



Αστρονομία

Ενότητα # 13: Μεταβλητοί 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.

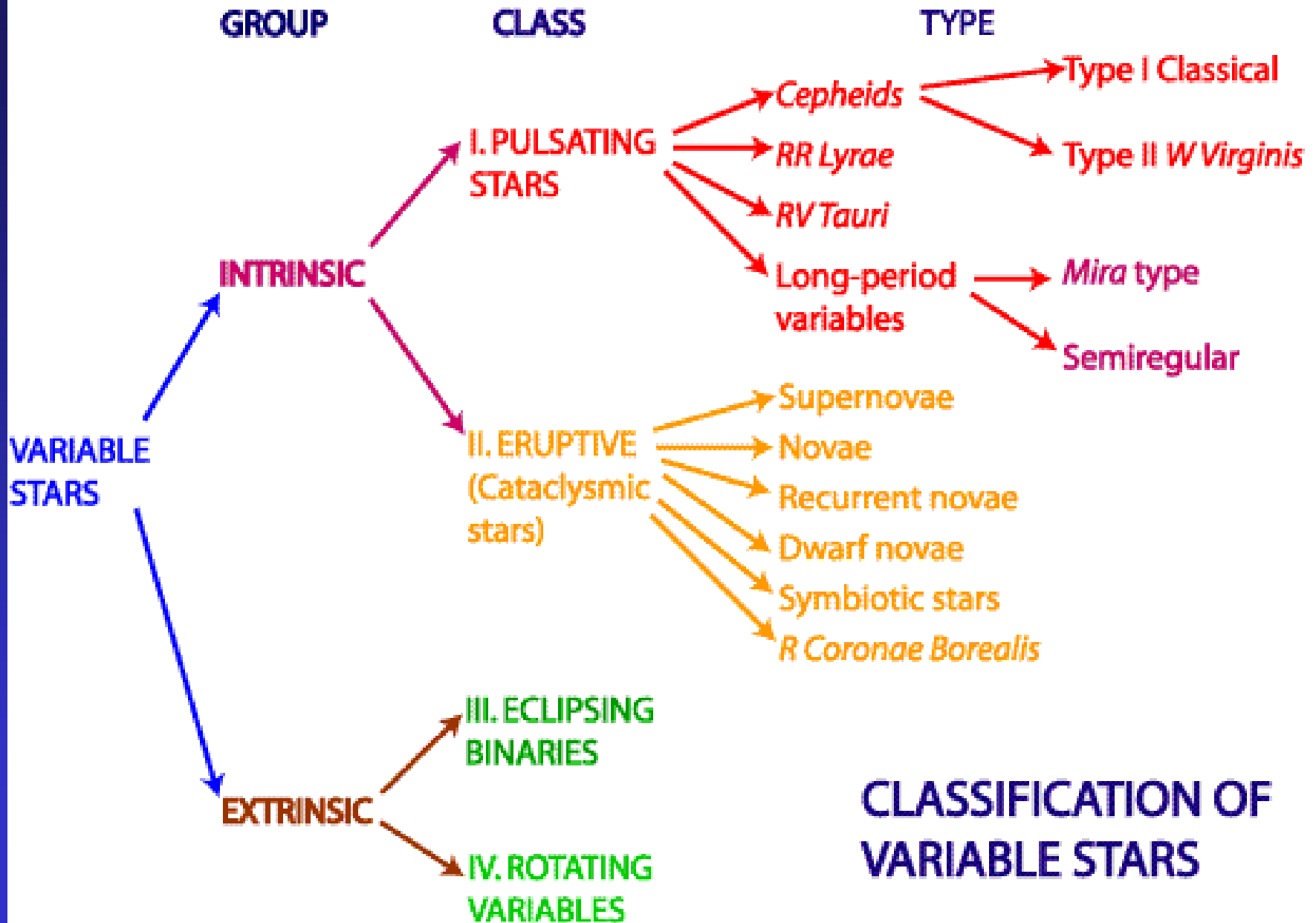


ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑ

- *Κεφ. 13^ο Μεταβλητοί Αστέρες*

Ν. Στεργιούλας

ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΙ ΑΣΤΕΡΕΣ



**CLASSIFICATION OF
VARIABLE STARS**

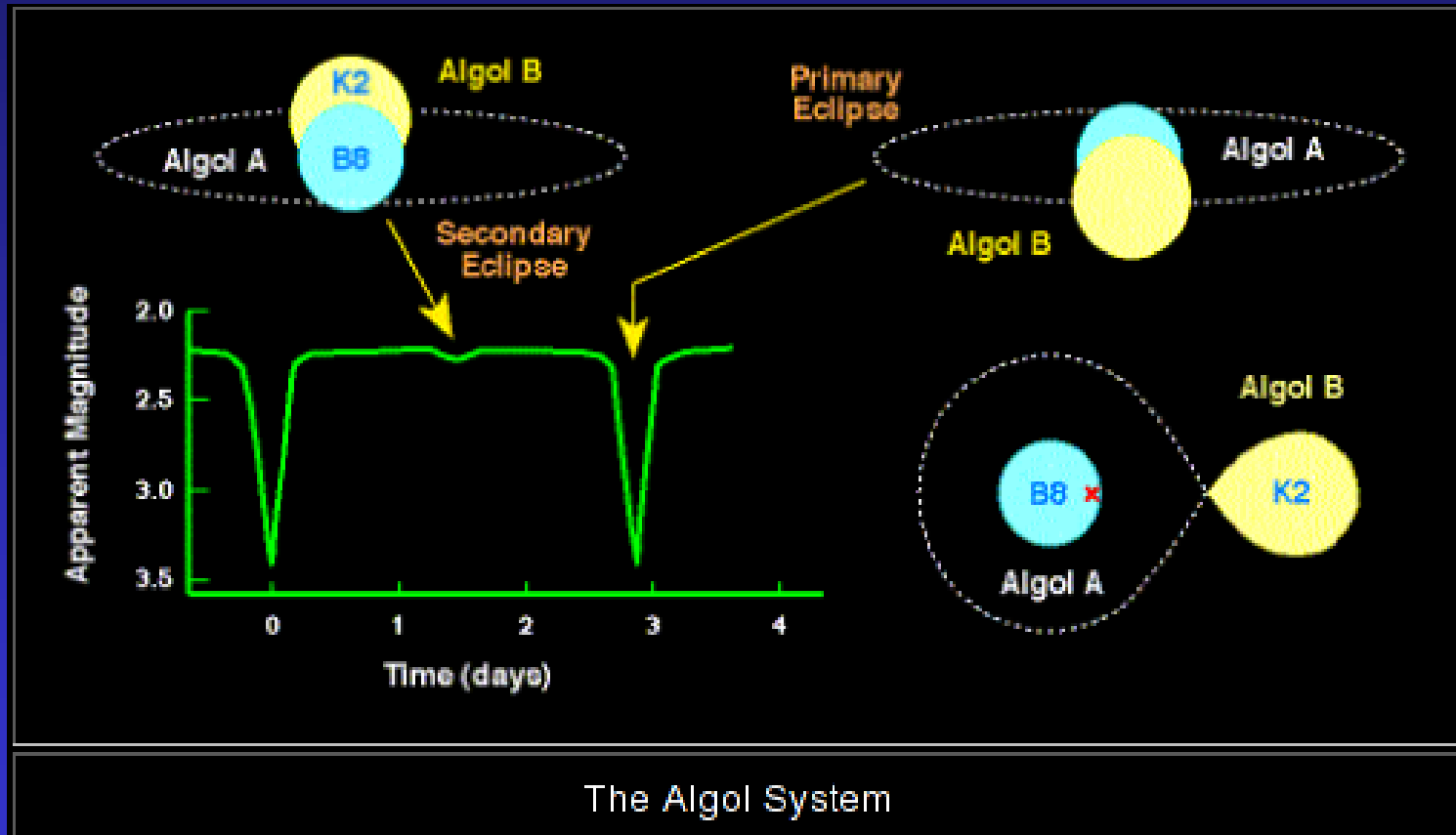
ΜΗ-ΓΝΗΣΙΟΙ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΙ

