



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  
και Αστρονομία  
φασματοσκοπία*

Ξενοφών Δ. Μουσάς,

Καθηγ. Φυσικής Διαστήματος

ΑΘΗΝΑ 2014

Διαφάνειες που χρησιμοποιήθηκαν για την διδασκαλία των φοιτητών  
του Πανεπιστημίου Αθηνών τα έτη 2009-14

# 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:

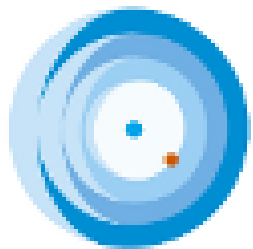
- <http://www.astro.virginia.edu/class/majewski/ast551/lectures/LECTURE2/lec2b.html>
- <http://casswww.ucsd.edu/archive/public/tutorial/Stars.html>
- [http://www.astro.washington.edu/users/anamunn/Astro101/Project1/stellar\\_spectroscopy\\_introduction.html](http://www.astro.washington.edu/users/anamunn/Astro101/Project1/stellar_spectroscopy_introduction.html)
- <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

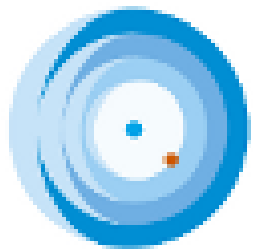
Συγγραφείς: SHU FRANK

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, SDO, SOHO

στους Ερευνητές και λοιπούς συντελεστές των επιγείων τηλεσκοπίων και διαστημικών πειραμάτων, στους κυρίους **Πάνο Παπασπύρου** Στράτο Κουφό, Νίκο Πασχάλη, 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.

# Επιστημονική μέθοδος

- Παρατηρήσεις
- Πειράματα
- Το ξυράφι του Occam ('s Razor)  
η απλούστερη θεωρία είναι η καλύτερη.
- Η θεωρία που ερμηνεύει περισσότερα φαινόμενα ή προβλέπει φαινόμενα που παρατηρούνται είναι η καλύτερη
- Κάθε θεωρία επιβεβαιώνεται, συμπληρώνεται ή απορρίπτεται από νέες καλύτερες παρατηρήσεις και πειράματα



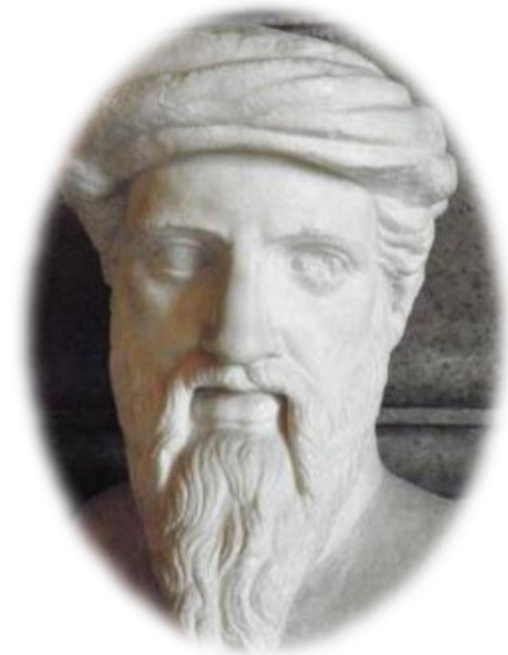
# Εξέλιξη της αστρονομίας

1. Αρχικά η αστρονομία είναι περιγραφική, πρακτική
2. Στην συνέχεια μαθηματικοποιήθηκε και έγινε επιστήμη. Εισάγονται οι νόμοι της φυσικής.
3. Αργότερα άρχισε η Αστροφυσική
4. η σύγχρονη Αστροφυσική γεννήθηκε με την φασματοσκοπία τέλη 19<sup>ου</sup> αιώνα.



