



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ  
Εθνικόν και Καποδιστριακόν  
Πανεπιστήμιον Αθηνών

# Εισαγωγή στην Αστροφυσική

Ενότητα 1: Φυσική των Αστέρων

Ξενοφών Δ. Μουσάς  
Σχολή Θετικών Επιστημών  
Τμήμα Φυσικής



Εθνικό και Καποδιστριακό  
Πανεπιστήμιο Αθηνών

*Εισαγωγή στην Αστροφυσική  
Αστρονομία  
Ισχύς άστρων,  
Λαμπρότητα,  
Μεγέθη*

Ξενοφών Δ. Μουσάς,  
Καθηγ. Φυσικής Διαστήματος

ΑΘΗΝΑ 2014

# Βιβλιογραφία:

- **Μάνου Δανέζη και Στράτου Θεοδοσίου, Το Σύμπαν που αγάπησα, Εκδ. Δίαυλος, Αθήνα, 2012, ISBN: 978-960-531-288-6**
- **Χαράλαμπου Βάρβογλη και Γιάννη Χ. Σειραδάκη, Εισαγωγή στη σύγχρονη αστρονομία, Εκδότης: Γαρταγάνης, Αριθμός Σελίδων: 352, 1994**
- **Σταύρου Ι. Αυγολούπη και Ιωάννη Χ. Σειραδάκη, Παρατηρησιακή Αστρονομία, Εκδότης Πλανητάριο Θεσσαλονίκης, 2004, Αριθμός Σελίδων 246, ISBN 960-86810-3-0**
- **B. W. Carroll and D. A. Ostlie *An Introduction to Modern Astrophysics*, εκδ. Addison-Wesley, 1996 και 2013, ISBN-13: 978-1292022932**



# Βιβλιογραφία:

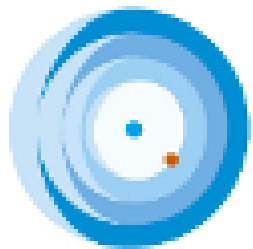
## Επίσης:

- <http://www.astro.virginia.edu/class/majewski/ast551/lectures/LECTURE2/lec2b.html>
- <http://casswww.ucsd.edu/archive/public/tutorial/Stars.html>
- [http://www.astro.washington.edu/users/anamunn/Astro101/Project1/stellar\\_spectroscopy\\_introduction.html](http://www.astro.washington.edu/users/anamunn/Astro101/Project1/stellar_spectroscopy_introduction.html)
- <http://handprint.com/ASTRO/>
- <http://www.astronomy.ohio-state.edu/~pogge/Ast162/Unit1/sptypes.html>

Γενικώς μπορείτε να βρίσκετε επιστημονικά άρθρα σε οποιοδήποτε αντικείμενο, αστροφυσικής, φυσικής, μαθηματικών, φιλοσοφίας ή οτιδήποτε, στην ιστοσελίδα:

- [scholar.google.gr/](http://scholar.google.gr/)
- Τα **άρθρα παρουσιάζονται με αξιολόγηση** και πρώτα αναφέρονται τα πιο χρησιμοποιημένα, τα κατά τεκμήριο πιο σημαντικά.





# Εύδοξος

Ηλεκτρονική Υπηρεσία Ολοκληρωμένης Διαχείρισης  
Συγγραμμάτων και Λοιπών Βοηθημάτων

## ΒΙΒΛΙΑ ΓΙΑ ΤΟ ΜΑΘΗΜΑ ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΑΣΤΡΟΦΥΣΙΚΗ

Το σύμπαν που αγάπησα

Κωδικός Βιβλίου στον Εύδοξο: 22684958

Έκδοση: Πανεπιστημιακή Έκδοση/2012

Συγγραφείς: Δανέζης Μάνος, Θεοδοσίου Στράτος

ISBN: 978-960-531-288-6

Τύπος: Σύγγραμμα

Διαθέτης (Εκδότης): ΔΙΑΥΛΟΣ Α.Ε. ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΒΙΒΛΙΩΝ

Το σύμπαν που αγάπησα

Κωδικός Βιβλίου στον Εύδοξο: 12212

Αριθμός τόμου: Τόμος 1

Έκδοση: 3η έκδ./1999

Συγγραφείς: Δανέζης Μάνος, Θεοδοσίου Στράτος

ISBN: 978-960-531-062-2

Τύπος: Σύγγραμμα

Διαθέτης (Εκδότης): ΔΙΑΥΛΟΣ Α.Ε. ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΒΙΒΛΙΩΝ

Το σύμπαν που αγάπησα

Κωδικός Βιβλίου στον Εύδοξο: 12213

Αριθμός τόμου: Τόμος 2

Έκδοση: 3η έκδ./1999

Συγγραφείς: Δανέζης Μάνος, Θεοδοσίου Στράτος

ISBN: 978-960-531-063-9

Τύπος: Σύγγραμμα

Διαθέτης (Εκδότης): ΔΙΑΥΛΟΣ Α.Ε. ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΒΙΒΛΙΩΝ

1. Φυσική των Αστέρων

Εισαγωγή στην αστροφυσική

Κωδικός Βιβλίου στον Εύδοξο: 42022440

Έκδοση: 1η/2014

Συγγραφείς: Αλυσσανδράκης Κ.

ISBN: 978-960-02-3058-1

Τύπος: Σύγγραμμα

Διαθέτης (Εκδότης): ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΠΑΠΑΖΗΣΗ ΑΕΒΕ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑ ΚΑΙ ΑΣΤΡΟΦΥΣΙΚΗ

Κωδικός Βιβλίου στον Εύδοξο: 22846310

Έκδοση: Α' ΕΚΔΟΣΗ/2012

Συγγραφείς: ΖΑΦΕΙΡΟΠΟΥΛΟΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ, ΖΑΦΕΙΡΟΠΟΥΛΟΥ

ΚΑΡΑΤΖΟΓΛΟΥ ΦΙΛΑΡΕΤΗ

ISBN: 978-960-530-148-4

Τύπος: Σύγγραμμα

Διαθέτης (Εκδότης): Εταιρεία Αξιοποίησης και Διαχείρισης Περιουσίας Πανεπιστημίου Πατρών

Διαθέτης (Εκδότης): ΔΙΑΥΛΟΣ Α.Ε. ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΒΙΒΛΙΩΝ

ΑΣΤΡΟΦΥΣΙΚΗ ΤΟΜΟΣ Ι

Κωδικός Βιβλίου στον Εύδοξο: 280

Αριθμός τόμου: Ι

Έκδοση: 1η/2009

Συγγραφείς: SHU FRANK

ISBN: 978-960-7309-16-7

Τύπος: Σύγγραμμα

Διαθέτης (Εκδότης): ΙΔΡΥΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ & ΕΡΕΥΝΑΣ- ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΕΣ ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΚΡΗΤΗΣ

ΑΣΤΡΟΦΥΣΙΚΗ ΤΟΜΟΣ ΙΙ

Κωδικός Βιβλίου στον Εύδοξο: 282

Αριθμός τόμου: ΙΙ

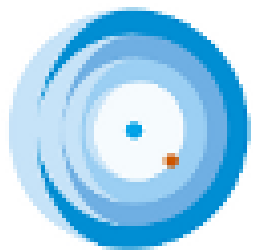
Έκδοση: 1η/2009

Συγγραφείς: SHU FRANK

ISBN: 978-960-7309-17-4

Τύπος: Σύγγραμμα

Διαθέτης (Εκδότης): ΙΔΡΥΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ & ΕΡΕΥΝΑΣ- ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΕΣ ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΚΡΗΤΗΣ



# Εύδοξος

Ηλεκτρονική Υπηρεσία Ολοκληρωμένης Διαχείρισης  
Συγγραμμάτων και Αισιτών Βοηθημάτων

## ΒΙΒΛΙΑ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΗΝ ΑΣΤΡΟΦΥΣΙΚΗ

Αστροφυσική Πλάσματος

Κωδικός Βιβλίου στον Εύδοξο: 50661503

Έκδοση: 2η Έκδοση/2015

Συγγραφείς: Κανάρης Τσίγκανος

ISBN: 978-960-91748-2-4

Τύπος: Σύγγραμμα

Διαθέτης (Εκδότης): ΚΑΝΑΡΗΣ ΤΣΙΓΚΑΝΟΣ

Αστροφυσική Πλάσματος

Κωδικός Βιβλίου στον Εύδοξο: 42116553

Έκδοση: 1η Έκδοση/2015

Συγγραφείς: Κανάρης Τσίγκανος

ISBN: 978-960-91748-2-4

Τύπος: Σύγγραμμα

Διαθέτης (Εκδότης): ΚΑΝΑΡΗΣ ΤΣΙΓΚΑΝΟΣ

Κοσμική Ακτινοβολία

Κωδικός Βιβλίου στον Εύδοξο: 45309

Έκδοση: 1η έκδ./2009

Συγγραφείς: Μαυρομιχαλάκη - Χριστοπούλου Ελένη

ISBN: 978-960-266-251-9

Τύπος: Σύγγραμμα

Διαθέτης (Εκδότης): Σ.ΑΘΑΝΑΣΟΠΟΥΛΟΣ & ΣΙΑ Ο.Ε.

Γενική Σχετικότητα

Κωδικός Βιβλίου στον Εύδοξο: 6236

Έκδοση: 3/2007

Συγγραφείς: Bernard F. Schutz

ISBN: 960-7122-21-6

Τύπος: Σύγγραμμα

Διαθέτης (Εκδότης): ΤΡΑΥΛΟΣ & ΣΙΑ ΟΕ



## Ευχαριστίες

Ιδιαίτερες Ευχαριστίες οφείλονται στη NASA, ESA, ESO, NOAO/NSO/Kitt Peak FTS/AURA/NSF

στους Ερευνητές και λοιπούς συντελεστές των επιγείων τηλεσκοπίων και διαστημικών πειραμάτων, στους κυρίους Στράτο Κουφό, Νίκο Πασχάλη, Πάνο Παπασπύρου για τις εικόνες που χρησιμοποιούνται σε αυτό το μάθημα, σε αυτούς που μας έδωσαν μετρήσεις ή συμβουλές, στην Wikipedia για πολλές πολύτιμες εικόνες που προσφέρονται χωρίς δικαιώματα χρήσης και συνεπώς είναι πολύτιμες σε κάθε δάσκαλο.

# Λαμπρότητα αστρικά μεγέθη ισχύς των άστρων





# Λαμπρότητα αστρικά μεγέθη

είναι η ροή ακτινοβολίας, δηλαδή ισχύς που φθάνει σε εμάς από ένα άστρο (ή κάποια φωτεινή πηγή, μια πηγή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, ανά μονάδα επιφάνειας

$L$  είναι η ισχύς του άστρου

$r$  είναι η απόσταση του άστρου

$R$  είναι η ακτίνα του άστρου

© 2011 Pearson Education, Inc. All rights reserved. This material is protected by copyright and other laws. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, without the prior written permission of Pearson Education, Inc.



# Μεγέθη

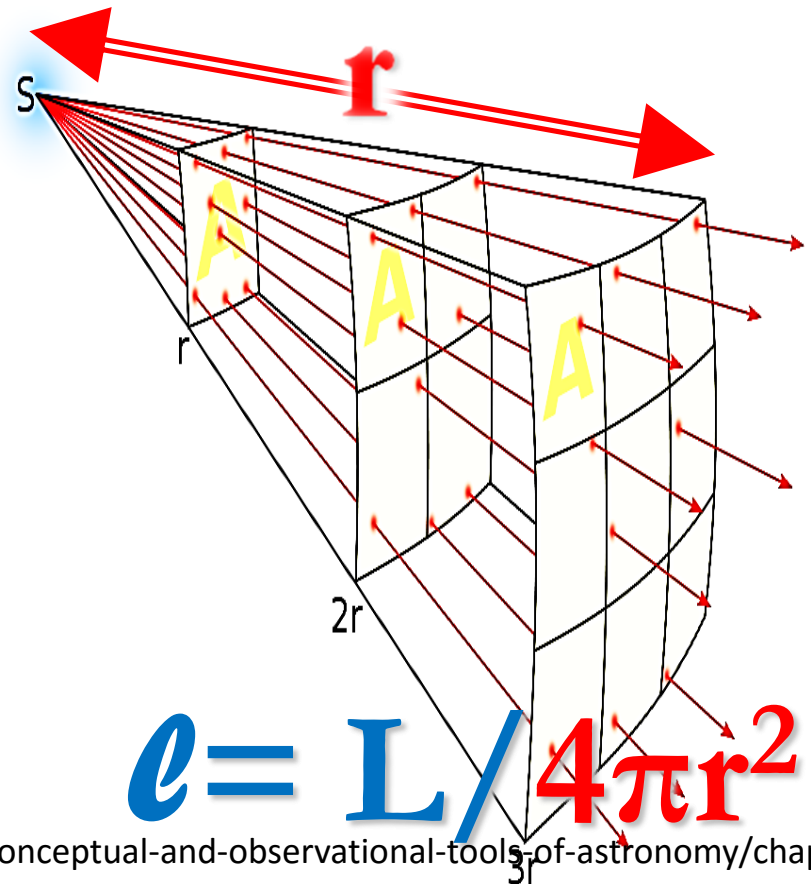
- Η ροή ακτινοβολίας
- (ισχύς ανά μονάδα επιφάνειας,  $\text{W}/\text{m}^2$ ,  $\text{J}/\text{s}/\text{m}^2$ )
- Η Ροή φθίνει ως  $1/r^2$

