



Αστρονομία

Ενότητα # 12: Διπλοί Αστéρες

Νικόλαος Στεργιούλας
Τμήμα Φυσικής



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ



Άδειες Χρήσης

Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.

Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑ

- *Κεφ. 10^ο Διπλοί Αστέρες*

Ν. Στεργιούλας

ΔΙΠΛΟΙ ΑΣΤΕΡΕΣ

ΟΠΤΙΚΑ ΔΙΠΛΟΙ ΑΣΤΕΡΕΣ

ΜΗ-ΟΠΤΙΚΑ ΔΙΠΛΟΙ ΑΣΤΕΡΕΣ

Αstromετρικά διπλοί

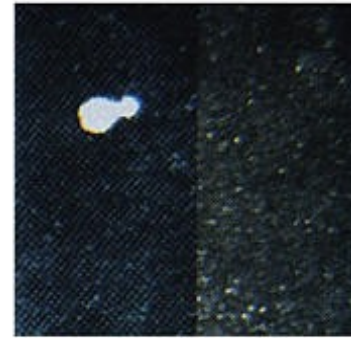
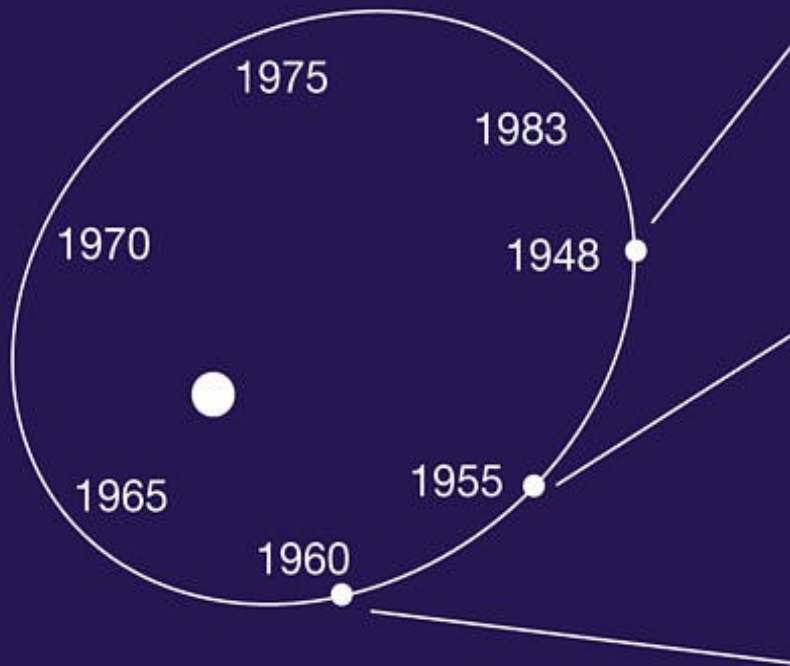
Εκλειπτικά διπλοί

Φασματοσκοπικά διπλοί

Φασματικά διπλοί

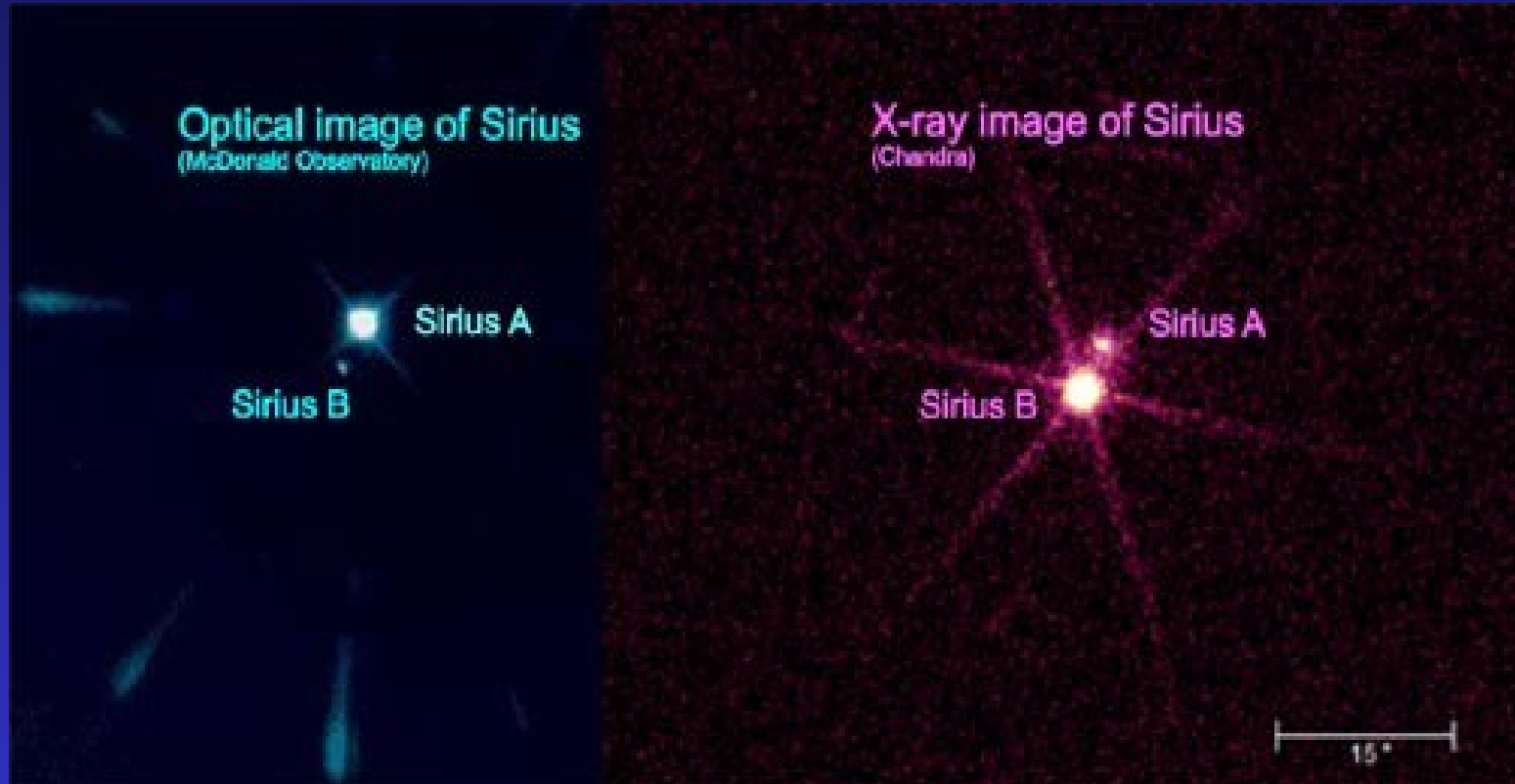
Εξωτικά διπλά συστήματα

ΟΠΤΙΚΑ ΔΙΠΛΟΙ ΑΣΤΕΡΕΣ



Εικόνα 1: Το διπλό σύστημα Kruger 60. Αριστερά φαίνεται διάγραμμα της τροχιάς. Δεξιά φαίνονται φωτογραφίες του συστήματος που πάρθηκαν κατά τα αντίστοιχα έτη [1].

ΟΠΤΙΚΑ ΔΙΠΛΟΙ ΑΣΤΕΡΕΣ



Εικόνα 2: Οπτική εικόνα (αριστερά) και εικόνα ακτίνων Χ του διπλού συστήματος του Σειρίου A και B [2].

