

# ΔΙΠΛΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΣΤΕΡΩΝ

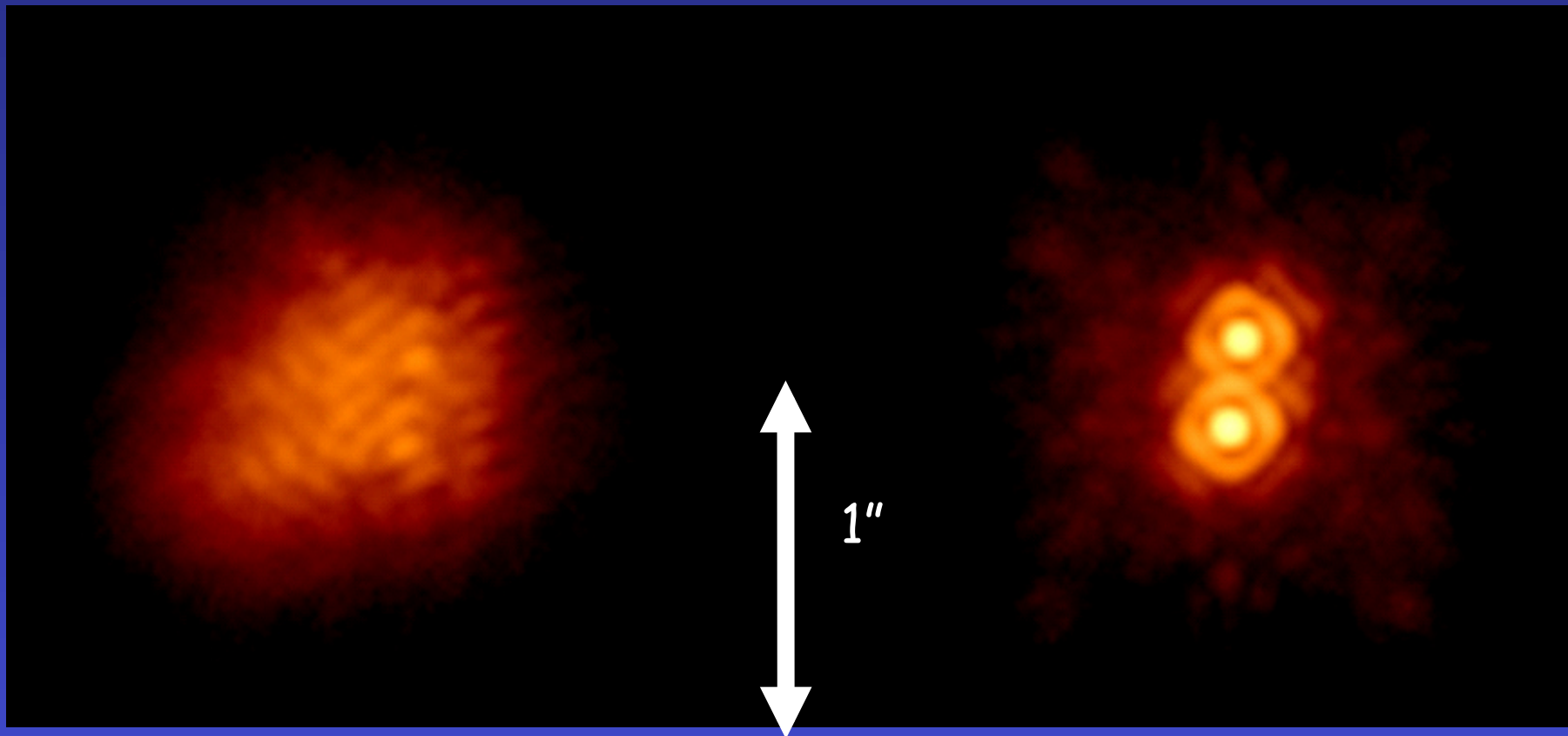
Οι διπλοί αστέρες διακρίνονται ως τέτοιοι αν η γωνιώδης απόσταση τους,  $\omega$ , είναι μεγαλύτερη από την διακριτική ικανότητα του τηλεσκοπίου:

$$\omega_{\min} = 1.22 \lambda/D$$

$\lambda$ =μήκος κύματος παρατήρησης  
 $D$ =διάμετρος τηλεσκοπίου

Επιρεάζει φυσικά και η τυρβώδης ροή της ατμόσφαιρας.

Τα κλασικά τηλεσκόπια περιορίζονται σε διακριτική ικανότητα  $\sim 1''$  λόγω των **ατμοσφαιρικών διαταραχών**. Με τη χρήση **ακτίνας laser** δημιουργείται ένα εικονικό άστρο στην ατμόσφαιρα και **διορθώνονται αυτομάτως** τα οπτικά μέρη του τηλεσκοπίου.



**Εικόνα:** Ο διπλός αστέρας αποκαλύπτεται μέσω οπτικών διορθώσεων. Οι δύο αστέρες απέχουν  $0.3''$



Εικόνα: Βελτίωση διακριτικής ικανότητας με χρήση LASER στο τηλεσκόπιο Hale του αστεροσκοπείου Palomar (California, USA).

## 1. ΟΠΤΙΚΑ ΔΙΠΛΟΙ ΑΣΤΕΡΕΣ

## 2. ΜΗ-ΟΠΤΙΚΑ ΔΙΠΛΟΙ ΑΣΤΕΡΕΣ

Αstromετρικά διπλοί

Εκλειπτικά διπλοί

Φασματοσκοπικά διπλοί

Φασματικά διπλοί

Εξωτικά διπλά συστήματα

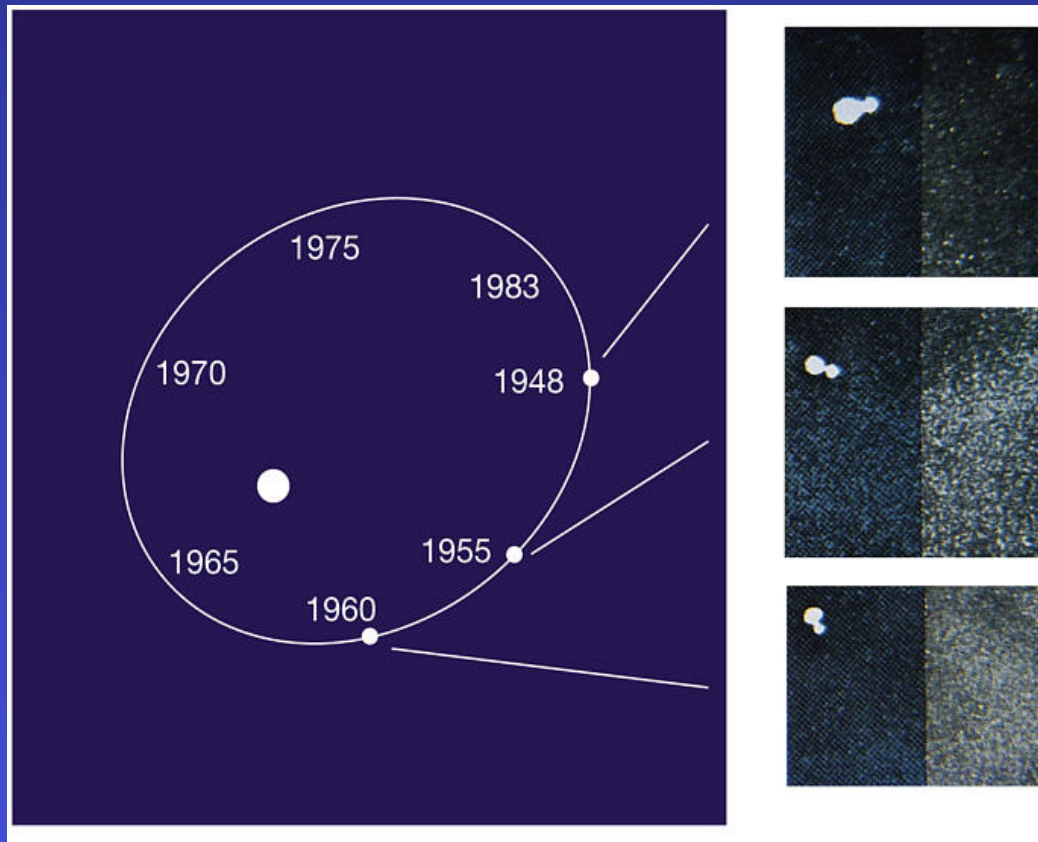
Πολλοί εμπίπτουν σε  
πολλαπλές κατηγορίες

## ΟΠΤΙΚΑ ΔΙΠΛΟΙ ΑΣΤΕΡΕΣ

Όχι όλοι όσοι βρίσκονται κοντά σε προβολή στην ουράνια σφαίρα είναι αποτέλεσμα διπλά συστήματα.