$$e = L/4\pi r^2$$



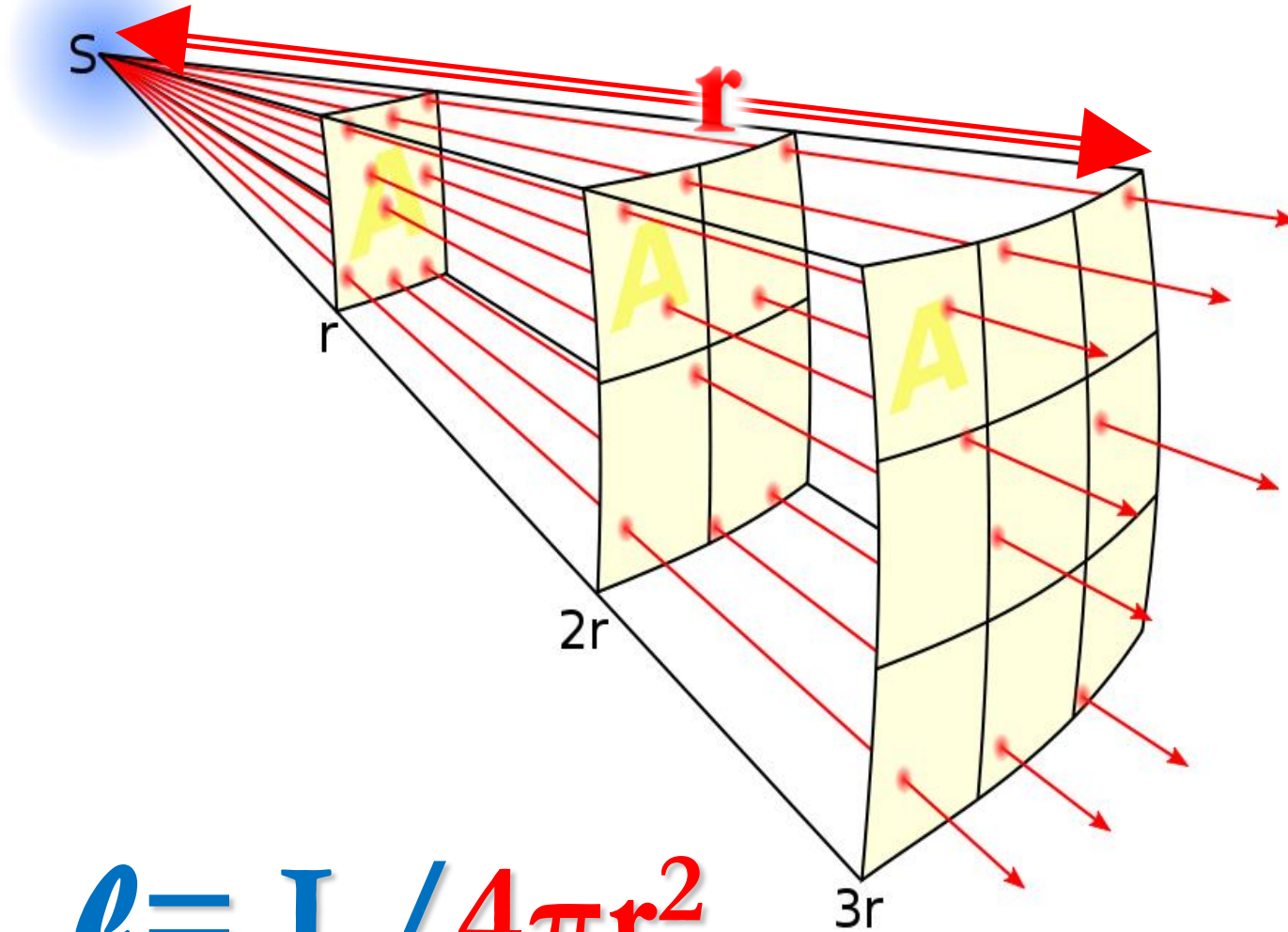
# Πώς μεταβάλλεται η ροή ακτινοβολίας με την απόσταση

- Η ροή ακτινοβολίας
- (ισχύς ανά μονάδα επιφάνειας,  $W/m^2$ ,  $J/s/m^2$ )
- η ροή ακτινοβολίας που προέρχεται από σημειακή πηγή που εκπέμπει με σφαιρική συμμετρία
- φθίνει όπως  $1/r^2$



<http://blogs.jccc.edu/astronomy/textbook/unit-two-conceptual-and-observational-tools-of-astronomy/chapter-5-electromagnetic-radiation-and-matter/>

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Inverse\\_square\\_law.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Inverse_square_law.svg) υπό Borb



$$e = L / 4\pi r^2$$



$$e = L / (4\pi r^2)$$

Ροή (ακτινοβολίας)  
Άστρου  
Ή φωτεινή ροή  
Ή φαινόμενη  
λαμπρότητα.  
Μετριοται σε  
watt/m<sup>2</sup>

απόσταση  
άστρου

Ισχύς του άστρου  
Ολική φωτεινότητα  
φωτεινότητα



$$l = (4\pi R^2 \sigma T^4) / (4\pi r^2)$$

L

Ακτίνα  
άστρου

Θερμοκρασία  
άστρου

απόσταση  
άστρου

Ισχύς ή  
λαμπρότητα  
του  
άστρου

$$L = 4\pi R^2 \sigma T^4$$

Ακτίνα  
άστρου

επιφάνεια  
άστρου  
 $4\pi R^2$

θερμοκρασία  
άστρου

# Λαμπρότητα φαινόμενα μεγέθη άστρων

- Ίππαρχος (γενν. περ. 190 π.Χ. - 120 π.Χ.) κατάταξε 850 άστρα κατά λαμπρότητα, σύμφωνα με το αίσθημα που προκαλούν στο μάτι μας
- Ο Ίππαρχος κατάταξε κατά την λαμπρότητα σε **φαινόμενα μεγέθη** από 1 έως 6, 1 το λαμπρότερο, 6 το πιο ασθενές που μόλις διακρίνεται στον ουρανό με γυμνό μάτι
- Μέτρησε επίσης τις (εκλειπτικές) συντεταγμένες στον ουρανό



Ίππαρχος



Ίππαρχος





# Ίππαρχος



Ο Ίππαρχος ήταν διευθυντής του Μουσείου της Αλεξάνδρειας (ερευνητικό ίδρυμα) επί 20 έτη

Ανακάλυψε και μέτρησε την μετάπτωση των ισημεριών, την μετάπτωση του άξονα της Γης, κατά  $1/72$  της μοίρας κάθε έτος.

Προσδιόρισε την διάρκεια του ηλιακού ή τροπικού έτους 365,242 ημέρες (σωστή τιμή 365,242199).

Διόρθωσε τα ημερολόγια.

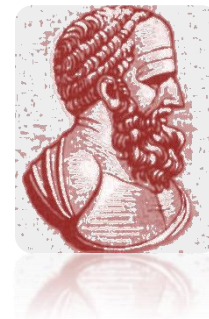
Με μετρήσεις που έλαβε το 129 π. Χ. σε μία ηλιακή έκλειψη προσδιόρισε την διάμετρος της Σελήνης ίση με το  $1/3$  της γήινης, πολύ κοντά στην σωστή τιμή.

Προσδιόρισε την απόσταση της Σελήνης με περίγειο 59 και απόγειο 67,3 γήινες ακτίνες.





# Ίππαρχος



Προσδιόρισε την θέση του περιγείου και του απογείου του Ήλιου στην διάρκεια του έτους.

Μέτρησε την διάρκεια των εποχών και αντιλήφθηκε ότι η τροχιά του Ηλίου γύρω από την Γη δεν είναι κύκλος με κέντρο τον Ήλιο, αλλά ένας έκκεντρος κύκλος που αναπαράγει τις φαινόμενες ηλιακές κινήσεις. Αλλά δεν σταμάτησε εδώ.

Ανέπτυξε νέο είδος μαθηματικών, την τριγωνομετρία.

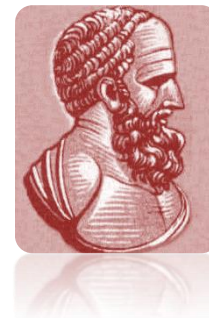
Εκανε ακριβή χάρτη της Γης με γεωγραφικές συντεταγμένες με την γεωγραφία και τις θέσεις διαφόρων πόλεων.

Έφτιαξε πίνακα σεληνιακών και ηλιακών εκλείψεων για μία περίοδο 600 ετών.

Υπολόγισε επακριβώς την λόξωση της εκλειπτικής, δηλαδή την κλίση του γήινου άξονα, ως προς το επίπεδο κίνησης γύρω από τον Ήλιο.



# Βιβλία του Ίππαρχου



1. «Εις τους Αρίστους»
2. «Παραλλακτικά - βιβλία δύο».
3. «Περί αστερισμών».
4. «Περί εκλείψεων Ηλίου κατά τα επτά κλίματα».
5. «Περί εμβολίμων μηνών τε και ημερών».





# Βιβλία του Ίππαρχου



6. «Περί μεγεθών και αποστημάτων Ηλίου και Σελήνης».
7. «Περί μηνιαίου χρόνου».
8. «Περί της κατά πλάτος μηνιαίας της Σελήνης κινήσεως».
9. «Περί της πραγματείας των εν κύκλω ευθειών» (Βιβλία 12).
10. «Περί της των απλανών συντάξεως».
11. «Περί της των συναναστολών πραγματείας».





# Βιβλία του Ίππαρχου



12. «Περί της των δώδεκα ζωδίων αναφοράς».
13. «Περί της μεταπτώσεως των τροπικών και εαρινών ισημεριών».
14. «Περί του ενιαυσίου μεγέθους».
15. «Περί των δια βάρους κάτω φερομένων».
16. «Περί των Αράτου και Ευδόξου φαινομένων - βιβλία τρία» (διεσώθη).
17. «Προς τον Ερατοσθένη και τα εν τη γεωγραφία αυτού λεχθέντα» (Κριτική)



# μεγέθη άστρον

- Δεν πρέπει να συγχέουμε το αστρονομικό μέγεθος ενός άστρου ε τις διαστάσεις του άστρου, την διάμετρο, την μάζα του άστρου.
- Το (αστρονομικό) μέγεθος άστρου είναι ανάλογο του (αρνητικού) λογάριθμου της ισχύος του άστρου.
- Το φαινόμενο μέγεθος εξαρτάται και από την απόσταση του άστρου από εμάς  $r$
- Το απόλυτο μέγεθος εξαρτάται από την (ενεργό) θερμοκρασία του άστρου  $T$ , και την ακτίνα του  $R$ .

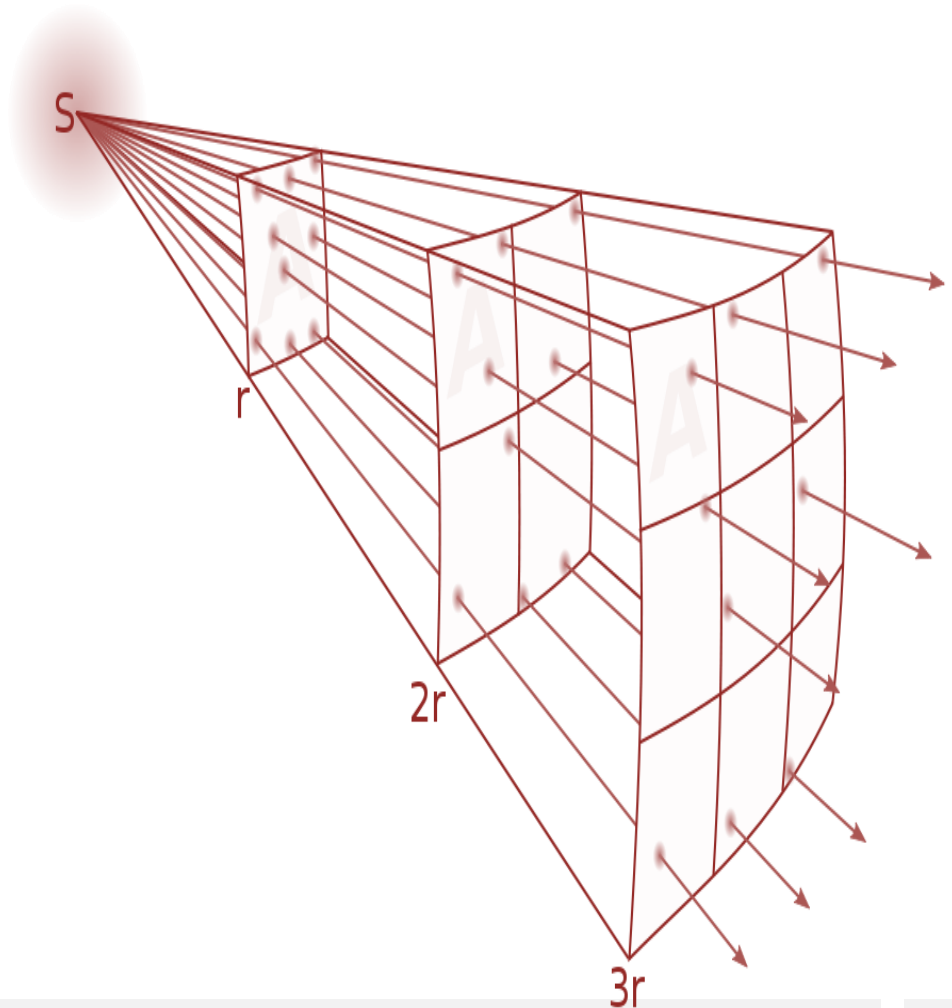


Ίππαρχος



# Ροή ακτινοβολίας

- Η ροή ακτινοβολίας
- (ισχύς ανά μονάδα επιφάνειας,  $W/m^2$ ,  $J/s/m^2$ )
- Η Ροή από ένα άστρο, ή από όποια «σημειακή» φωτεινή πηγή από την οποία εκπέμπεται προς όλες τις κατευθύνσεις φθίνει ως το  $1/r^2$



# Λαμπρότητα

$$I \propto T^4$$

ή  $I = \sigma T^4$  για τέλειο μέλαν σώμα,  $\sigma$  είναι η σταθερά *Stellan-Boltzmann*,  $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$  στο SI units.