ΔΙΠΛΟΙ ΕΚΛΕΙΠΤΙΚΟΙ

ΠΕΡΙΣΤΡΕΦΟΜΕΝΟΙ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΙ

ΔΙΠΛΟΙ ΕΚΛΕΙΠΤΙΚΟΙ

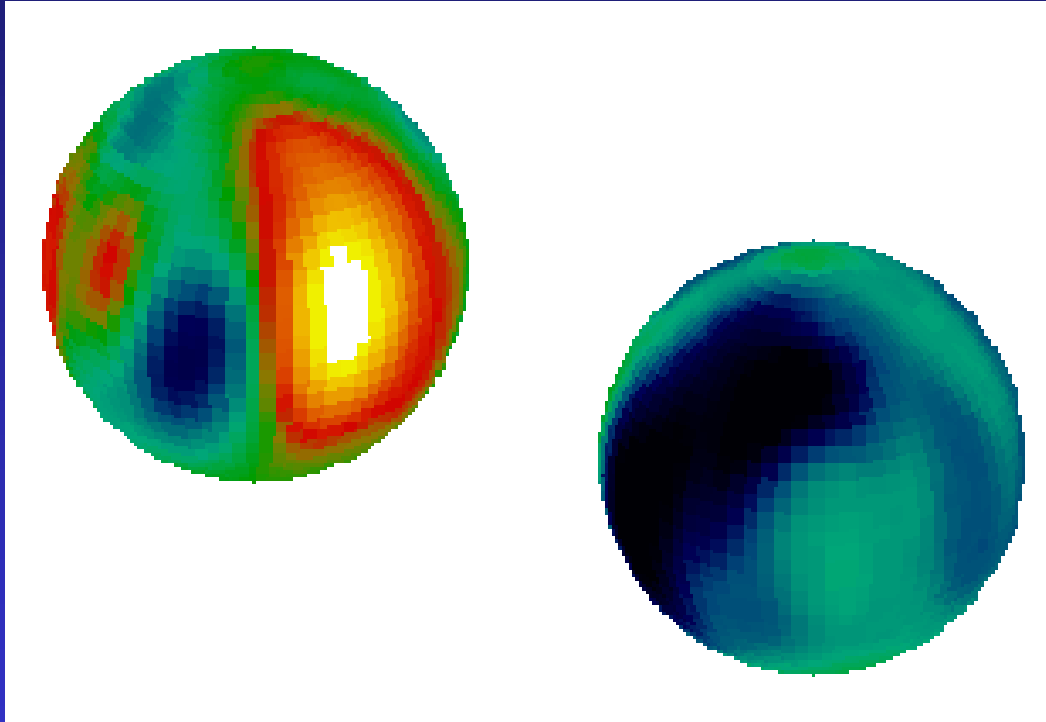
Διπλά εκλειπτικά συστήματα φαίνονται ως μεταβλητός αστέρας, π.χ. ο μεταβλητός Algol που ανακαλύφθηκε το 1669 και ερμηνεύτηκε αργότερα ως διπλό σύστημα.



Εικόνα 1: Το διπλό σύστημα Algol. Φαίνεται η διαφορά στο φαινόμενο μέγεθος που προκαλείται από τις κύριες και δευτερεύουσες εκλείψεις [1].

ΠΕΡΙΣΤΡΕΦΟΜΕΝΟΙ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΙ

Περιστρεφόμενοι αστέρες με μεγάλες ανομοιογένειες στην επιφανειακή εκπομπή ακτινοβολίας (μεγάλες αστρικές κηλίδες).



Εικόνα 2: Αστέρας με μεγάλη ανομοιογένεια στην επιφανειακή εκπομπή ακτινοβολίας.

ΓΝΗΣΙΟΙ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΙ

ΠΕΡΙΟΔΙΚΟΙ

ΜΗ ΠΕΡΙΟΔΙΚΟΙ

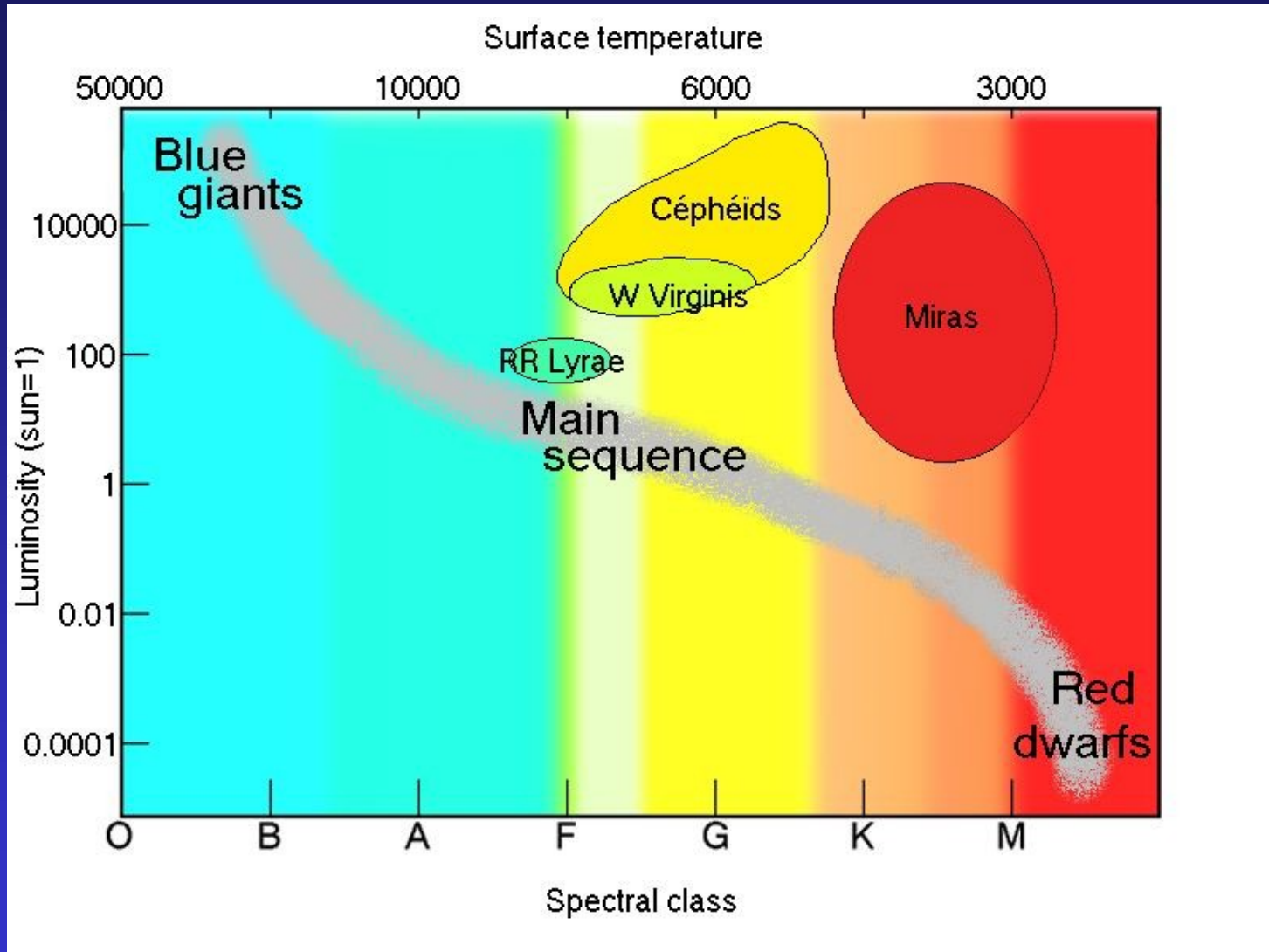
ΠΕΡΙΟΔΙΚΟΙ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΙ

Κηφείδες (πληθυσμού I / πληθυσμού II)

