε τροχιά γύρω από το ίδιο άστρο με αυτό της Εικόνας 5, ο εξωπλανήτης είναι μεγαλύτερος από τον προηγούμενο εξωπλανήτη και εμποδίζει διπλάσιο φως. Υποθέστε ότι ο εξωπλανήτης χρειάζεται τον ίδιο χρόνο για τη διέλευση από το άστρο όπως στο Σχήμα 5:



Άσκηση 3 - Ερμηνεία πραγματικών δορυφορικών δεδομένων

Χρησιμοποιώντας όσα έχετε μάθει μέχρι τώρα, μπορείτε τώρα να αναλύσετε την καμπύλη φωτός διέλευσης του WASP 189 b από τον Χέοπα που είδατε νωρίτερα στη δραστηριότητα (Εικόνα 3).



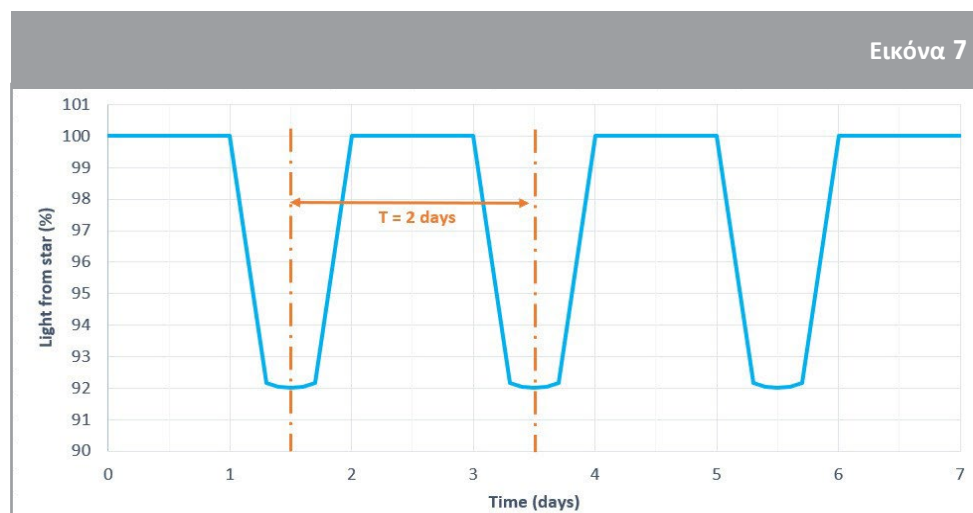
↑ καμπύλη φωτός διέλευσης του WASP 189 b, συμπεριλαμβανομένου του μοντέλου καλύτερης προσαρμογής.

- 3.1. Πόσο χρόνο περίπου χρειάζεται ο WASP 189 b για να διέλθει από το άστρο-ξενιστή του; _____
- 3.2. Ποιο είναι περίπου το ποσοστό του φωτός των άστρων που μπλοκάρει το WASP 189 b; _____

Άσκηση 4 - Περίοδος τροχιάς

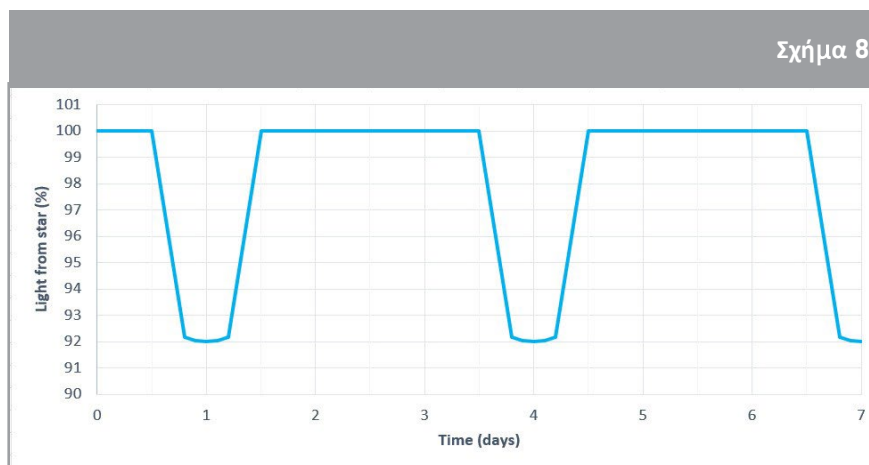
Κάθε φορά που ένας εξωπλανήτης διέρχεται από τον αστέρα-ξενιστή του, θα υπάρχει μια βύθιση στην καμπύλη φωτός. Εάν ένα άστρο παρατηρείται για αρκετό χρονικό διάστημα ώστε ο εξωπλανήτης να ολοκληρώσει περισσότερες από μία τροχιές, θα υπάρξουν περισσότερες από μία βυθίσεις στην καμπύλη φωτός. Το χρονικό διάστημα μεταξύ της αρχικής βύθισης και της επόμενης βύθισης είναι η **τροχιακή περίοδος (T)** του εξωπλανήτη.

Το Σχήμα 7 είναι μια προσομοιωμένη καμπύλη φωτός διάρκειας 1 εβδομάδας. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου ο προσομοιωμένος πλανήτης διήλθε τρεις φορές. Μετρώντας την απόσταση μεταξύ των βυθίσεων στην καμπύλη φωτός, βλέπουμε ότι η περίοδος περιφοράς του πλανήτη είναι 2 ημέρες.



↑ Προσομοιωμένη καμπύλη φωτός, συμπεριλαμβανομένων πολλαπλών διελεύσεων.