- Ισχύς που εκπέμπει ένα άστρο από κάθε τετραγωνικό μέτρο της επιφάνειάς του:  $I \approx \sigma T^4$
- Η ισχύς ενός άστρου θεωρητικά υπολογίζεται

$$L = 4\pi R^2 \sigma T^4$$





# Μεγέθη

## Ίππαρχος 190-120 π.Χ.

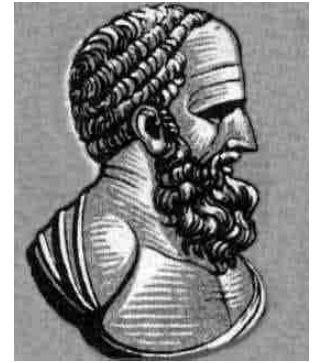


- Η κλίμακα των μεγεθών:
- Φαινόμενο μέγεθος συμβολίζεται με  $m$ .
- Ίππαρχος (129 π.Χ.) ορίζει τα μεγέθη των άστρων από 1 έως 6
- Ουσιαστικά χρησιμοποιεί μια λογαριθμική κλίμακα, αφού το ανθρώπινο μάτι, όπως όλες οι αισθήσεις ακολουθούν μια σχεδόν λογαριθμική κλίμακα, έχουν λογαριθμική ευαισθησία



# Μεγέθη

## Ίππαρχος 190-120 π.Χ.



- Ο ήλιος έχει φαινόμενο μέγεθος  $-26,8$
- Ασθενέστερα ανιχνεύσιμα άστρα με τα καλύτερα τηλεσκόπια μεγέθους 27
- Weber-Fechner:  $\text{αίσθημα} = \text{σταθ}1 \cdot \log(\text{ερέθισμα}) + \text{σταθ}2$ .
- Για τα αστέρια:  $\text{μέγεθος} = -K \log(\text{ερέθισμα}) + \text{σταθ}$ .



# Μεγέθη

## Ίππαρχος 190-120 π.Χ.



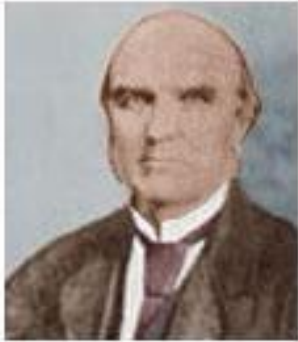
Ένα άστρο μεγέθους 1 είναι 100 φορές πιο λαμπρό από ένα άστρο μεγέθους 6



# Μεγέθη κατά *Pogson*.

- Οι αστρονόμοι τον 19<sup>ο</sup> αιώνα ξαναόρισαν τον λόγο και ο *Pogson* το 1856 όρισε ότι άστρο 1ου μεγέθους είναι 100 φορές λαμπρότερο από 6ου μεγέθους
- 1ου μεγέθους ως προς 2ου μεγέθους είναι 2,512 φορές λαμπρότερο
- $2,512 = (100)^{1/5}$  λόγος του *Pogson*
- Βλ. *Pogson, N., Magnitudes of Thirty-six of the Minor Planets for the first day of each month of the year 1857, MNRAS Vol. 17, pg. 12 (1856)*





## Pogson

- Τα μάτια, όπως και άλλα αισθητήρια όργανα έχουν λογαριθμική κλίμακα (1830).
- Ο Norman Pogson το 1856 εισήγαγε πιο ποσοτική (λογαριθμική) κλίμακα
- Άστρο μεγέθους 1 είναι 100 φορές λαμπρότερο από άστρο μεγέθους 6.
- Διαφορά ενός μεγέθους σημαίνει ότι το ένα άστρο είναι  $5\sqrt{100} = 2,512$  φορές λαμπρότερο

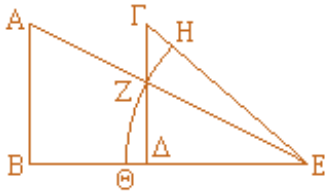


- Η γεωμετρία, η τριγωνομετρία, η προοπτική έπαιξαν σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη της αστρονομίας και της οπτικής, της κατανόησης της διάδοσης του φωτός, της μεταβολής της ροής της ακτινοβολίας.
- Βλ. C. M. Linton (2004). From Eudoxus to Einstein: a history of mathematical astronomy. Cambridge University Press. p. 52. [ISBN 0-521-82750-7](https://doi.org/10.1017/CBO9780511527507)



“Οπτικων η’

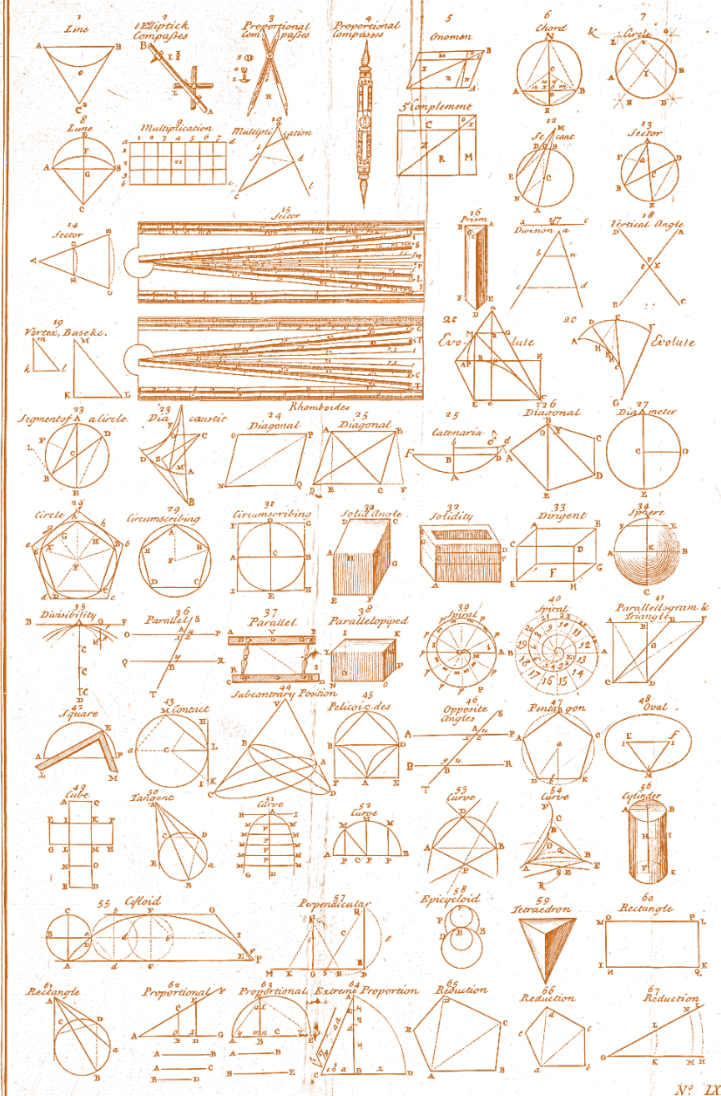
Τὰ ἴσα μεγέθη καὶ παραλλήλα ὄνισον διστηκότα ἀπὸ τοῦ ὀμματος οὐκ ὀνοιλόγως τοῖς διαστήμασι ὁρᾶται.



Ἐστω δύο μεγέθη τὰ AB, ΓΔ ὄνισον διστηκότα ἀπὸ τοῦ ὀμματος τοῦ E. λέγω, ὅτι οὐκ ἔστιν, ὡς φαίνεται ἔχον, ὡς τὸ ΓΔ πρὸς τὸ AB, οὕτως τὸ BE πρὸς τὸ EΔ.

Προσπιπέτωσαν γὰρ ὀκτῖνες ἐκ AE, EΓ, καὶ κέντρω μὲν τῷ E διαστήματι δὲ τῷ EZ κύκλον γεγράφθω περιφέρεια ἡ HZΘ. ἐπεὶ οὖν τὸ EZΓ τρίγωνον τοῦ EZH τομέως μείζον ἔστιν, τὸ δὲ EZA τρίγωνον τοῦ EZΘ τομέως ἑλαττόν ἔστιν, τὸ EZΓ ὅρα τρίγωνον πρὸς τὸν EZH τομέα μείζονα λόγον ἔχει ἢ περὶ τὸ EZΔ τρίγωνον πρὸς τὸν EZΘ τομέα. καὶ ἐναλλάξ τὸ EZΓ τρίγωνον πρὸς τὸ EZΔ τρίγωνον μείζονα λόγον ἔχει ἢ περὶ τὸ EZH τομέως πρὸς τὸν EZΘ τομέα, καὶ συνθέντι τὸ EΓΔ τρίγωνον πρὸς τὸ EZΔ τρίγωνον μείζονα λόγον ἔχει ἢ περὶ τὸ EΗΘ τομέως πρὸς τὸν EZΘ τομέα. ὁλλ’ ὡς τὸ EΔΓ πρὸς τὸ EZΔ τρίγωνον, οὕτως ἡ ΓΔ πρὸς τὴν ΔZ. ἡ δὲ ΓΔ τῆ AB ἔστιν ἴση, καὶ ὡς ἡ AB πρὸς τὴν ΔZ, ἡ BE πρὸς τὴν EΔ. ἡ BE ὅρα πρὸς τὴν EΔ μείζονα λόγον ἔχει ἢ περὶ τὸ EΗΘ τομέως πρὸς τὸν EZΘ τομέα. ὡς δὲ ὁ τομέως πρὸς τὸν τομέα, οὕτως ἡ ὑπὸ HEΘ γωνία πρὸς τὴν ὑπὸ ZEΘ γωνίαν. ἡ BE ὅρα πρὸς τὴν EΔ μείζονα λόγον ἔχει ἢ περὶ τὴν ὑπὸ HEΘ γωνίαν πρὸς τὴν ὑπὸ ZEΘ γωνίαν. ἡ BE ὅρα πρὸς τὴν EΔ μείζονα λόγον ἔχει ἢ περὶ τὴν ὑπὸ HEΘ γωνίαν πρὸς τὴν ὑπὸ ZEΘ γωνίαν. καὶ ἐκ μὲν τῆς ὑπὸ HEΘ γωνίας βλέπεται τὸ ΓΔ, ἐκ δὲ τῆς ὑπὸ ZEΘ τὸ AB. οὐκ ὀνοιλόγον ὅρα τοῖς ἀποστήμασι ὁρᾶται τὰ ἴσα μεγέθη.

ΓΑΒ. GEOMETRY.



illum in tabula per radios Solis, quam in cælo contin-  
git: hoc est, si in cælo superior pars deliquiū patiatur, in  
radiis apparebit inferior deficere, vt ratio exigit optica.

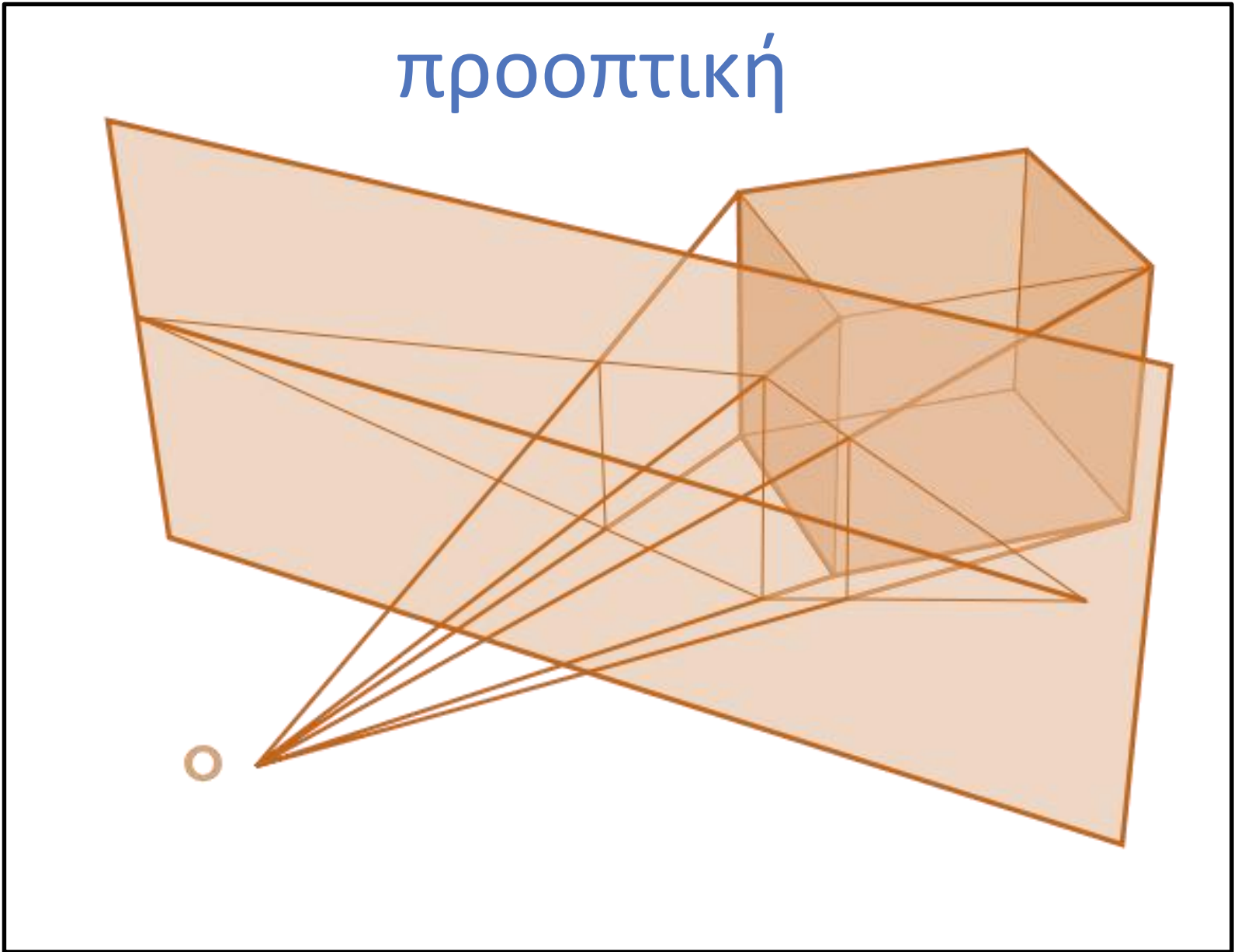
*Solis deliquium Anno Christi  
1544. Dio 24. Ianuarij  
Louanij*



Sic nos exactè Anno .1544. Louanii eclipsim Solis  
obseruauimus, inuenimusq; deficere paulò plus q̄ dex-



# προοπτική



$$I = L / (4\pi r^2)$$

Ισχύς που λαμβάνουμε από το άστρο, φθίνει αντιστρόφως προς το τετράγωνο της απόστασης από εμάς, διότι η ακτινοβολία διαδίδεται ακτινικά προς τα έξω.