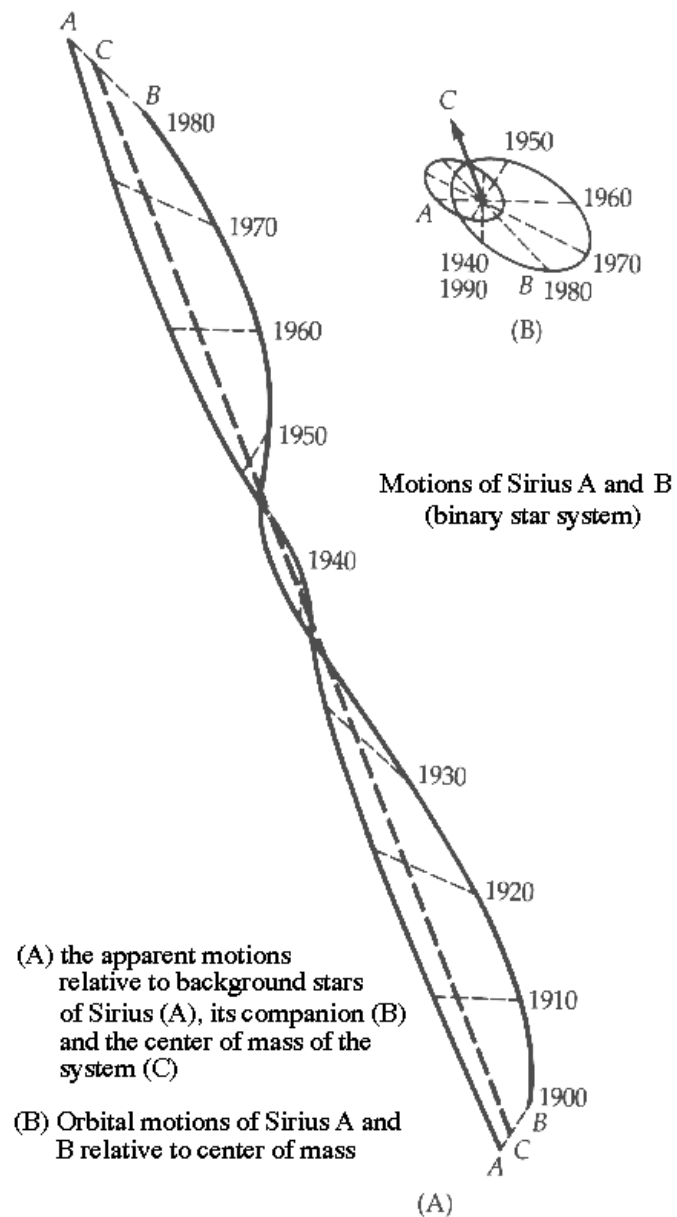
ΟΠΤΙΚΑ ΔΙΠΛΟΙ ΑΣΤΕΡΕΣ

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

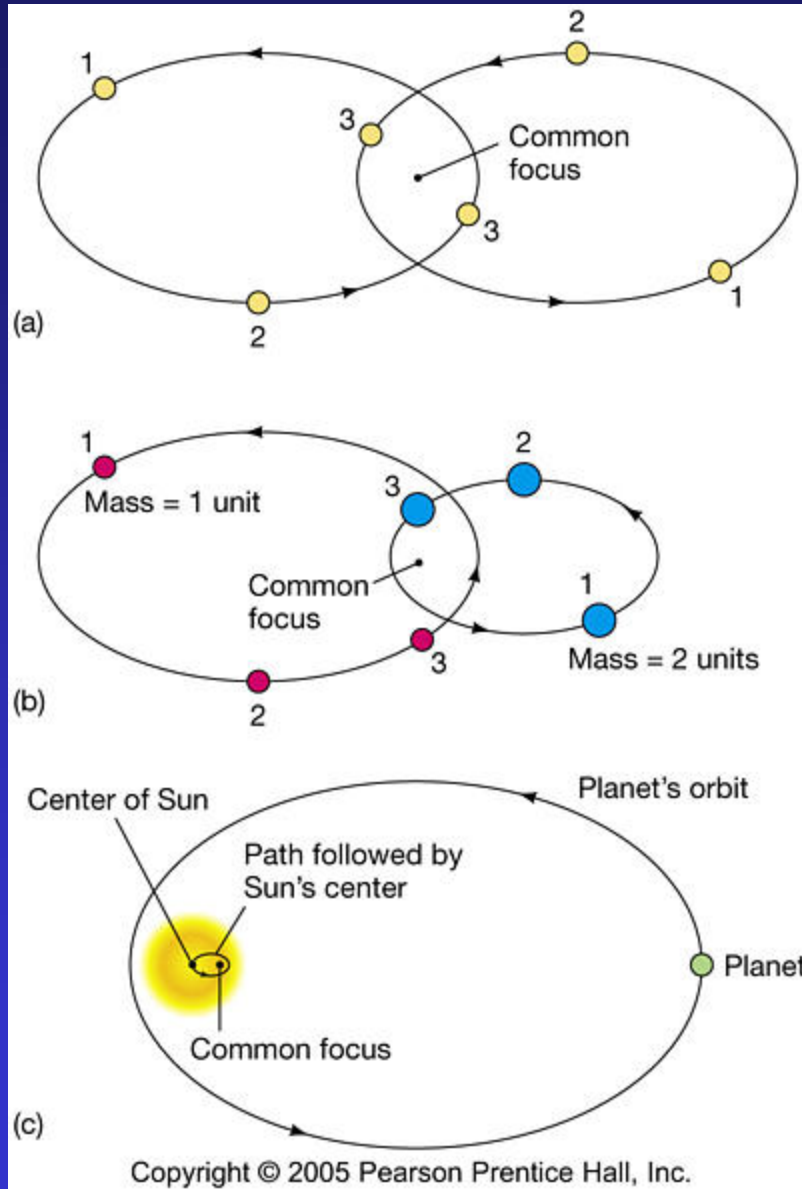
Από αυτή προκύπτει η **σχετική πραγματική τροχιά** (στο επίπεδο της τροχιάς του δευτερεύοντα αστέρα γύρω από τον πρωτεύοντα).

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

Εικόνα 3: Τροχιά του συστήματος Σειρίου A και B. Φαίνονται τα έτη κατά τα οποία πάρθηκαν οι μετρήσεις της θέσης τους [3].



