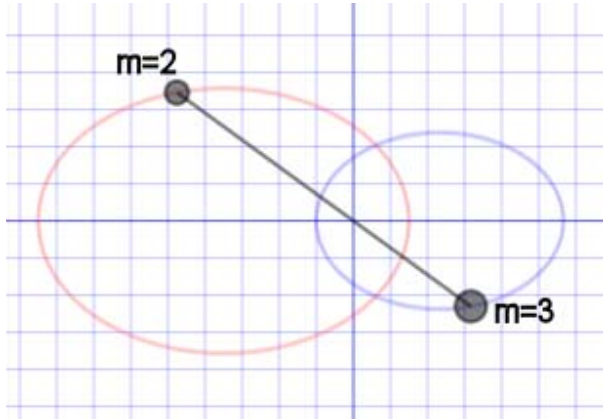


Μελέτη Διπλών εκλειπτικών συστημάτων

Κέντρο μάζας: Βρίσκεται πάντα στην ευθεία που ενώνει τις δύο μάζες και πλησιέστερα στην μεγαλύτερη.



$$m_1 / m_2 = r_2 / r_1$$

$$x_{cm} = m_1 x_1 + m_2 x_2 + m_3 x_3 + \dots / m_1 + m_2 + m_3 + \dots$$

Μπορείτε να θέσετε όπου θέλετε την αρχή του κέντρου μάζας $x=0$ αλλά βολεύει να το ταυτίσετε με τον έναν αστέρα. (Χρησιμοποιούμε την μονοδιάστατη περίπτωση και μόνο για δύο σώματα). Υπολογίστε τη θέση του κέντρου μάζας πρώτα προσεγγιστικά και στη συνέχεια υπολογιστικά για τις εξής περιπτώσεις

1. $10 M_{\odot}$ και $2 M_{\odot}$ που απέχουν 8 AU
2. 2 αστέρες μάζας $5 M_{\odot}$ που απέχουν 8 AU
3. $6 M_{\odot}$ και $3 M_{\odot}$ που απέχουν 9 AU
4. $1 M_{\odot}$ και $7 M_{\odot}$ που απέχουν 12 AU

Ανοίξτε τώρα την προσομοίωση «Κέντρο μάζας» και επαληθεύστε τα αποτελέσματά σας.

Η φωτεινότητα των διπλών εκλειπτικών συστημάτων

- Ποια είναι η φωτεινότητα ενός αστέρα διπλάσιας ακτίνας σε σχέση με τον ήλιο αλλά ίδιας θερμοκρασίας;
- Ποια είναι η φωτεινότητα ενός αστέρα με το ήμισυ της ακτίνας σε σχέση με τον ήλιο αλλά διπλάσιας θερμοκρασίας?
- Ποια είναι η ακτίνα ενός αστέρα, ίδιας θερμοκρασίας αλλά φωτεινότητας 100 φορές μεγαλύτερης της ηλιακής;

- Ελέγξτε τις απαντήσεις σας με την προσομοίωση

Η μέγιστη φωτεινότητα ενός διπλού συστήματος είναι το άθροισμα των φωτεινοτήτων των δύο αστερών. Κατά τη διάρκεια όμως της έκλειψης του ενός από το άλλο στην ευθεία οράσεως, η ολική φωτεινότητα μειώνεται. Η μείωση της φωτεινότητας εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως είναι η επιφάνεια που αποκρύβεται του πιο μακρινού αστερά. Αφού η ενεργός διατομή του αστερά είναι η επιφάνεια κύκλου ακτίνας ίσης με την ακτίνα του αστερά, το πρόβλημα είναι η αλληλοεπικάλυψη δύο κύκλων. Πειραματιστείτε με την προσομοίωση «Φωτεινότητα των διπλών εκλειπτικών συστημάτων».

- Χρησιμοποιήστε το λευκό κύκλο για να αποκρύψετε περίπου το 50% του κίτρινου κύκλου.
- Χρησιμοποιήστε το κίτρινο κύκλο για να αποκρύψετε περίπου το 80% του λευκού κύκλου.