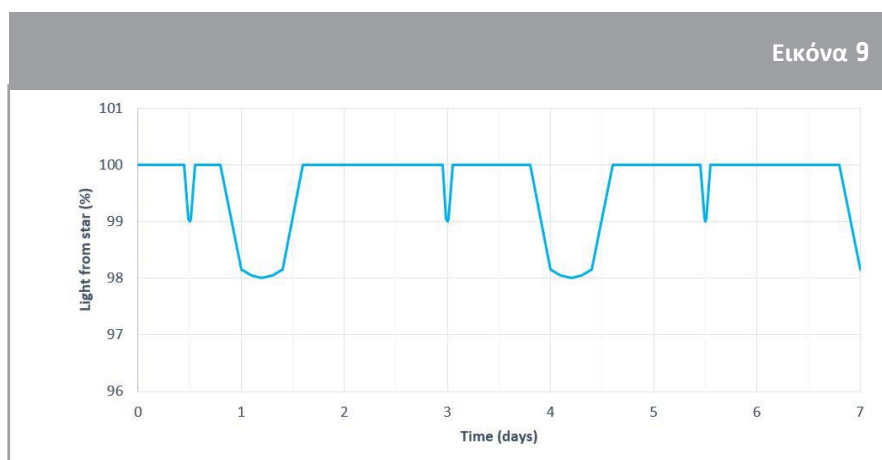
4.1. Εξετάστε το σχήμα 8 παρακάτω:



↑ Απλοποιημένο σκίτσο μιας καμπύλης φωτός.

Ποια είναι η τροχιακή περίοδος των εξωπλανητών των οποίων οι διελεύσεις φαίνονται στην καμπύλη φωτός του Σχήματος 8;

4.2. Χρησιμοποιώντας τις δεξιότητες που έχετε μάθει μέχρι τώρα, τι μπορείτε να πείτε για το σύστημα εξωπλανητών που παρατηρήθηκε για να παραχθεί η καμπύλη φωτός που φαίνεται στην Εικόνα 9:



↑ Απλοποιημένο σκίτσο μιας καμπύλης φωτός με πολλαπλές διελεύσεις.

→ Δραστηριότητα 2 - Να είσαι ντετέκτιβ εξωπλανητών

Είστε τώρα έτοιμοι να αναλύσετε πραγματικές παρατηρήσεις σαν πραγματικοί επιστήμονες του εξωπλανήτη και να συνοψίσετε όσα μάθατε. Θα συγκρίνετε τις παρατηρήσεις σας από το δικό σας μοντέλο εξωπλανητικού συστήματος με εκείνες πραγματικών εξωπλανητικών συστημάτων που ελήφθησαν με το Cheops.

Άσκηση 1: Περιγραφή παρατηρήσεων εξωπλανητών

Συμπληρώστε τα κενά χρησιμοποιώντας τις λέξεις από το σύννεφο λέξεων για να συνοψίσετε τις γνώσεις σας. Κάθε λέξη θα χρησιμοποιηθεί μόνο μία φορά.

δορυφορικό	μεγαλύτερο	ρηχότερο	αστέρι	διαμετακόμιση
περίοδος	τροχιάς	βάθος	βουτιά	μικρότερο
				χρονικό διάστημα

Όταν ένας εξωπλανήτης περνάει μεταξύ των _____ και του άστρου, μπλοκάρει ένα μικρό μέρος του φωτός από τον _____, προκαλώντας ένα _____ στην καμπύλη φωτός. Αυτό ονομάζεται _____.

Εάν πολλαπλές _____ του ίδιου εξωπλανήτη παρατηρούνται, τότε η _____ μεταξύ των βυθίσεων που ανιχνεύονται στην καμπύλη φωτός είναι ένα άμεσο μέτρο της τροχιακής περιόδου του πλανήτη.

Α _____ εξωπλανήτης παράγει μια βαθύτερη βύθιση στη μετρούμενη καμπύλη φωτός και μια _____ εξωπλανήτης παράγει μια _____ βύθιση.

Οι μεμονωμένοι εξωπλανήτες μπορούν να διακριθούν ο ένας από τον άλλον από το _____ των βυθίσεων που παράγουν στην καμπύλη φωτός, και η τροχιά τους _____.

→ Σύνδεσμοι

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

Σειρά Meet the Experts - Άλλοι Κόσμοι
esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2020/07/Meet_the_Experts_Other_worlds

Το Paxi εξερευνά εξωπλανήτες!
esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2019/12/Paxi_explores_exoplanets

Hack an Exoplanet
hackanexoplanet.esa.int

Διαστημικά έργα ESA

Χρονοδιάγραμμα των αποστολών του ESA σε εξωπλανήτες
<http://sci.esa.int/exoplanets/60649-exoplanet-mission-timeline>

Cheops - CHaracterising ExOPlanet Satellite
esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Cheops

Webb - Διαστημικό τηλεσκόπιο James Webb
esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Webb

Ανίχνευση εξωπλανητών με το
Gaia
<https://sci.esa.int/s/WEmoOnW>

PLATO - PLANetary Transits and Oscillations of stars
sci.esa.int/plato

ARIEL - το Atmospheric Remote-sensing Infrared Exoplanet Large-survey
sci.esa.int/ariel

Πρόσθετες πληροφορίες

Καλλιτεχνική απεικόνιση των τροχιών και των συντονισμών του
συστήματος TOI-178 <https://youtu.be/-WenvRGgysY>