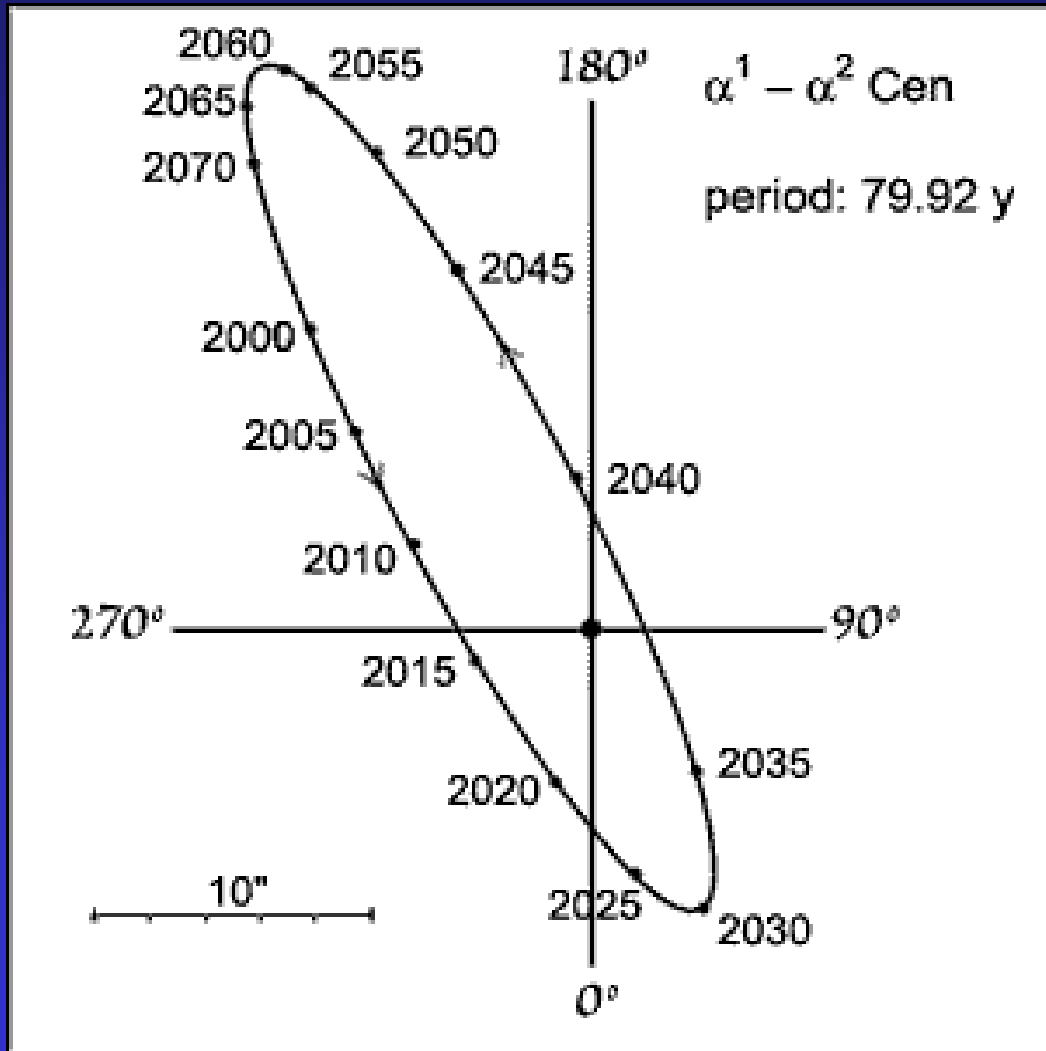
ΕΛΛΕΙΠΤΙΚΕΣ ΤΡΟΧΙΕΣ



Εικόνα 4: Τροχιά σε σύστημα δυο σωμάτων. Τα σώματα εκτελούν ελλειπτικές τροχιές, με μια κοινή εστία της έλλειψης στο κέντρο μάζας τους [4].

ΟΠΤΙΚΑ ΔΙΠΛΟΙ ΑΣΤΕΡΕΣ

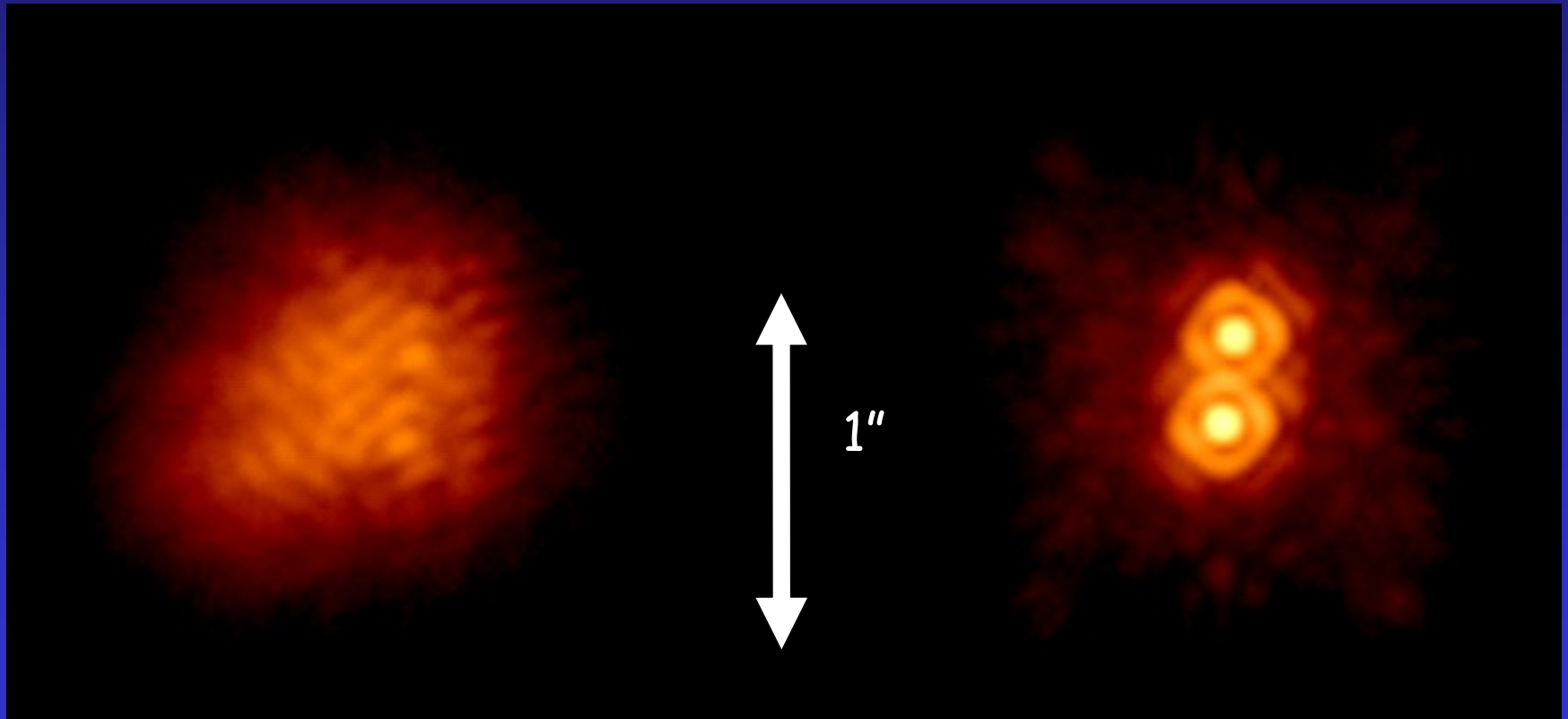
Υπολογισμένη τροχιά για το οπτικά διπλό σύστημα του α-Κενταύρου (απόσταση ~ 4.3 ε.φ.).



Εικόνα 5: 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 [5].

ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΔΙΑΚΡΙΤΙΚΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ

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.