Η κατάσταση με πραγματικούς αστέρες είναι πιο πεπλεγμένη αφού τυπικά δεν έχουν ούτε το ίδιο μέγεθος, ούτε την ίδια θερμοκρασία. Πειραματιστείτε με εκλείψεις αστερών διαφορετικής ακτίνας και διαφορετικών θερμοκρασιών στην παρακάτω προσομοίωση.

- Πρώτα επιλέξτε αστέρες « ίδιας θερμοκρασία, ίδιας ακτίνας». Εξάγεται ένα κανόνα που να συνδέει την επιφάνεια που καλύπτεται με τη μείωση της φωτεινότητας
 - Επιλέξτε «ίδια ακτίνα, διαφορετική θερμοκρασία». Η μείωση της φωτεινότητας όταν ο κυανός αστέρας αποκρύβει τον πορτοκαλί είναι η ίδια με τη μείωση της φωτεινότητας όταν ο πορτοκαλί αποκρύπτει τον κυανό;
- Επιλέξτε «διαφορετική ακτίνα, διαφορετική θερμοκρασία». Ο ανιχνευτής σας είναι αρκετά ευαίσθητος για να ανιχνεύσει την πλήρη απόκρυψη του ψυχρού αστερά;

Η Καμπύλη φωτός των διπλών εκλειπτικών συστημάτων

(ανοίξτε την προσομοίωση)

Ερώτηση : Σε ένα ρολόι που αρχίζει να λειτουργεί ακριβώς το μεσημέρι, φανταστείτε ότι καταγράφετε τη θέση του λεπτοδείκτη. Εάν κάνετε μία καταγραφή στις 2:40 μ.μ ποιά θα είναι η φάση της παρατήρησής σας ; Εξηγείστε. _____

Μέρος I: Προσομοιώσεις

Ανοίξτε τη προσομοίωση του διπλού εκλειπτικού συστήματος. Υπάρχουν 4 διαφορετικά πλαίσια:

- μια **3D απεικόνιση** πάνω αριστερά όπου μπορείτε να δείτε το διπλό σύστημα εν κινήσει.
- Μια **απεικόνιση της Καμπύλης φωτός** πάνω δεξιά όπου μπορείτε να παρατηρήσετε τις μεταβολές του φωτός του συστήματος ως προς ροή ή μέγεθος.
- Κάτω αριστερά ένα πλαίσιο που περιέχει **προκαθορισμένα** sets δεδομένων με πλήρεις παραμέτρους και δεδομένα με ημιτελείς παραμέτρους..
- Κάτω δεξιά ένα πλαίσιο επιλογής **Παραμέτρων** (μάζα, ακτίνα και θερμοκρασία του κάθε αστέρα και τη θέση τους στο διάγραμμα HR. Επίσης ένα υπο-πλαίσιο με τις **παραμέτρους του συστήματος** (μεγάλος ημιάξονας, εκκεντρότητα και κλίση τροχιάς) .

Πειραματιστείτε αλλά συστηματικά δηλαδή με μία μεταβλητή κάθε φορά.

Επιλέξτε το **Παράδειγμα 1** (ίδιες παράμετροι σε κυκλικές τροχιές). Φέρτε το υπο-πλαίσιο **Παράμετροι του συστήματος** μπροστά και επιλέξτε την κίνηση του συστήματος (**show the system in motion**). Αφού έχετε παρατηρήσει αρκετές τροχιές σταματήστε την προσομοίωση (**stop the animation**) όταν το σύστημα είναι κοντά στη φάση 0.5 (εάν δεν είναι ακριβώς στο 0.5 μπορείτε να την σύρετε στο πλαίσιο **Light Curve Visualization** τον κέρσορα της κόκκινης γραμμής στην κατάλληλη φάση ή να χρησιμοποιήσετε την επιλογή της φάσης από τις **Παραμέτρους του Συστήματος**. Αυτή η φάση παριστάνει τη στιγμή στην οποία ο ένας αστέρας καλύπτει πλήρως τον άλλο παρατηρούμενος από τη Γη. Αυτή είναι μια ειδική περίπτωση μίας «σημειακής» έκλειψης πάνω στην καμπύλη φωτός η οποία τυπικά αντιστοιχεί σε μια μερική έκλειψη δηλαδή στην περίπτωση όπου ένας αστέρας δεν αποκρύβει πλήρως τον άλλο κι αυτό γιατί οι δύο αστέρες έχουν ακριβώς την ίδια ακτίνα κι έτσι συμβαίνει μεν ολική έκλειψη αλλά στιγμιαία κι άρα μοιάζει με μια μερική. Μετακινήστε τώρα τον κέρσορα στη φάση 0.25. Παρατηρήστε ότι ένα μεγάλο μέρος της καμπύλης φωτός είναι στο πάνω μέρος «επίπεδη» και αντιστοιχεί στην ολική φωτεινή και των δύο αστέρων. Αυτό συμβαίνει γιατί οι δύο αστέρες είναι σχετικά μικρών διαστάσεων σε σχέση με την απόστασή τους κι έτσι μία έκλειψη συμβαίνει για μικρό χρονικό διάστημα..