# Ειδική ένταση και ροή ακτινοβολίας

- Ειδική ένταση που έρχεται από ένα φωτεινό σώμα (και το χαρακτηρίζει) είναι  $I(l)$  ( $\text{j}/\text{m}^2/\text{s}/\text{Hz}/\text{sr}$ ),
- Η ένταση ή επιφανειακή λαμπρότητα είναι  $I = \int I(l) dl$  ( $\text{j}/\text{m}^2/\text{s}/\text{sr}$ )
- Ροή ακτινοβολίας  $I = \int I dW$  ( $\text{j} / \text{m}^2 / \text{s}$ )
- Η ολική ισχύς άστρου ( $\text{j}/\text{s}$  ή  $\text{W}$ ) ονομάζεται **λαμπρότητα**  $L = \iint I(l) dl d\Omega dA$  ( $\text{W}$ )  $= 4\pi R_*^2 \int I d\Omega = 4\pi R_*^2 I$  και  $I = L / 4\pi R_*^2$



# Ενεργός θερμοκρασία

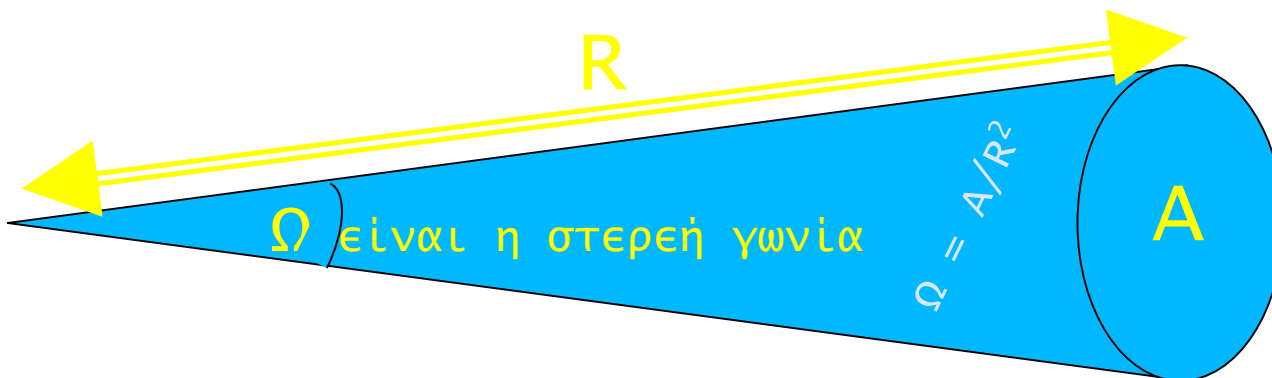
$$T = 7200 / (CI + 0,64)$$

CI = Δείκτης χρώματος



# Ειδική ένταση και ροή ακτινοβολίας

- Hz είναι η μονάδα συχνότητας, κύκλοι ανά δευτερόλεπτο
- $\Omega$  είναι η στερεή γωνία,  $\Omega = A/R^2$
- Sr το στερεακτίσιο, είναι μονάδα μέτρησης της στερεάς γωνίας, δηλαδή η μονάδα μέτρησης στερεών γωνιών



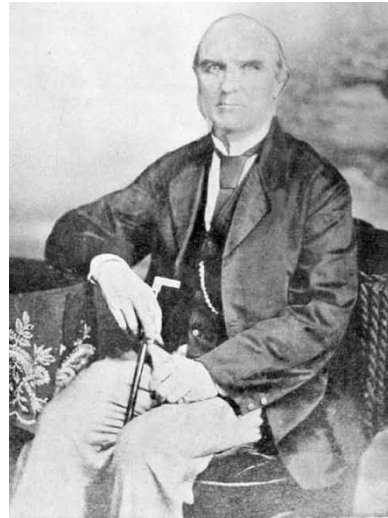
# Αστρονομικό αντικείμενο

Φαινόμενο μέγεθος

ήλιος	-26.5
πανσέληνος	-12.5
Αφροδίτη	-4.3
Άρης, Δίας	-2
Σείρος ( $\alpha$ CMa)	-1.44
Βέγας ( $\alpha$ Lyr)	0.0
Alnair ( $\alpha$ Gru)	1.73
Όριο του ανθρώπινου ματιού (άριστου παρατηρητή)	6.5
Όρια κυαλιών	10
Εγγύτατος Κενταύρου	11.09
Όριο με τηλεσκόπια με διάμετρο 20 cm	14
QSO με μετατόπιση στο ερυθρό $z = 2$	$\approx 20$
Κηφείδες στον γαλαξία M100 με το διαστημικό τηλεσκόπιο HST	26
γαλαξίας με $z = 6$ με το τηλεσκόπιο Gemini 8.1 m	28
Όριο του νέου διαστημικού τηλεσκοπίου James Webb Space Telescope	$\geq 30$



# Φαινόμενο μέγεθος



$$I_A / I_B = 2.512^{m_B - m_A}$$

$$\log ( I / I' ) = 0,4 ( m' - m )$$

# Παράδειγμα: εγγύτατος και Αλναιρ

- $I_{Alnair}/I_{Prox} = 2.512^{m_{Prox} - m_{Alnair}}$

αντικαθιστώ

- $I_{Alkaid}/I_{Prox} = 2.512^{11.09 - 1.73}$

- $I_{Alkaid}/I_{Prox} = 2.512^{11.09 - 1.73}$

- $I_{Alkaid}/I_{Prox} = 2.512^{9.36}$

- $I_{Alkaid}/I_{Prox} = 5549$

Συνεπώς: ο Alnair είναι περίπου 5550 φορές  
λαμπρότερος του εγγύτατου του Κενταύρου





# Ήλιος και Σελήνη (σύγκριση)

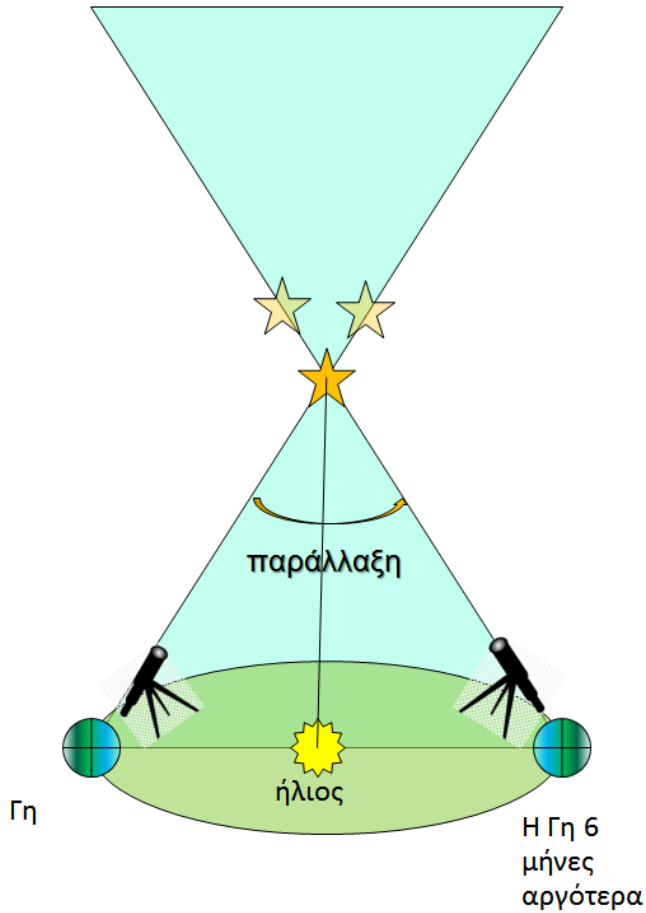
- $I_{Sun} / I_{Moon} = 2.512^{\mu} \bar{M}^{-\mu} S$
- αντικαθιστώ
- $I_{Sun} / I_{Moon} = 2.512^{-12.5} - (-26.5)$
- $I_{Sun} / I_{Moon} = 2.512^{14.0}$
- $I_{Sun} / I_{Moon} = 398359 = 40\ 000$

**Δηλαδή ο Ήλιος είναι 400000 φορές λαμπρότερος της Σελήνης**



# παράλλαξη

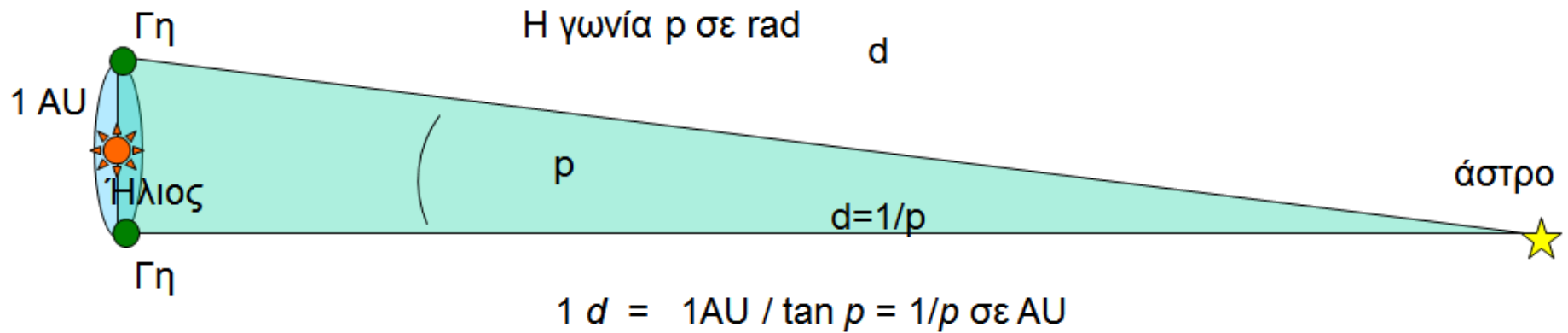
- **Parsec** (1 parsec  $\approx$  3.26 light years)
- Αποσταση  $d$  (σε parsec) =  $1 /$  γωνία παράλλαξης  $p$  σε arcsec  
 $d = 1/p$



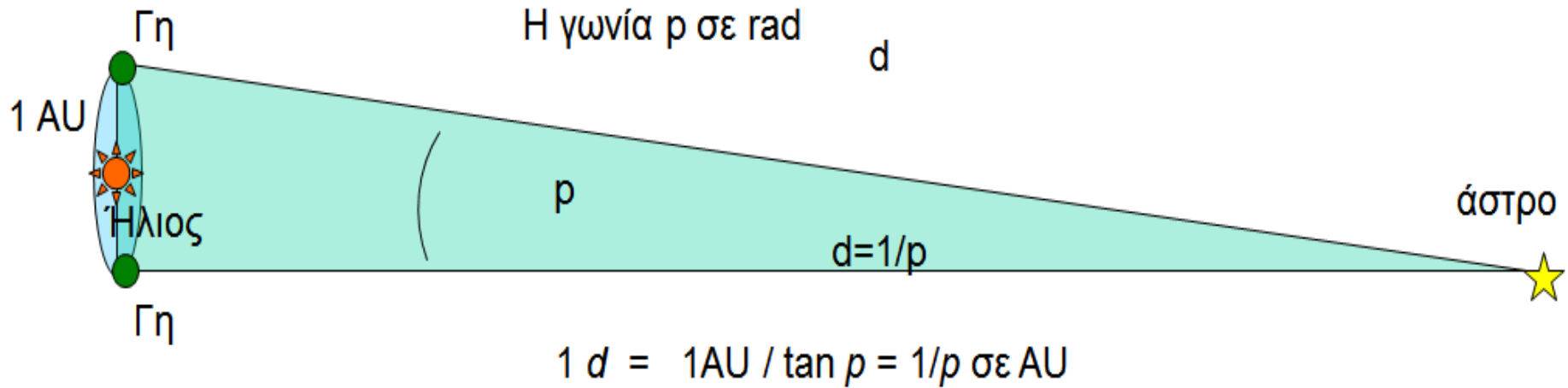
1 parsec  $\approx$   
3.26 έτη φωτός



# Παράλλαξη



# Παράλλαξη



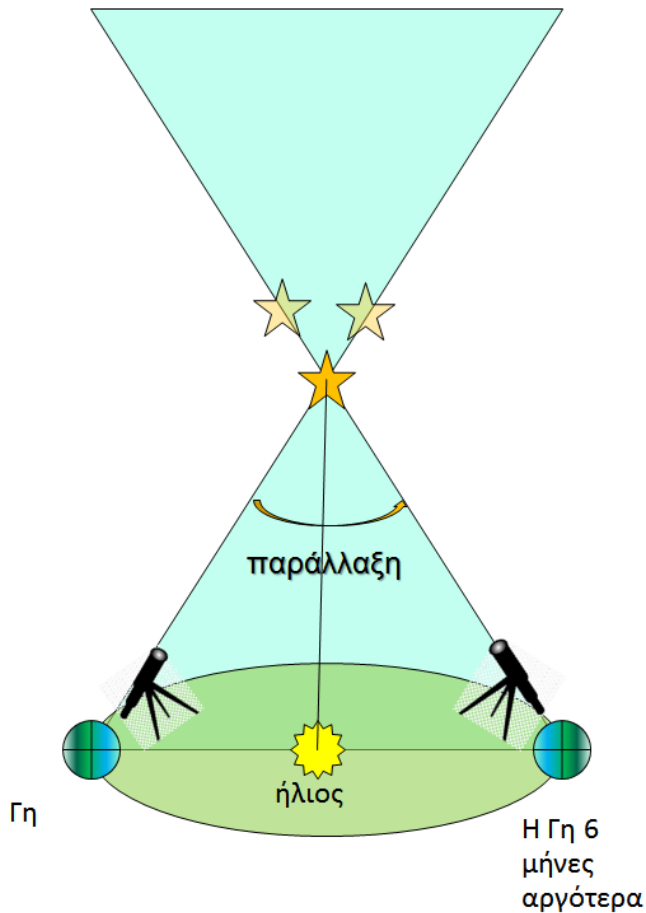
1 radian =  $57.3^\circ = 206265''$  σε 1 radian

και ο τύπος γίνεται:

$$d = 206265 / p'' \text{ σε AU}$$

# παράλλαξη

- **Parsec** (1 parsec  $\approx$  3.26 light years)
- Αποσταση  $d$  (σε parsec) =  $1 /$  γωνία παράλλαξης  $p$  σε arcsec  
 $d = 1/p$



1 parsec  $\approx$   
3.26 έτη φωτός

# Παράλλαξη

- parsecs (pc), ή kiloparsecs (kpc), ή megaparsecs (Mpc), και gigaparsecs (Gpc).
- Έτος φωτός *light-years* (ly) εκλαϊκευτική μονάδα.
- $3,26 \text{ ly} = 1 \text{ pc}$ .
- παράλλαξη,  $p$ , συμβολίζεται με  $p$ , και συχνότερα  $p''$ .