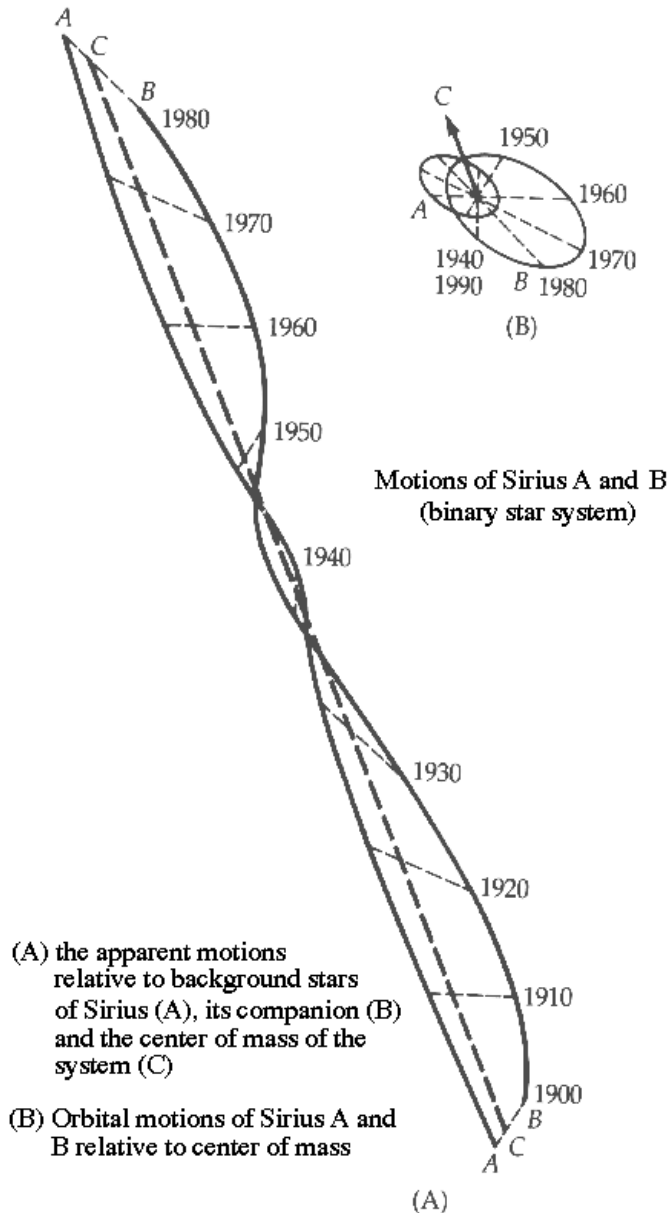
Εικόνα 6: Ο διπλός αστέρας αποκαλύπτεται μέσω οπτικών διορθώσεων. Οι δύο αστέρες απέχουν $0.3''$ [6].

ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΔΙΑΚΡΙΤΙΚΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ



Εικόνα 7: Βελτίωση διακριτικής ικανότητας με χρήση LASER στο τηλεσκόπιο Hale του αστεροσκοπείου Palomar (California, USA) [7].

ΑΣΤΡΟΜΕΤΡΙΚΑ ΔΙΠΛΟΙ ΑΣΤΕΡΕΣ



Εικόνα 8: Τροχιά του συστήματος Σειρίου A και B. Η σχεδίαση της θέσης τους ως προς το κέντρο μάζας αναδεικνύει την ελλειπτική τους τροχιά [3].

ΦΑΣΜΑΤΙΚΑ ΔΙΠΛΟΙ ΑΣΤΕΡΕΣ

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

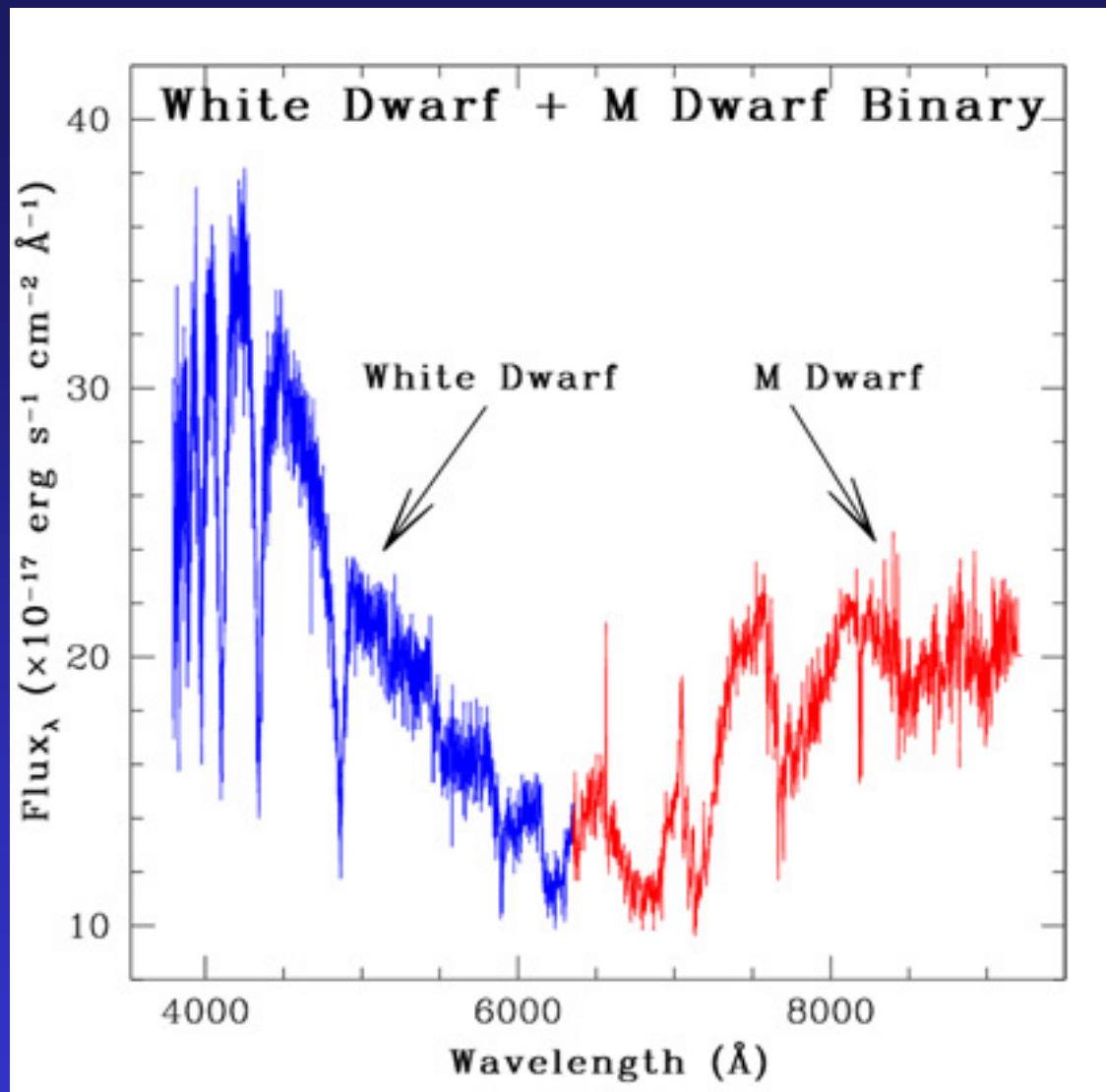


So, a spectrum binary is when you can not see two stars on the sky, but a spectrum of the object show two difference stellar classes, as below.