RR Lyrae

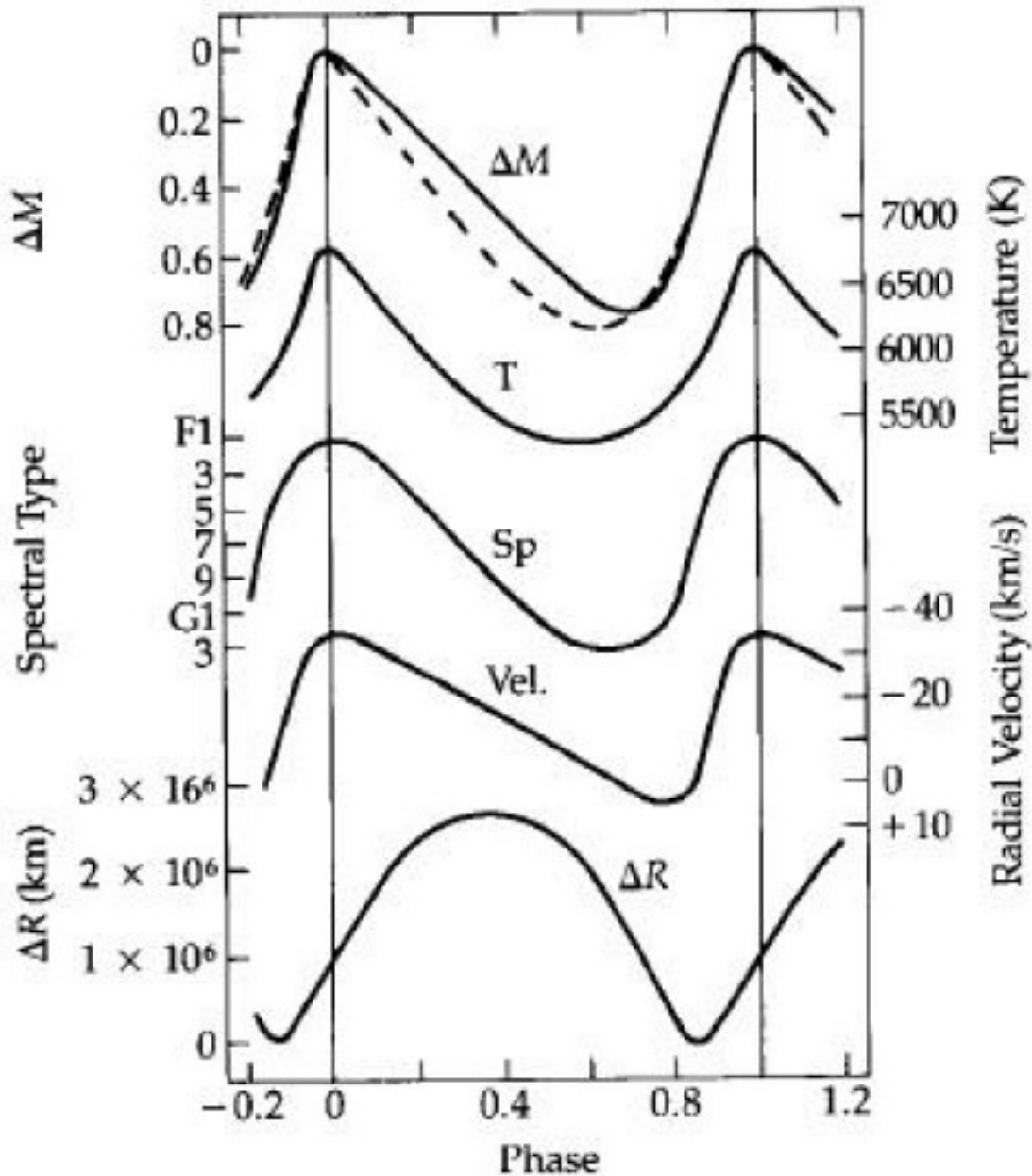
Μακροπερίοδοι μεταβλητοί (τύπου Mira)

ΠΕΡΙΟΔΙΚΟΙ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΙ



Εικόνα 3: Περιοδικοί μεταβλητοί αστέρες και οι μεταβολές τους στο διάγραμμα HR [3].

ΚΗΦΕΙΔΕΣ



Εικόνα 4: Μεταβολή χαρακτηριστικών μεγεθών των μεταβλητών αστέρων κατά τις διάφορες φάσεις μιας περιόδου.

ΚΗΦΕΙΔΕΣ

Πρώτος αστέρας που παρατηρήθηκε: δ-Κηφέως

Γίγαντες αστέρες με περίοδο: 1 - 50 ημέρες

Μεταβολή μεγέθους: $\Delta m \sim 1$

Μεταβολή φασματικού τύπου: F - G

Μεταβολή θερμοκρασίας: 5500 - 6500 K

Κλειστή "τροχιά" στο διάγραμμα H-R

ΑΝΑΠΑΛΣΕΙΣ

Χρησιμοποιώντας το νόμο Stefan-Boltzmann

$$L = 4\pi R^2 \sigma T_{\text{eff}}^4$$

δε δικαιολογείται η παρατηρούμενη μεταβολή στη φωτεινότητα από την παρατηρούμενη μεταβολή της επιφανειακής θερμοκρασίας μόνο.

Εξήγηση: και η ακτίνα R πρέπει να μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια μιας περιόδου!

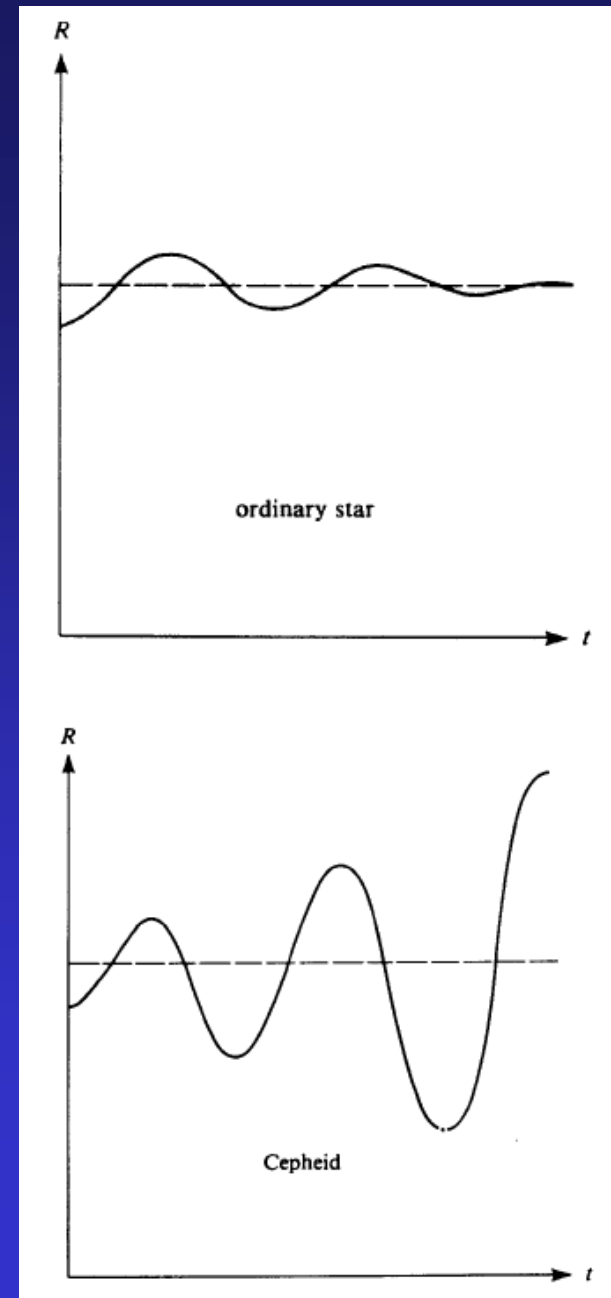
Οι αστέρες αυτοί είναι παλλόμενοι.

ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ κ

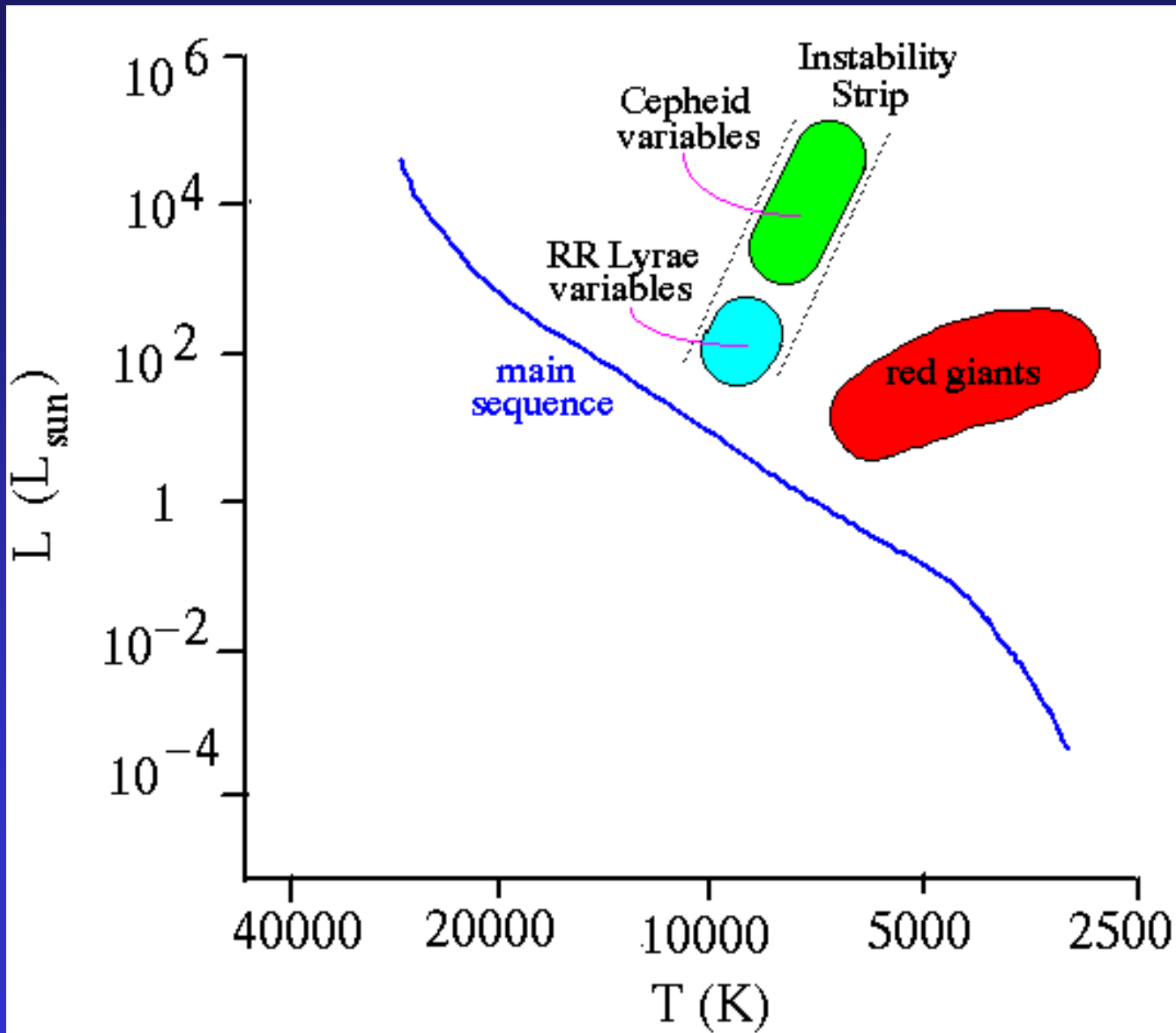
Οι αναπάψεις συμβαίνουν στα **εξωτερικά στρώματα** και δεν οφείλονται σε μεταβολές του ρυθμού παραγωγής ενέργειας στον πυρήνα του αστέρα.

Εάν υπάρχουν κατάλληλες **ζώνες ιονισμού H και He** κοντά στην επιφάνεια, στις οποίες η **αδιαφάνεια αυξάνει με τη θερμοκρασία**, τότε παράγονται **υπερευσταθείς ταλαντώσεις**.

Εικόνα 5: Μεταβολή της ακτίνας ως συνάρτηση του χρόνου.