Χρήσιμο εμπειρικό κριτήριο (στατιστικό) η σχέση του **Aitken**:

$$\text{Log}_{10} \omega'' < 2.8 - 0.2 m_v$$



**Εικόνα:** Το διπλό σύστημα Kruger 60. Αριστερά φαίνεται διάγραμμα της τροχιάς. Δεξιά φαίνονται φωτογραφίες του συστήματος που πάρθηκαν κατά τα αντίστοιχα έτη.

## ΟΠΤΙΚΑ ΔΙΠΛΟΙ ΑΣΤΕΡΕΣ

Βασικά μελετάμε τροχιές τους: Οι **φαινόμενες** είναι προβολές **πραγματικών** στο εφαπτόμενο επίπεδο στην θέση της ουράνιας σφαίρας.

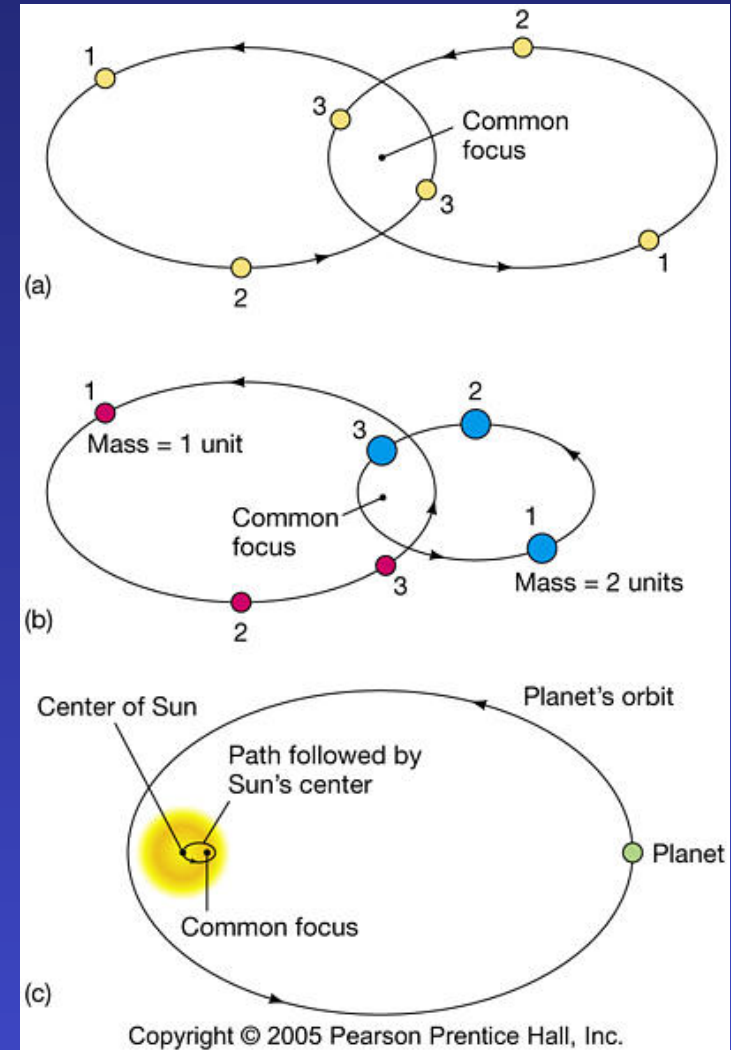
**Απόλυτη τροχιά** (αυτή ως προς κοινό κέντρο μάζας).

**Σχετική τροχιά** (αυτή του δευτερεύοντος ως προς πρωτεύοντα)

# ΝΟΜΟΙ ΚΕΠΛΕΡ

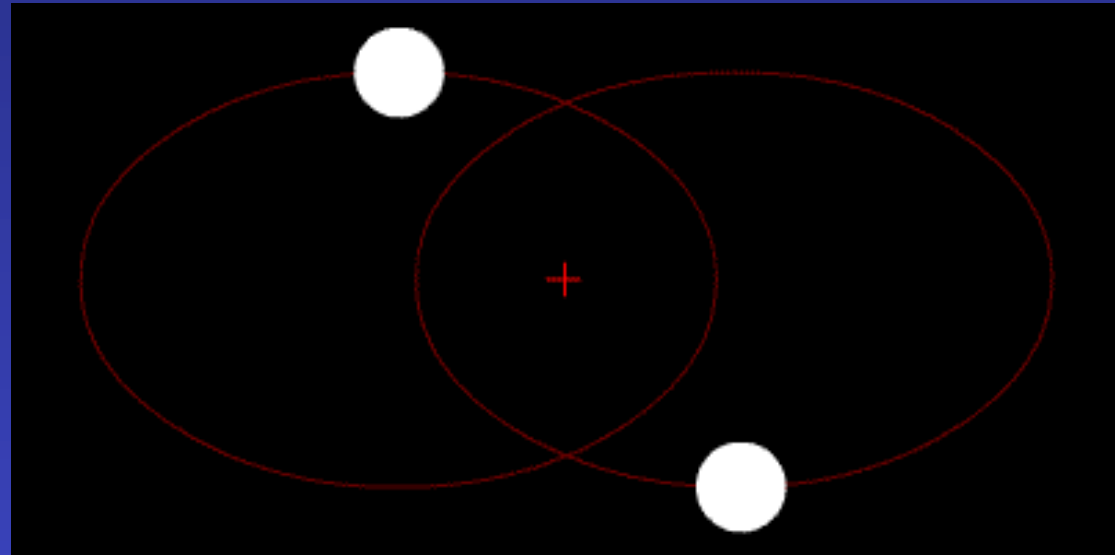
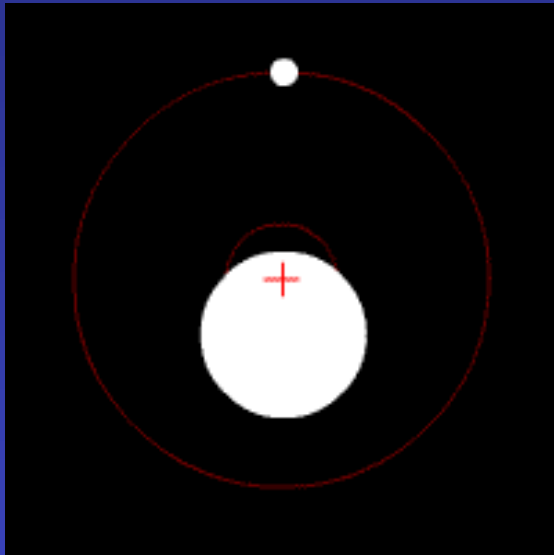
1. Οι τροχιές των 2 μελών είναι συνεπίπεδες και όμοιες ελλείψεις με κοινή εστία το κέντρο μάζας τους. Επίσης η έλλειψη που διαγράφει ο δευτερεύων σε σχέση με τον πρωτεύοντα είναι επίσης συνεπίπεδες με προηγούμενες.
2. Το  $E$  που σαρώνει επιβατική ακτίνα (εστίας-αστέρα)  $\sim \text{time} (E \sim t)$
3. Αν  $A$  (σε AU) μεγάλος ημιάξονας πραγματικής τροχιάς,  $P$  (years) περίοδος και  $M_1, M_2$  οι μάζες αστέρων τότε:  
$$M_1 + M_2 = A^3 / P^2$$

**ΠΡΟΣΟΧΗ:** Αυτούς που μπορούμε να δούμε ως ΟΠΤΙΚΟΥΣ διπλούς πρέπει  $A$  μεγάλο  $P \rightarrow$  μεγάλο (δεκάδες-εκατοντάδες χρόνια)  $\rightarrow$  δύσκολη η καταγραφή τροχιών τους.