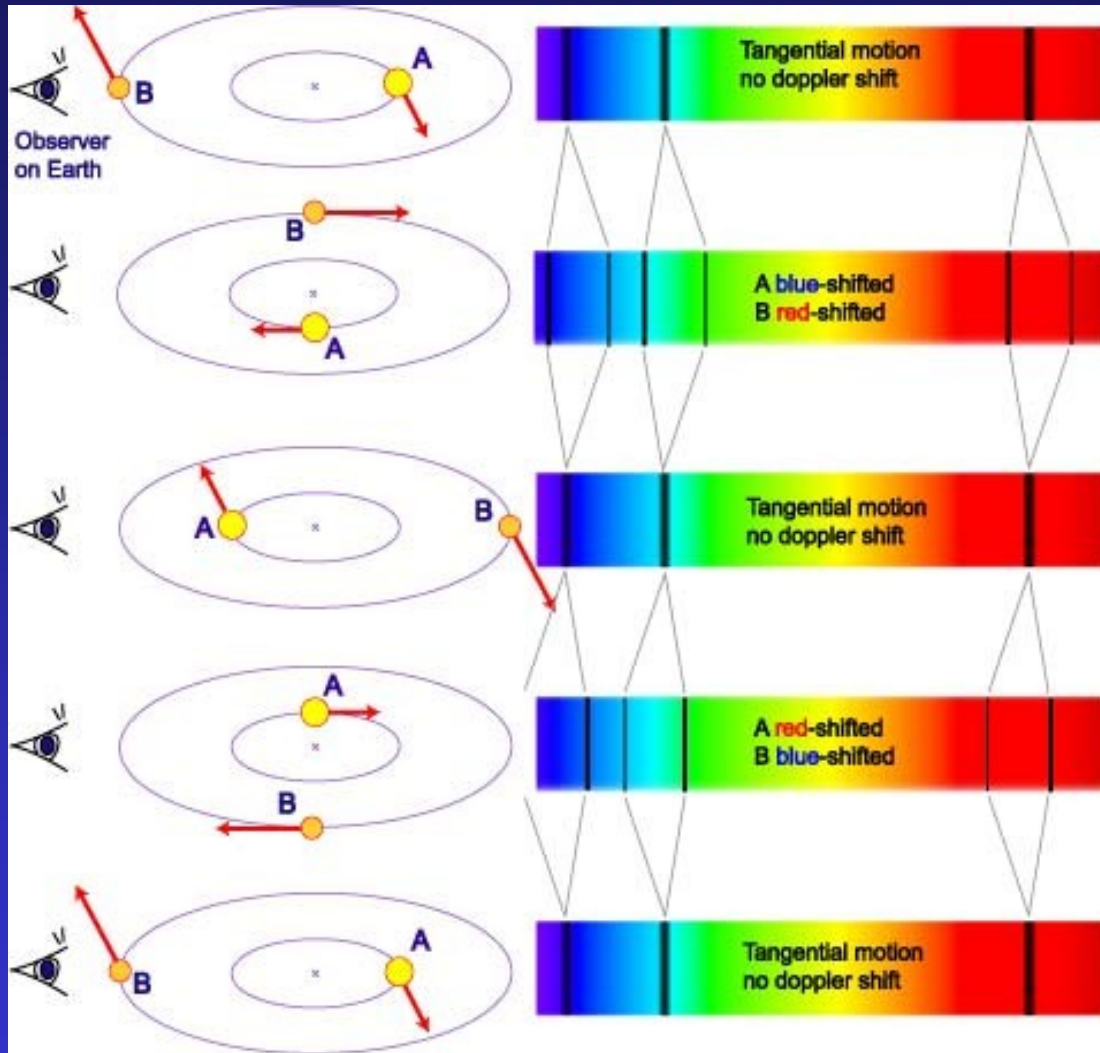
Εικόνα 9: Ένδειξη ύπαρξης διπλού συστήματος. Το φάσμα ενός αντικειμένου συνδυάζει φασματικές γραμμές θερμού και ψυχρού αστέρα [9].

ΦΑΣΜΑΤΙΚΑ ΔΙΠΛΟΙ ΑΣΤΕΡΕΣ



Εικόνα 10: 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 [10].

ΦΑΣΜΑΤΟΣΚΟΠΙΚΑ ΔΙΠΛΟΙ ΑΣΤΕΡΕΣ

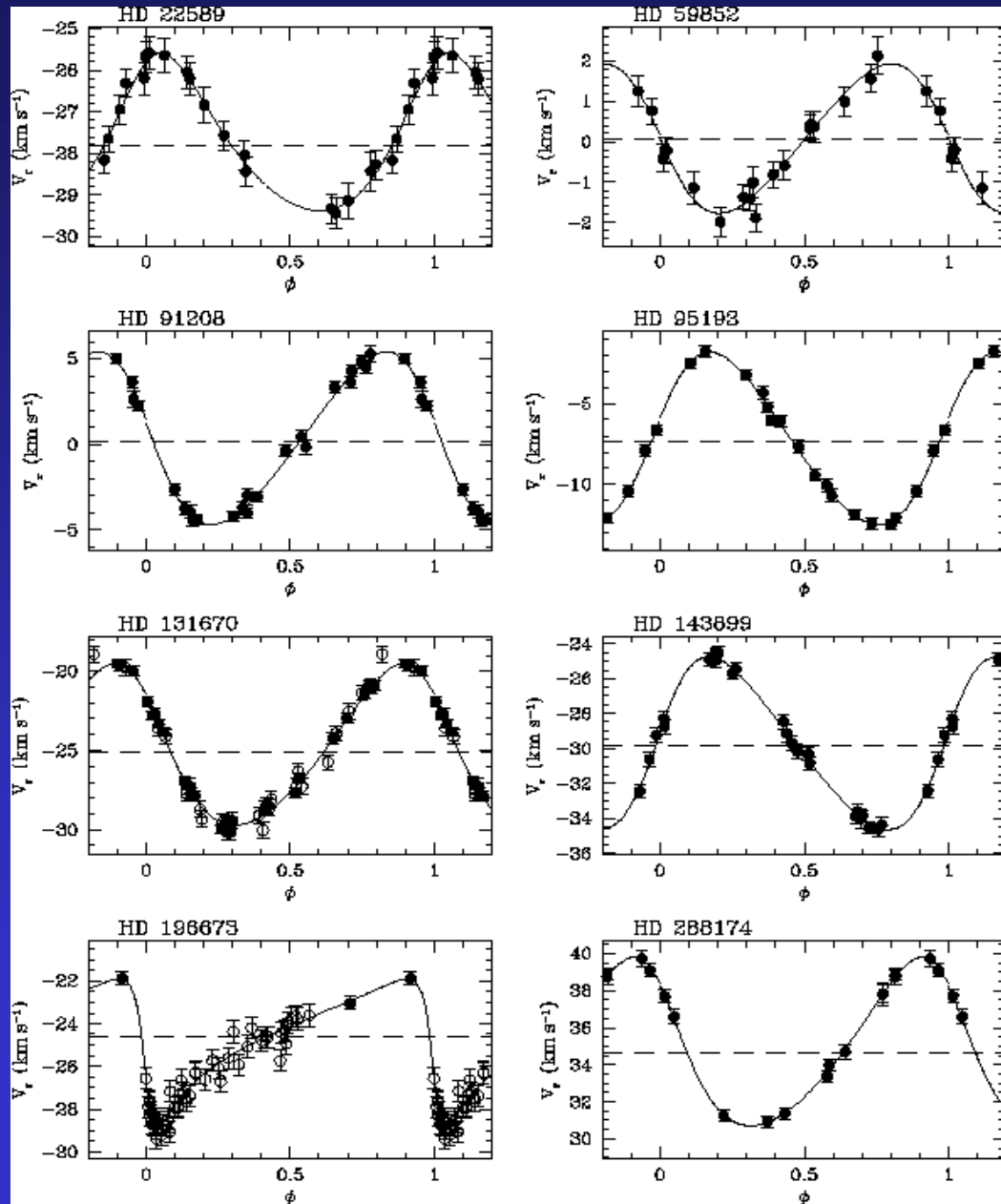


A Spectroscopic Binary System

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.