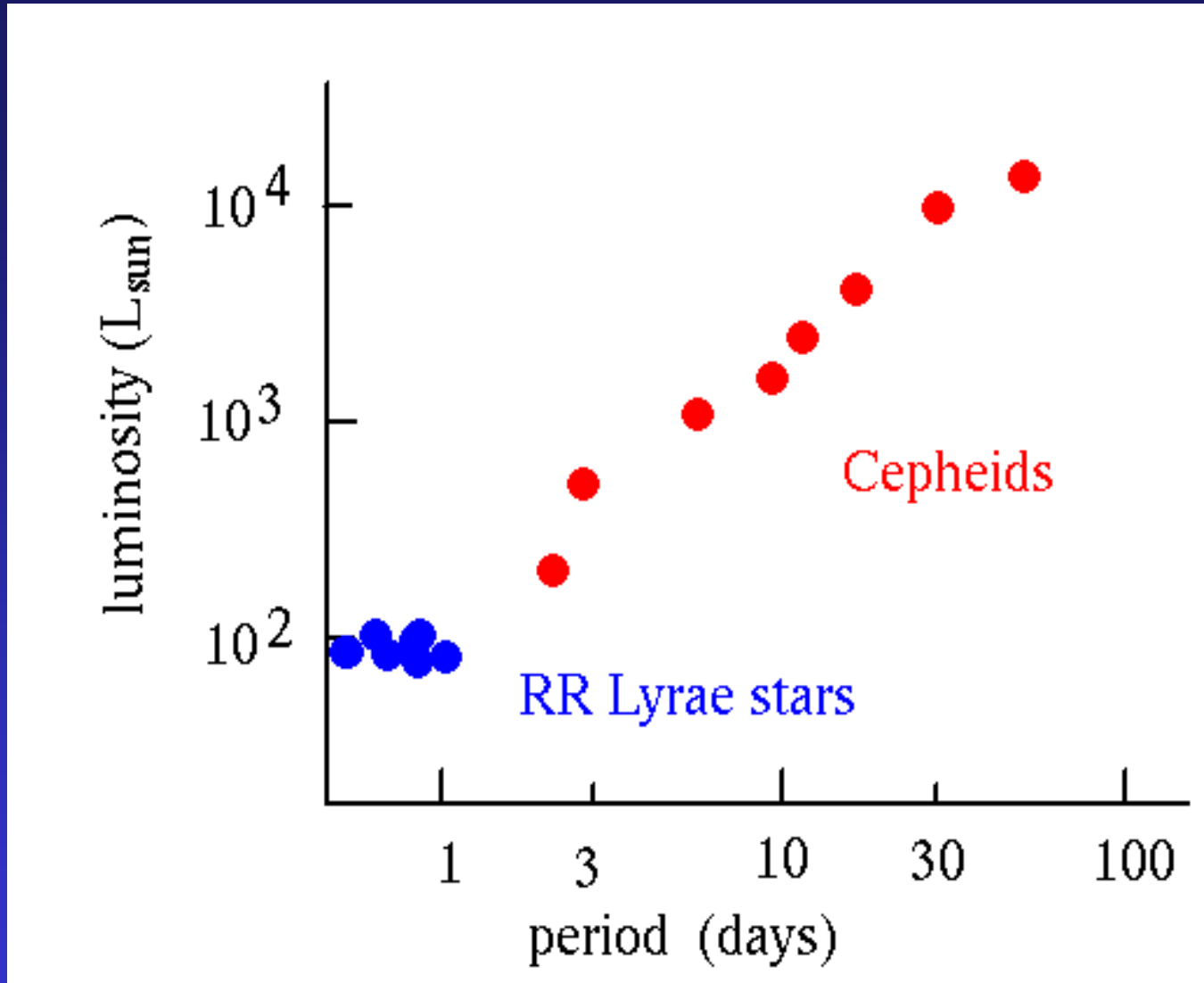


ΖΩΝΗ ΑΣΤΑΘΕΙΑΣ ΣΤΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ H-R



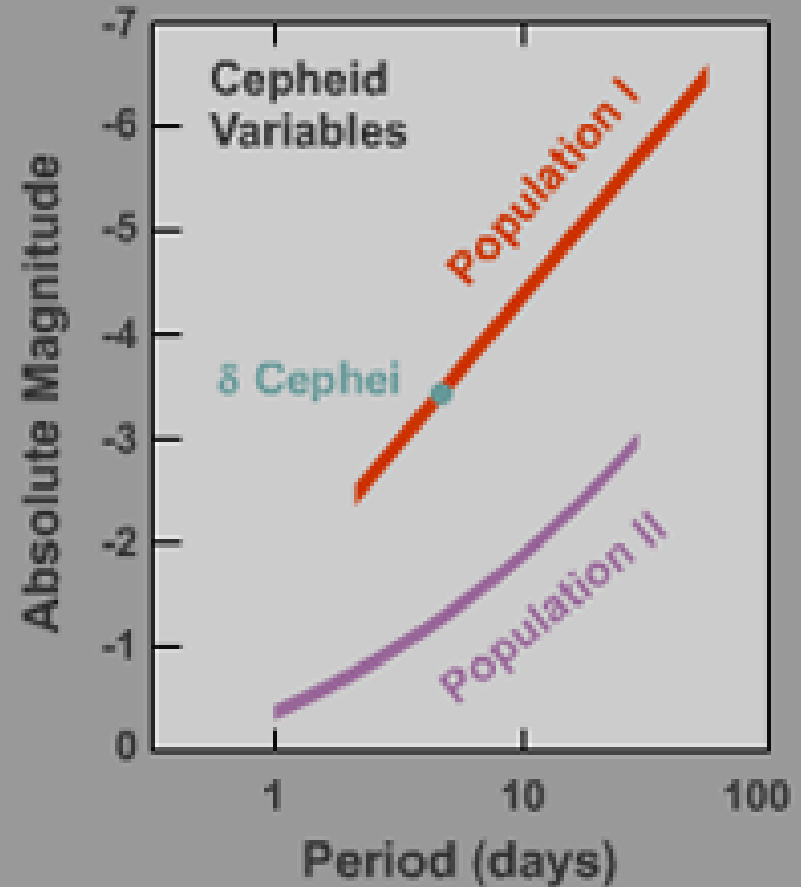
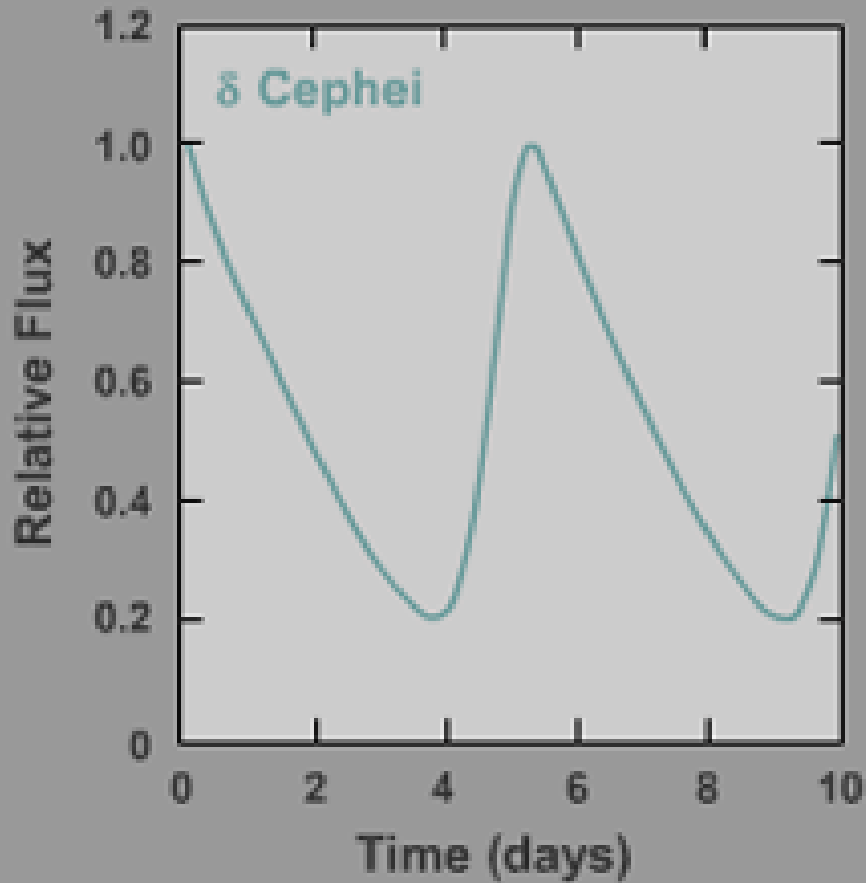
Εικόνα 6: Η στενή "ζώνη αστάθειας", μέσα στην οποία βρίσκονται οι Κηφείδες και οι RR Lyrae, μετά την έξοδο τους από την κύρια ακολουθία.

ΣΧΕΣΗ ΠΕΡΙΟΔΟΥ-ΦΩΤΕΙΝΟΤΗΤΑΣ



Εικόνα 7: Η σχέση μεταξύ φωτεινότητας και περιόδου για τους μεταβλητούς αστέρες RR Lyrae (μπλε) και Cepheids (κόκκινο).

ΣΧΕΣΗ ΠΕΡΙΟΔΟΥ - ΑΠ. ΜΕΓΕΘΟΥΣ



Εικόνα 8: Η σχέση μεταξύ απόλυτου μεγέθους και περιόδου για τους μεταβλητούς αστέρες Κηφείδες (ημιλογαριθμική κλίμακα) [8].

ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΙ ΤΥΠΟΥ RR-LYRAE

Μεταβολή λαμπρότητας λόγω σφαιρικά συμμετρικών αναπάσεων.

Αστέρες με περίοδο: 0.2 - 1 ημέρες

Μεταβολή φασματικού τύπου: A0 - F5

Μάζα: $0.5 M_{\odot}$

Φωτεινότητα ανεξάρτητη της περιόδου $\sim 100 L_{\odot}$

Απόλυτο μέγεθος: $M \sim 0.6$

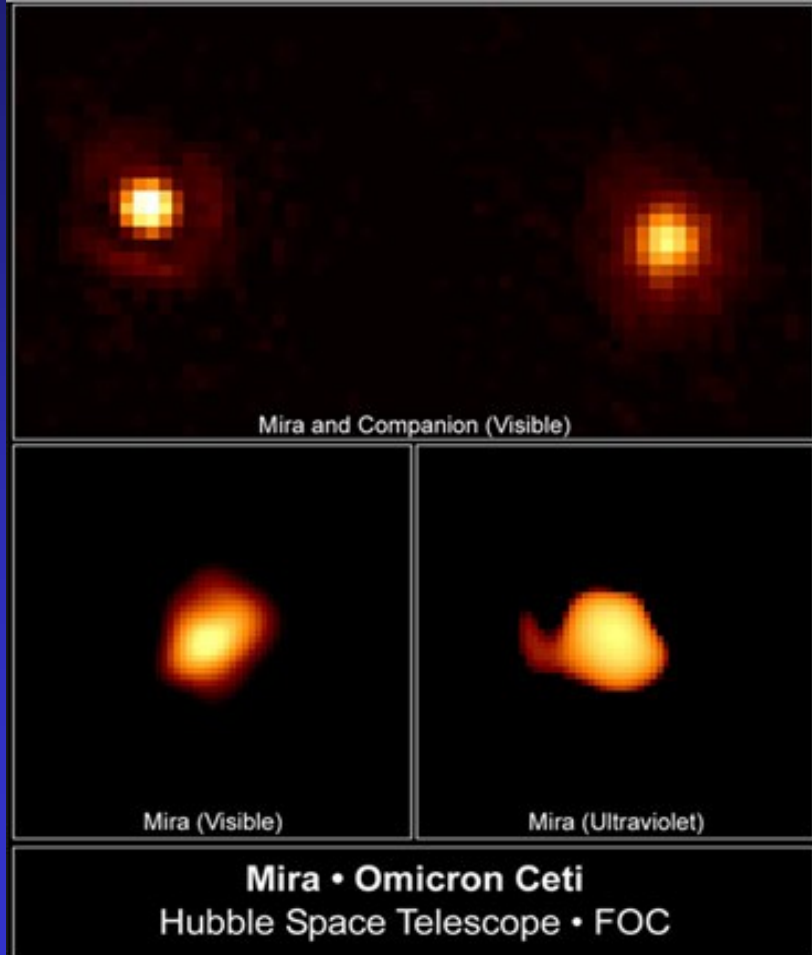
ΜΑΚΡΟΠΕΡΙΟΔΟΙ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΙ (MIRA)

ο Ceti (Mira): διπλό σύστημα.