**Σημαντική πρόοδος η θεωρητική απόδειξη θεωρημάτων  
Ο Ήρων μας πληροφορεί για τον λόγο της θεωρίας με αποδείξεις:  
ἀύλως καὶ νοερῶς τὰ θεωρήματα διερευνώμενος**

Μετά δὲ τὸν **Θαλῆν** Μαιέρτιος ὁ  
Στησιχόρου ποιητοῦ ἀδελφὸς καὶ  
Ἰππίας ὁ Ἡλεῖος καὶ μετὰ ταῦτα ὁ  
Πυθαγόρας ἄνωθεν τὰς ἀρχὰς αὐτῆς  
ἐπισκοπούμενος καὶ ἀύλως καὶ  
νοερῶς τὰ θεωρήματα  
διερευνώμενος καὶ μετὰ τοῦτον  
Ἄναξαγόρας καὶ ὁ Πλάτων καὶ  
Οἰνοπίδης ὁ Χῖος καὶ Θεόδωρος ὁ  
Κυρηναῖος καὶ Ἰπποκράτης πρὸ τοῦ  
Πλάτωνος. μετὰ ταῦτα καὶ Λεωδάμας  
ὁ Θάσιος καὶ Ἀρχύτας ὁ Ταραντῖνος  
καὶ Θεαίτητος ὁ Ἀθηναῖος, Εὐδοξος ὁ  
Κνίδιος·