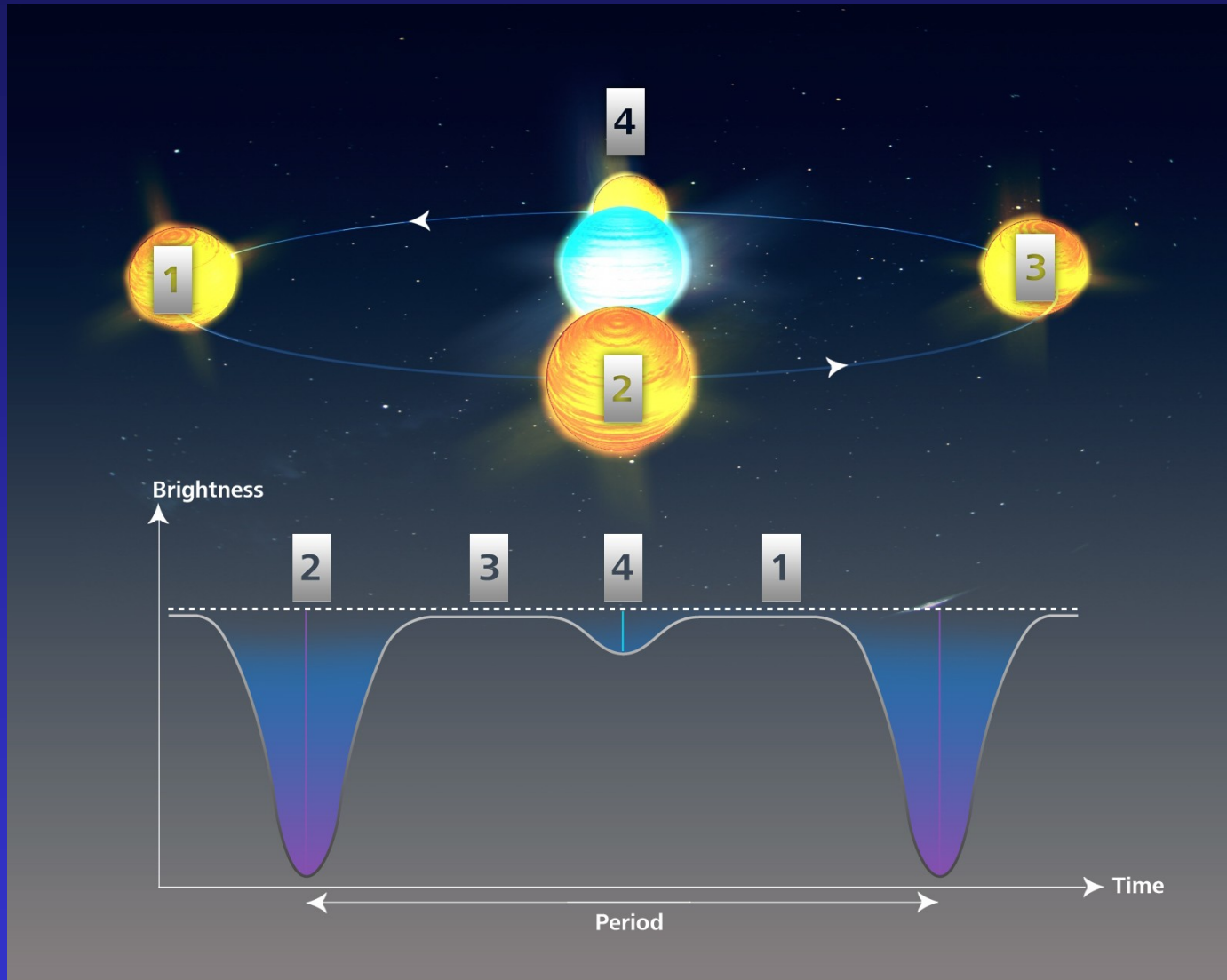
Εικόνα 11: Εντοπισμός διπλού συστήματος μέσω της μετατόπισης Doppler. Καθώς οι αστέρες κινούνται κάθετα προς τη διεύθυνση παρατήρησης, δεν παρατηρείται μετατόπιση των φασματικών τους γραμμών. Όταν όμως η ταχύτητα τους γίνει παράλληλη με τη διεύθυνση παρατήρησης, βλέπουμε τις γραμμές να χωρίζονται στα δυο, ενδεικτικό της αντίθετης φοράς της κίνησης των αστέρων [11].

ΦΑΣΜΑΤΟΣΚΟΠΙΚΑ ΔΙΠΛΟΙ ΑΣΤΕΡΕΣ



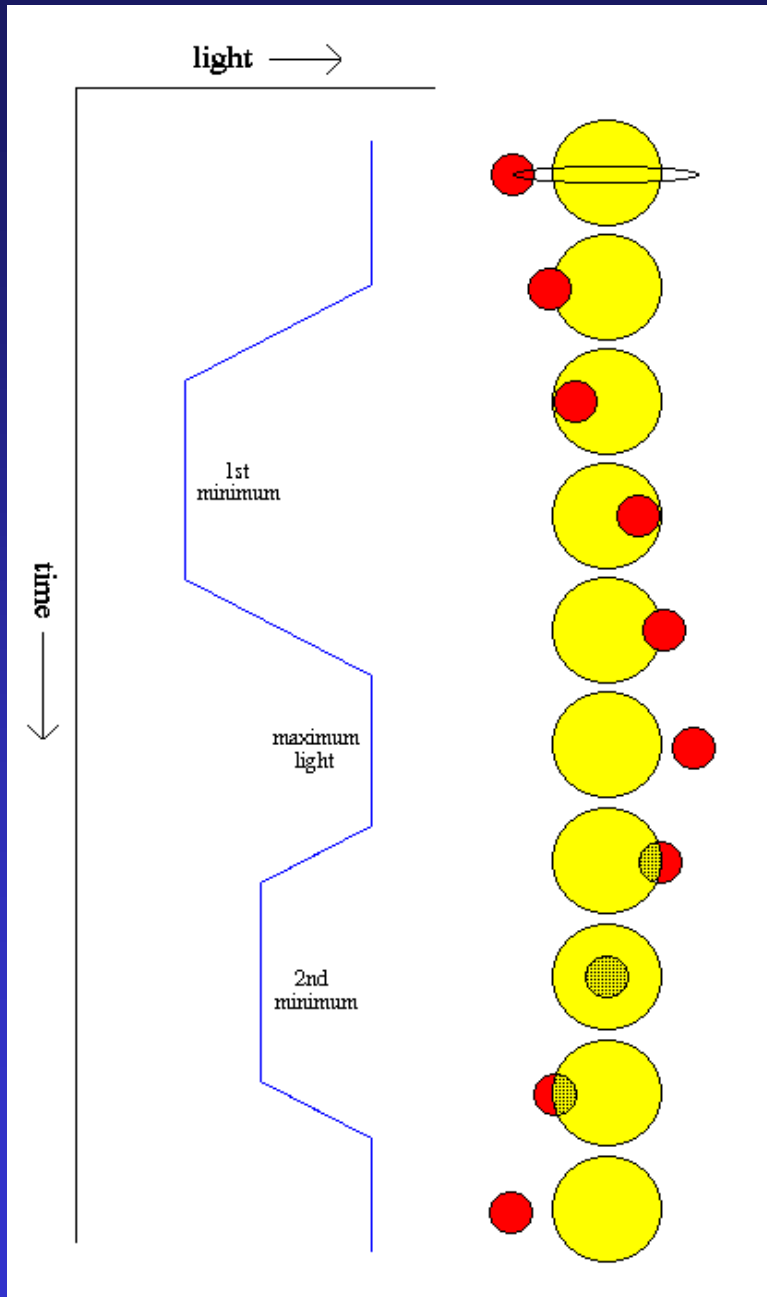
Εικόνα 12: Μετρήσεις της σχετικής ταχύτητας ως προς τη φάση (μονάδες περιόδου), για διπλά συστήματα .