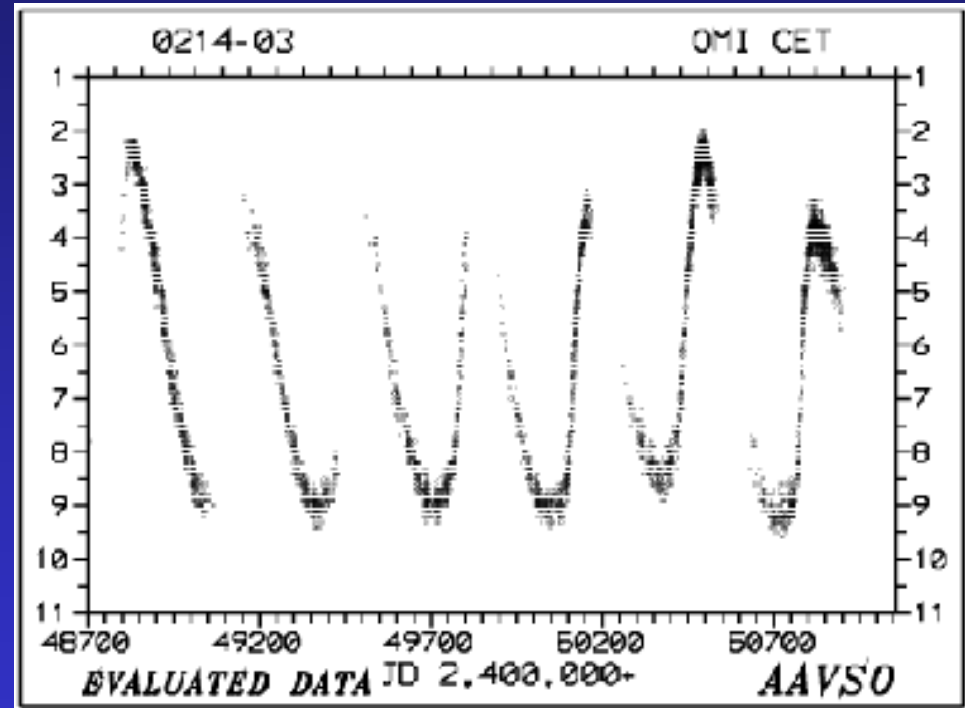
Mira A (μεταβλητός): ακτίνα $\sim 100 R_{\odot}$

έντονος αστρικός άνεμος, μή-συμμετρικό σχήμα

(β)



(α)



Εικόνα 9: (α) Ο ερυθρός γίγαντας Mira (δεξιά) και ο θερμός συνοδός του (αριστερά).

(β) Η μεταβολή στην ένταση του φωτός από το διπλό σύστημα Mira [9].

ΜΑΚΡΟΠΕΡΙΟΔΟΙ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΙ (MIRA)

Περίοδος: 100 - 1000 ημέρες

Ψυχροί ερυθροί γίγαντες μικρής μάζας. Κατά τα τελευταία της εξέλιξης γίνεται διαδοχική καύση H και He στα εξωτερικά στρώματα. Αυτές οι εναλλαγές έχουν αποτέλεσμα την περιοδική μεταβολή της φωτεινότητας.

Θερμοκρασία: 2500 - 3500 K

Η μεγάλη διαφορά θερμοκρασίας προκαλεί μεγάλη διαφορά στην απορρόφηση φωτός.

$$\Delta m_V \sim 6 !$$

ΜΗ-ΠΕΡΙΟΔΙΚΟΙ

ΑΝΩΜΑΛΟΙ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΙ

Τ-Tauri

Αστέρες Εκλάμψεων

Τύπου R Coronae Borealis

ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΟΙ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΙ

Καινοφανείς

Υπερκαινοφανείς I

Υπερκαινοφανείς II

T-TAURI

Απότομες, βραχυχρόνιες αυξήσεις στην λαμπρότητα
 $\Delta m \sim 0.3 - 4$

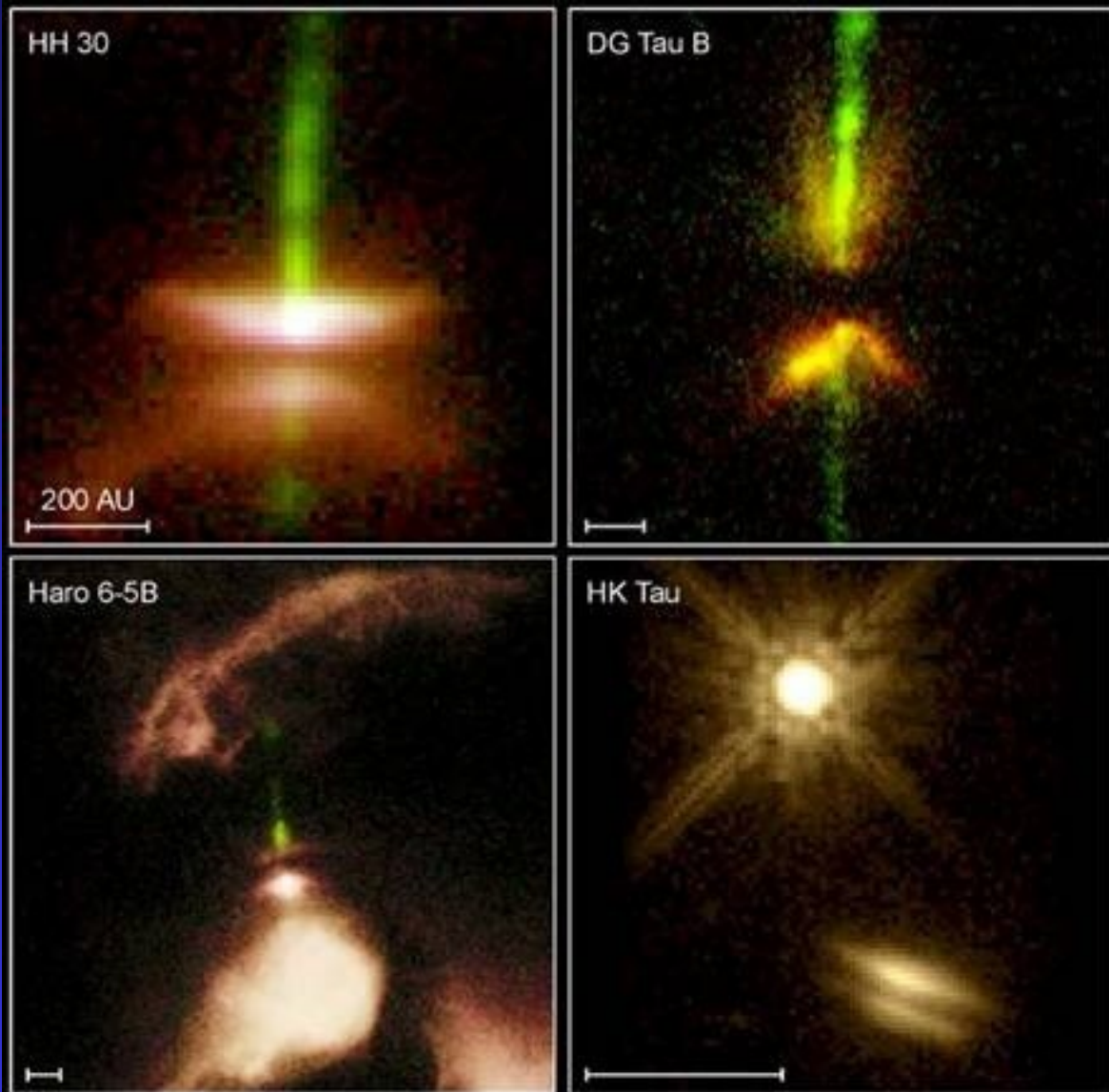
Διαστήματα ηρεμίας μέχρι 100 ημέρες

Φασματικές γραμμές λιθίου (που δεν εμφανίζονται σε άλλους αστέρες - το λίθιο εξαντλείται γρήγορα)