Τροχιά σε σύστημα δυο σωμάτων. Τα σώματα εκτελούν ελλειπτικές τροχιές, με μια κοινή εστία της έλλειψης στο κέντρο μάζας τους

# ΚΙΝΗΣΗ ΩΣ ΠΡΟΣ ΚΟΙΝΟ ΚΕΝΤΡΟ ΜΑΖΑΣ



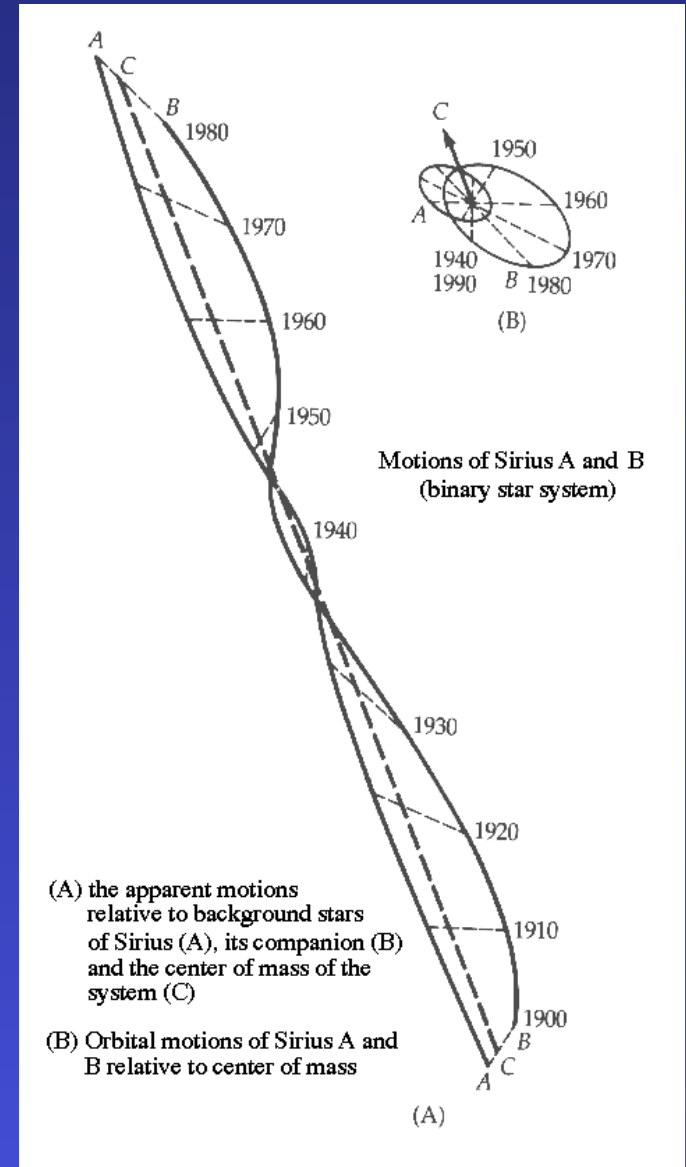


**ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝ:** Παρατηρούμε τη **σχετική φαινόμενη τροχιά** (στο εφαπτόμενο επίπεδο στην ουράνια σφαίρα). Σ' αυτή, ο πρωτεύων αστέρας **δεν είναι σε μία εστία της έλλειψης**.

Από αυτή προκύπτει η **σχετική πραγματική τροχιά** (στο επίπεδο της τροχιάς του δευτερεύοντα αστέρα γύρω από τον πρωτεύοντα).

Τα δυο επίπεδα σχηματίζουν μια **γωνία κλίσης  $i$** .

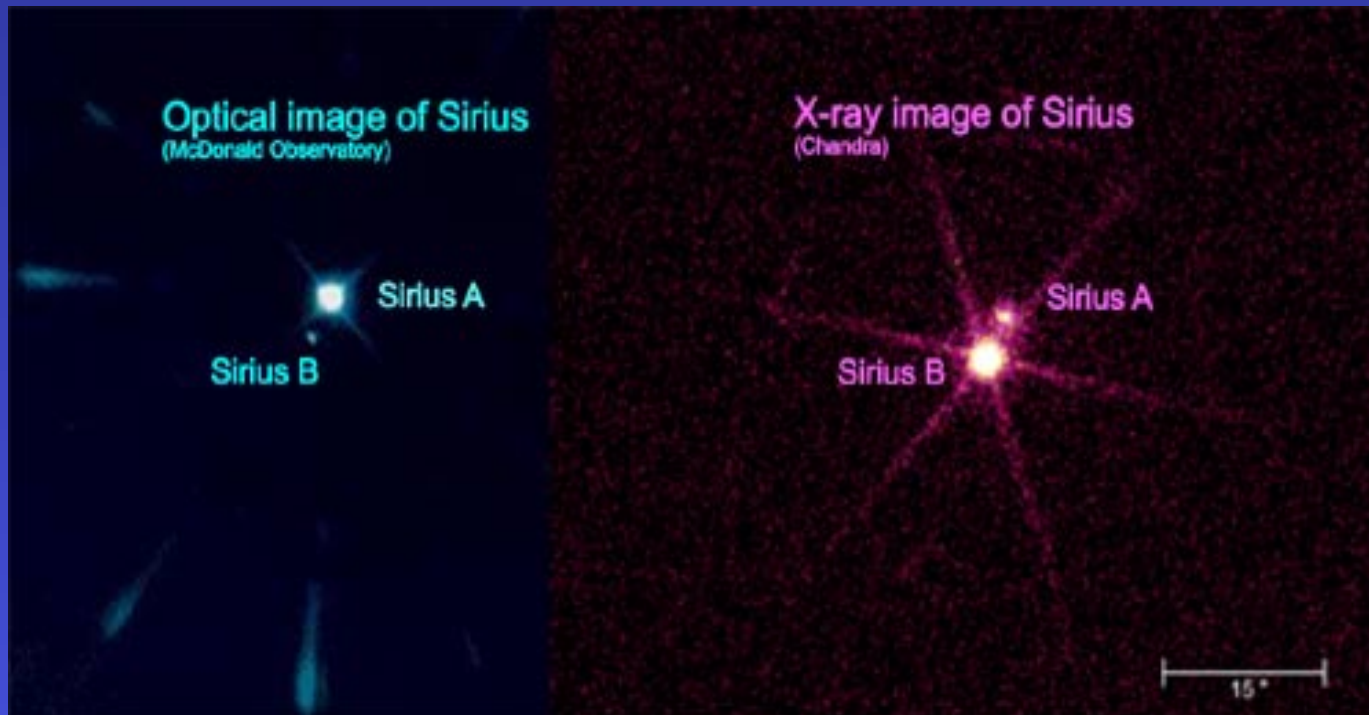
Εικόνα: Τροχιά του συστήματος Σειρίου A και B (αρχικά εντοπίστηκε ως αστρομετρικά διπλός). Φαίνονται τα έτη κατά τα οποία πάρθηκαν οι μετρήσεις της θέσης τους.