ΕΚΛΕΙΠΤΙΚΑ ΔΙΠΛΟΙ ΑΣΤΕΡΕΣ



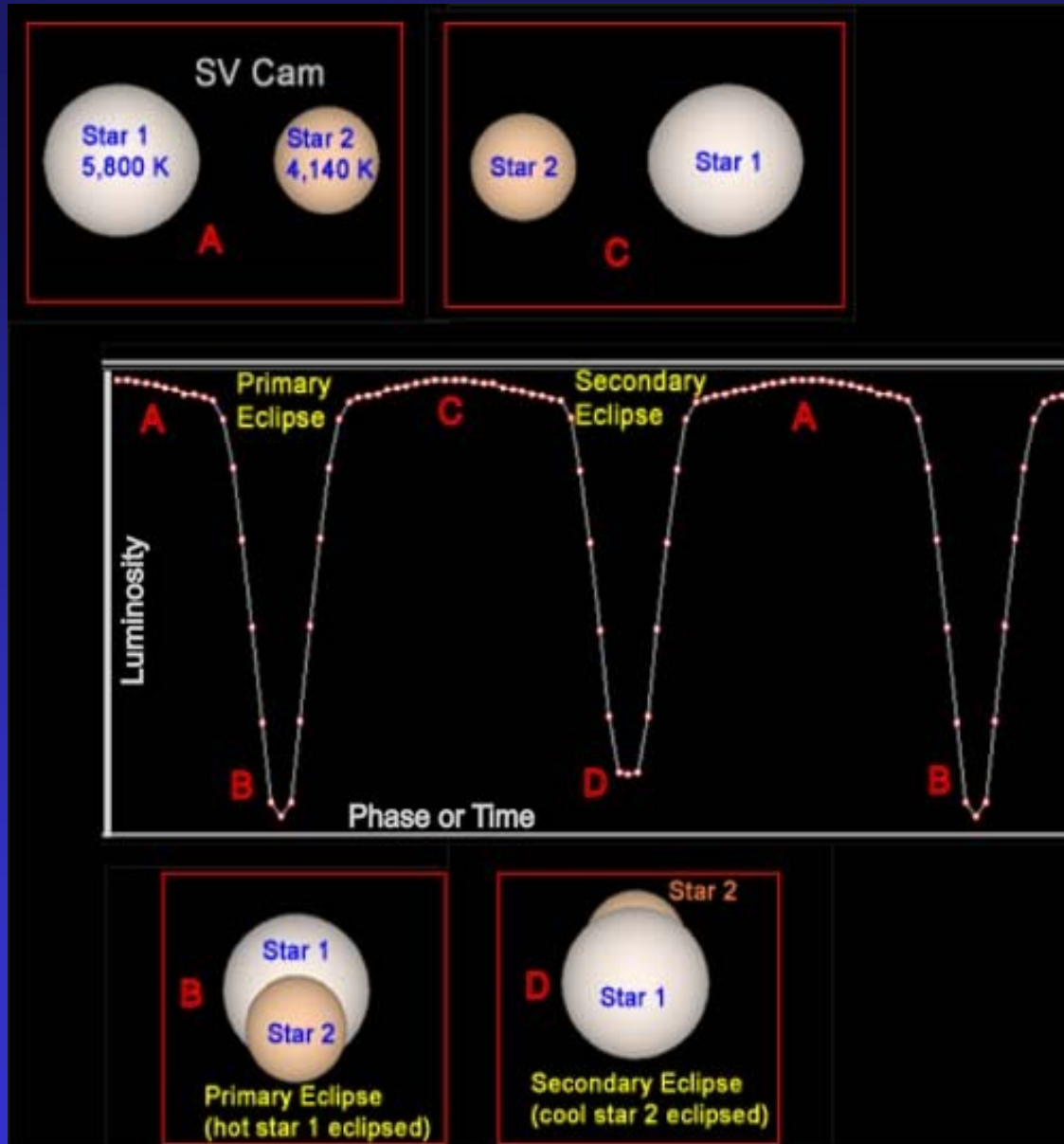
Εικόνα 13: Μέτρηση λαμπρότητας από σύστημα εκλειπτικά διπλών αστέρων. Οι τέσσερις διαφορετικές φάσεις της κίνησης του αντιστοιχούν στις τέσσερις διαφορετικές τιμές λαμπρότητας που φαίνονται στο διάγραμμα [13].