Ισχυροί αστρικοί άνεμοι

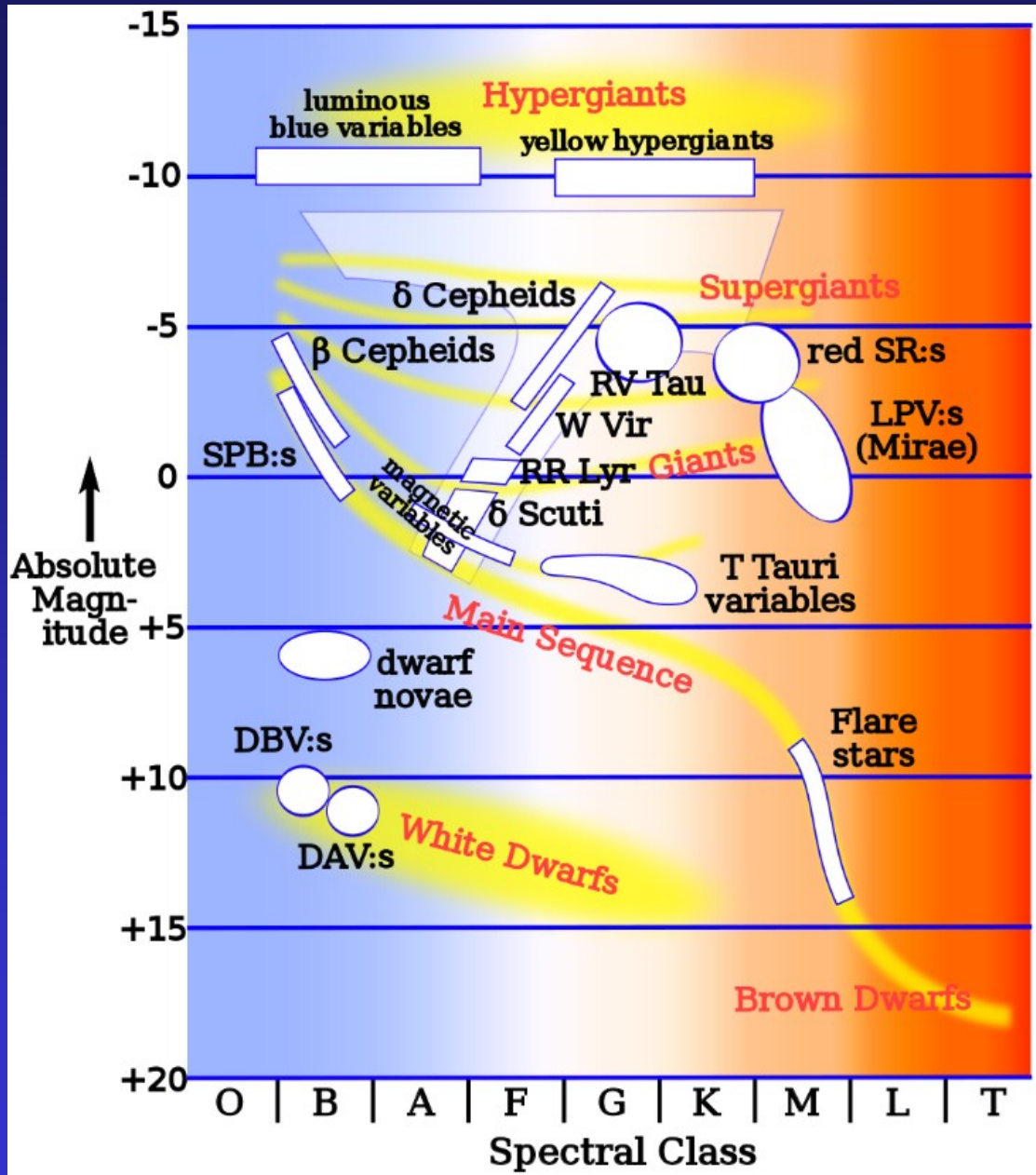
Είναι αστέρες "εν τη γενέσει τους".

ΑΣΤΕΡΕΣ Τ ΤΑΥΡΙ



Εικόνα 10: Αστέρες τύπου T Tauri. Δίσκοι σκόνης και αερίων «κρύβουν» τους νεογέννητους αστέρες. Πίδακες αερίων φαίνονται να εκτινάσσονται (πράσινο) κάθετα στο επίπεδο των δίσκων [10].

ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΙ ΑΣΤΕΡΕΣ - HR



Εικόνα 11: Περιοχές των μεταβλητών αστερών στο διάγραμμα HR [11].

ΑΣΤΕΡΕΣ ΕΚΛΑΜΨΕΩΝ

Ψυχροί ερυθροί νάνοι της κύριας ακολουθίας ($M4-M9$)

Απότομες και σύντομες εκλάμψεις (σε B, U) με $\Delta m \sim 6$

Μεγάλη ζώνη μεταφοράς (απουσία ζώνης ακτινοβολίας)

-> Έντονο μαγνητικό πεδίο

-> Ισχυρές εκλάμψεις (πολύ πιο ισχυρές από ότι στον Ήλιο).

R CORONAE BOREALIS

Υπεργίγαντες τύπου F

Απότομη πτώση λαμπρότητας $\Delta m = -9$!
μέσα σε λίγες ημέρες. Διατήρηση για ~ 1 έτος και μετά επαναφορά στο αρχικό μέγεθος.

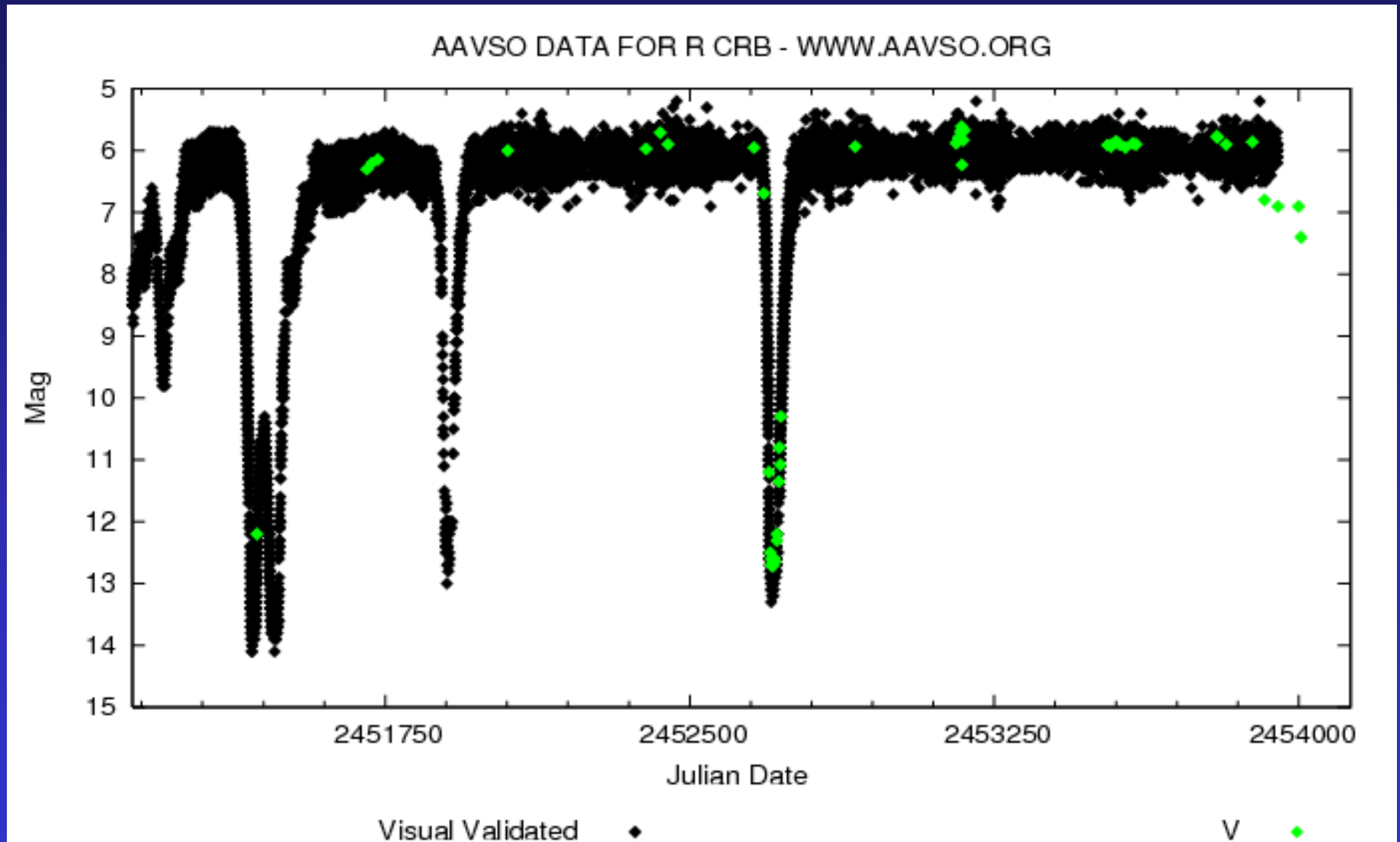
Έχουν αποβληθεί οι φλοιοί H και He.

