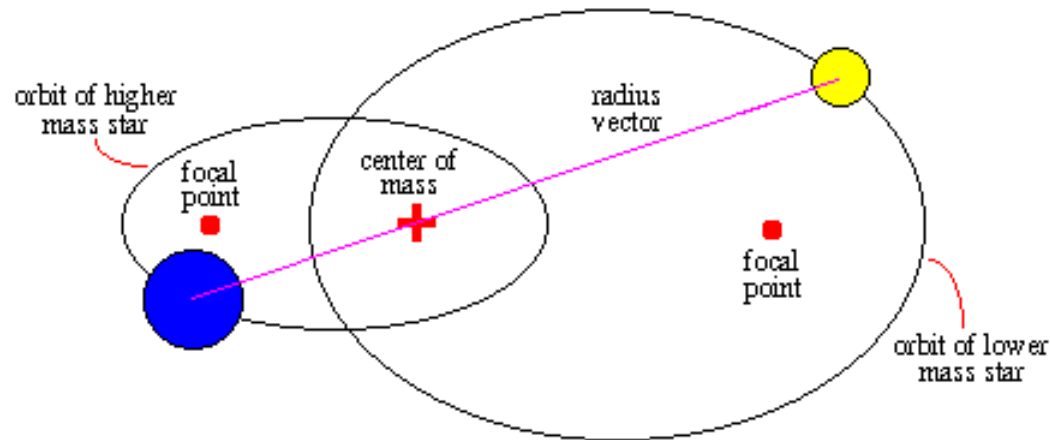


ΔΙΠΛΟΙ ΑΣΤΕΡΕΣ (BINARY STARS)

2 αστέρες που περιστρέφονται
ο ένας γύρω από τον άλλο λόγω
βαρυτικής αλληλεπίδρασης

Η περιστροφή μπορεί να επιδρά στην
παρατηρούμενη ροή ακτινοβολίας
(μεταβλητότητα λόγω εκλείψεων)
αλλά και στο φάσμα τους

Binary Star Orbit



Τροχιακή Κίνηση

Για τις τροχιές ισχύουν οι τρεις νόμοι του Kepler

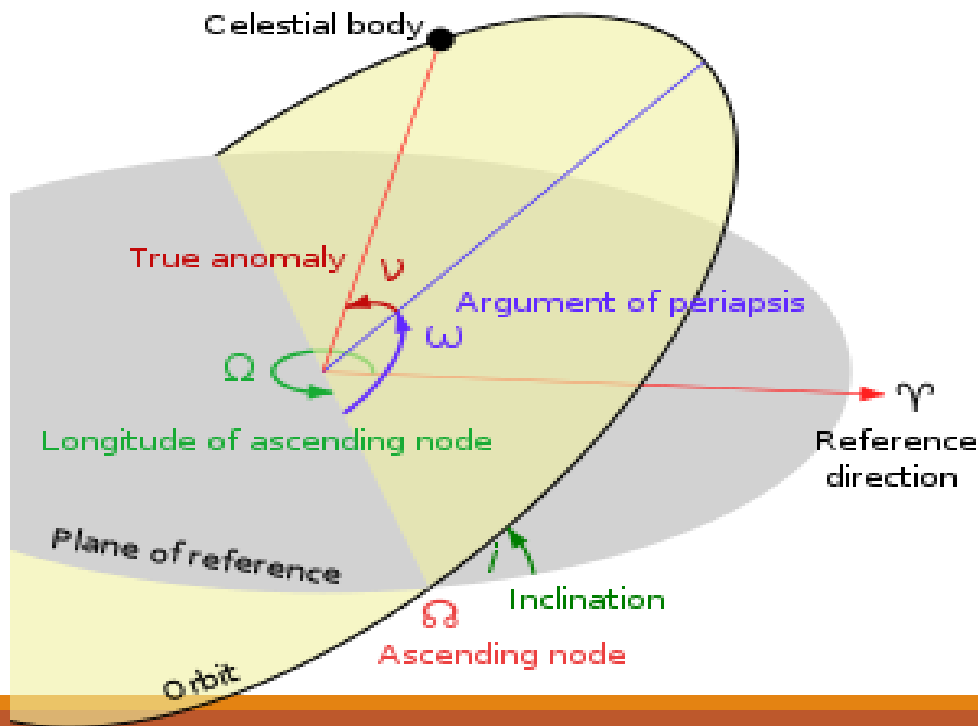
α) επίπεδη κίνηση, ελλειπτικές τροχιές

β) ισεμβαδικές ταχύτητες

γ) Αρμονικός νόμος

$$G(m_1 + m_2)P^2 = 4\pi^2 a^3$$

$$(m_1 + m_2)P^2 = a^3 \quad (\text{Περίοδος σε έτη, μεγάλος ημιάξονας σε A.U και μάζες σε Mo})$$



- **P**: περίοδος
- **i**: κλίση του επιπέδου τροχιάς ως προς το επίπεδο του ουρανού
- **Ω**: γωνία μεταξύ βορρά και της γραμμής των αψίδων
- **ω**: γωνία μεταξύ της γραμμής των αψίδων και μεγάλου ημιάξονα

ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΔΙΠΛΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Με βάση την παρατήρηση

1. Οπτικά διπλά συστήματα

Απόσταση μεταξύ των μελών μερικές χιλιάδες A.U
ορατά και τα δυο μέλη με τηλεσκόπιο.

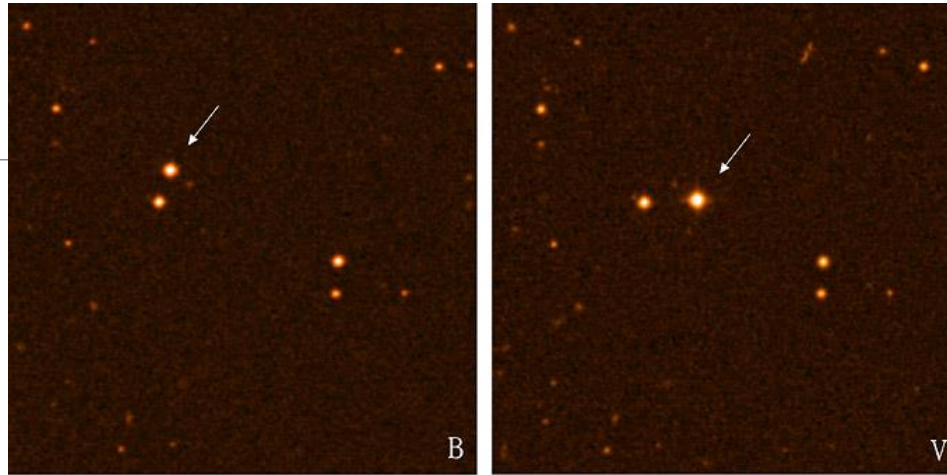
Δεν πρέπει να συγχέονται με περιπτώσεις όπου δυο αστέρες
Φαίνονται κοντά στην ουράνια σφαίρα

2. Φασματοσκοπικά Διπλά Συστήματα

3. Φωτομετρικά Διπλοί Αστέρες

4. Αστρομετρικά Διπλοί Αστέρες

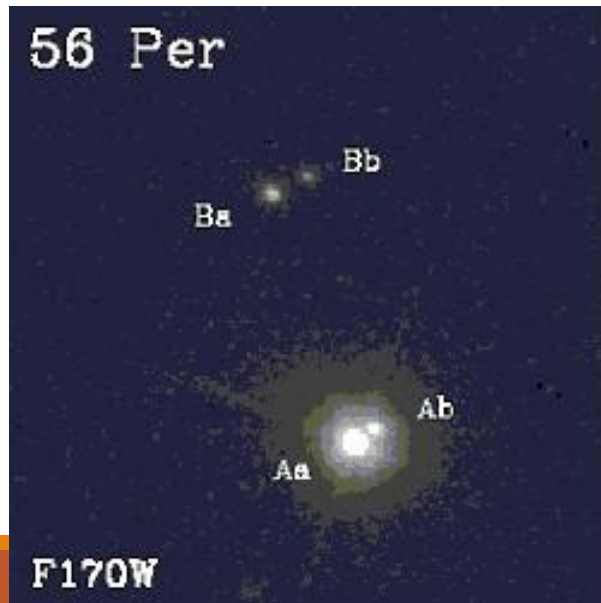
Οπτικά Διπλοί



The Nearby Star CN Leonis

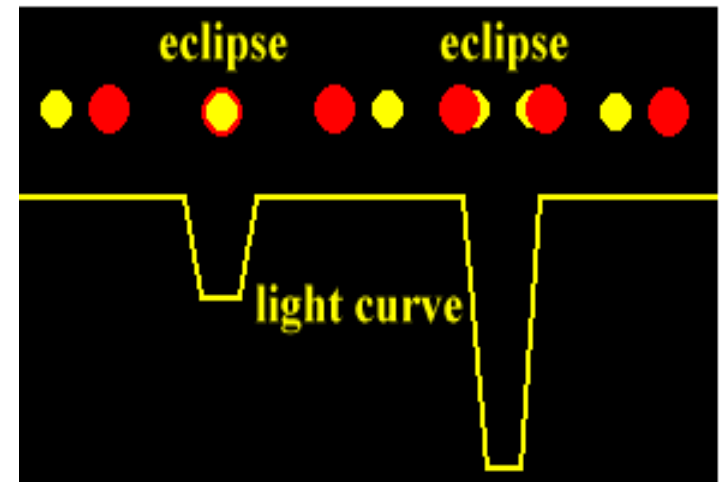
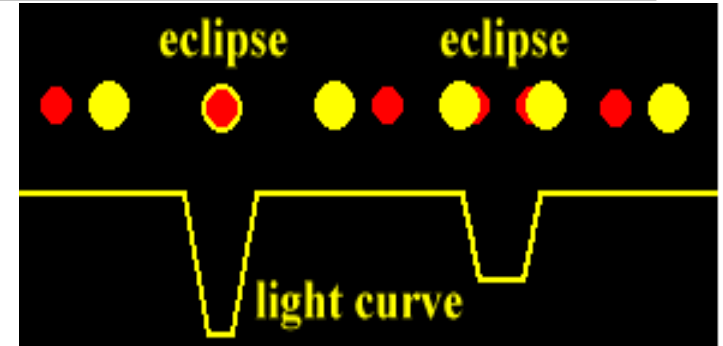
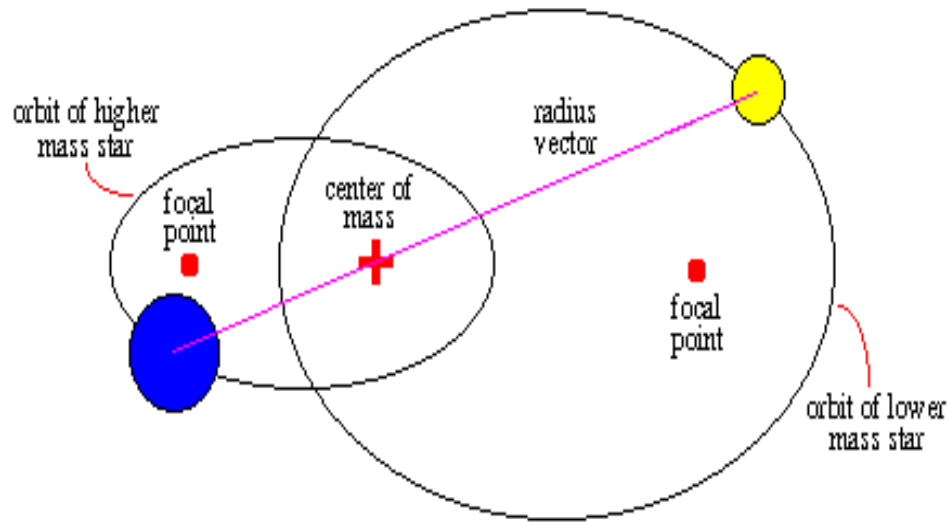
ESO PR Photo 24b/01 (1 August 2001)