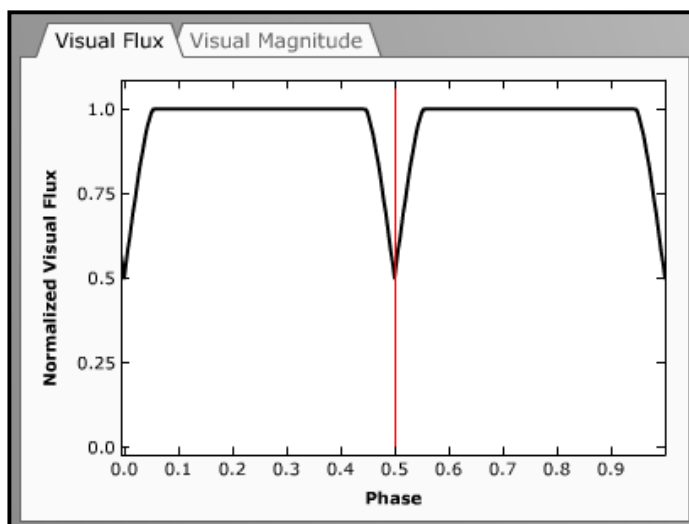


Figure 1: Light Curve Visualization Panel for Example 1 at phase = 0.5.

Επιλέξτε το **Παράδειγμα 2**. Πρόκειται για ένα σύστημα πολύ παρόμοιο με το παράδειγμα 1 με τη διαφορά ότι ο ένας αστέρας έχει διπλάσια ακτίνα σε σχέση με τον άλλο. Οι εκλείψεις τώρα είναι επίπεδες στο κάτω μέρος κατά τη χρονικό διάστημα όπου ο ένας αποκρύβεται τελείως ή encompassed από τον άλλο. Να συγκρίνετε το βάθος των εκλείψεων σε σχέση το παράδειγμα 1.

Ερώτηση 1: Πηγαίνετε στη φάση 0.03. Ποια είναι η φυσική σημασία αυτής της φάσης; _____

Επιλέξτε το **Παράδειγμα 3**. Τι κοινό και τι διαφορετικό έχουν οι αστέρες;-----
----- . Αυτό κάνει την έκλειψη στη φάση 0.0 να είναι βαθύτερη ή ρηχότερη από την έκλειψη στη φάση 0.5. Πώς ονομάζεται η καθεμία;

Ερώτηση: Ποιος αστέρας είναι πλησιέστερα στη Γη κατά τη διάρκεια της βαθύτερης έκλειψης; Γιατί ; _____

Ερώτηση 2: Ποιο είναι το βάθος της δευτερεύουσας έκλειψης σε ροή ; _____

Επιλέξτε το **Παράδειγμα 4**. Τι κοινό και τι διαφορετικό έχουν οι αστέρες;-----
----- . Ποια καμπύλη φωτός σας θυμίζει; Αλλάξτε προοπτική για να παρατηρήσετε την αλλαγή στο σύστημα, αφήνοντας ελεύθερη την επιλογή προοπτική απεικόνισης από τη Γη και παρατηρώντας την 3D απεικόνιση

Φέρτε την απεικόνιση στη μορφή όπου παρατηρείτε το σύστημα ακριβώς από πάνω κάθετα στο επίπεδό του όπως στο διπλανό σχήμα.. Ο πράσινος σταυρός παριστάνει το κέντρο μάζας του συστήματος. Μεταβάλλετε τη μάζα του αστέρα 1 . Καθώς μεταβάλλετε την απόσταση των αστερών από το κέντρο μάζας τι παρατηρείτε; .