ΕΚΛΕΙΠΤΙΚΑ ΔΙΠΛΟΙ ΑΣΤΕΡΕΣ



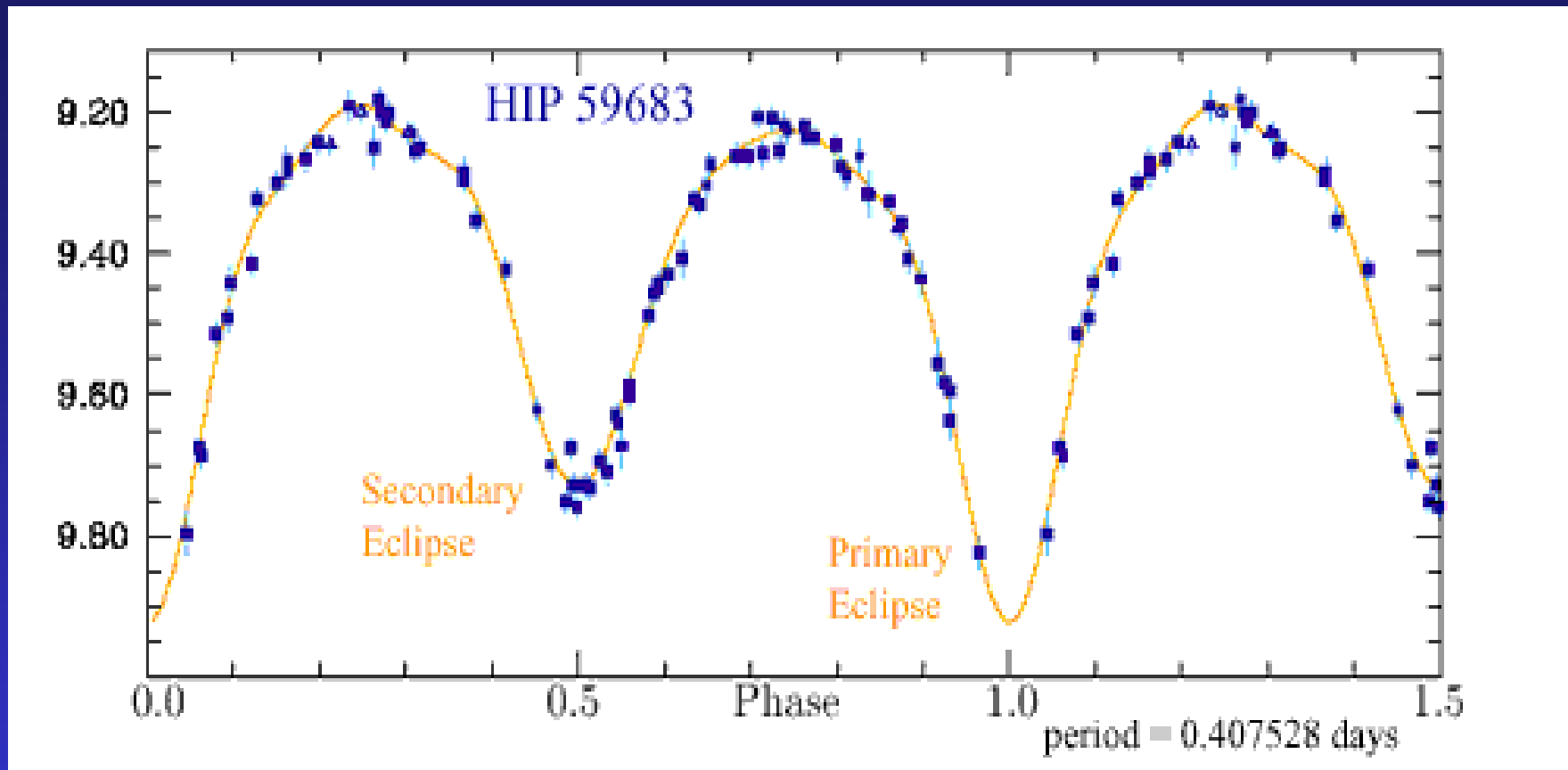
Εικόνα 14: Γραφική αναπαράσταση της μεταβολής της λαμπρότητας από σύστημα διπλού αστέρα, λόγω της σχετικής θέσης των δυο αστέρων ως προς τον παρατηρητή [14].

ΕΚΛΕΙΠΤΙΚΑ ΔΙΠΛΟΙ ΑΣΤΕΡΕΣ



Εικόνα 15: 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) [15].

ΕΚΛΕΙΠΤΙΚΑ ΔΙΠΛΟΙ ΑΣΤΕΡΕΣ



Εικόνα 16: Καμπύλη φωτός του HIP 59683, ενός εκλειπτικά διπλού συστήματος. Φαίνεται η φαινόμενη λαμπρότητα (κατακόρυφος άξονας) ως συνάρτηση της φάσης (οριζόντιος άξονας), σε μονάδες περιόδου [16].

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΡΟΧΙΑΣ

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

ϵ_{π} = εκκεντρότητα

α_{π} = μεγάλος γωνιώδης ημιάξονας (σε ")

i = γωνία κλίσης

Αν γνωρίζουμε την παράλλαξη π , τότε υπολογίζουμε τον μεγάλο ημιάξονα A σε AU.

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

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΘΡΟΙΣΜΑΤΟΣ ΜΑΖΩΝ

Τρίτος νόμος του Kepler

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

Όπου

A = μεγάλος ημιάξονας σε AU

P = περίοδος του συστήματος

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΑΖΩΝ M_1, M_2

Για φωτεινά διπλά συστήματα με σχετικά μεγάλη γωνιώδη απόσταση α_π , μπορούμε να υπολογίσουμε και την **απόλυτη φαινόμενη τροχιά** για καθένα από τα δύο μέλη. Άρα υπολογίζουμε δύο ημιάξονες A_1 και A_2 .

Από τον ορισμό του κέντρου μάζας του συστήματος:

$$M_1/M_2 = A_2/A_1$$

Και σε συνδυασμό με τον υπολογισμό του αθροίσματος M_1+M_2 προκύπτουν οι μάζες M_1 και M_2 του κάθε αστέρα.

ΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΠΑΡΑΛΛΑΞΕΙΣ

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 π , M_1 και M_2 , ξεκινώντας από κάποια εκτίμηση για M_1+M_2 .

ΠΗΓΕΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

1. Visual Binary
Dr. Xiang-Dong Li, *General Astronomy Lecture Notes*
<http://astronomy.nju.edu.cn/~lixd/GA/AT4/AT417/HTML/AT41708.htm>
2. Optical Image of Sirius A & B, Chandra X-ray Image with Scale Bar
NASA, Chandra X-ray observatory
<http://chandra.harvard.edu/photo/2000/0065/more.html>
3. Visual Binaries
James Schombert, *Astronomy 122 Lecture Notes*
University of Oregon
<http://abyss.uoregon.edu/~js/ast122/lectures/lec10.html>
4. Orbits,
Copyright Pearson Prentice Hall
From Kathryn Z Hadley Physics Website,
http://www.khadley.com/courses/astro_121/physics_telescope.htm
5. Apparent relative orbit of the binary system α Cen A and B
Credit: Graphics courtesy of Richard Dibon-Smith, *Constellations Web Page*.
Australia Telescope National Facility
www.atnf.csiro.au/outreach/education/senior/astrophysics/binary_types.html

ΠΗΓΕΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

6. The binary star IW Tau is revealed through adaptive optics.
Credit: Chas Beichman, Angelle Tanner, NASA/JPL
From: <http://www.astro.caltech.edu/palomar/AO/>
7. Adaptive Optics on the 200-inch Hale Telescope at the Palomar Observatory
Caltech, Palomar Website
<http://www.astro.caltech.edu/palomar/AO/>
9. Spectrum Binary
James Schombert, Astronomy 122 Lecture Notes
University of Oregon
<http://abyss.uoregon.edu/~js/ast122/lectures/lec10.html>
10. White Dwarf + M Dwarf Binary
SOURCE: University of Washington, SDSS
<http://www.sdss.org/news/releases/20040106.starpairs.html>
11. A Spectroscopic Binary System
Australia Telescope National Facility
www.atnf.csiro.au/outreach/education/senior/astrophysics/binary_types.html

ΠΗΓΕΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

13. Eclipsing Binary
Scioly.org, Creative Commons License
http://scioly.org/wiki/index.php/File:Eclipsing_binary_380x303_72.jpg
14. Eclipsing Binary
James Schombert, Astronomy 122 Lecture Notes
University of Oregon
<http://abyss.uoregon.edu/~js/ast122/lectures/lec10.html>
15. Computer-simulated data for the eclipsing binary SV Cam
Credit: *Adapted from data in Dan Bruton's StarLight Pro.*
From Australia Telescope National Facility
www.atnf.csiro.au/outreach/education/senior/astrophysics/binary_types.html
16. Folded light curve for HIP 59683, an eclipsing binary system
Credit: ESA
From Australia Telescope National Facility
www.atnf.csiro.au/outreach/education/senior/astrophysics/binary_types.html



Τέλος Ενότητας

Επεξεργασία: Νικόλαος Τρυφωνίδης
Θεσσαλονίκη, 31 Μαρτίου 2014



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