## ΑΣΤΡΟΜΕΤΡΙΚΑ ΔΙΠΛΟΣ:

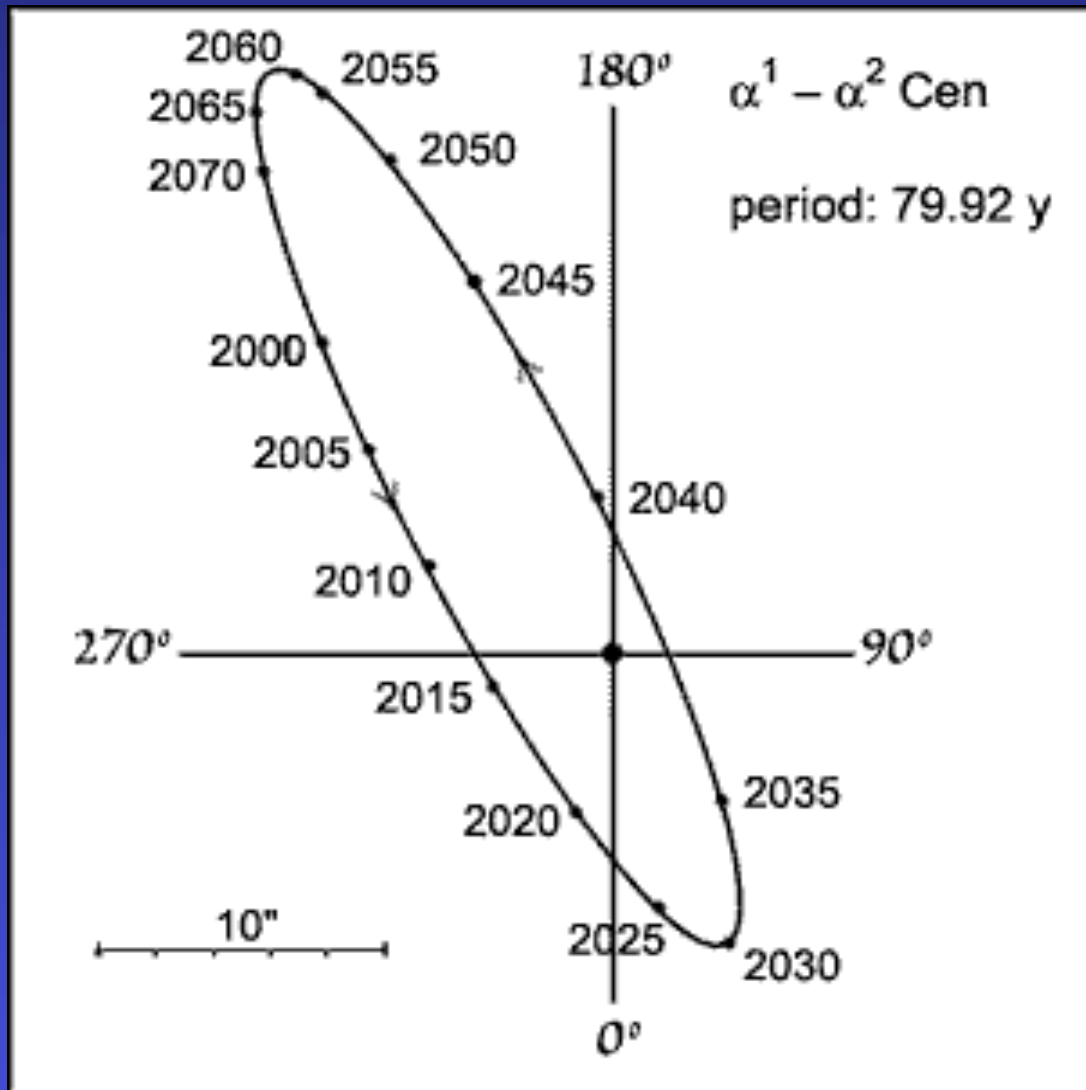
Όταν ο πρωτεύων αστέρας διαγράφει μη ευθύγραμμη κίνηση στο επίπεδο του ουρανού. Από αυτό συνάγεται η ύπαρξη συνοδού που περιστρέφονται γύρω από κοινό κέντρο μάζας.

*Το 1944 ο Bessel βρήκε ως τέτοιο το σύστημα του Σείριου. Ο Σείριος Α είναι ο λαμπρότερος αστέρας του ουρανού ( $m_v = -1.47$ ). Το 1862 παρατηρήθηκε και ο Σείριος Β (Λευκός Νάνος), και πλέον κατηγοριοποιείται ως Οπτικά Διπλό σύστημα αστέρων με περίοδο 49.9 έτη*



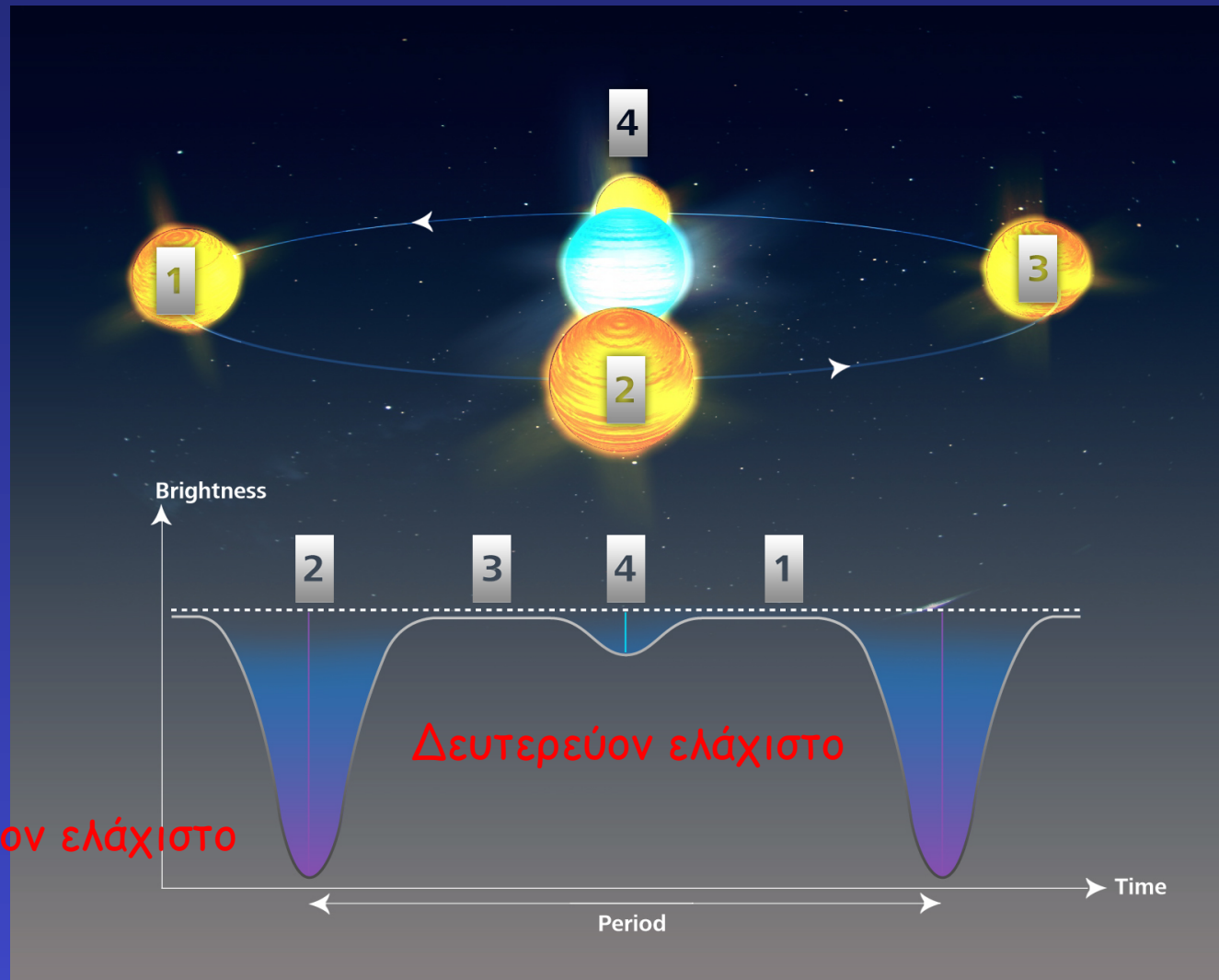
## ΑΣΤΡΟΜΕΤΡΙΚΑ ΔΙΠΛΟΣ:

Υπολογισμένη τροχιά για το οπτικά διπλό σύστημα του α-Κενταύρου (απόσταση  $\sim 4.3$  ε.φ.). Περίοδος 79.92 έτη



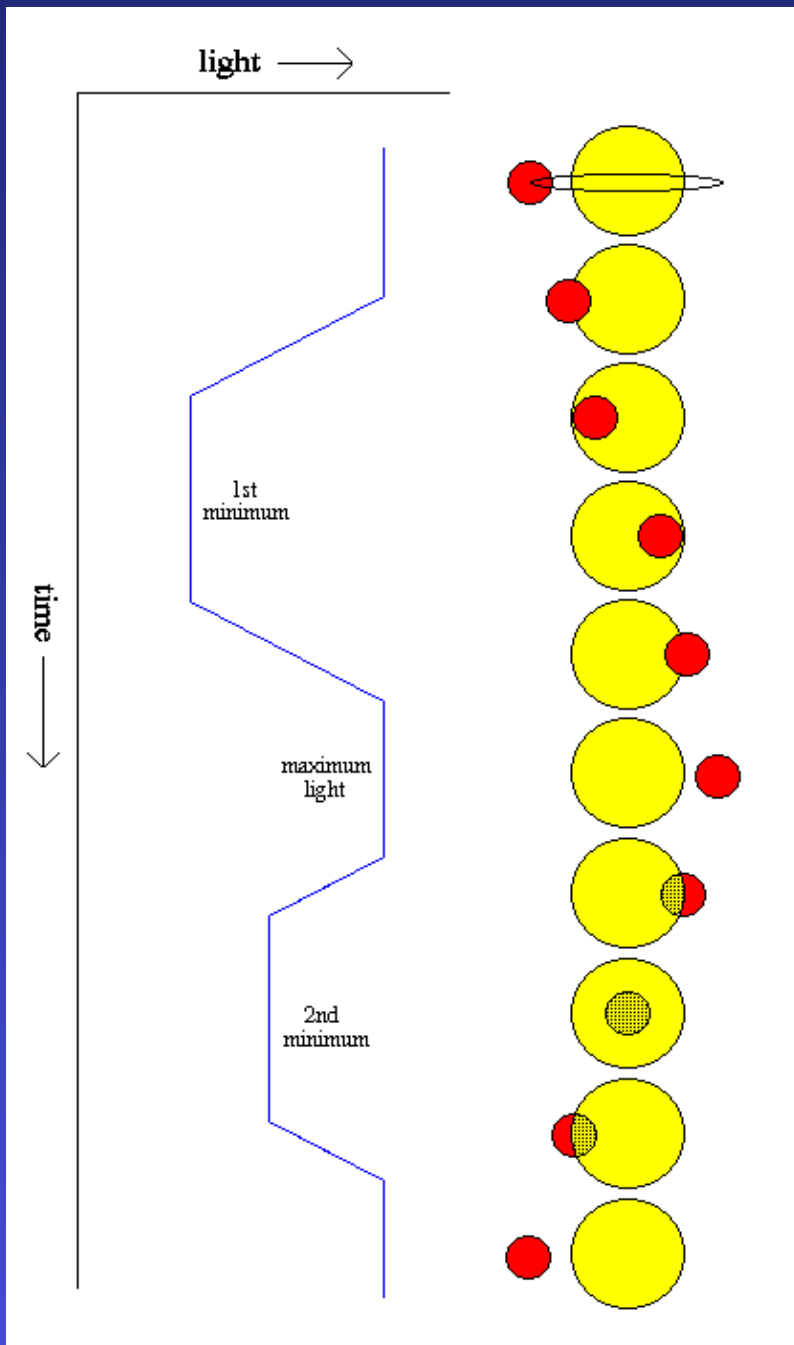
Εικόνα: Υπολογισμένη σχετική τροχιά για το διπλό σύστημα α-Cen A και B. Ο λαμπρότερος αστέρας α-Cen A έχει σχεδιαστεί στην αρχή των αξόνων και φαίνεται η κίνηση του λιγότερο λαμπρού α-Cen B.

# ΕΚΛΕΙΠΤΙΚΑ ΔΙΠΛΟΣ:



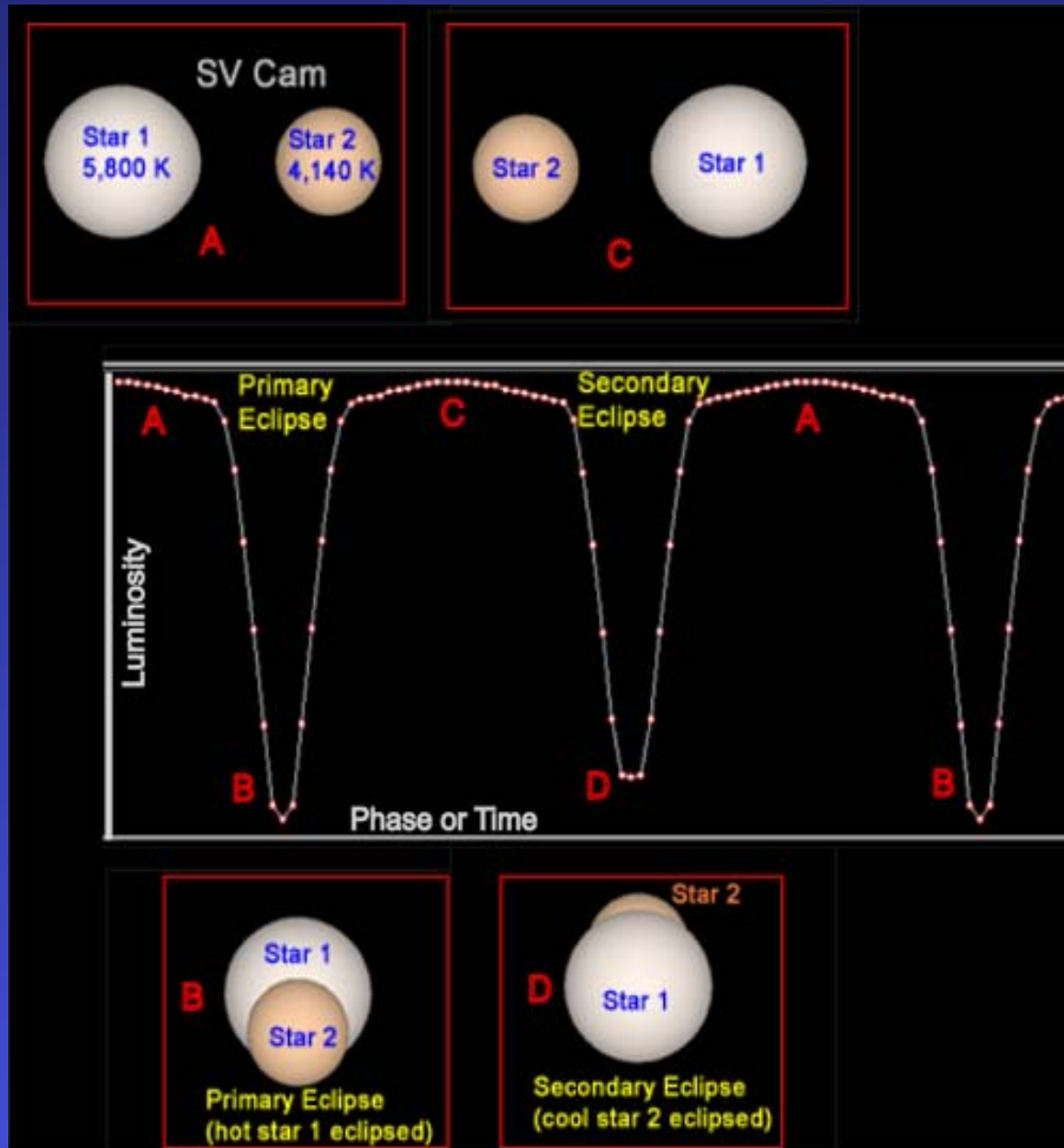
Εικόνα: Μέτρηση λαμπρότητας από σύστημα εκλειπτικά διπλών αστέρων. Οι τέσσερις διαφορετικές φάσεις της κίνησης του αντιστοιχούν στις τέσσερις διαφορετικές τιμές λαμπρότητας που φαίνονται στο διάγραμμα.