Επιλέξτε το **Παράδειγμα 5**. Τι κοινό και τι διαφορετικό έχουν οι αστέρες;-----
 -----Παρατηρείτε πάλι από πάνω το ηλιακό επίπεδο. Θέστε το σύστημα σε κίνηση και παρατηρήστε ότι οι εκλείψεις δεν είναι πλέον συμμετρικές ως προς το χρόνο. Πότε συμβαίνουν οι εκλείψεις σε σχέση με τις θέσεις των δύο αστέρων;

Επιλέξτε τώρα την παρατήρηση από την προοπτική της Γης και παρατηρήστε πόσο ασύμμετρες φαίνονται να συμβαίνουν οι εκλείψεις από αυτή ην προοπτική

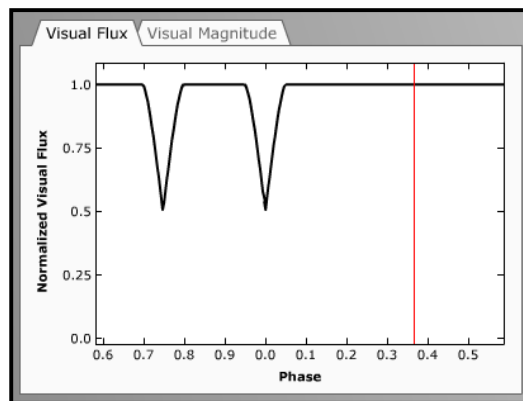


Figure 3: 3D καμπύλη φωτός για το παράδειγμα 5.

Επιλέξτε το **Παράδειγμα 6** και διαλέξτε την παρατήρηση πάνω από το επίπεδο του διπλού συστήματος. Οι είναι ακόμα σε ελλειπτική τροχιά με $e = 0.4$, αλλά ο ένας αστέρας έχει διπλάσια μάζα από τον άλλο.

Ερώτηση 3: Σας θυμίζει κάποιον από τους νόμους του Kepler (αλλάξτε την εκκεντρότητα σε 0.6)

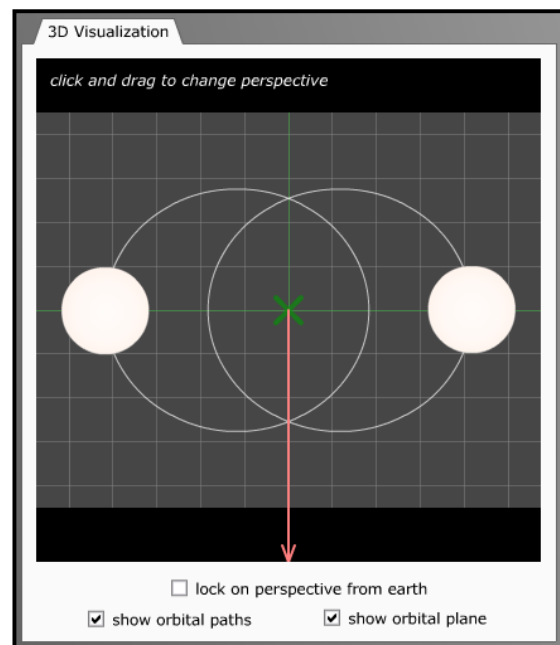


Figure 4: 3D Visualization panel for Example #5 looking down onto the plane of the binary system

Επιλέξτε το **Παράδειγμα 7** και διαλέξτε την παρατήρηση από τη Γη . Παρατηρήστε ότι το σύστημα έχει _____ τροχιές, κλίση _____, απόσταση _____ και αστέρες ακτίνων _____ και _____ και δημιουργεί _____ εκλείψεις. Διερευνήστε πώς αλλάζει η έκλειψη μεταβάλλοντας την κλίση. °.υπολογίστε την κλίση στην οποία οι εκλείψεις γίνονται μερικές. _____

Ερώτηση 4: Ελαττώνοντας την κλίση, σε ποια τιμή σταματούν οι εκλείψεις; _____

Επιλέξτε το **Παράδειγμα 8**. Παρατηρήστε ότι το σύστημα έχει _____ τροχιές, κλίση _____, απόσταση _____ και αστέρες ακτίνων _____ και _____ και δημιουργεί _____ εκλείψεις. Διερευνήστε πώς επηρεάζει την έκλειψη η κλίση.