© Digitized Sky Survey and
European Southern Observatory



Φωτομετρικά Διπλοί

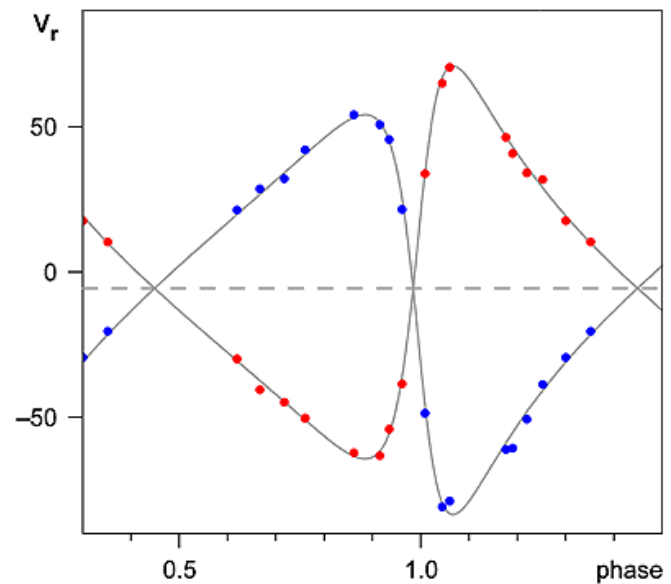
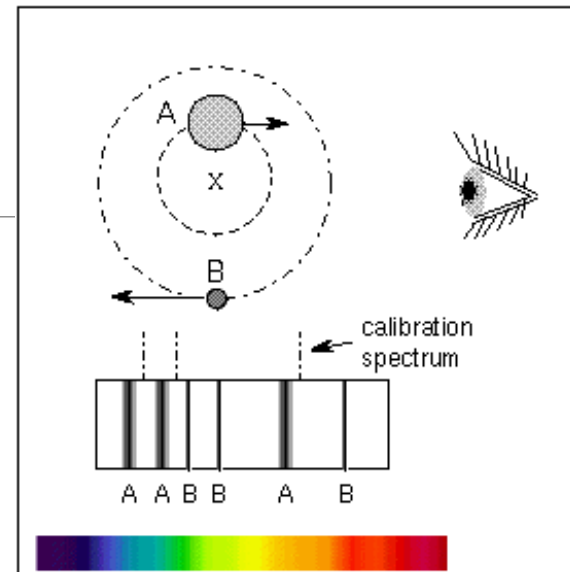
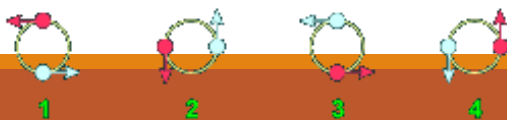
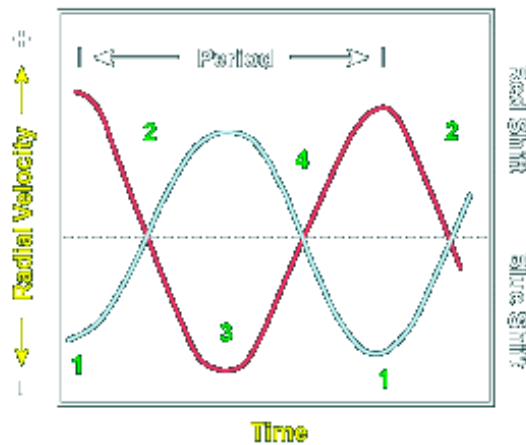
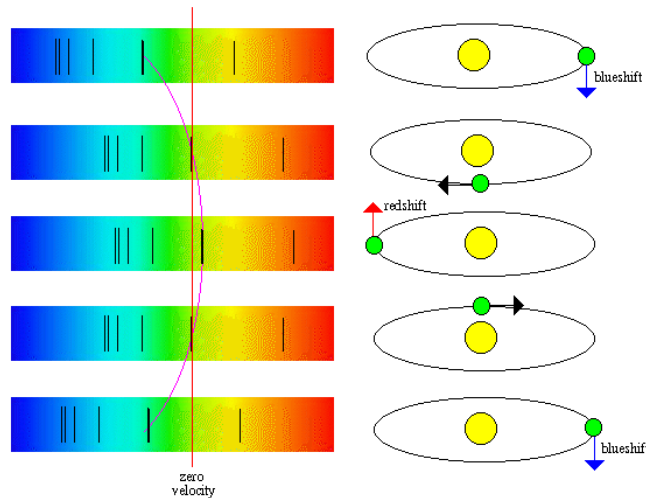
Binary Star Orbit



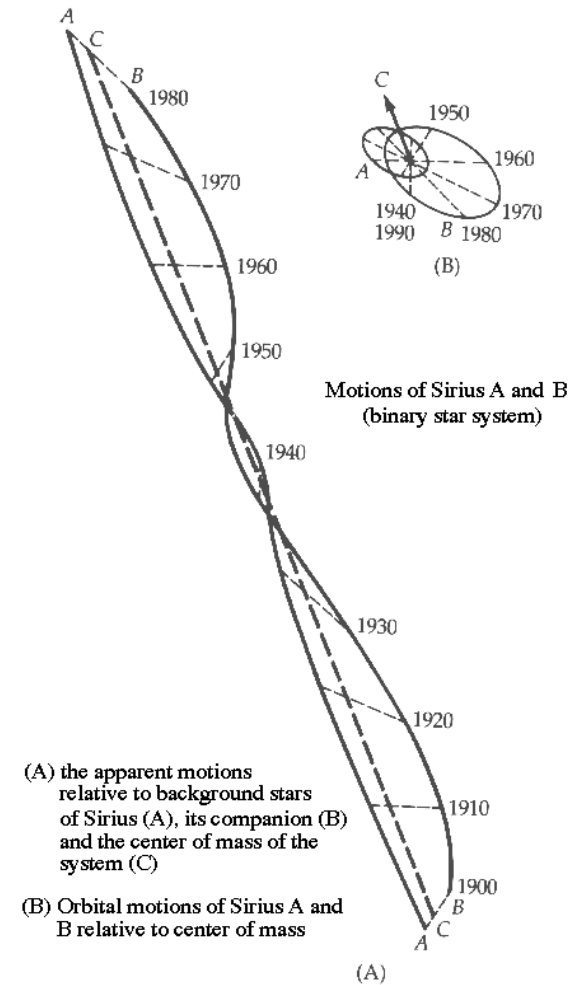
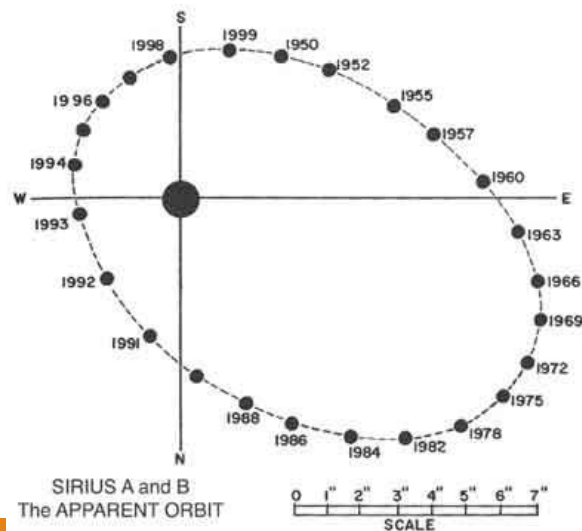
Φασματοσκοπικά Διπλοί

Spectroscopic Binary

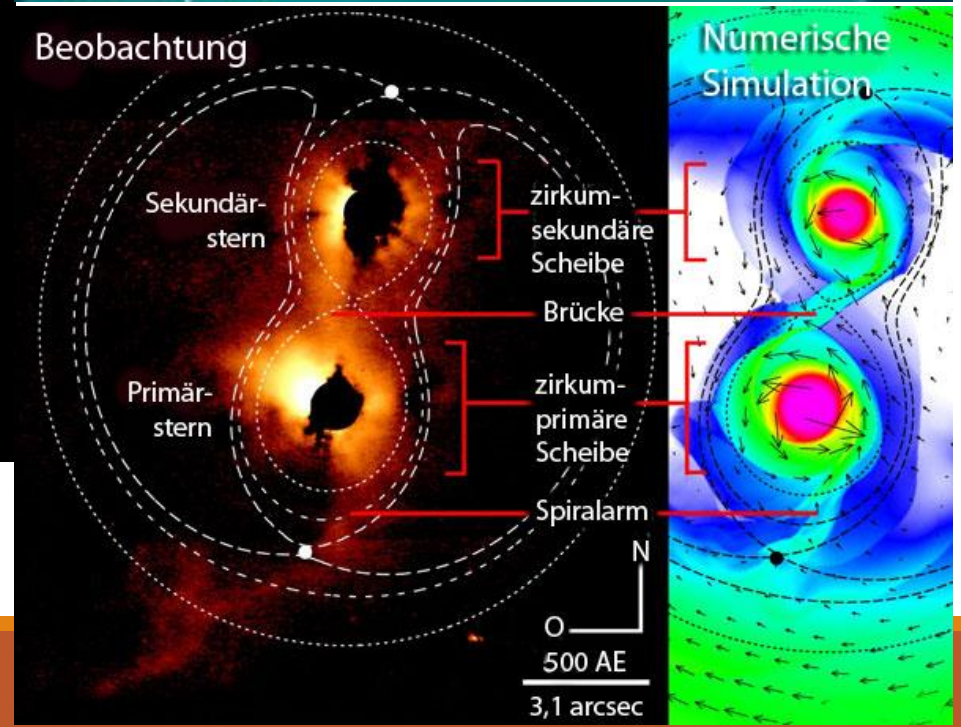
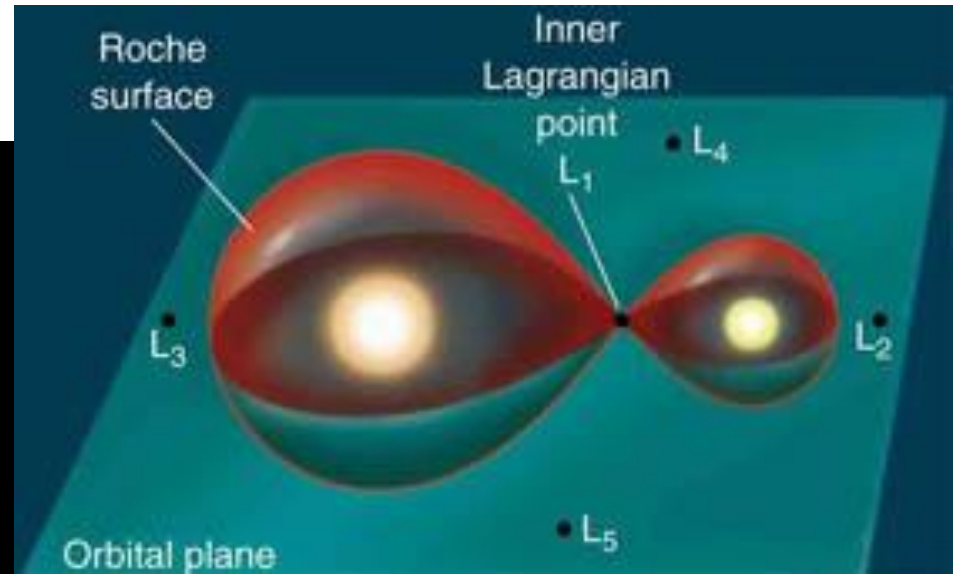
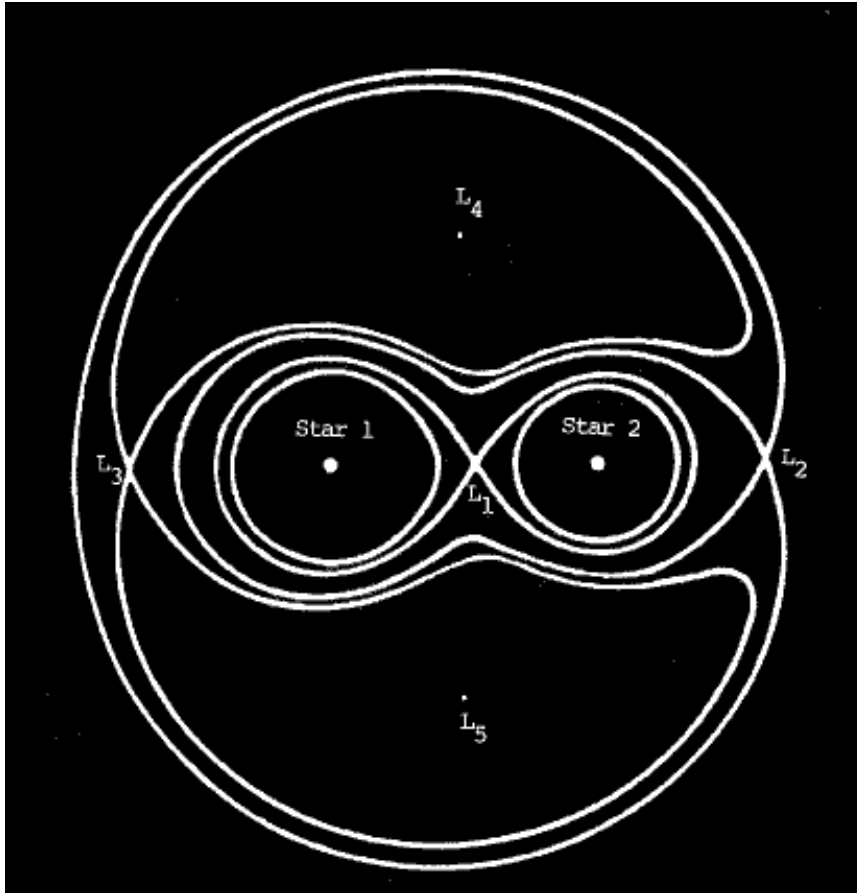
A spectroscopic binary is where there is evidence of orbital motion in the spectral features due to the Doppler effect