# ΕΚΛΕΙΠΤΙΚΑ ΔΙΠΛΟΣ:



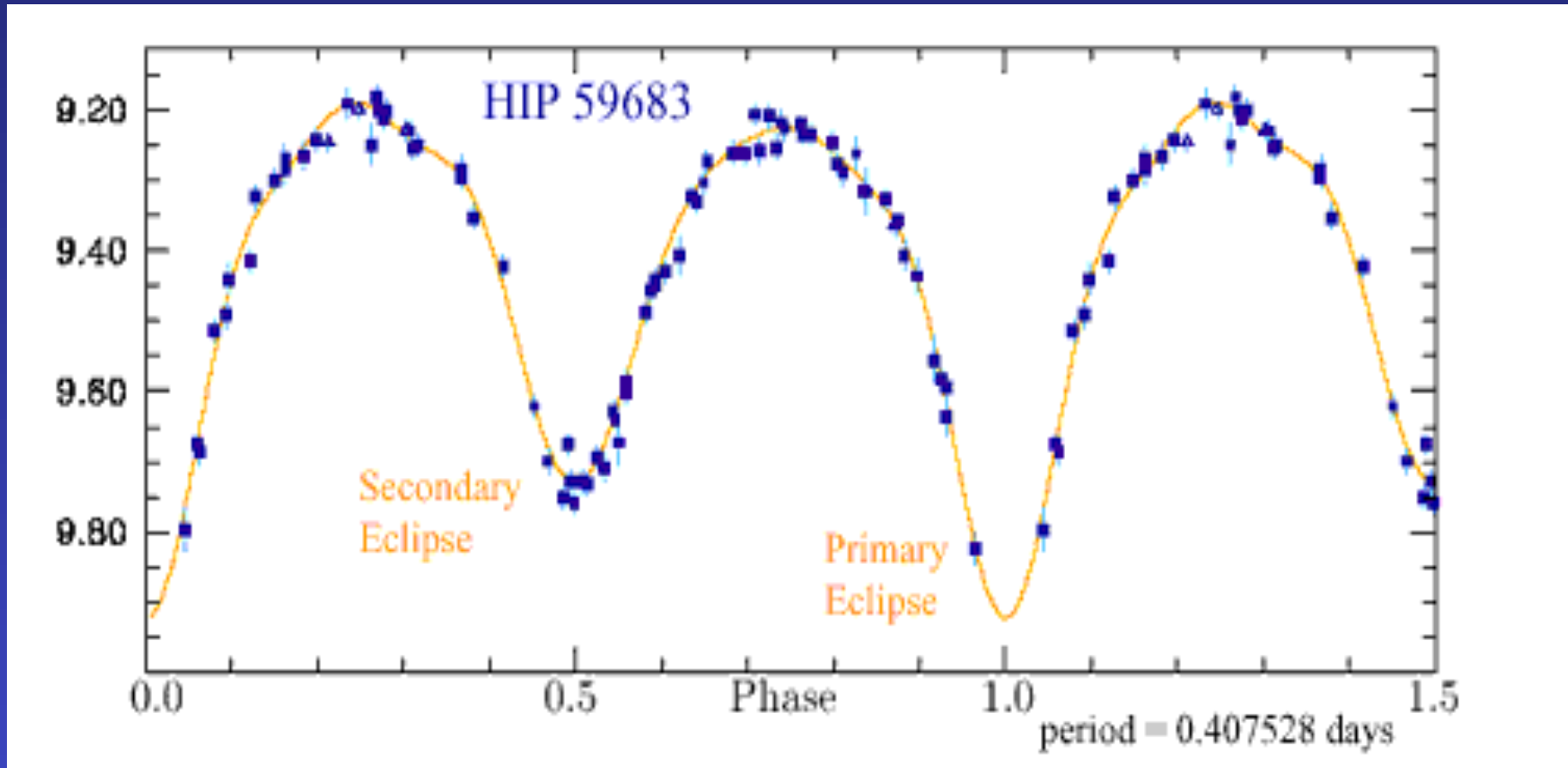
Εικόνα: Γραφική αναπαράσταση της μεταβολής της λαμπρότητας από σύστημα διπλού αστέρα, λόγω της σχετικής θέσης των δυο αστέρων ως προς τον παρατηρητή.

# ΕΚΛΕΙΠΤΙΚΑ ΔΙΠΛΟΣ:



Εικόνα: Γραφική αναπαράσταση προσομοίωσης έκλειψης διπλού συστήματος (SV Cam) σε υπολογιστή. Όταν ο θερμότερος αστέρας βρίσκεται πίσω από τον ψυχρότερο, μεγαλύτερο ποσοστό της ροής ακτινοβολίας εμποδίζεται. Έτσι, παρατηρείται μεγαλύτερη πτώση στη φαινόμενη λαμπρότητα (primary eclipse).

## ΕΚΛΕΙΠΤΙΚΑ ΔΙΠΛΟΣ:



Εικόνα: Καμπύλη φωτός του HIP 59683, ενός εκλειπτικά διπλού συστήματος. Φαίνεται η φαινόμενη λαμπρότητα (κατακόρυφος άξονας) ως συνάρτηση της φάσης (οριζόντιος άξονας), σε μονάδες περιόδου.