-> Έντονος αστρικός άνεμος που δημιουργεί ψυχρό νέφος με σκόνη ενώσεων άνθρακα που απορροφά το φως.

-> Θέρμανση νέφους και εξάχνωση

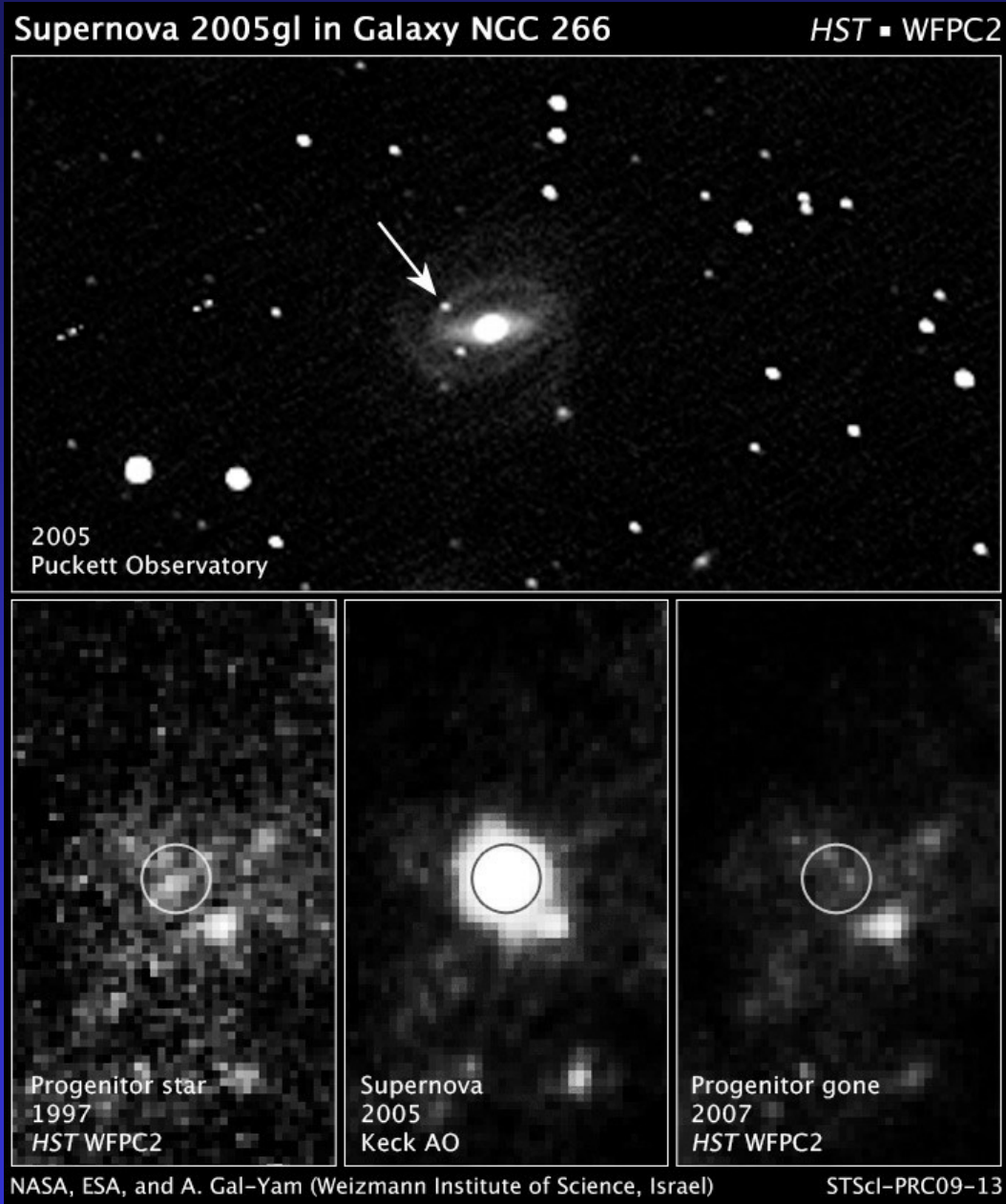
-> επαναφορά στην αρχική λαμπρότητα.

R CORONAE BOREALIS



Εικόνα 12: Μεταβολή του μεγέθους του R Coronae Borealis με το χρόνο [12].

SUPERNOVA



Εικόνα 13: Έκρηξη supernova στον γαλαξία NGC 266. Η έκρηξη προήλθε από αστέρα με μάζα 100 φορές μεγαλύτερη του Ηλίου [13].

ΚΑΙΝΟΦΑΝΕΙΣ / ΥΠΕΡΚΑΙΝΟΦΑΝΕΙΣ

Καινοφανείς: προσαύξηση ύλης πάνω σε λευκό νάνο σε διπλό σύστημα - συσσώρευση ύλης οδηγεί σε έκρηξη και απότομη αύξηση της λαμπρότητας. Επαναλαμβανόμενο φαινόμενο (ο λευκός νάνος δεν διαλύεται).

Υπερκαινοφανείς τύπου I προσαύξηση ύλης πάνω σε λευκό νάνο σε διπλό σύστημα - συσσώρευση ύλης οδηγεί σε έκρηξη και απότομη αύξηση της λαμπρότητας. Σε αυτή την περίπτωση όμως ο λευκός νάνος βρίσκεται στο μέγιστο όριο της μάζας και η έκρηξη τον διαλύει.

Υπερκαινοφανείς τύπου II πρόκειται για την έκρηξη ενός αστέρα μεγάλης μάζας, στο τέλος της εξέλιξής του και οδηγεί στη δημιουργία αστέρα νετρονίων ή μελανής οπής.

ΠΗΓΕΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

1. The Algol System

Astronomy 162 Lecture Notes, University of Tennessee

<http://csep10.phys.utk.edu/astr162/lect/binaries/algol.html>

3. Variable Stars,

Knowing the Universe and its Secrets

<http://nrumiano.free.fr/Estars/curious.html>

8. Absolute Magnitude - Period

Image credit: Brooks/Cole Thomson Learning

<http://astronomyonline.org/Stars/VariableStars.asp>

9. (a) Mira A, also known as Omicron Ceti, in the constellation Cetus.

NASA, NSSDC Photo Gallery Stars and Exotic Objects

http://nssdc.gsfc.nasa.gov/photo_gallery/photogallery-astro-exotic.html

(b) Mira light curve,

Hyperphysics website

<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/starlog/ceti.html>

ΠΗΓΕΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

10. Vast Stellar Disks Set Stage for Planet Birth in New Hubble Images
NASA, HubbleSite
Credit: Chris Burrows ([STScI](#)), John Krist ([STScI](#)), Karl Stapelfeldt (JPL) and colleagues, the WFPC2 Science Team and NASA
<http://hubblesite.org/newscenter/archive/releases/1999/05/image/c/>

11. HR diagram containing lots' a' vartypes
Creative Commons Attribution-Share Alike [3.0 Unported](#)
<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:HR-vartype.svg>

12. Light curve of supergiant R Coronae Borealis..
AAVSO
Creative Commons Attribution-Share Alike 2.5 Generic license.
http://commons.wikimedia.org/wiki/File:R_CrB.png

13. Hubble Finds Rare Progenitor to a Supernova
NASA, Hubble
Image Credit: NASA, ESA, A. Gal-Yam (Weizmann Institute of Science), and D. Leonard (San Diego State University)
http://www.nasa.gov/mission_pages/hubble/science/supernova_prog.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