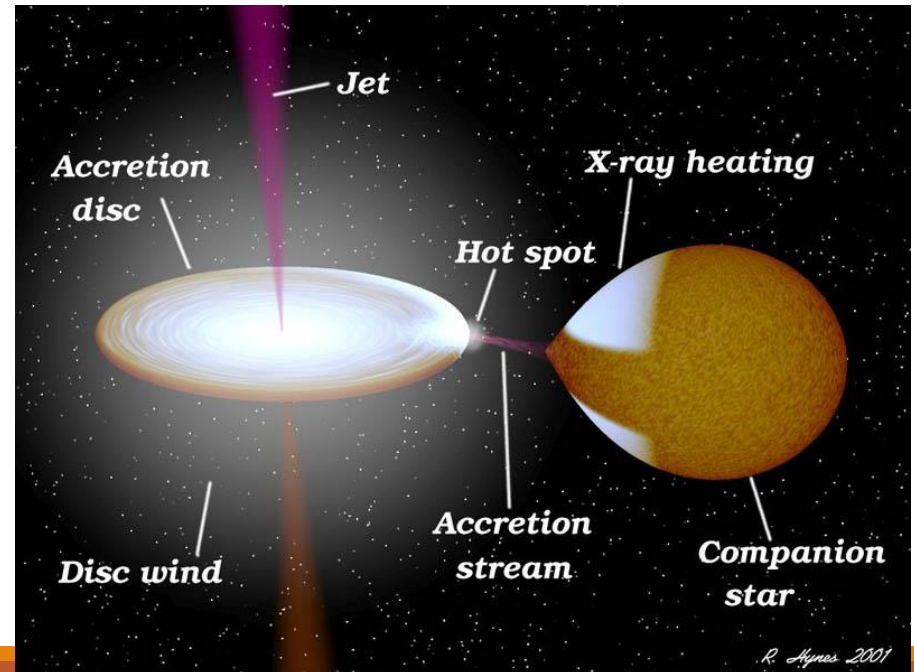
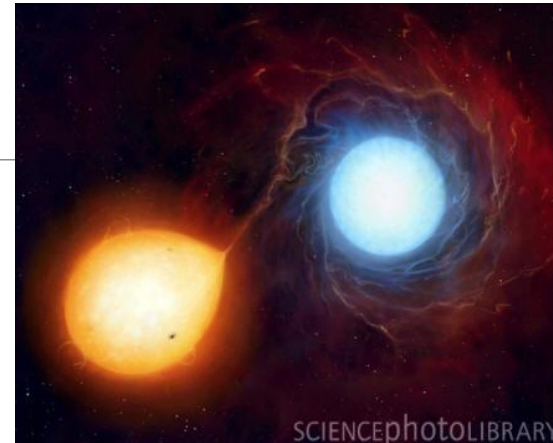
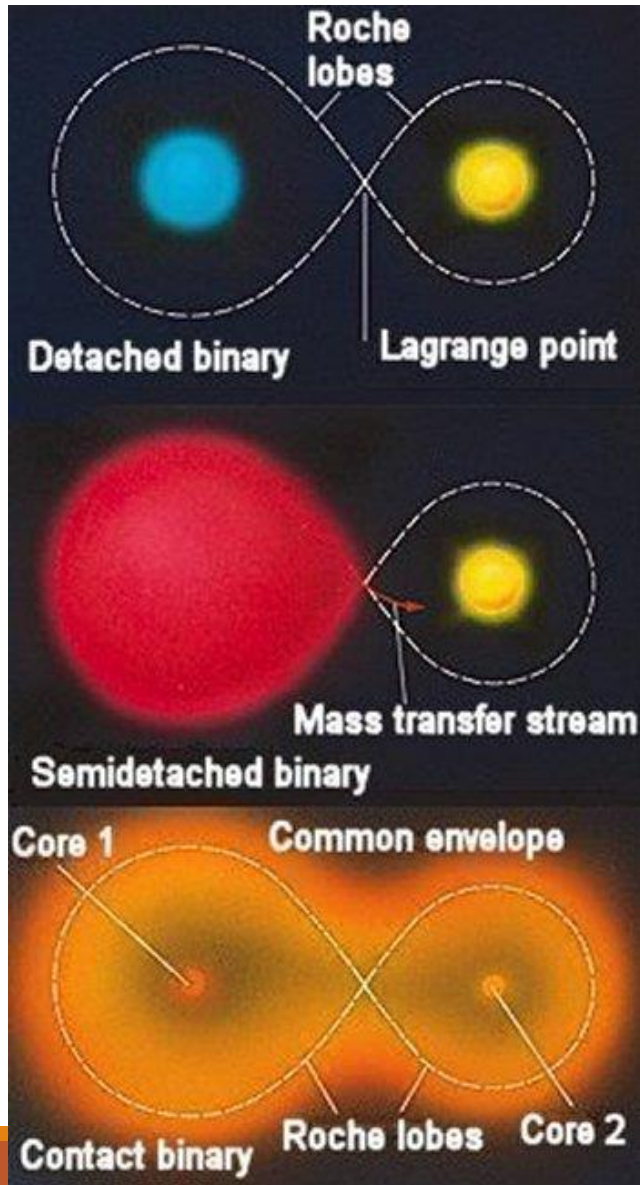
Αστρομετρικά Διπλοί



6. Μοντέλο Roche

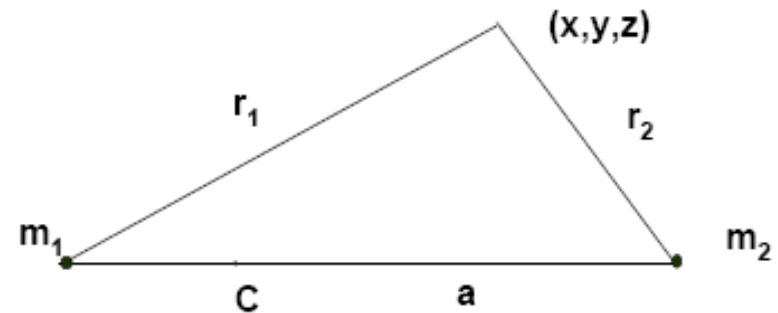


Ταξινόμηση κατά Roche



Το μοντέλο Roche

1. Σημειακές Μάζες.
2. Κυκλική Τροχιά.
3. Σύγχρονη Περιστροφή.



$$\omega^2 = \left(\frac{2\pi}{P} \right)^2 = G \frac{M_1 + M_2}{a^3}$$

$$r_1^2 = x^2 + y^2 + z^2 \quad r_2^2 = (x - a)^2 + y^2 + z^2$$

$$\frac{x_c}{a} = \frac{m_2}{M} = \frac{q}{1+q} \quad q \equiv \frac{m_2}{m_1} \leq 1$$

$$\Phi = -\frac{G m_1}{r_1} - \frac{G m_2}{r_2} - \frac{\omega^2}{2} \left[(x - x_c)^2 + y^2 \right]$$

Το κανονικοποιημένο μοντέλο Roche

$$\text{factor out } -\frac{\omega^2}{2} = -\frac{G M}{2 a^3} \quad \text{and} \quad x \rightarrow \frac{x}{a}, \quad \text{etc.}$$