## ΕΚΛΕΙΠΤΙΚΑ ΔΙΠΛΟΣ:

Μετατρέποντας τη σχετική φαινόμενη τροχιά σε **σχετική πραγματική τροχιά**, υπολογίζουμε

$\epsilon_{\pi}$  = εκκεντρότητα

$\alpha_{\pi}$  = μέγανος γωνιώδης ημιάξονας (σε ")

$i$  = γωνία κλίσης

Αν γνωρίζουμε την παράλλαξη  $\pi$ , τότε υπολογίζουμε τον μέγανο ημιάξονα  $A$  σε AU.

$$A = \alpha_{\pi} / \pi$$

$$M_1 + M_2 = \frac{A^3}{P^2}$$

3ος νόμος του Kepler

/π



Από τις

$$M_1 + M_2 = \frac{A^3}{P^2}$$

και

$$A = \alpha_\pi / \pi$$

προκύπτει

$$\alpha_\pi = \pi [(M_1 + M_2) P^2]^{-1/3}$$

Αν οι δυο αστέρες ανήκουν στην κύρια ακολουθία, τότε για τον καθένα θα ισχύει ο νόμος μάζας-φωτεινότητας  $L=f(M)$ . Οπότε λύνουμε επαναληπτικά το σύστημα

$$\pi = \alpha_\pi [(M_1 + M_2) P^2]^{1/3}$$

$$L_1 = f(M_1)$$

$$L_2 = f(M_2)$$

για  $\pi$ ,  $M_1$  και  $M_2$ , ξεκινώντας από κάποια εκτίμηση για  $M_1+M_2$ .

# ΦΑΣΜΑΤΙΚΑ ΔΙΠΛΟΣ:

Όταν ακτίνες μελών μικές ή

## Spectrum Binary

Normally, each star has a unique spectrum (spectral class). For example, a hot star has a spectrum rich in hydrogen lines



A cool star has thicker lines from metals, such as below

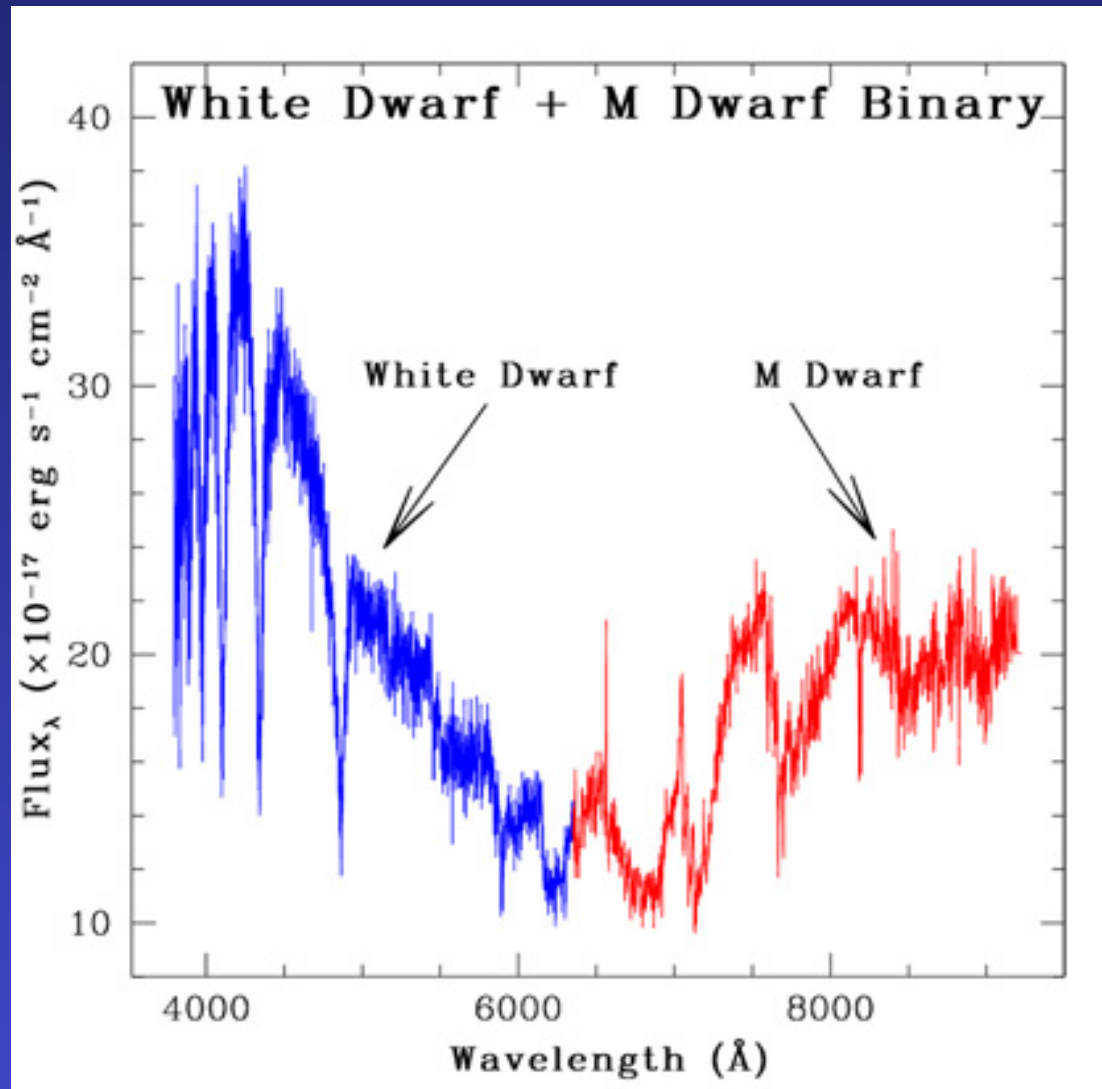


So, a spectrum binary is when you can not see two stars on the sky, but a spectrum of the object show two different stellar classes, as below.



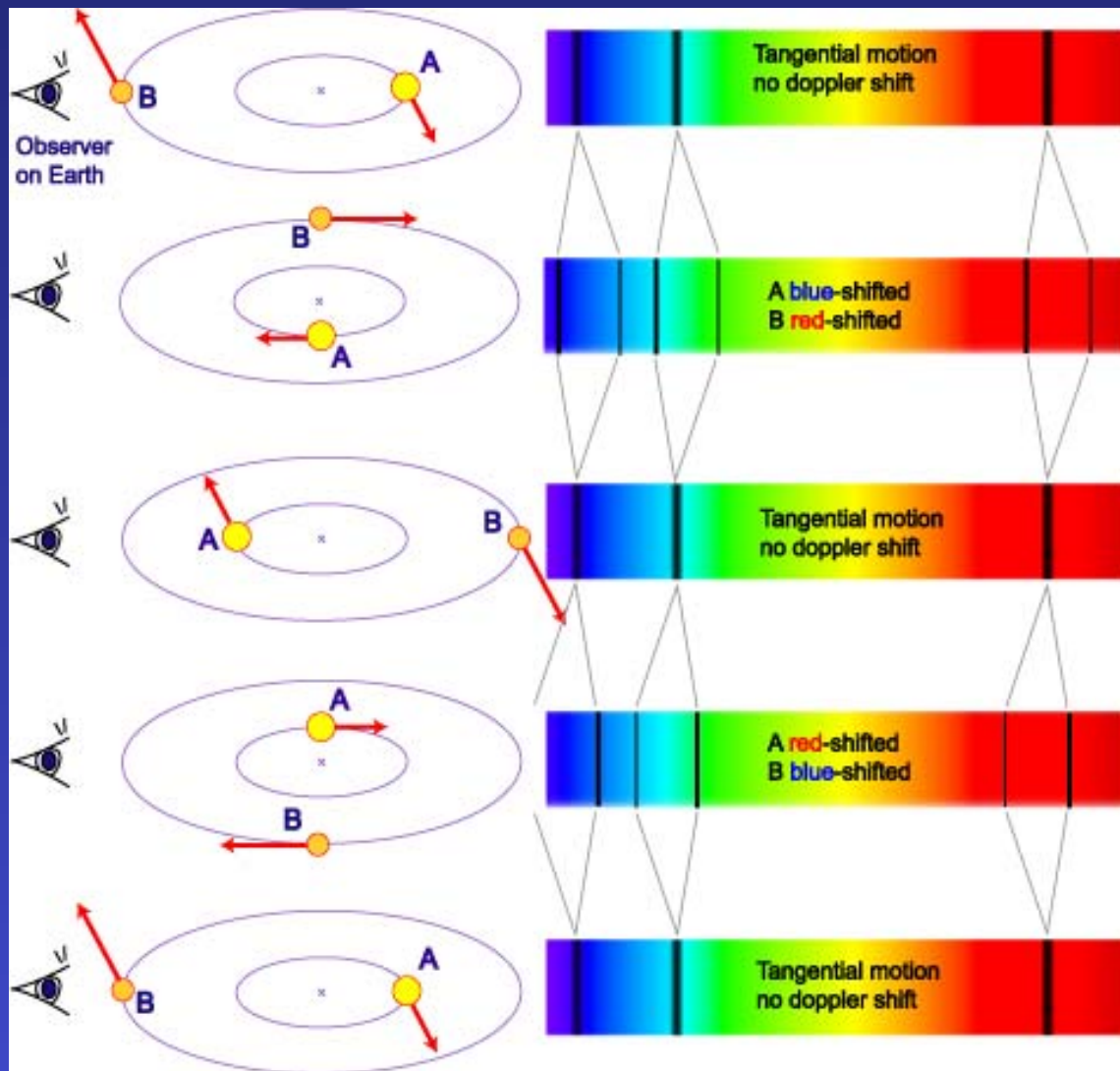
Εικόνα: Ένδειξη ύπαρξης διπλού συστήματος. Το φάσμα ενός αντικειμένου συνδυάζει φασματικές γραμμές θερμού και ψυχρού αστέρα