# Απόσταση του εγγύτατου του Κενταύρου

- Ο εγγύτατος του Κενταύρου έχει παράλλαξη  $0.772''$ .
- Συνεπώς η απόστασή του είναι  $d = 1/p$  και  $d = 1/0,772$   
 $\therefore d = 1,30 \text{ pc} = 1,30 \text{ pc} \times 3,26 \text{ έτη φωτός}$ .



# Παράλλαξη

- Εγγύτατος Κενταύρου (Prox Cen),  $\pi''=0,77''$ . Ποια η απόστασή του σε pc;
- ακρίβεια μετρήσεων από τη Γη  $\sim 0,004''$
- Δεν μπορούμε να μετρήσουμε καλά πέρα από  $d=100$  pc.
- Με δορυφόρους η ακρίβεια  $0,001''$
- $d=650$  parsecs





# Παράλλαξη

- Εγγύτατος Κενταύρου (Prox Cen),  $\pi''=0,77''$ .
- η απόστασή του σε pc;
- $d=1 / 0,77'' = 1,3 \text{ pc}$



# Σείριος

- Ο Σείριος έχει παράλλαξη  $0,375''$ . Και η απόσταση βρίσκεται
- $d = 1/p = 1/0,375 = 2,7$  pc ή έτη  $2,7 \times 3,26$  έτη φωτός.



Απόλυτο μέγεθος ορίζεται ως το μέγεθος που θα έχει ένα άστρο αν το παρατηρούμε από απόσταση **10 parsec**

$$m - M = 5 \log(d/10)$$

$$M = m - 5 \log(d/10)$$



# Το β το Σταυρού του Νότου

- β Crucis (ή Mimosa) έχει φαινόμενο μέγεθος 1.25 και είναι σε απόσταση 108 parsecs.
- Ποιο είναι το απόλυτο μέγεθός ;
- $M = m - 5 \log(d/10)$
- $M = 1.25 - 5 \log(108/10)$
- $M = 1.25 - 5 \log(10.8)$
- $M = 1.25 - 5 \times 1.0334$
- $M = 1.25 - 5.1671$  και
- **$M = -3.92$**



- Ο Betelgeuse έχει φαινόμενο μέγεθος 0.45 και απόλυτο -5.14. ποια είναι η απόστασή του;
- $M = m - 5 \log(d/10)$
- $5 \log(d/10) = m - M$
- $\log(d/10) = (m - M)/5$
- $d/10 = 10^{(m - M)/5}$
- $d = 10^{(m - M + 5)/5}$
- ΣΥΝΕΠΩΣ
- $d = 10^{(0.45 - (-5.14) + 5)/5}$
- $d = 10^{10.59/5}$
- $d = 10^{2.118}$
- **$d = 131$  parsecs**



$$\bullet I_A/I_B = 100^{(m_B - m_A)/5}$$

$$\bullet I_A/I_B = 2,512^{m_B - m_A}$$



## Σχέση απολύτου και φαινόμενου

$$L/l = (d/D)^2 = (d/10)^2$$

$$m - M = 2,5 \log(d/10)^2$$

$$m - M = 5 \log(d/10)$$

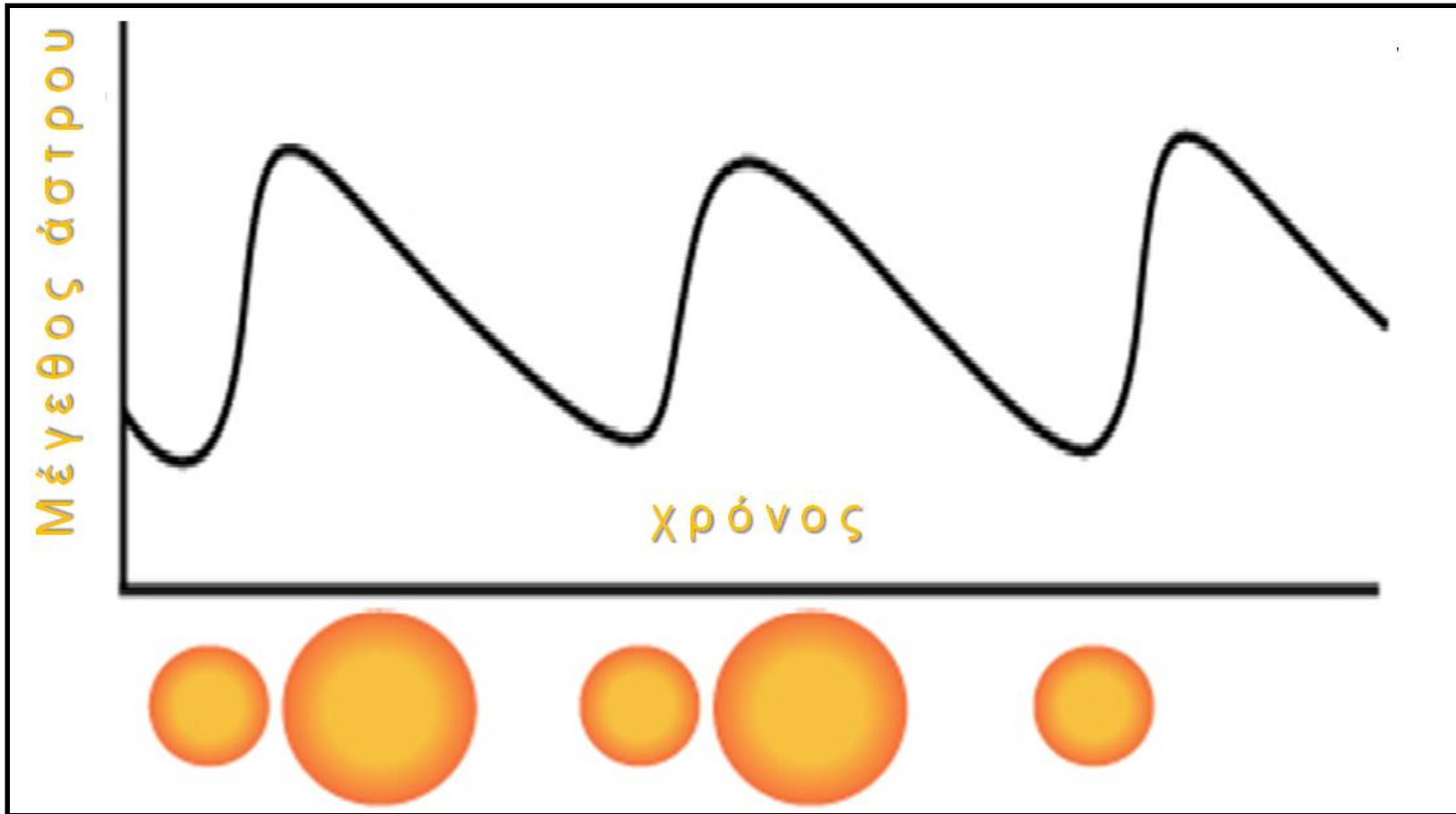


- **Ο Κανόπους έχει φαινόμενο μέγεθος -0.62**
- Το κοντινότερο άστρο Woll 359 έχει φαινόμενο μέγεθος 13.44.
- Ποιο άστρο είναι λαμπρότερο;
- Πόσο λαμπρότερο είναι;
- $I_A/I_B = 100^{(m_B - m_A)/5}$
- $I_{Can}/I_{Woll} = 100^{(m_{Woll} - m_{Can})/5}$
- αντικαθιστώ
- $I_{Can}/I_{Woll} = 100^{(13.44 - (-0.62))/5}$
- $I_{Can}/I_{Woll} = 420727$
- **Συνεπώς ο Κανόπους είναι φαινομενικά (όχι πραγματικά)  $\approx 4.2 \times 10^5$  λαμπρότερος από τον αστέρα Woll 359**