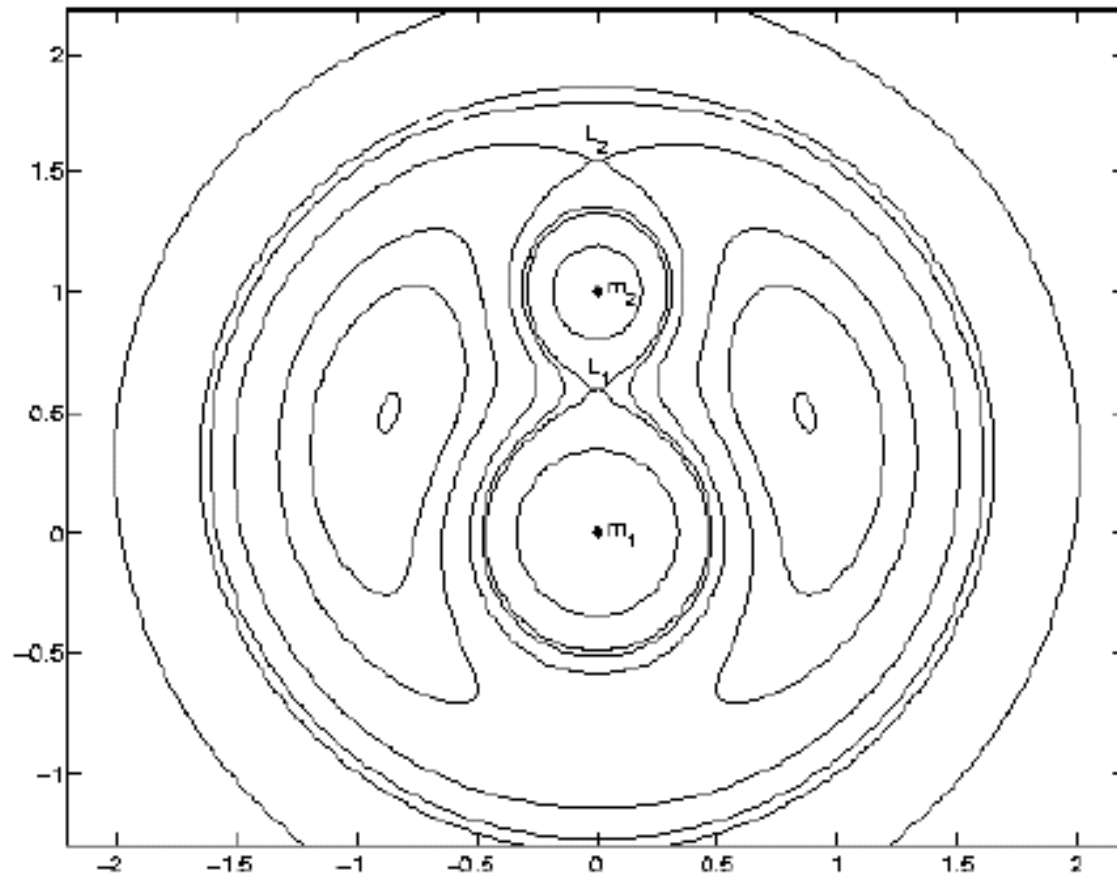
$$\Phi(x, y, z) = -\frac{\omega^2}{2} \Phi_N\left(\frac{x}{a}, \frac{y}{a}, \frac{z}{a}\right)$$

dimensionless Roche Potential:

$$\Phi_N(x, y, z) = \frac{2}{(1+q)} \frac{1}{r_1} + \frac{2q}{(1+q)} \frac{1}{r_2} + \left(x - \frac{q}{(1+q)} \right)^2 + y^2$$

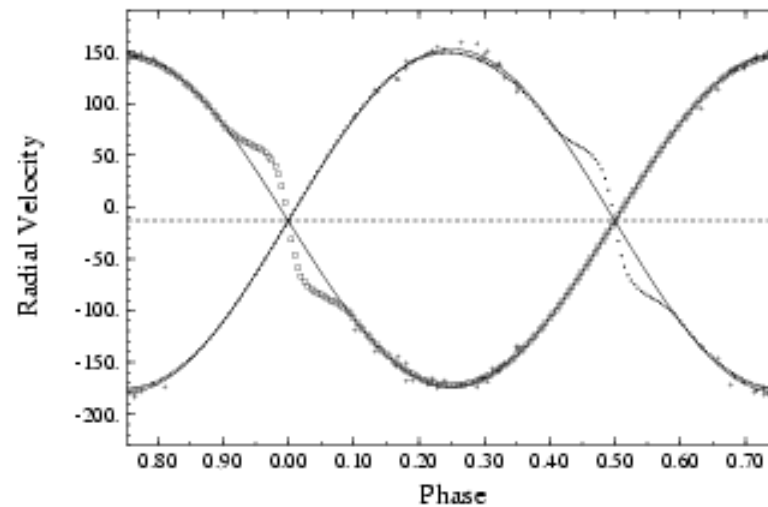
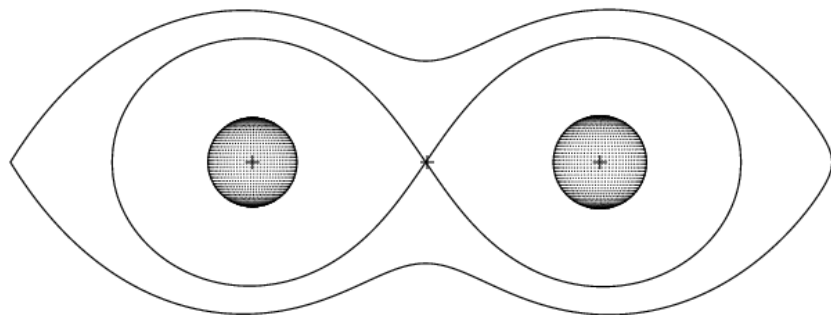
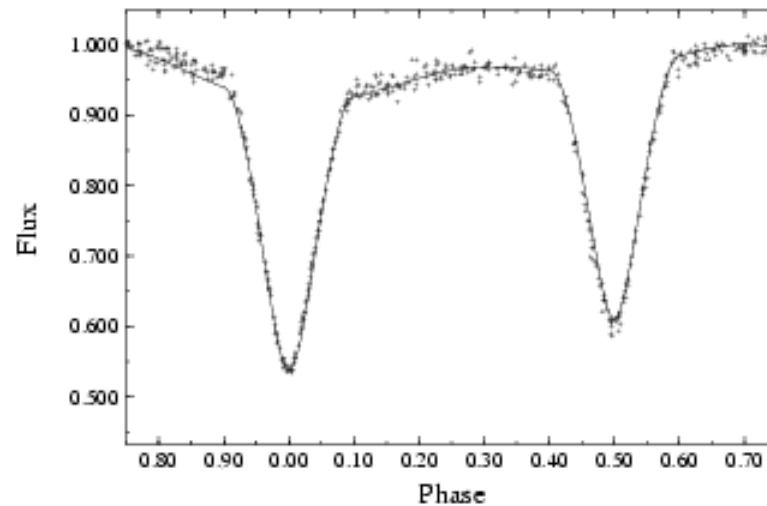
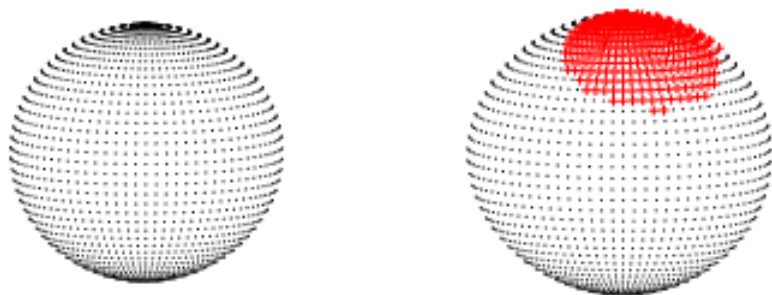
Περιγράφει το σχήμα των ισοδυναμικών επιφανειών εξαρτόμενο μόνο από το λόγο μαζών q