Ερώτηση 5: Ελαττώστε την κλίση από 90 και υπολογίστε σε ποια κλίση οι εκλείψεις γίνονται μερικές _____

Ερώτηση 6: Συνεχίστε να ελαττώνετε την κλίση. Για ποια κλίση δε συμβαίνουν οι εκλείψεις; _____

Ερώτηση 7: Με βάση τις παρατηρήσεις σας από τα παραδείγματα 7 και 8, μπορείτε να εξάγετε κάποια γενικά συμπεράσματα σχετικά με το ποιος τύπος διπλός συστημάτων θα παρατηρηθούν ως διπλά εκλειπτικά συστήματα. _____

Γυρίστε στο **Παράδειγμα 2** και **βάλτε το σύστημα σε κίνηση**. Τι παρατηρείται για τις δύο εκλείψεις, με ποια έννοια θα τις χαρακτηρίζατε συμμετρικές; Μπορείτε να το εξηγήσετε;.

Γυρίστε στο **Παράδειγμα 3** και **βάλτε το σύστημα σε κίνηση**. Τι παρατηρείται για τις δύο εκλείψεις τώρα; Τι το διαφορετικό έχει τώρα το σύστημα που τις επηρεάζει ;.

Μπορείτε να βγάλετε ένα συμπέρασμα;

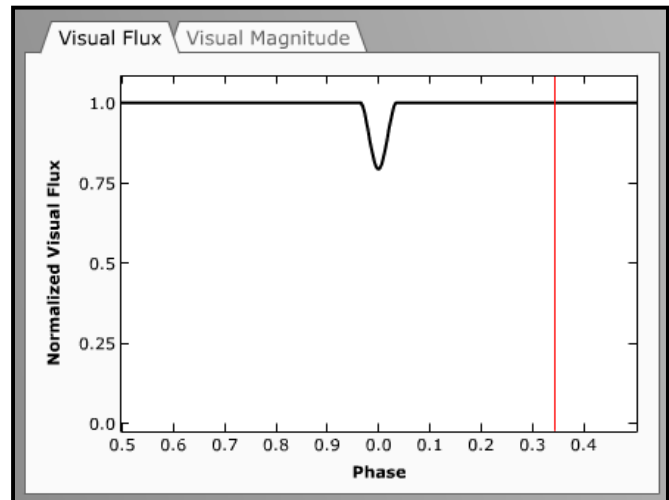


Figure 5: Light curve illustrating only 1 eclipse.

Γυρίστε στο **Παράδειγμα 5** (όπου η εκκεντρότητα είναι 0.4) και οι εκλείψεις έχουν _____ βάθος. Μειώστε την κλίση σε 75° . Παρατηρήστε ότι με μήκος = 0° (δηλαδή η ευθεία οράσεως είναι κάθετη στον μεγάλο ημιάξονα της τροχιάς), πώς μεταβάλλεται το βάθος των εκλείψεων ;.

Μεταβάλλετε το μήκος και δείτε πως επηρεάζει την καμπύλη. Μπορείτε να καθορίσετε για ποια μήκη συμβαίνει μόνο μία έκλειψη; Άρα ο συνδυασμός, κλίσης, εκκεντρότητας και μήκους δημιουργεί πιο σύνθετες καμπύλες φωτός (ακόμα και με το απλοποιημένο μοντέλο μας

Μέρος II: Καμπύλες φωτός πραγματικών δεδομένων

Είδαμε ότι η μορφή μιας καμπύλης εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Σε αυτό το μέρος της άσκησης θα παρατηρήσουμε καμπύλες φωτός πραγματικών συστημάτων για τις οποίες η πληροφορία έχει εξαχθεί και με φασματοσκοπικά δεδομένα (απαραίτητο) ώστε να βγάλουμε κάποια συμπεράσματα.