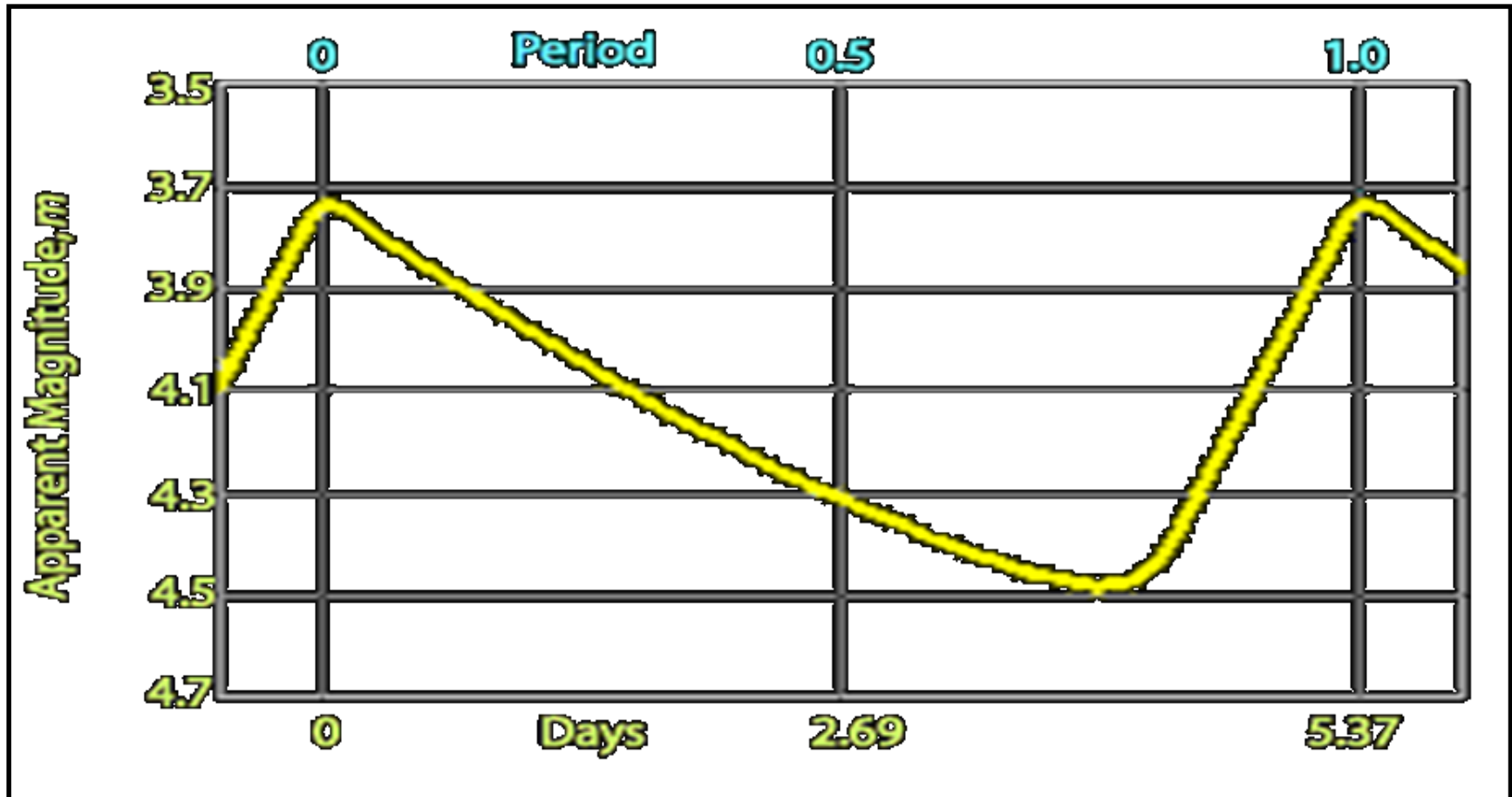




# Μεταβλητό Άστρο



# Μεταβλητό άστρο



Ο αστέρας  $\delta$  Κηφέα είναι μεταβλητός

# Απόλυτο μέγεθος άστρου

περίοδος σε ημέρες Χρόνος

Απόλυτη λαμπρότητα άστρου

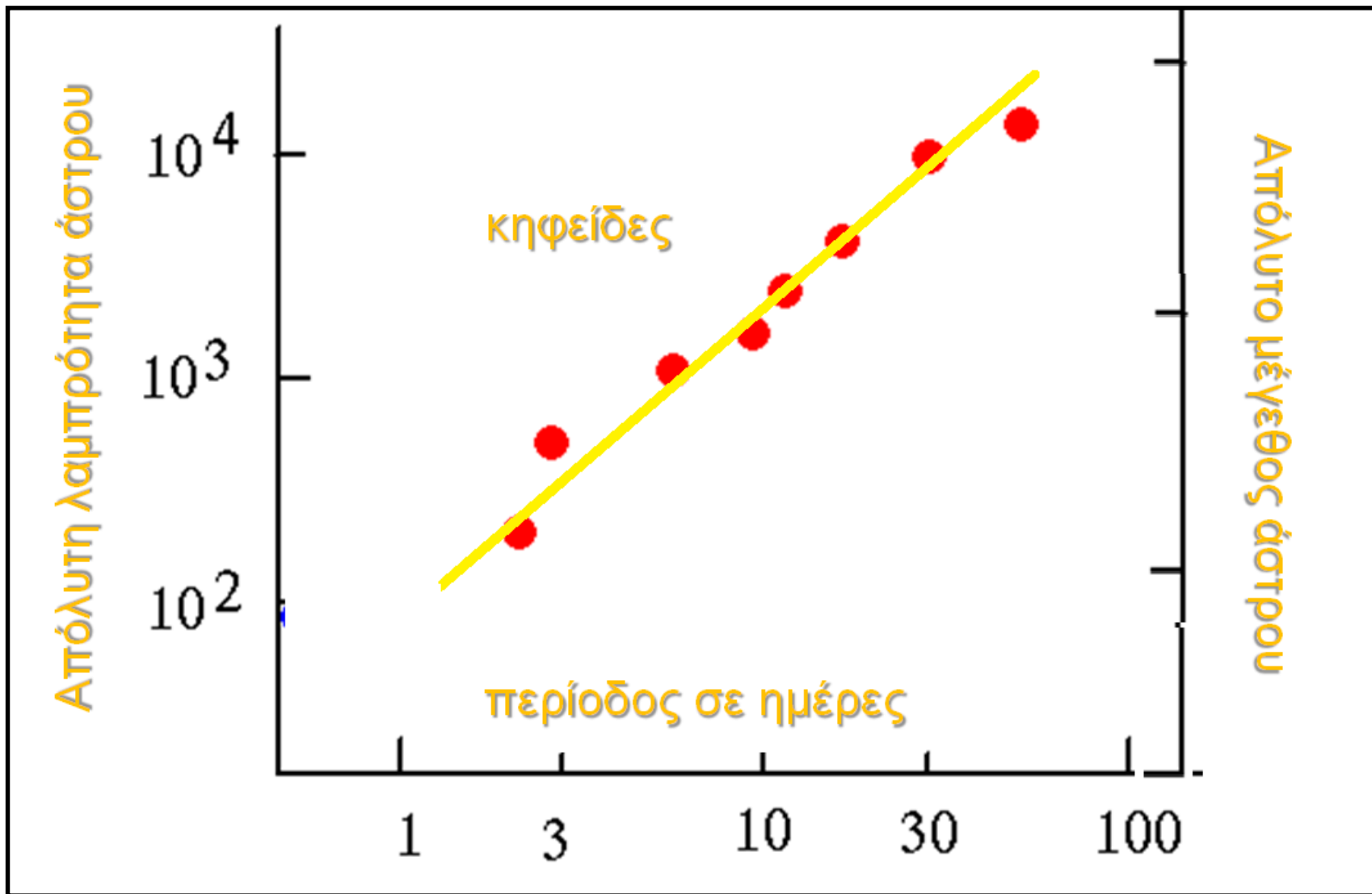
Μεταβλητά άστρα

Κλασικοί Κηφείδες

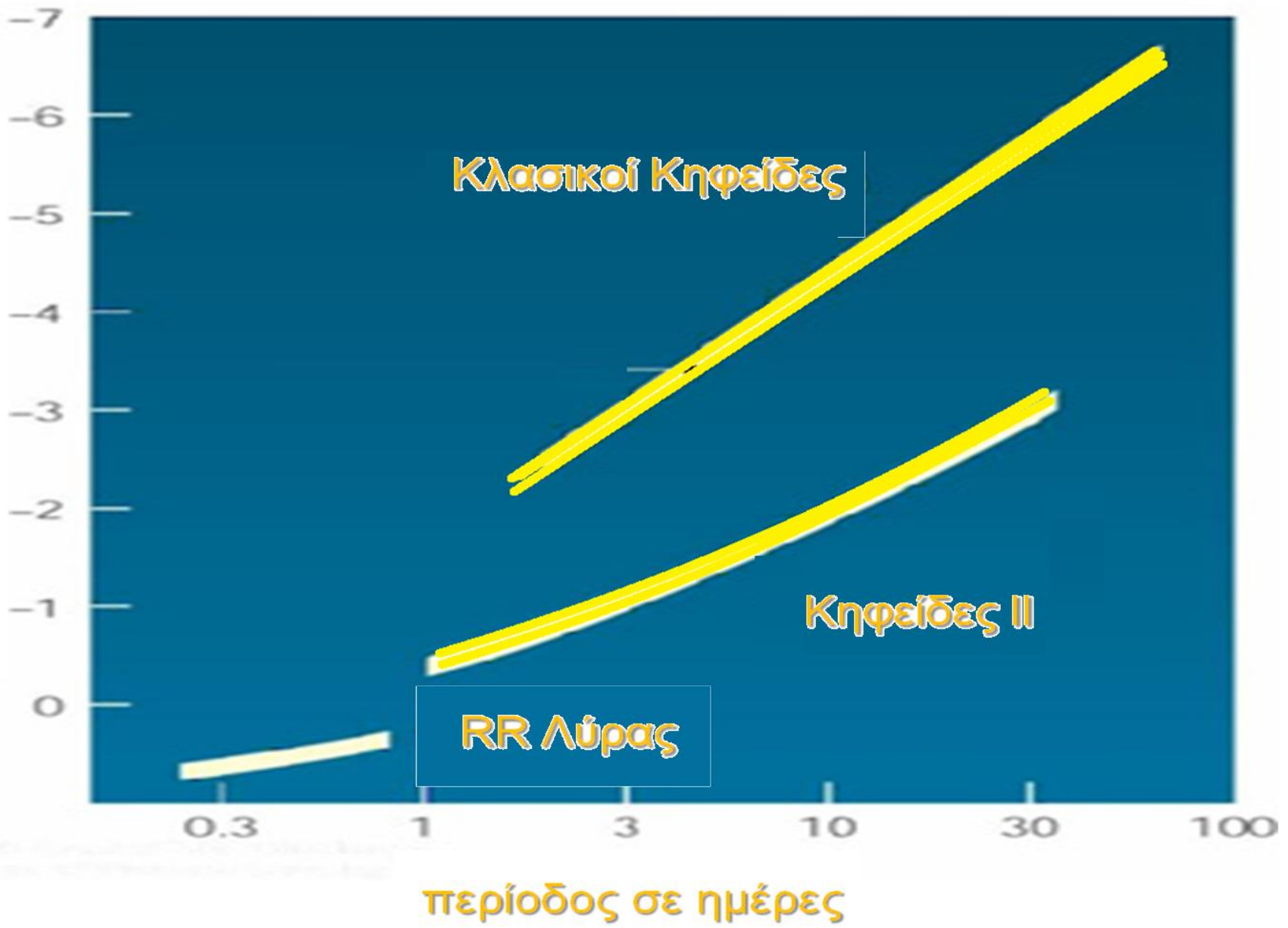
Κηφείδες II

RR Λύρας





Απόλυτο μέγεθος άστρου



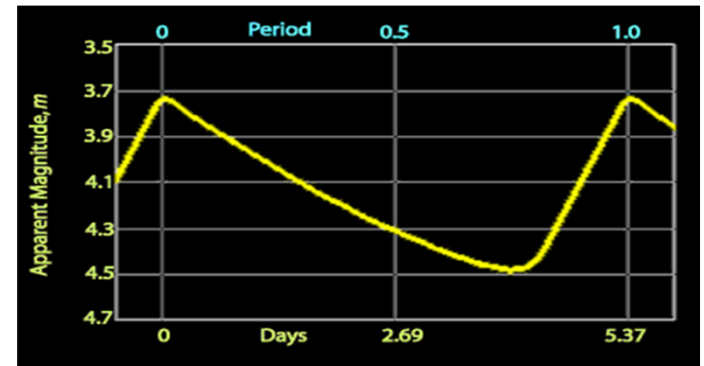
# Μεταβλητό άστρο

- Ο αστέρας δ Κηφέα είναι αναπαλλόμενος μεταβλητός και το μέγεθός του μεταβάλλεται από 3.5 σε 4,4 περιοδικά σε 5,366 ημέρες

- 

- $I_A/I_B = 100^{(m_B - m_A)/5}$

- $I_{max}/I_{min} = 100^{(m_{min} - m_{max})/5} = 2,291$



- **Συνεπώς ο δ Cephεί γίνεται 2,3 λαμπρότερος στο μέγιστο από ότι στο ελάχιστο.**



# Ο Betelgeuse και ο Ήλιος

- Ο Betelgeuse έχει απόλυτο μέγεθος  $M_B = -5.14$
- Ο Ήλιος  $M_S = 4.8$
- $L_B/L_S = 100^{(M_S - M_B)/5}$
- $L_B/L_S = 100^{(4.8 - (-5.14))/5} = L_B/L_S = 100^{1.988} = 9462$
- **Συνεπώς ο Betelgeuse είναι 9500 φορές λαμπρότερος του Ηλίου**



# Μεγέθη



- Άστρο μεγέθους  $m = 6$  στέλνει ροή  $I_m$ , 100 φορές μικρότερη ροής,  $I_n$ , άστρου μεγέθους  $n = 1$ ,
- ισχύει:  $I_n/I_m = 100^{(m-n)/5}$
- και  $\log I_n/I_m = (m-n)/5 \log 100 = 2/5(m-n)$  ή

$$m - n = 2.5 \log I_n / I_m.$$





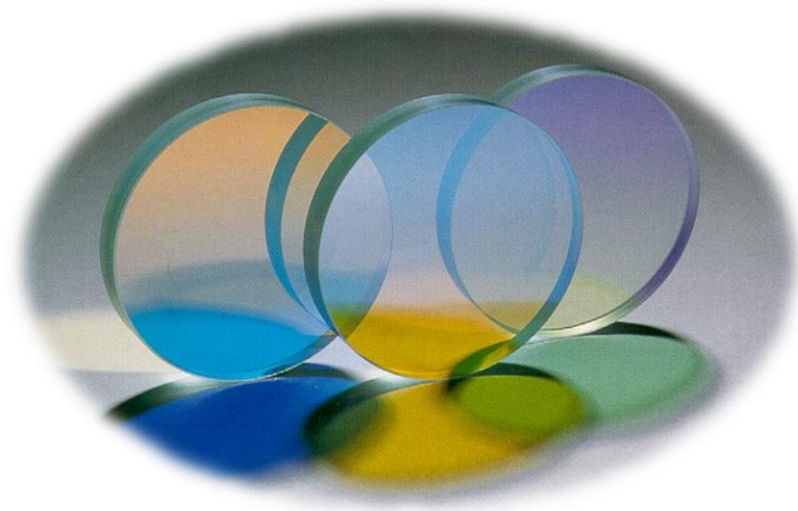
# Μεγέθη



$$m - n = 2.5 \log I_n / I_m$$



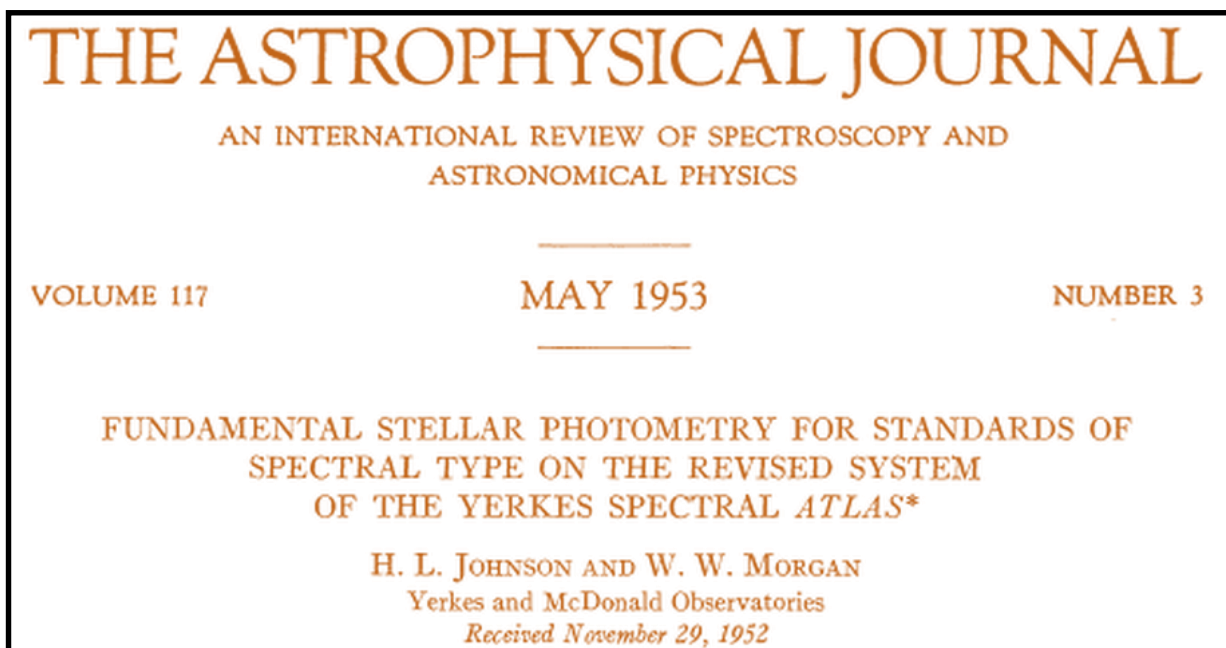
# Φίλτρα (ηθμοί)