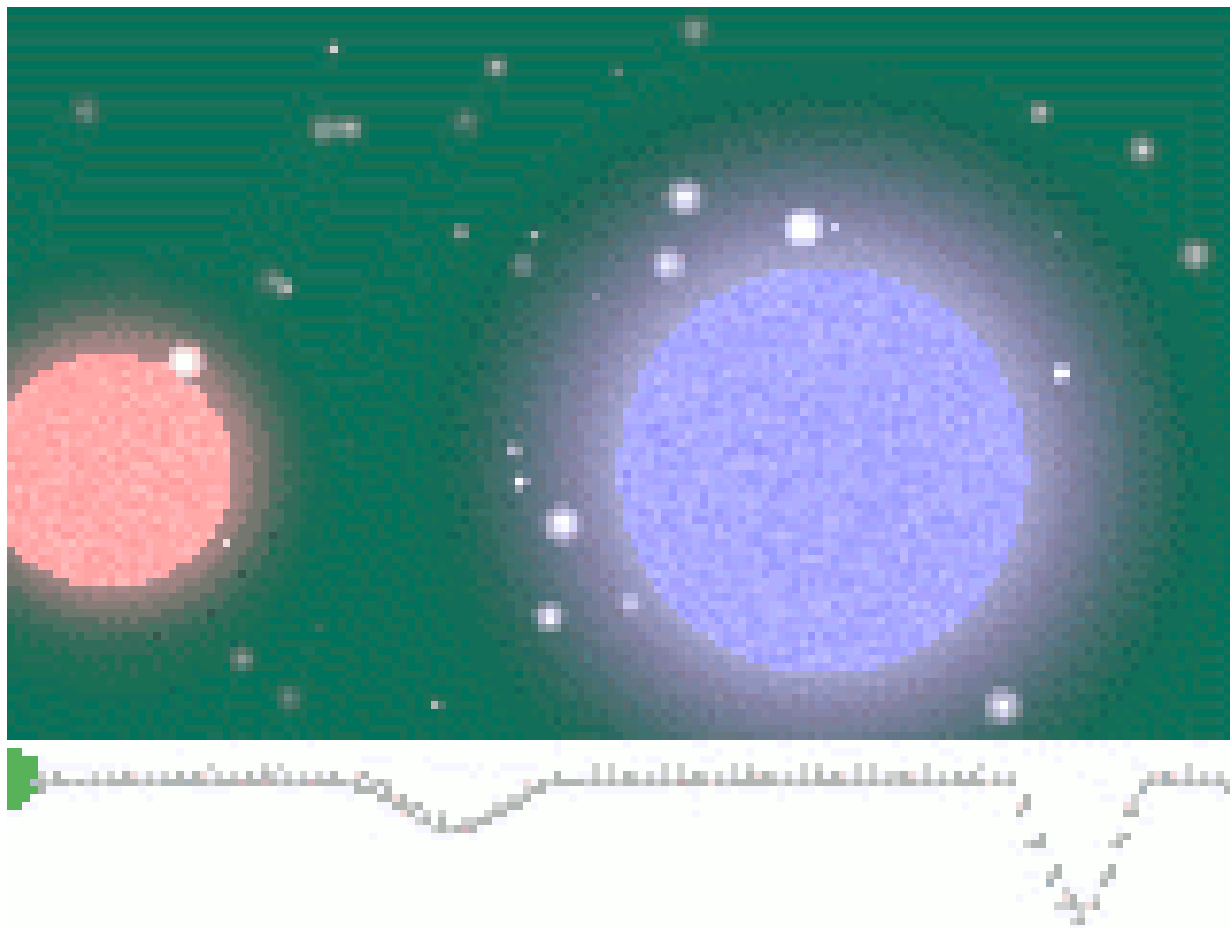
$\Lambda\sigma\beta\sigma i$ Roche



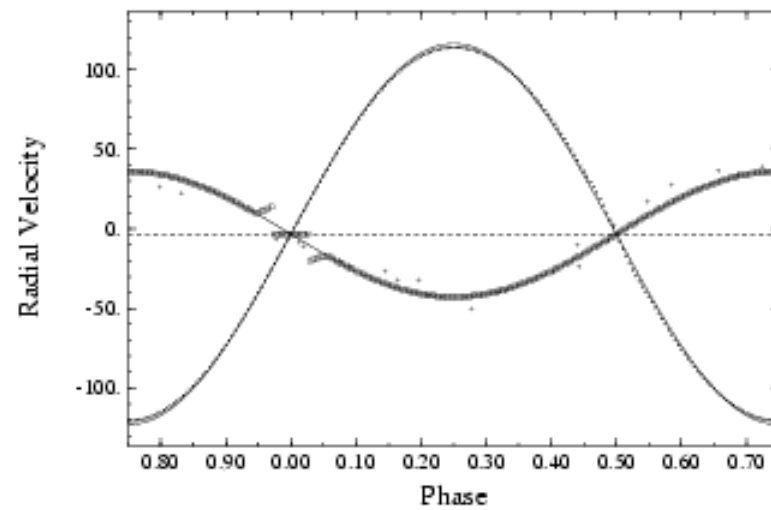
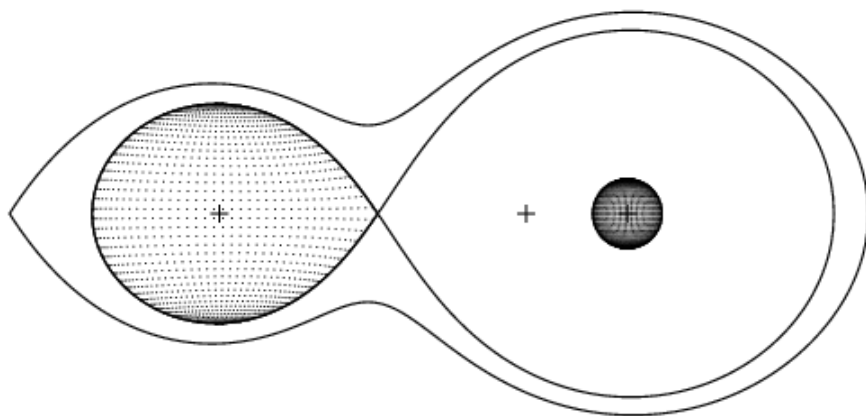
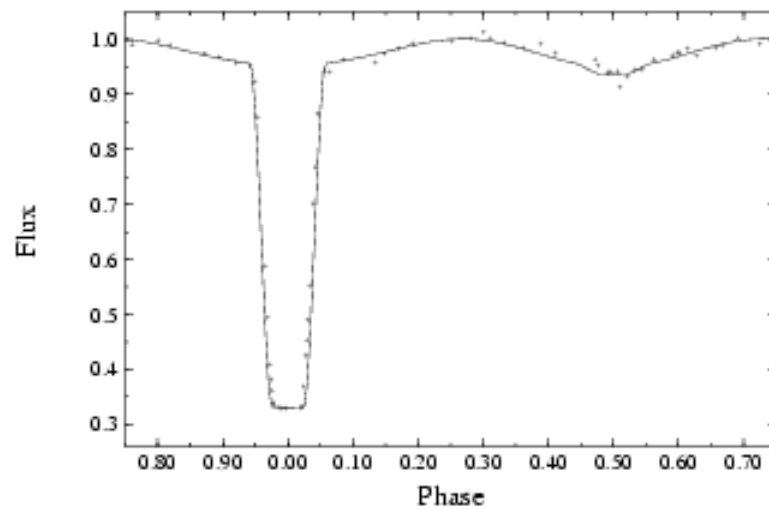
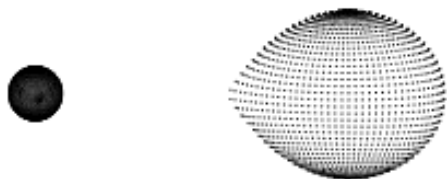
Lagrange points L_1 , L_2 , L_3 , and L_4 , L_5

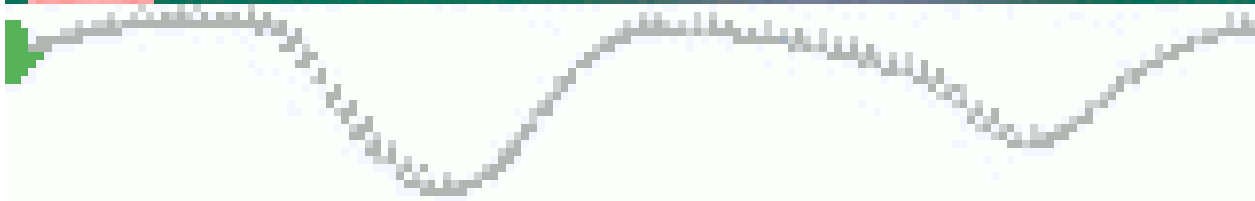
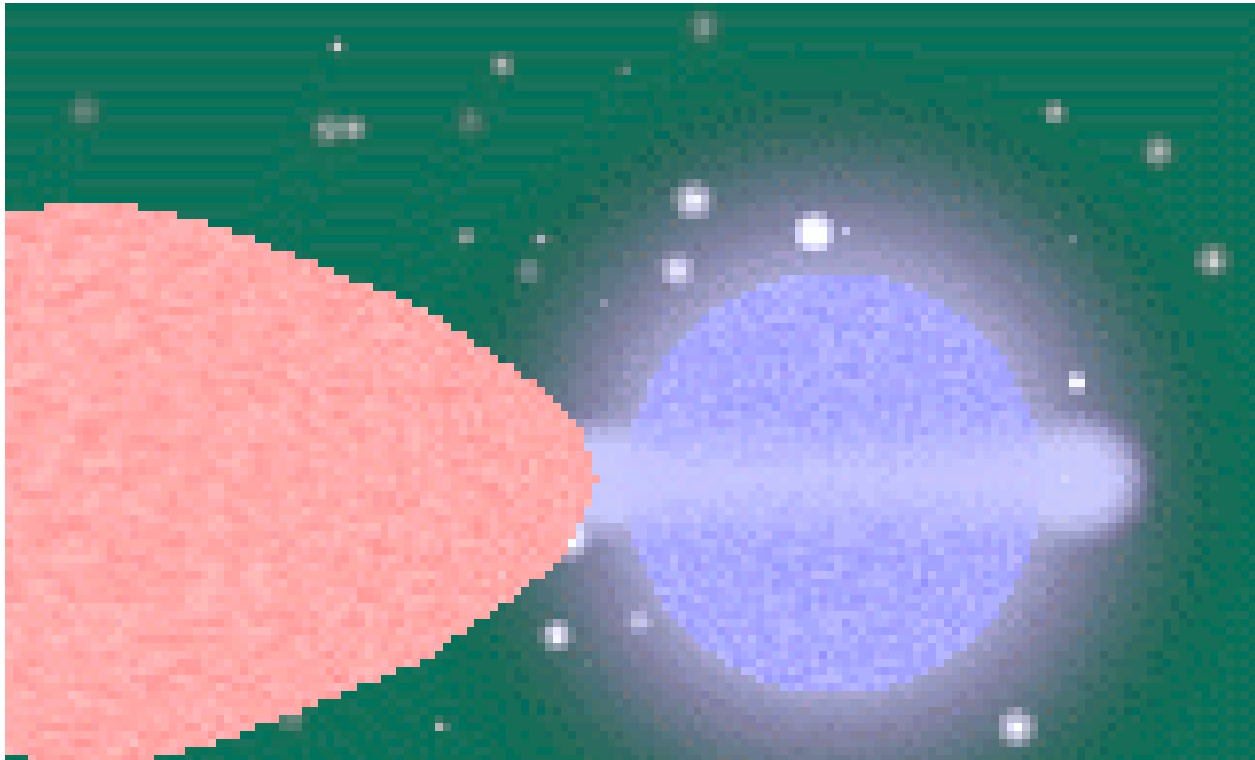
Αποχωρισμένα διπλά συστήματα (UV Leo)



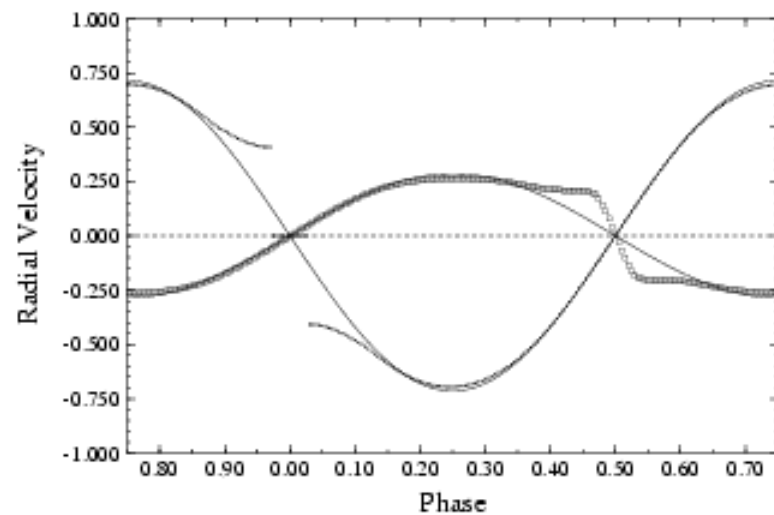
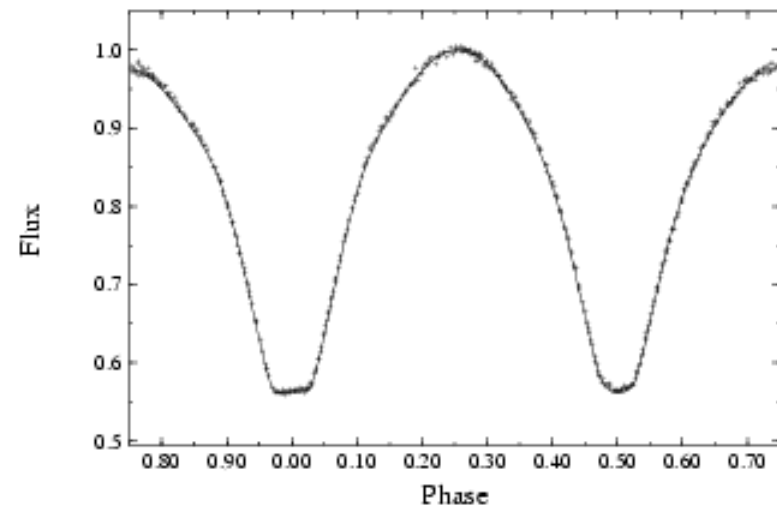
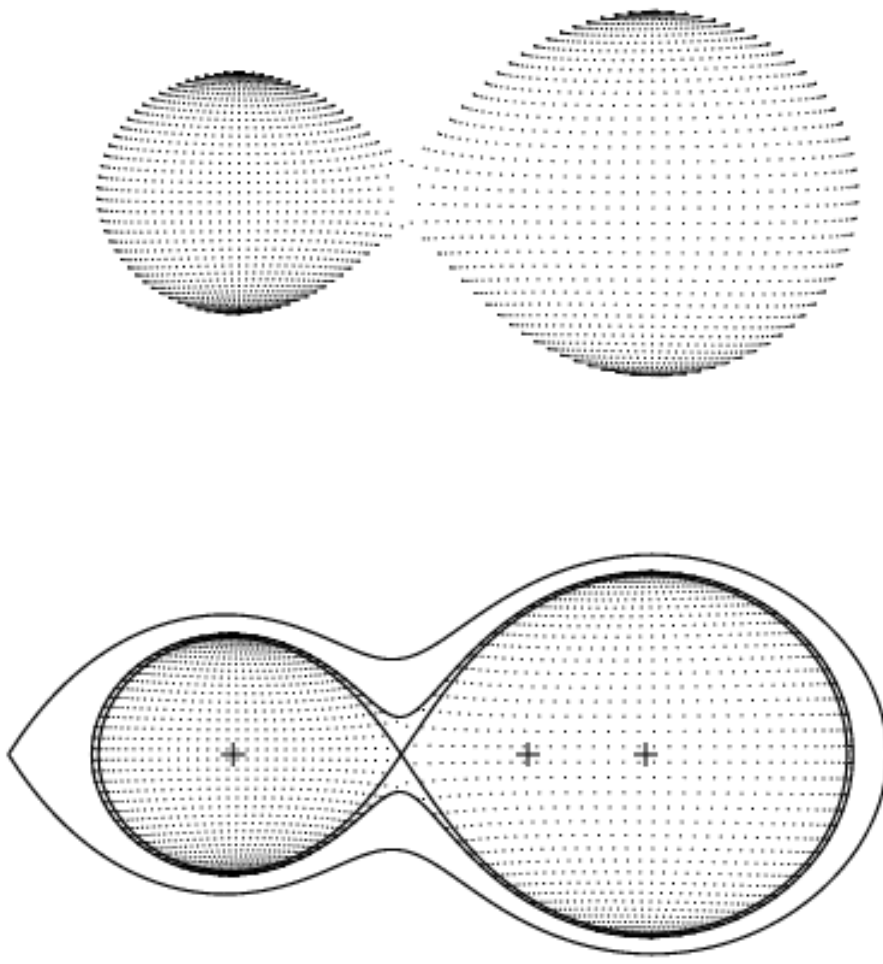