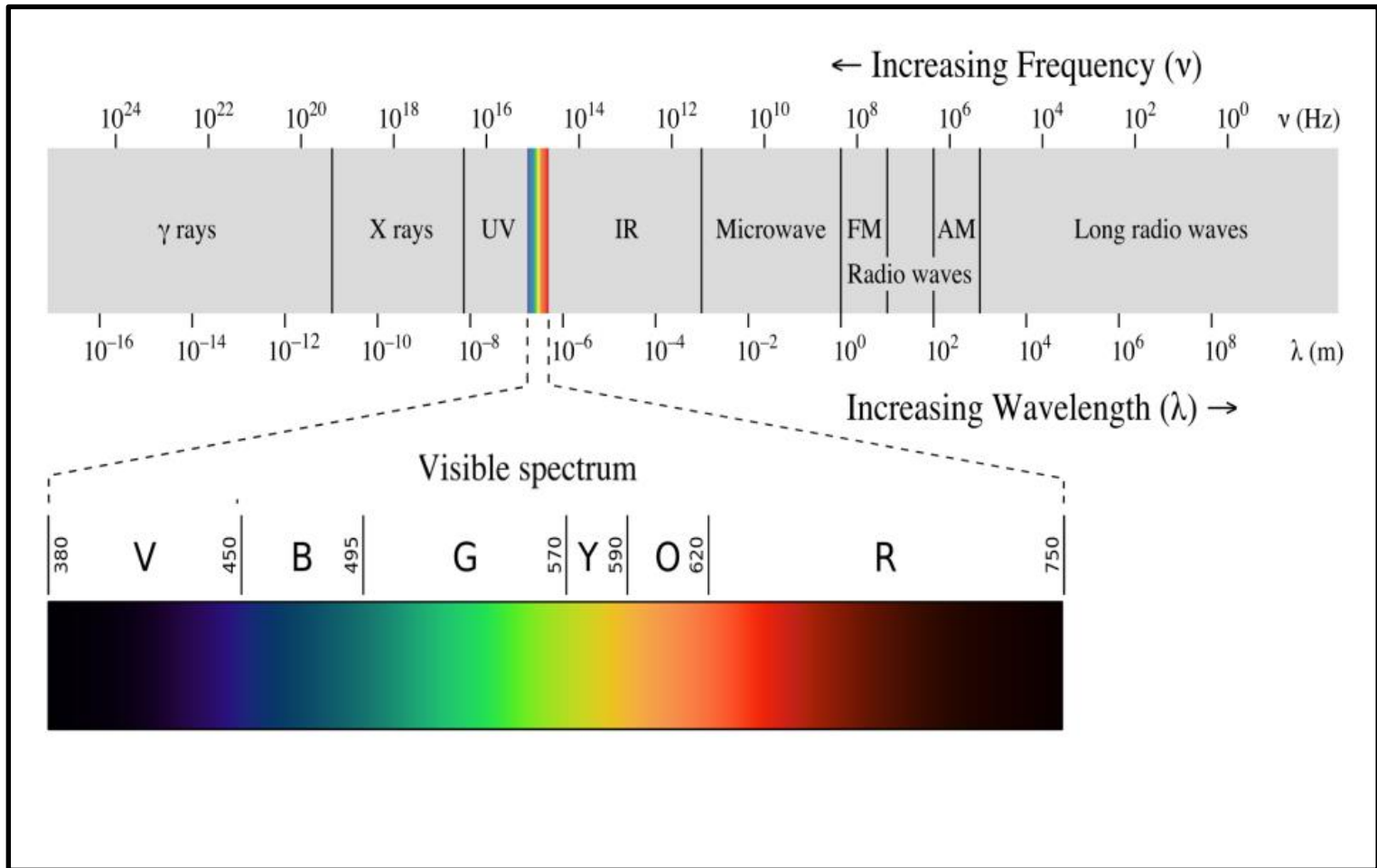




# Παρατηρώντας το σύμπαν

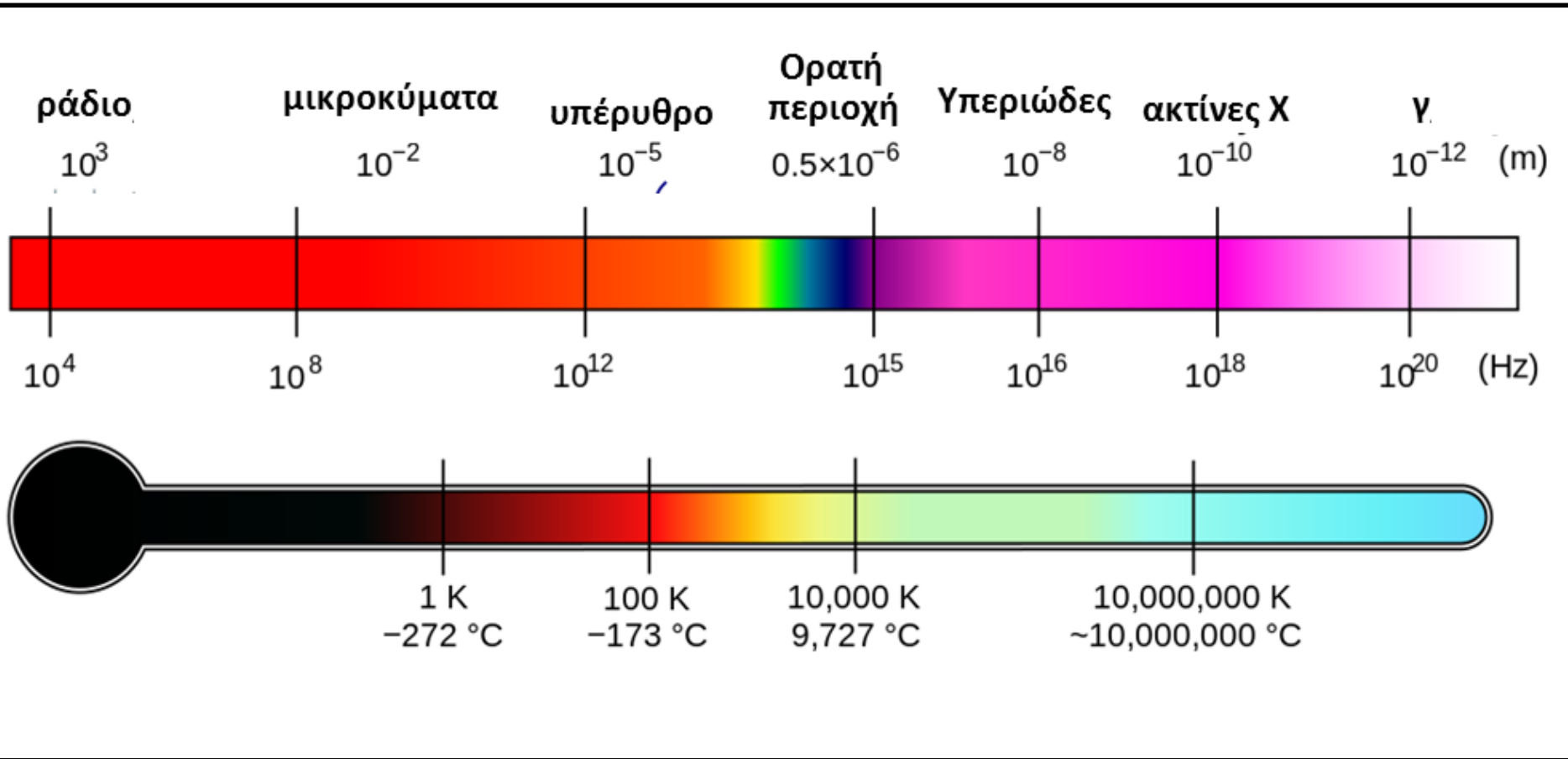
- Παρατηρήσεις με το μάτι,
- Όργανα παρατήρησης
- Φακοί
- Τηλεσκόπια
- Άλλα παράθυρα στο Σύμπαν
  1. Ορατή περιοχή
  2. ράδιο,
  3. ακτίνες Χ,
  4. γ,
  5. υπέρυθρο,
  6. Υπεριώδες
  7. μικρούματα
  8. Κοσμική ακτινοβολία