Φίλτρα (ηθμοί)  
που χρησιμοποιούνται στην  
αστρονομία  
για  
φωτομετρία

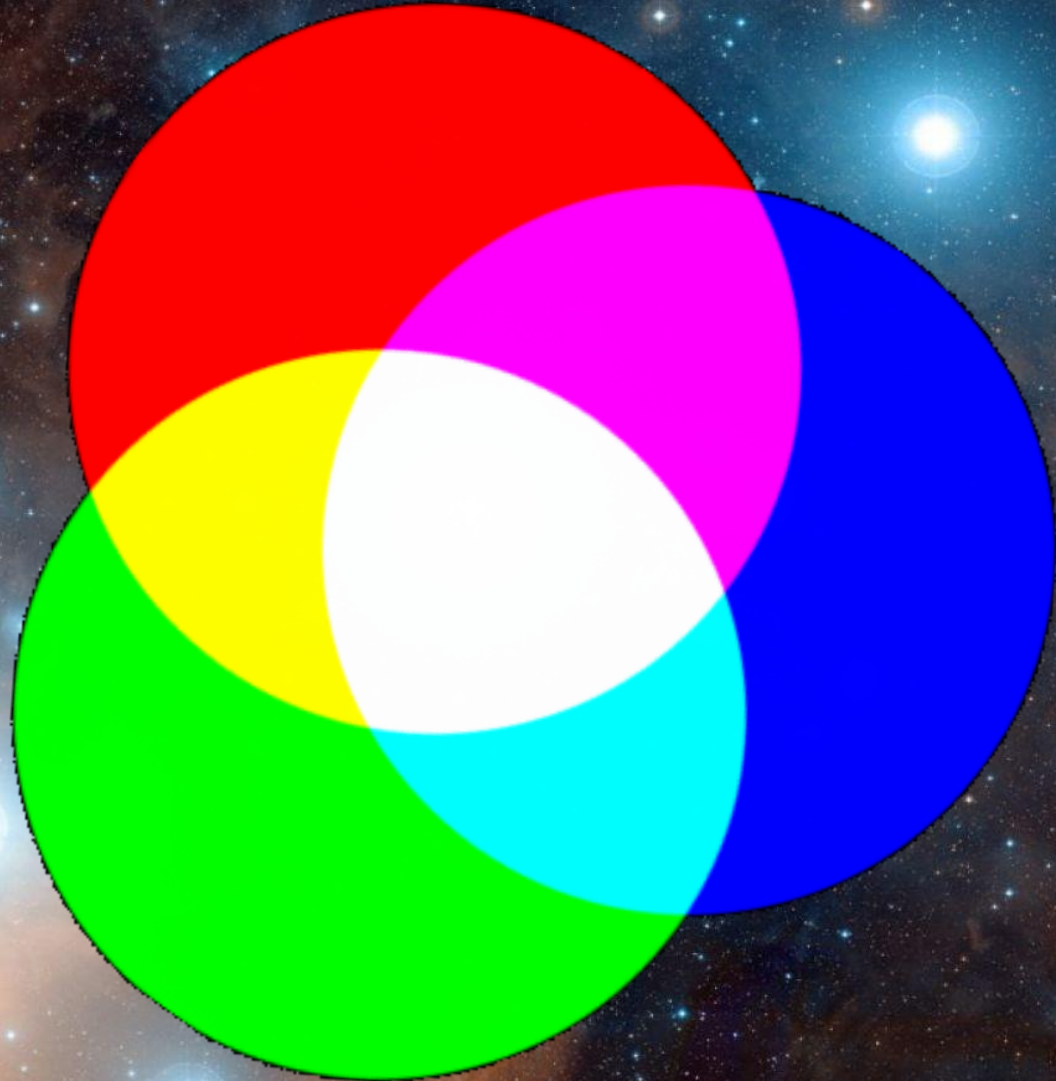


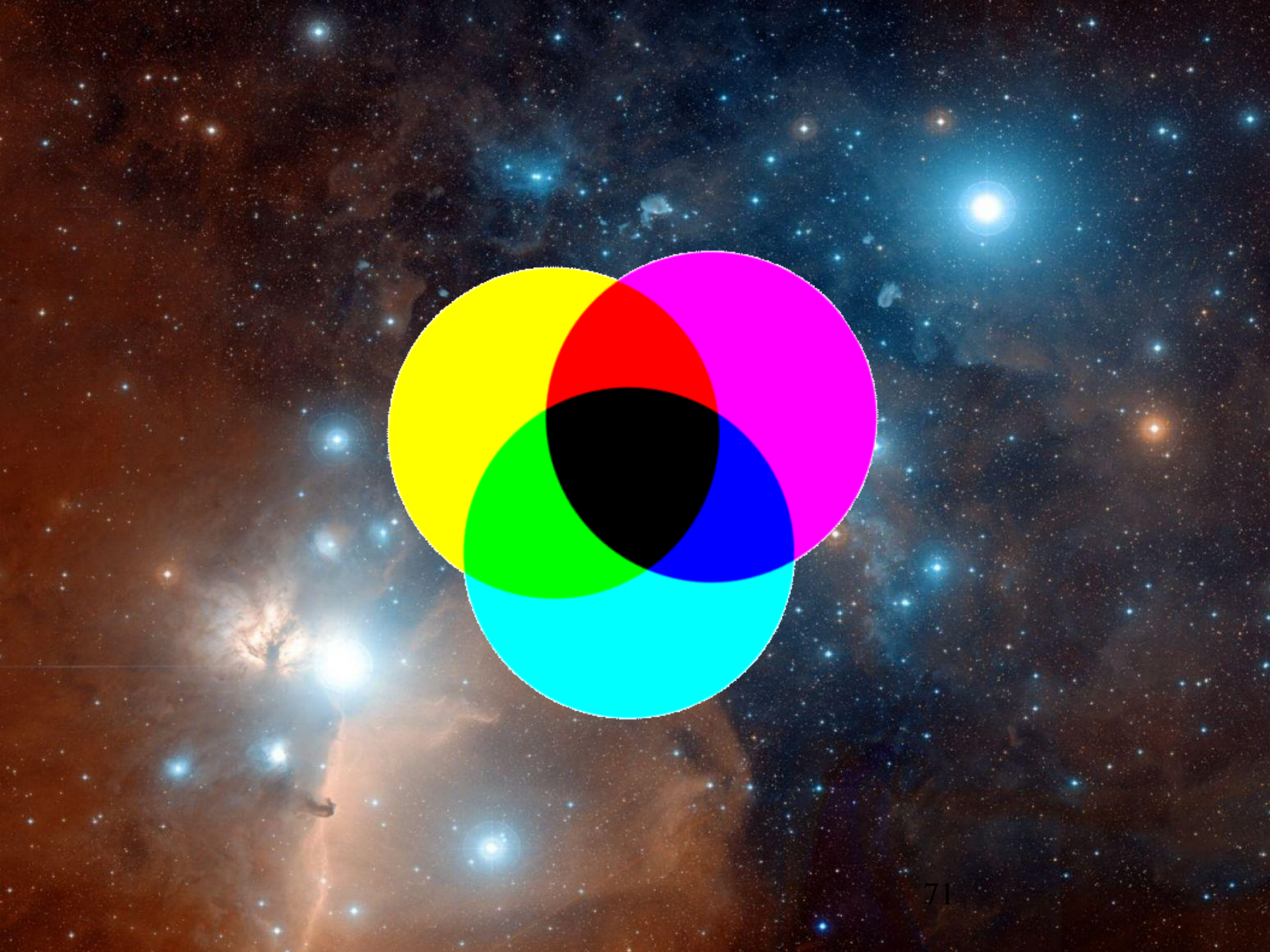
# Οι Harold Lester Johnson και William Wilson Morgan κατασκεύασαν τα πρώτα πρότυπα φίλτρα για αστρονομική χρήση

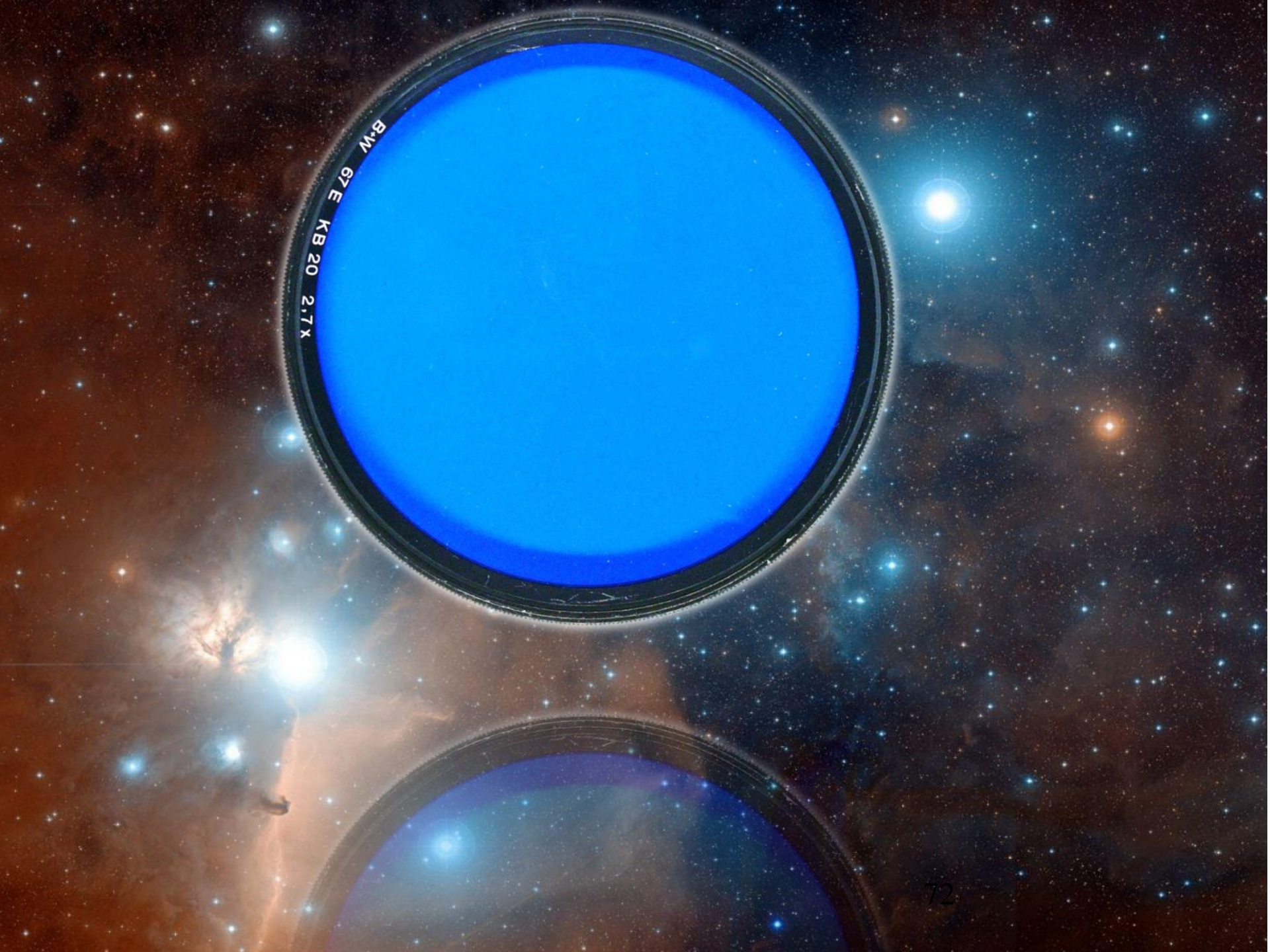


# Σύνθεση φίλτρων και χρωμάτων









B+W 67 E KB 20 2.7X



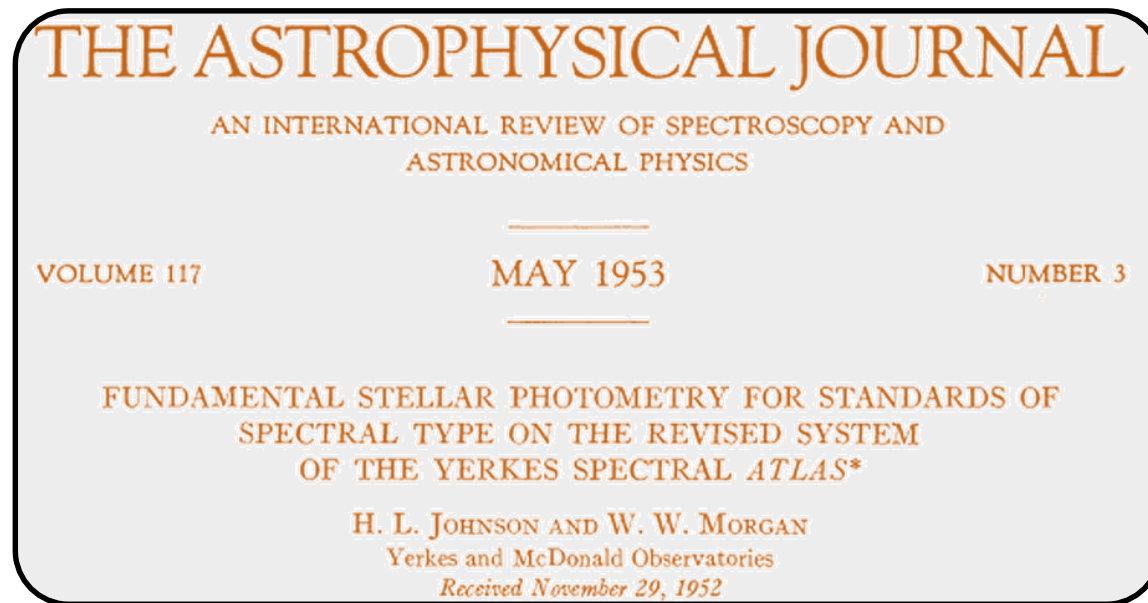
# Σχετικά απλό σύστημα

## Filter Specifications

Filter Type	Nominal CWL	Nominal FWHM	Nominal Transmission
U	365nm	60nm	> 50%
B	440nm	100nm	> 55%
V	550nm	90nm	> 70%
R	630nm	120nm	> 70%
I	900nm	300nm	> 70%



Τα πραγματικά φίλτρα είναι πιο πολύπλοκα και καλύπτουν διάφορες περιοχές φάσματος, όπως αυτά που περιγράφονται στους πίνακες που ακολουθούν



## Φασματικό σύστημα UB<sub>V</sub>, RIJHKLMNQ

περιοχή	λ (nm)	Δλ (nm)	F <sub>0</sub> (W/m <sup>2</sup> )
U	365	68	3.981 x 10 <sup>-2</sup>
B	440	98	6.310 x 10 <sup>-2</sup>
V	550	89	3.631 x 10 <sup>-2</sup>
R <sub>J</sub>	700	220	2.239 x 10 <sup>-2</sup>
I <sub>J</sub>	900	240	1.148 x 10 <sup>-2</sup>
R <sub>C</sub>	650	100	2.239 x 10 <sup>-2</sup>
I <sub>C</sub>	800	150	1.148 x 10 <sup>-2</sup>
J	1220	213	3.162 x 10 <sup>-3</sup>
H	1630	307	1.148 x 10 <sup>-3</sup>
K	2190	390	3.981 x 10 <sup>-4</sup>
L	3450	472	7.079 x 10 <sup>-5</sup>
M	4750	460	2.042 x 10 <sup>-5</sup>
N	10200	4000	1.230 x 10 <sup>-6</sup>
Q	21000	5000	6.761 x 10 <sup>-8</sup>