Ημιαποχωρισμένα Διπλά Συστήματα (AD Her)





Διπλά Συστήματα σε Επαφή (AE Phe)



Φαινόμενα Εγγύτητας

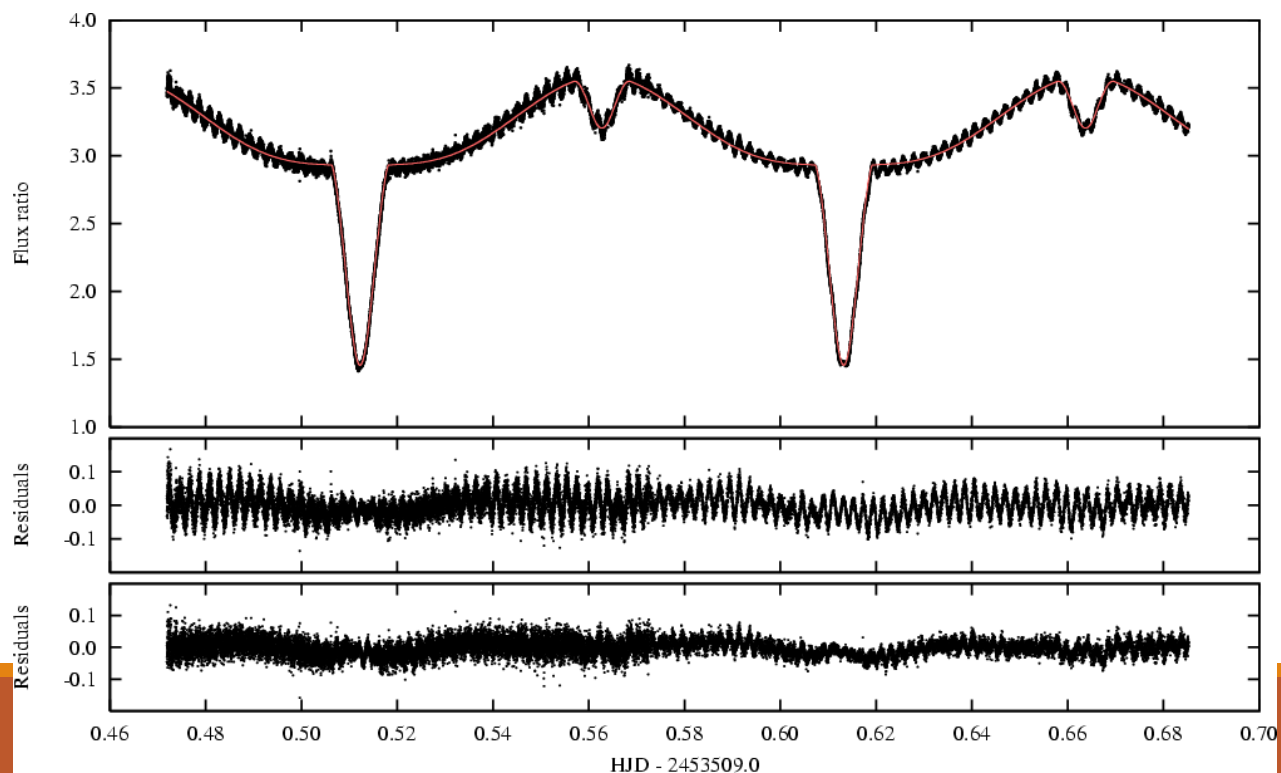
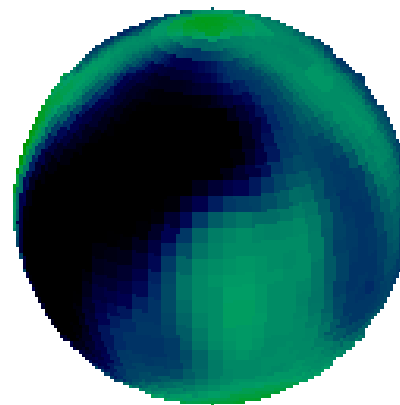
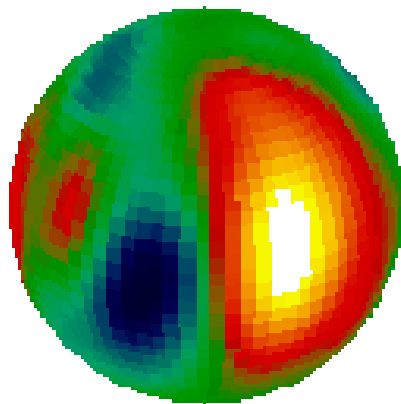
Φαινόμενο της ανάκλασης (reflection effect): Παράγεται σε συστήματα των οποίων τα μέλη έχουν σημαντική διαφορά θερμοκρασίας και οφείλεται στη θέρμανση που προκαλεί ο θερμότερος αστέρας στην πλευρά του ψυχρότερου που βρίσκεται απεναντί του $\Rightarrow$

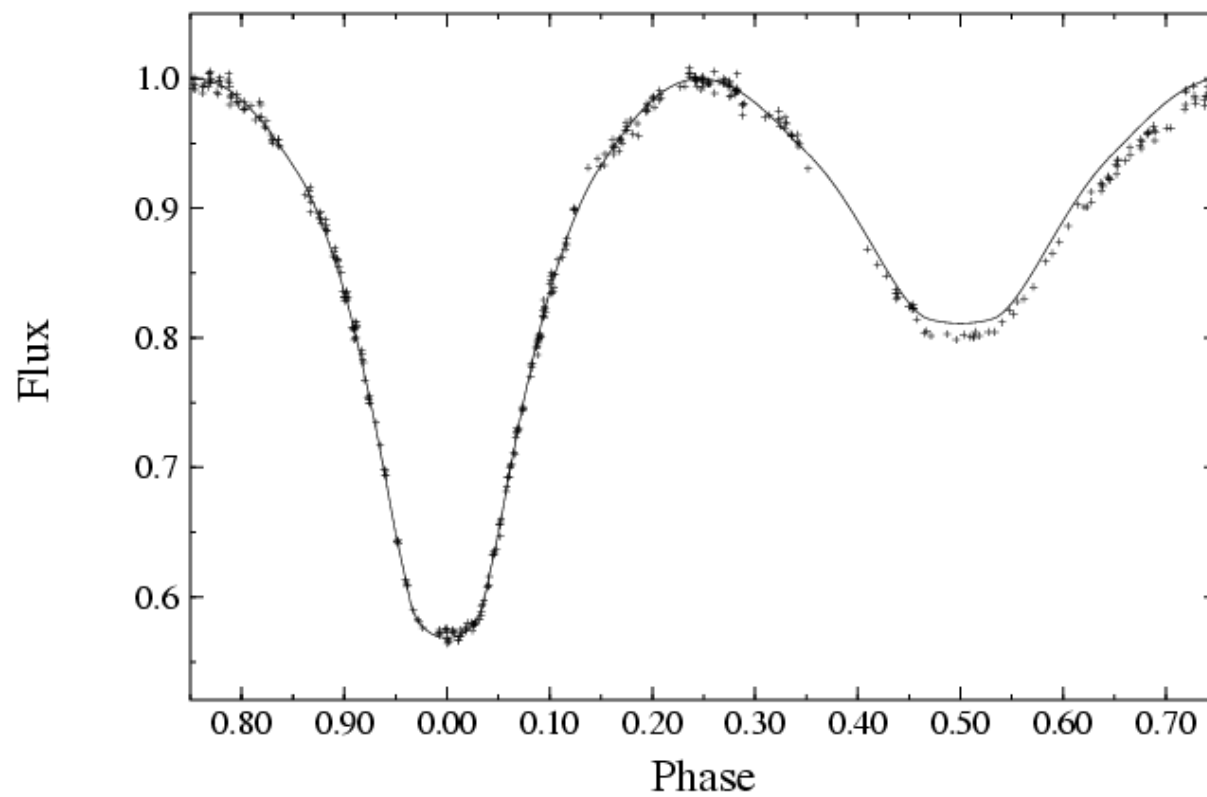
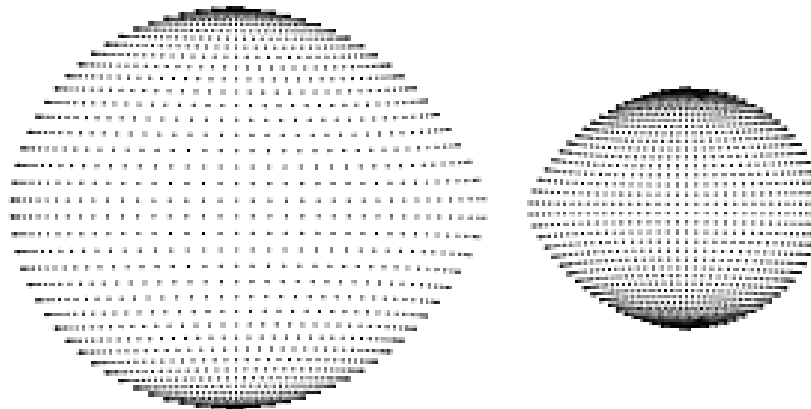
Φαινόμενο αμαύρωσης χείλους (limb darkening effect): Αποτελεί συνέπεια της ανομοιόμορφης κατανομής της λαμπρότητας στην επιφάνεια ενός άστρου και πιο συγκεκριμένα της βαθμιαίας μείωσης της λαμπρότητας από το κέντρο προς το χείλος του $\Rightarrow$