Καμπύλη φωτός **KP Aql**:

- Αφού και οι δύο εκλείψεις ισαπέχουν ως προς φάση (0.0 και 0.5), συμπεραίνουμε ότι _____
- Αφού και οι δύο εκλείψεις έχουν παρόμοιο βάθος και με βάση το παραπάνω συμπέρασμα συμπεραίνουμε ότι _____
- Αφού ένα μικρό ποσοστό του φωτός της καμπύλης αποκρύβεται, συμπεραίνουμε για την μεταξύ _____ των _____ αστέρων _____ απόσταση;

- Σε συνδυασμό με τα παραπάνω συμπεράσματα και το γεγονός ότι η ροή πέφτει περίπου κατά 50% κατά την έκλειψη, είναι σημαντικό γιατί μας οδηγεί σε κάποιο συμπέρασμα για την κλίση του συστήματος.

Καμπύλη φωτός **EW Ori**

Καμπύλη φωτός **EK Cep**

Καμπύλη φωτός **TW Cas**

.

Καμπύλη φωτός **AD Her**

Καμπύλη φωτός **AW UMa**

Καμπύλη φωτός **AW**

Καμπύλη φωτός **DM Del**

Μέρος III: Διερεύνηση πραγματικών δεδομένων

Για το καθένα από τα παρακάτω φωτομετρικά δεδομένα θα πρέπει να χρησιμοποιήσετε τον προσομοιωτή για να «φτιάξετε» την καμπύλη φωτός.

Οι περισσότερες παράμετροι των αστερών και του συστήματος είναι προκαθορισμένες στις ελάχιστες τιμές τους, ενώ κάποιες είναι οι οθές, για να σας βοηθήσουν. Θα πρέπει να επιλέξετε την καλύτερη τιμή και να περιγράψετε πως μεταβάλλεται η καμπύλη όταν αλλάζετε τις παραμέτρους.

Ερώτηση 1: RT CrB – Ρυθμίστε την ακτίνα του αστέρα 1.

- a) Βέλτιστη τιμή της ακτίνας του αστέρα 1 = _____
- b) Εξηγήστε τον τρόπο που επηρεάζει αυτή η παράμετρος την καμπύλη φωτός: _____

Ερώτηση 2: V478 Cyg – Ρυθμίστε την κλίση

- c) Βέλτιστη τιμή της κλίσης = _____
- d) Εξηγήστε τον τρόπο που επηρεάζει αυτή η παράμετρος την καμπύλη φωτός: _____

Ερώτηση 3: V477 Cyg – Ρυθμίστε την απόσταση.

- e) Βέλτιστη τιμή της απόστασης = _____
- f) Εξηγήστε τον τρόπο που επηρεάζει αυτή η παράμετρος την καμπύλη φωτός: _____

Ερώτηση 4: DI Her – Ρυθμίστε την εκκεντρότητα.

g) Βέλτιστη τιμή της εκκεντρότητας = _____

h) Εξηγείστε τον τρόπο που επηρεάζει αυτή η παράμετρος την καμπύλη φωτός: _____

Ερώτηση 5: Ag Phe – Ρυθμίστε την θερμοκρασία του αστέρα 2.

a) Βέλτιστη τιμή της θερμοκρασίας του αστέρα 2 = _____

b) Εξηγείστε τον τρόπο που επηρεάζει αυτή η παράμετρος την καμπύλη φωτός: _____

Ερώτηση 6: Rz Cas – Ρυθμίστε την θερμοκρασία του αστέρα 2 και την κλίση

i) Βέλτιστη τιμή της θερμοκρασίας του αστέρα 2 = _____

j) Βέλτιστη τιμή της κλίσης = _____

Ερώτηση 7: AF Gem – Ρυθμίστε την θερμοκρασία και την ακτίνα του αστέρα 2

k) Βέλτιστη τιμή της θερμοκρασίας του αστέρα 2 = _____

l) Βέλτιστη τιμή της ακτίνας του αστέρα 2 = _____