[http://commons.wikimedia.org/wiki/File\\_talk:EM\\_spectrum.svg#mediaview/File:EM\\_spectrumrevised.png](http://commons.wikimedia.org/wiki/File_talk:EM_spectrum.svg#mediaview/File:EM_spectrumrevised.png)

# ΗΜ ακτινοβολία

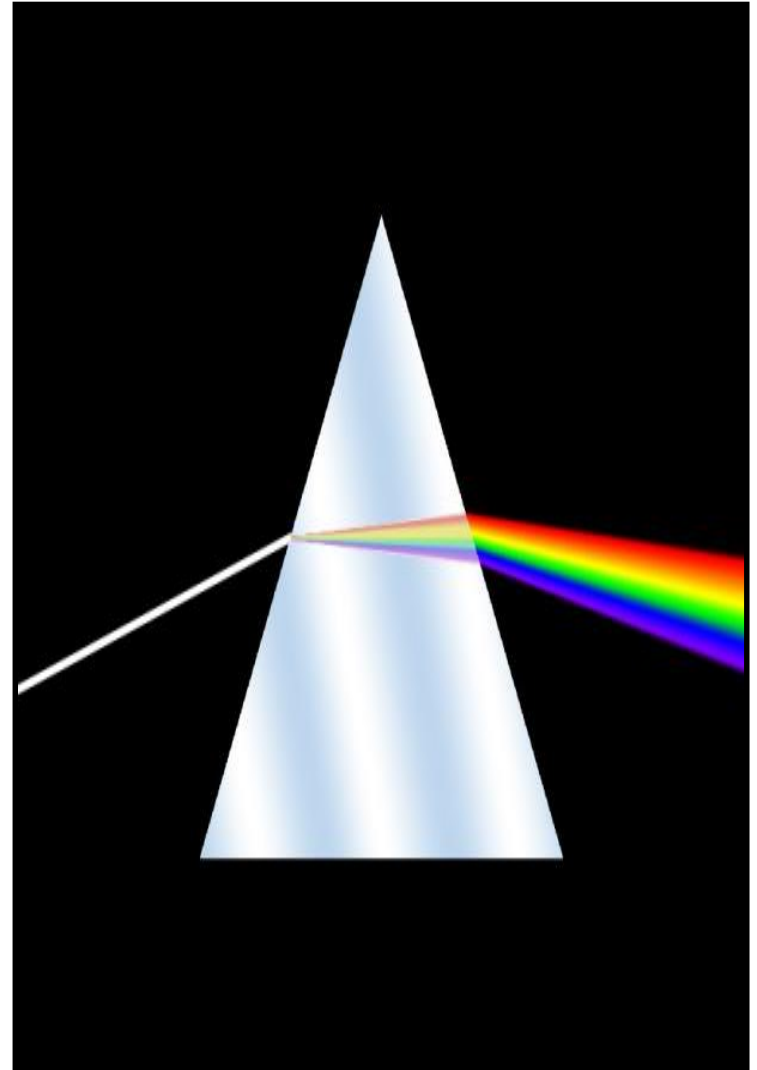


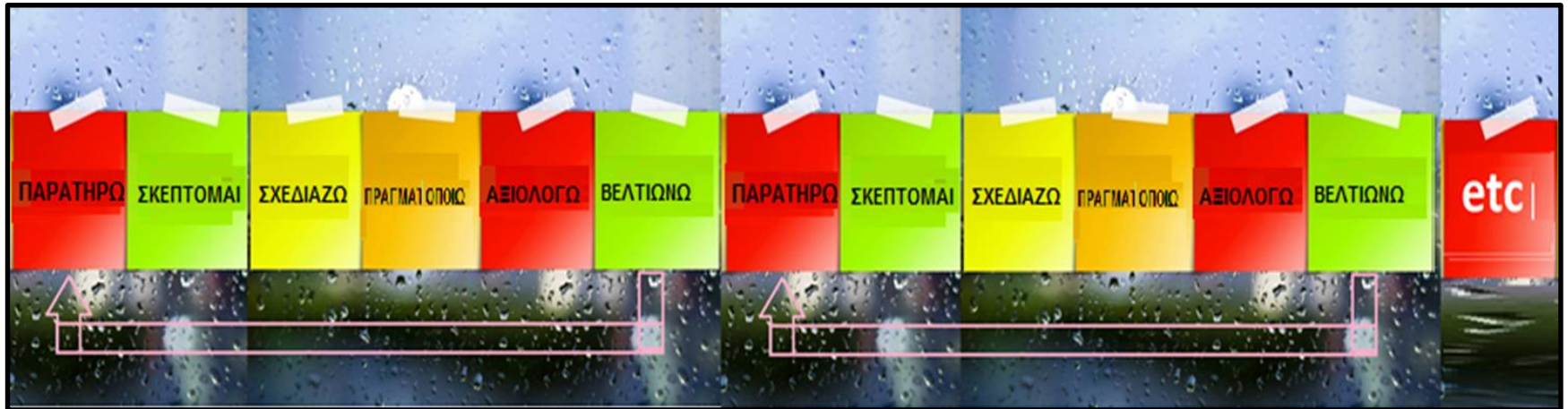
# Πώς γνωρίζουμε όλα αυτά για τα άστρα και το σύμπαν;

- Από τι είναι φτιαγμένα;
- Ποια είναι η πηγή ενέργειάς τους;
- Πώς γεννιούνται και πεθαίνουν;



- Για να μάθουμε τον Κόσμο και τον εαυτό μας αναπτύξαμε:
- Φιλοσοφία
- Επιστήμες
- Αιτιοκρατία
- Νόμους της φυσικής
- Μαθηματικά
- Παρατήρηση
- Πειράματα
- Θεωρίες







Ειδικότερα φτιάξαμε

Τηλεσκόπια

Αναπτύξαμε την Φασματοσκοπία

Κάναμε Πειράματα στο εργαστήριο

Κάναμε Υπολογισμούς (τις τελευταίες δεκαετίες  
με ηλεκτρονικούς υπολογιστές)

Χρησιμοποιούμε Διαστημόπλοια

# Φασματοσκοπία

- Φασματοσκοπία είναι κλάδος της Φυσικής (Οπτικής, Κυματικής οπτικής) μορφή των φασμάτων ΗΜ ακτινοβολίας, αλλά και της ύλης (κατανομή της κοσμικής ακτινοβολίας στην ενέργεια)



# Φασματοσκοπία

- Αρχαίοι έλληνες:
- Το ουράνιο τόξο δημιουργείται λόγω της αλληλεπίδρασης του ηλιακού φωτός με τις σταγόνες της βροχής



# Νεύτων 1668

- φάσμα δέσμης του Ηλιακού φωτός με τριγωνικό πρίσμα



# Νόμοι Kirchoff

- Anders Jonas Angstrom, φυσικός, Σουηδία, 1853 θεωρίες για φάσματα αερίων
- ηλεκτρικός σπινθήρας παρέχει δύο επάλληλα φάσματα.
- Αέριο πυρακτωμένο εκπέμπει φωτεινές ακτίνες στα μήκη κύματος που απορροφά
- θεμελιώδης αρχή της φασματικής ανάλυσης.

Gustav Kirchhoff, Γερμανός φυσικός και χημικός Robert Bunsen, 1860, φάσματα των οκτώ μετάλλων και προσδιορίζονται τα μέταλλα αυτά σε φυσικά στοιχεία.