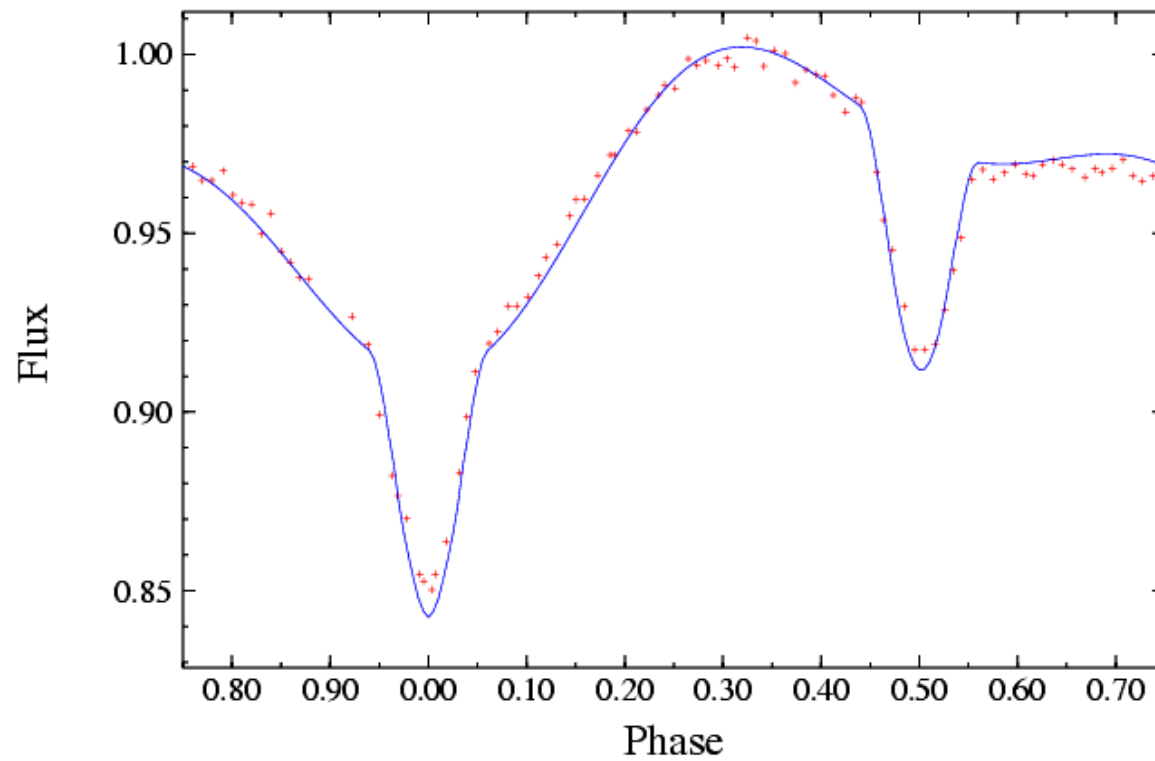
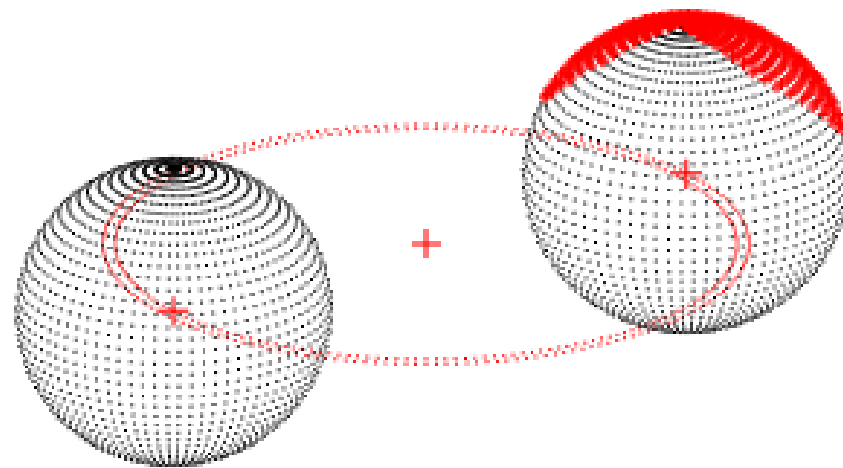
Παραμόρφωση πρωτεύοντος ελαχίστου (κυρτή διαμόρφωση)

Φαινόμενο της βαρυτικής αμαύρωσης (gravity darkening effect): Αποτελεί συνέπεια της ανομοιόμορφης κατανομής της επιτάχυνσης της βαρύτητας στην αστρική επιφάνεια καθώς το σχήμα του αστέρα δεν είναι απόλυτα σφαιρικό $\Rightarrow$

Παραμόρφωση μεγίστων







Μερικοί τύποι διπλών συστημάτων

Algols: μέλη V – IV αστέρες. Απώλεια και ανταλλαγή μάζας. Διαδικασίες προσαύξεσης – δίσκοι (χημικός εμπλουτισμός του μεσοαστρικού αερίου)

RS CVn – BY Dra: F και μεταγενέστερου τύπου. Χρωμοσφαιρικά ενεργοί με μαγνητική δραστηριότητα (dynamo-driven magnetic activity in cool stars)

W Ursae Major (contact systems): βραχυπερίοδοι (0.2-0.8 d)

Cataclysmic – Nova-like binaries: Λευκός νάνος + ψυχρός συνοδός (τύπου M) που έχει γεμίσει το λοβό Roche

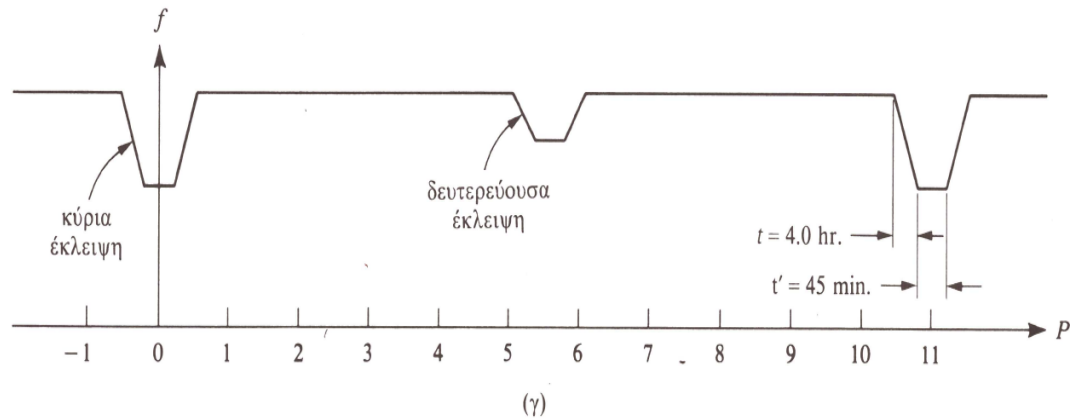
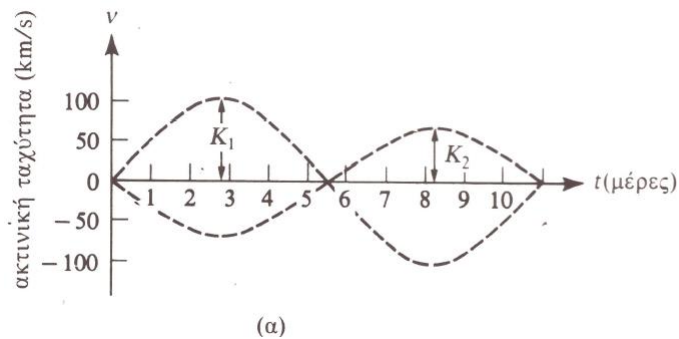
X-ray binaries: συνοδός αστέρας νετρονίων ή μαύρη τρύπα

Z Aurigae VV Cephei: μακροπερίοδοι Late type supergiant + hot (B)

Συμβιωτικοί (symbiotic binaries): μακροπερίοδοι, Giant (M)+white dwarf (Mira)

Άσκηση 1^η

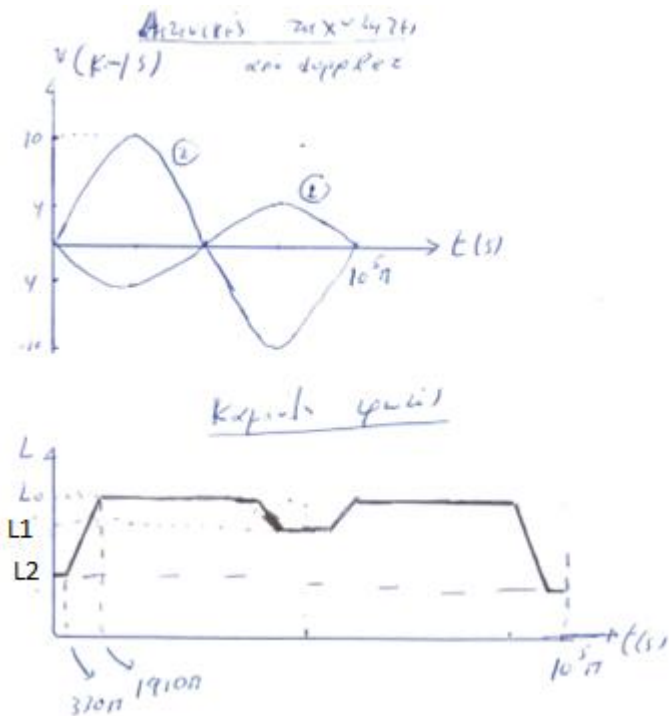
Να βρεθεί ο λόγος των ακτινών και των μαζών των αστέρων του διπλού συστήματος του παραδείγματος 10.1 στη σελ. 205 της Αστροφυσικής 1, Frank Shu.



Άσκηση 2^η

Για ένα διπλό σύστημα αστερών, δίνονται η καμπύλη ακτινικών ταχυτήτων, η καμπύλη φωτός και πως η ευθεία παρατήρησης συμπίπτει με το επίπεδο περιφοράς τους γύρω από το κοινό κέντρο μάζας. Να υπολογίσετε τις μάζες, τις ακτίνες και την απόσταση των κέντρων των δύο αστερών.

Ερευνήστε τη σχέση των λαμπροτήτων L_0 , L_1 , L_2 με τις θερμοκρασίες των αστερών.



Άσκηση 3^η

Για ένα διπλό σύστημα αστέρων 1 και 2, δεχθείτε πως για τις ακτίνες R_1, R_2 και την απόσταση d των κέντρων των δύο αστέρων ισχύουν: $d=18R_1$, $R_1=2R_2$, $m_1=8m_2$, για τις θερμοκρασίες τους ισχύουν $T_1=1.5T_2$ και πως η ευθεία παρατήρησης συμπίπτει με το επίπεδο περιφοράς τους γύρω από το κοινό κέντρο μάζας. Να κατασκευάσετε ποιοτικά το διάγραμμα των ακτινικών ταχυτήτων και την καμπύλη φωτός.

Άσκηση 4^η

Υποθέστε πως η σχετική ταχύτητα των μελών ενός διπλού αστέρα είναι 8 km/s (από την καμπύλη ακτινικών ταχυτήτων) και πως η συνολική τους μάζα είναι ίση με 10 ηλιακές. Πόση είναι η απόστασή τους;

(Η τροχιά θεωρείται κυκλική και παράλληλη στην ευθεία παρατήρησης)

Δημιουργία διπλων συστηματων

Το 57% των κοντινών στον ήλιο μας αστερων, έχουν συνοδό που μπορεί να παρατηρηθεί (Abt and Levy).

Ίσως το ποσοστό να ανέρχεται στο 75%

Από το υπόλοιπο 25%, το 80% (δηλαδή 20% του συνόλου) έχουν πλανήτες.

Κατά κύριο λόγο κοινή προέλευση (από την ίδια περιστρεφόμενη αέρια μάζα)

Εξέλιξη της τροχιάς λόγω παλιρροϊκών δυνάμεων

Κυκλικές τροχιές, σύγχρονης περιστροφής.