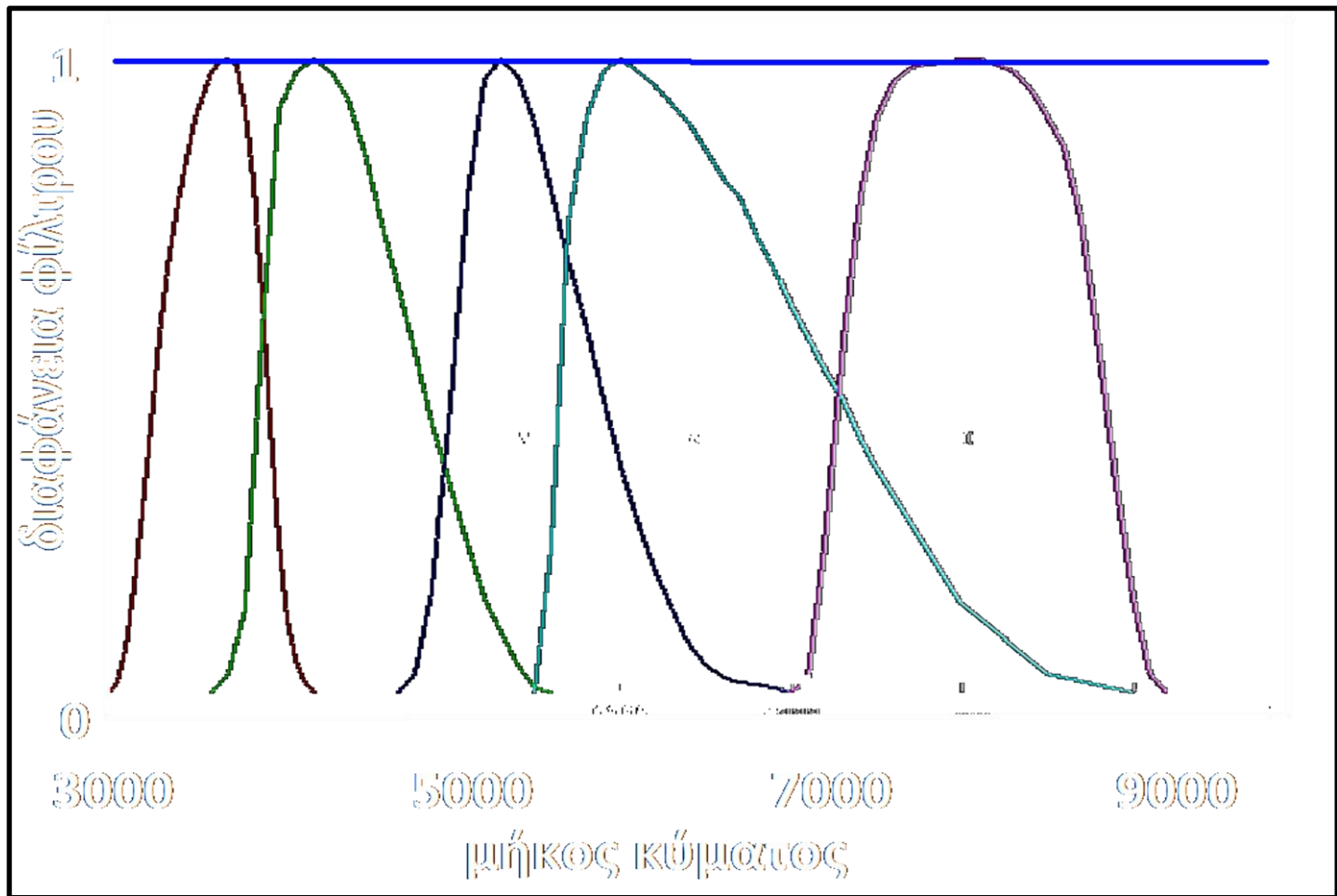
Filter Letter	Effective Wavelength Midpoint $\lambda_{\text{eff}}$ For Standard Filter <sup>[2]</sup>	Full Width Half Maximum <sup>[2]</sup> (Bandwidth $\Delta\lambda$ )	Variant(s)	Description
<b>Ultraviolet</b>				
<b>U</b>	<b>365 nm</b>	<b>66 nm</b>	<b>u, u', u*</b>	<b>"U" stands for ultraviolet.</b>
<b>Visible</b>				
<b>B</b>	<b>445 nm</b>	<b>94 nm</b>	<b>b</b>	<b>"B" stands for blue.</b>
<b>V</b>	<b>551 nm</b>	<b>88 nm</b>	<b>v, v'</b>	<b>"V" stands for visual.</b>
<b>G</b>			<b>g, g'</b>	<b>"G" stands for green (visual).</b>
<b>R</b>	<b>658 nm</b>	<b>138 nm</b>	<b>r, r', R', R<sub>c</sub>, R<sub>e</sub>, R<sub>j</sub></b>	<b>"R" stands for red.</b>
<b>Near-Infrared</b>				
<b>I</b>	<b>806 nm</b>	<b>149 nm</b>	<b>i, i', I<sub>c</sub>, I<sub>e</sub>, I<sub>j</sub></b>	<b>"I" stands for infrared.</b>
<b>Z</b>	<b>900 nm<sup>[3]</sup></b>		<b>z, z'</b>	
<b>Y</b>	<b>1020 nm</b>	<b>120 nm</b>	<b>y</b>	
<b>J</b>	<b>1220 nm</b>	<b>213 nm</b>	<b>J', J<sub>s</sub></b>	
<b>H</b>	<b>1630 nm</b>	<b>307 nm</b>		
<b>K</b>	<b>2190 nm</b>	<b>390 nm</b>	<b>K Continuum, K', K<sub>s</sub>, K<sub>long</sub>, K<sup>s</sup>, nbK</b>	
<b>L</b>	<b>3450 nm</b>	<b>472 nm</b>	<b>L', nbL'</b>	
<b>Mid-Infrared</b>				
<b>M</b>	<b>4750 nm</b>	<b>460 nm</b>	<b>M', nbM</b>	
<b>N</b>	<b>10500 nm</b>	<b>2500 nm</b>		
<b>Q</b>	<b>21000 nm<sup>[4]</sup></b>	<b>5800 nm<sup>[4]</sup></b>	<b>Q'</b>	

[https://en.wikipedia.org/wiki/Photometric\\_system](https://en.wikipedia.org/wiki/Photometric_system)

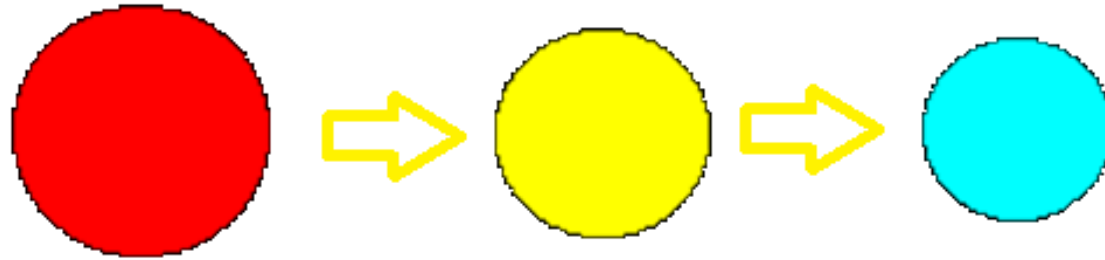
# Χρησιμοποιούνται διάφορα συστήματα ανάλογα με τα επιστημονικά όργανα που έχει κάθε εργαστήριο ή διαστημόπλοιο

Φωτομετρικό σύστημα της Γενεύης Genève		
Περιοχή φάσματος	$\lambda_c$	$\Delta\lambda$
	(Å)	(εύρος του ηθμού στο ήμισυ του ύψους) (Å)
<b>U</b>	<b>3466</b>	<b>492</b>
<b>B1</b>	<b>3994</b>	<b>388</b>
<b>B</b>	<b>4234</b>	<b>814</b>
<b>B2</b>	<b>4469</b>	<b>423</b>
<b>V1</b>	<b>5368</b>	<b>478</b>
<b>V</b>	<b>5444</b>	<b>736</b>
<b>G</b>	<b>5758</b>	<b>438</b>





# άσκηση



- **Μεταβλητό άστρο τύπου RR Lyrae μεταβάλλεται από 7,1m σε 7,8 m.**

- Πόσο μεταβάλλεται η ροή ακτινοβολίας

από  $I_{\max}$  σε  $I_{\min}$

- $m - n = 7,8 - 7,1 = 2,5 \log I_{\max} / I_{\min}$   
 $\Rightarrow I_{\max} / I_{\min} = 10^{(0,7/2,5)} = 10^{0,18} = 1,91$  δηλαδή διπλασιάζεται η ροή, άρα και η ισχύς του άστρου



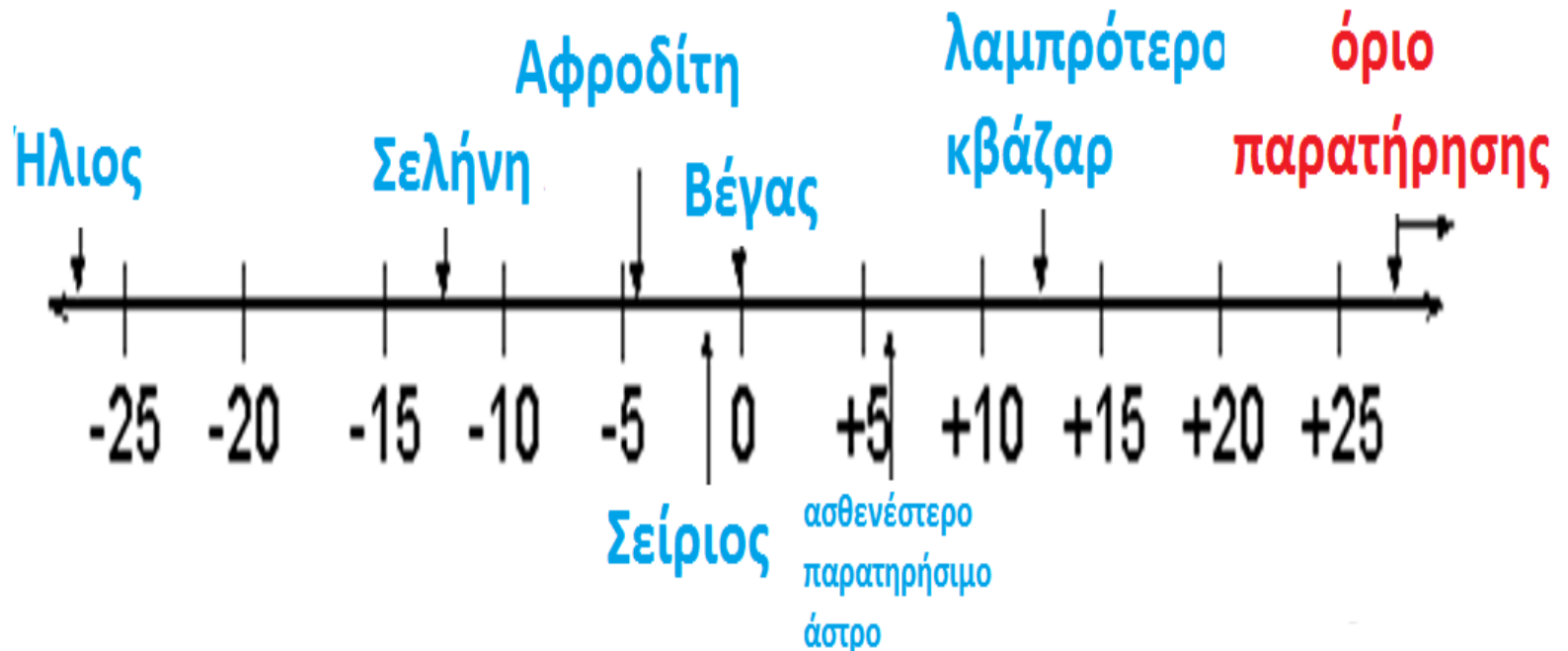
# Παραδείγματα φαινομένων μεγεθών

- | αντικείμενο  | φαινόμενο μέγεθος |
|--|-------------------|
| • <b>Σείριος</b> (λαμπρότερο άστρο)                      | -1,5              |
| • Αφροδίτη στο μέγιστο                                   | -4,4              |
| • Πανσέληνος   | -12,6             |
| • Ήλιος  | -26,8             |
| • Ασθενικά άστρα μόλις ορατά                             | 6-7               |
| • Ασθενικά άστρα μόλις ορατά με το καλύτερο τηλεσκόπιο   | ~25               |
| • Ασθενικά άστρα μόλις ορατά με το διαστημικό τηλεσκόπιο | ~30               |





# Φαινόμενα μεγέθη



φαινόμενο μέγεθος διαφόρων αστρονομικών αντικειμένων



# Φαινόμενο μέγεθος

$$m = - \kappa \log \int F(r, \lambda) H(\lambda) d\lambda$$



# Ενεργός θερμοκρασία

$$T = 7200 / (CI + 0,64)$$



Δείκτης  
χρώματος



$$m = \text{const} - 2.5 \log I_s$$

zero point is set at the value of the star Alpha Lyrae (Vega) although, technically, it is actually defined by a number of stars measured accurately by Johnson and Morgan (1953).



$$m_2 - m_1 = 2.5 (\log b_1 - \log b_2) = 2.5 \log \left( \frac{b_1}{b_2} \right)$$



$$M = m - 5 \log (d/10)$$



$$M = m - 5((\log_{10} D_L) - 1)$$

$$M = m + 5(\log_{10} p + 1)$$



Τέλος Ενότητας



# Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αθηνών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την 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.



Σημειώματα

# Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση 1.0.0.



# Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Εθνικών και Καποδιστριακών Πανεπιστημίων Αθηνών, Ξενοφών Δ. Μουσάς 2015. «Εισαγωγή στην Αστροφυσική και Αστρονομία. Φυσική των Αστέρων». Έκδοση :1.0. Αθήνα 2015. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση : <http://opencourses.uoa.gr/courses/PHYS1/>



# Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.



# Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.