## ΦΑΣΜΑΤΙΚΑ ΔΙΠΛΟΣ:



**Εικόνα:** Διπλό σύστημα λευκού και ερυθρού νάνου. Στα μικρότερα μήκη κύματος (μπλε) κυριαρχεί ο λευκός νάνος, ενώ στα μεγάλα (κόκκινο) ο ερυθρός νάνος. Το τελικό αποτέλεσμα δε μοιάζει με το φάσμα κανενός από τους δύο αστέρες, συνεπώς αναγνωρίζεται ως διπλό σύστημα.

# ΦΑΣΜΑΤΟΣΚΟΠΙΚΑ ΔΙΠΛΟΣ:

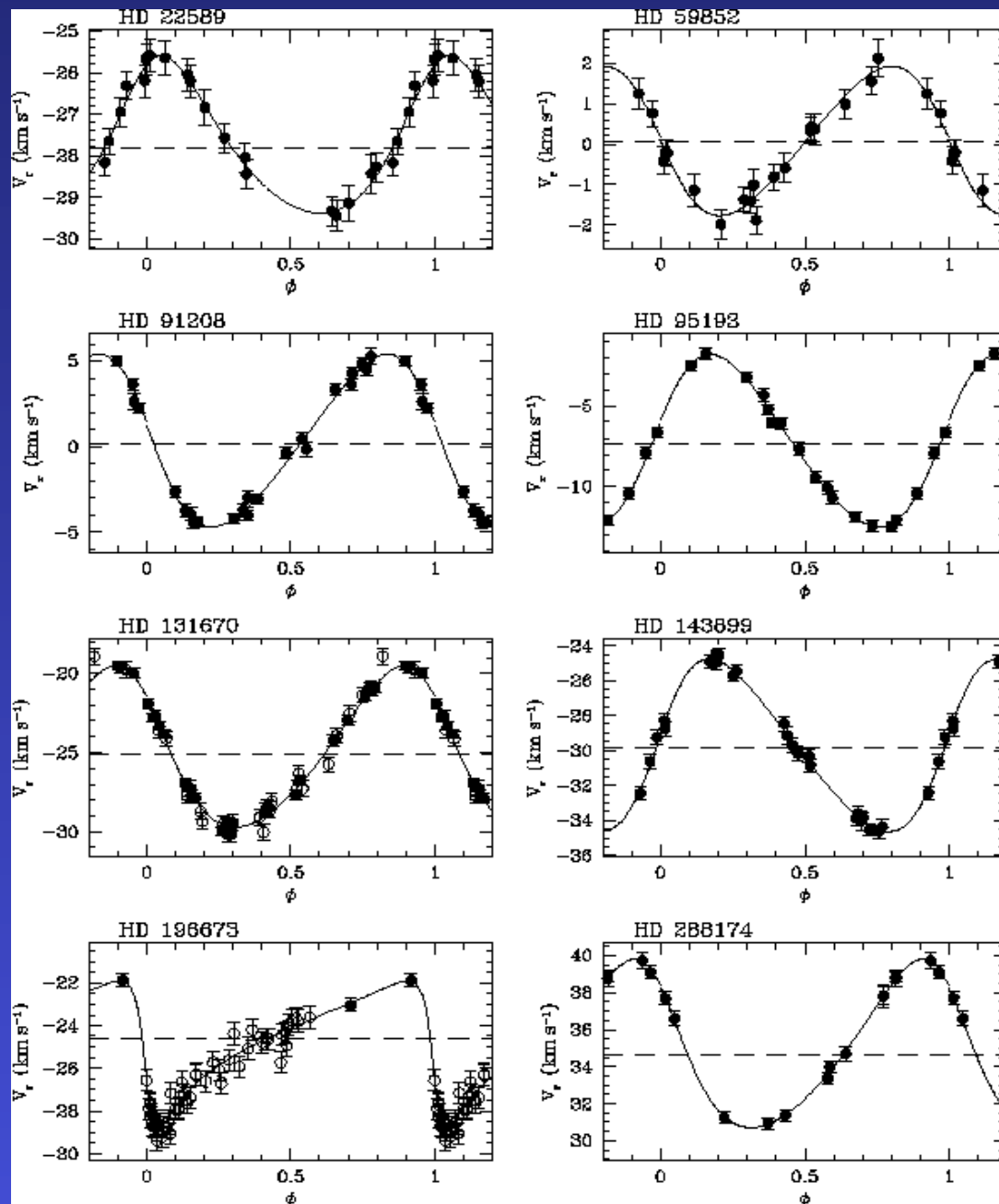


## A Spectroscopic Binary System

High-mass star A and lower-mass B orbit around a common centre of mass. The observed combined spectrum shows periodic splitting and shifting of spectral lines. The amount of shift is a function of the alignment of the system relative to us and the orbital speed of the stars.

Εικόνα: Εντοπισμός διπλού συστήματος μέσω της μετατόπισης Doppler. Καθώς οι αστέρες κινούνται κάθετα προς τη διεύθυνση παρατήρησης, δεν παρατηρείται μετατόπιση των φασματικών τους γραμμών. Όταν όμως η ταχύτητα τους γίνει παράλληλη με τη διεύθυνση παρατήρησης, βλέπουμε τις γραμμές να χωρίζονται στα δυο, ενδεικτικό της αντίθετης φοράς της κίνησης των αστέρων.

# ΦΑΣΜΑΤΟΣΚΟΠΙΚΑ ΔΙΠΛΟΣ:



Εικόνα: Μετρήσεις της σχετικής ταχύτητας ως προς τη φάση (μονάδες περιόδου), για διπλά συστήματα .

## ΕΞΩΤΙΚΑ ΔΙΠΛΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ:

Κατακλυσμαίοι μεταβλητοί

Διπλά συστήματα ακτίνων Χ

Γενικά ότι διπλό σύστημα έχει ως ένα ή και δύο από τα μέλη του να είναι συμπαγείς αστέρες: Λευκός νάνος, μελανή οπή ή αστέρας νετρονίων