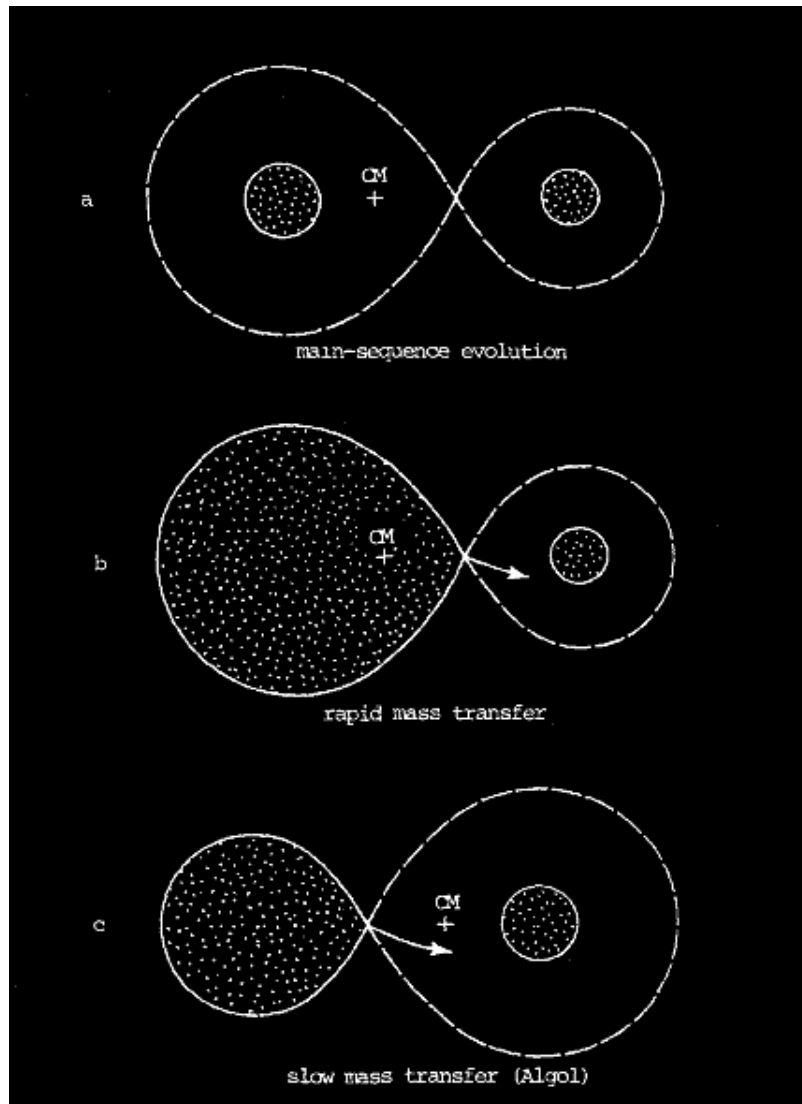
Είναι η κατάσταση ελάχιστης ενέργειας,

Εξέλιξη των Ημιαποχωρισμένων Συστημάτων

❖ Κανονικό Άστρο

❖ Λευκός Νάνος

❖ Αστέρας Νετρονίων ή Μελανή Οπή



Εξέλιξη των Ημιαποχωρισμένων Συστημάτων

❖ Αποχωρισμένο Μέλος: Κανονικός Αστέρας

Υπογίγαντας (μεγαλύτερης μάζας, βαρύτερο)
και Άστρο μικρότερης μάζας.

Εξάντληση του H → Διόγκωση → Μετατροπή
σε Υπογίγαντα → αγγίζει το λοβό → Μεταφορά
μάζας

→ Αύξηση/ Συρρίκνωση λοβών Roche

→ Σταματάει η Ταχεία Μεταβίβαση Μάζας
(γίνεται πολύ γρήγορα)

→ Αργή Μεταβίβαση μάζας

Εξέλιξη των Ημιαποχωρισμένων Συστημάτων

❖ Αποδεσμευμένο Μέλος: Λευκός Νάνος

Εκπομπή ακτινοβολίας ← Εκρηκτικές Μεταβλητές:

➤ Κλασικές εκρήξεις Νόβα:

Εκτίναξη κάποιας ποσότητας υλικού (10^{-5} ηλιακές μάζες)

Επανάληψη: 10^4 χρόνια

➤ Επαναληπτικές Νόβα:

Επανάληψη: μερικές εβδομάδες έως > 100 χρόνια

➤ Μικρονόβα:

Ελάχιστη έως καθόλου αποβολή υλικού

Επανάληψη: μερικές εβδομάδες



Εξέλιξη των Ημιαποχωρισμένων Συστημάτων

❖ Αποδεσμευμένο Μέλος: Λευκός Νάνος

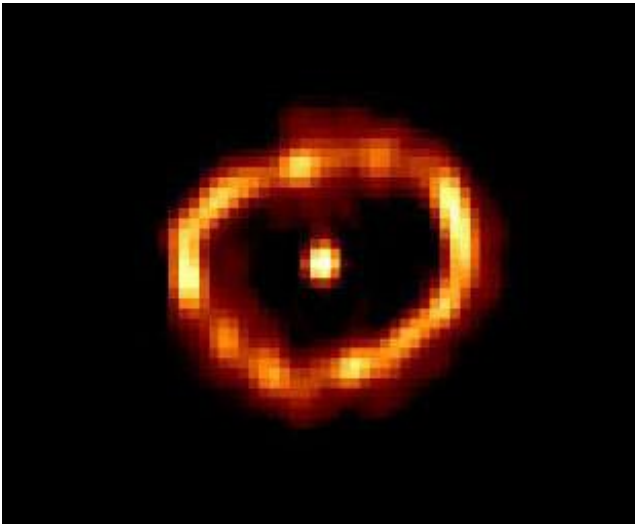
➤ Κλασικές εκρήξεις Νόβα:

Πηγή ενέργειας: Θερμοπυρηνική έκρηξη στον Λευκό Νάνο

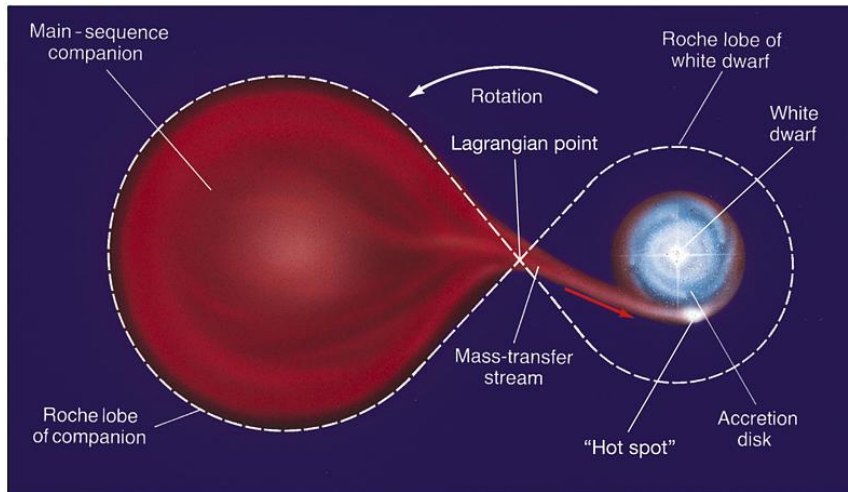
Πώς ξεκινάει; Υλικό (H) του άστρου → κατακάθεται στον θερμό Λευκό Νάνο (C, O) → Συσσώρευση αρκετού υλικού → Θερμοπυρηνική καύση

Βίαιη έκρηξη → μπορεί να αναλώσει όλο το υλικό

Μετά την έκρηξη → το σύστημα ηρεμεί → συσσωρεύει νέο καύσιμο → νέα έκρηξη



Εξέλιξη των Ημιαποχωρισμένων Συστημάτων



Copyright © 2005 Pearson Prentice Hall, Inc.



Αποδεσμευμένο Μέλος:
Λευκός Νάνος



Μικρονόβα: Ερυθρός Νάνος -
Λευκός Νάνος

Εξέλιξη των Ημιαποχωρισμένων Συστημάτων

Αποδεσμευμένο Μέλος:
Αστέρας Νετρονίων ή
Μελανή Οπή → Διπλή
Πηγή Ακτίνων Χ

Δυο κατηγορίες:

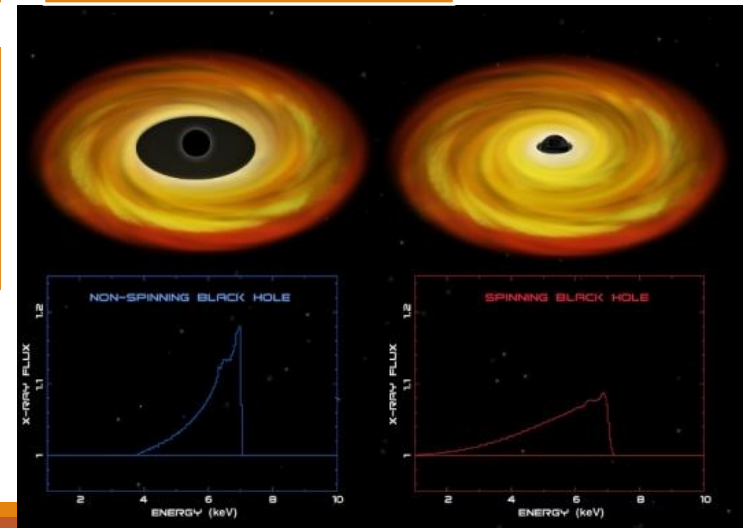
(i) Συστήματα μικρής μάζας
(Roche), [π.χ. Ηρακλής X-
1 (ύλη $\sim 10^{-9}$ ηλ. μάζες, E
 $\sim 10^{37}$ erg/sec, $T = 10^8$
K), Σκορπιός X-1]

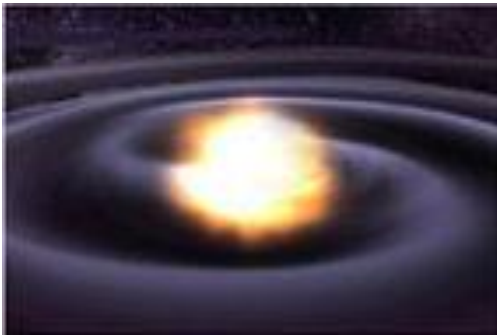
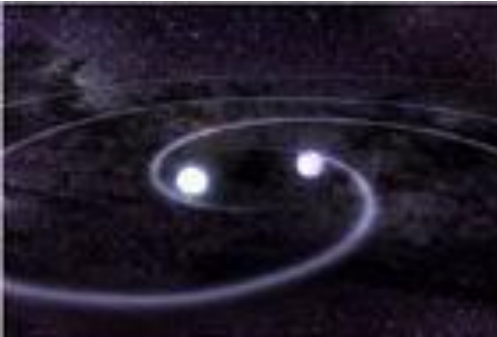
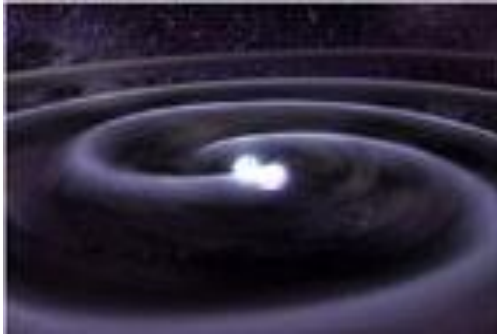
(ii) Συστήματα μεγάλης
μάζας (αστρικός άνεμος),
(π.χ. Κένταυρος X-3)

Όταν το αποχωρισμένο
μέλος είναι:

(α) Αστέρας Νετρονίων:
απορροφούμενη ύλη →
Αστέρα Νετρονίων →
Ακτίνες Χ

(β) Μελανή Οπή:
Συσσωρευόμενη ύλη
θερμαίνεται → ακτίνες Χ





Εξέλιξη των Ημιαποχωρισμένων Συστημάτων

- ❖ Αποδεσμευμένο Μέλος: Αστέρας Νετρονίων ή Μελανή Οπή → Διπλή Πηγή Ακτίνων Χ

Τελική κατάσταση των διπλών πηγών ακτίνων Χ;

γεμίζει ο λοβός → γρήγορη μεταβίβαση μάζας → η πηγή ακτίνων Χ καλύπτεται από επισκοτίζουσα ύλη → το άστρο «καταβροχθίζει» το συνοδό → αφήνοντας έναν αστέρα νετρονίων (ή μελανή οπή) (+δίσκο συσσώρευσης)

Εάν το άστρο δεν διατηρήσει τη σύγχρονη περιστροφή του: δύο αντικείμενα σε έναν κοινό μανδύα – ελικοειδή τροχιά → ένα άστρο