- τρεις θεμελιώδεις Νόμοι Kirchoff,



# Ενέργεια φωτονίου

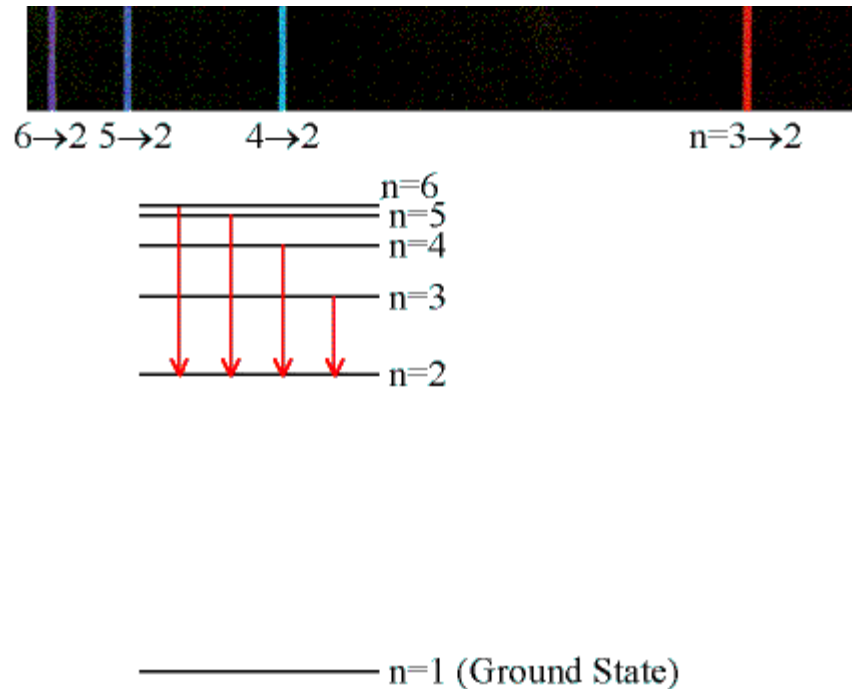
$$E = hf = hc/\lambda$$





# Johann Balmer, 1885

- Johann Balmer, 1885, τέσσερις ορατές οι γραμμές του υδρογόνου μέρος μιας σειράς που θα μπορούσε να εκφράζονται σε ακέραιους αριθμούς.



# Johann Balmer, 1885

- Johann Balmer, 1885, τέσσερις ορατές οι γραμμές του υδρογόνου μέρος μιας σειράς που θα μπορούσε να εκφράζονται σε ακέραιους αριθμούς.
- $hf = -13.6 \text{ eV}(1/n_i^2 - 1/2^2)$
- $= 13.6 \text{ eV}(1/4 - 1/n_i^2)$ .
- Τύπος Rydberg
- $1/\lambda = (13.6 \text{ eV}/hc)(1/4 - 1/n_i^2) = \mathbf{R}(1/4 - 1/n_i^2)$ .



# Rydberg

- Τύπος Rydberg περιγράφει ακόμη σειρές των γραμμών.
- $1/\lambda = (13.6 \text{ eV}/hc)(1/4 - 1/n_i^2) = \mathbf{R}(1/4 - 1/n_i^2)$ .



# William Huggins και σύζυγος του Μαργαρίτα

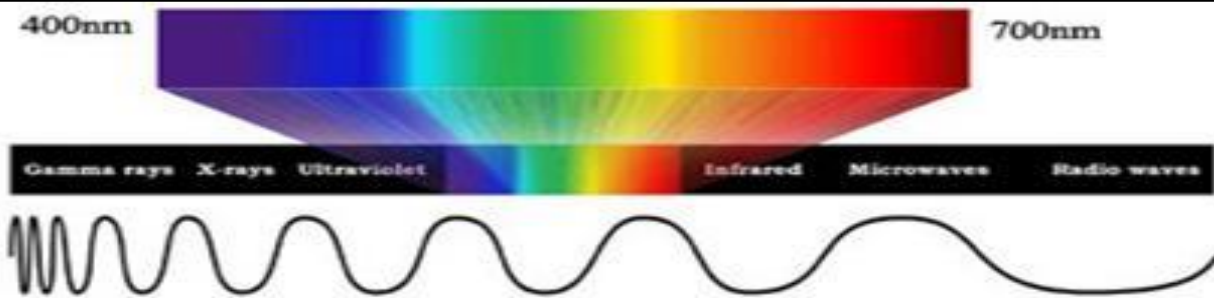
- William Huggins και σύζυγος Μαργαρίτα, 1860-1870, χρησιμοποιούν φασματοσκοπία σε αστέρια και βρίσκουν τα ίδια χημικά στοιχεία που βρίσκονται στη γη.
- μετατόπιση Doppler στο φάσμα του Σειρίου, 1868, υπολογίζει ακτινική ταχύτητα
- φάσμα από πλανητικό νεφέλωμα (τα μάτια της γάτας Νεφέλωμα (NGC 6543)
- με φασματικές τεχνικές διακρίνει πλανητικά από νεφελώματα γαλαξιών.



# Ενέργεια φωτονίου

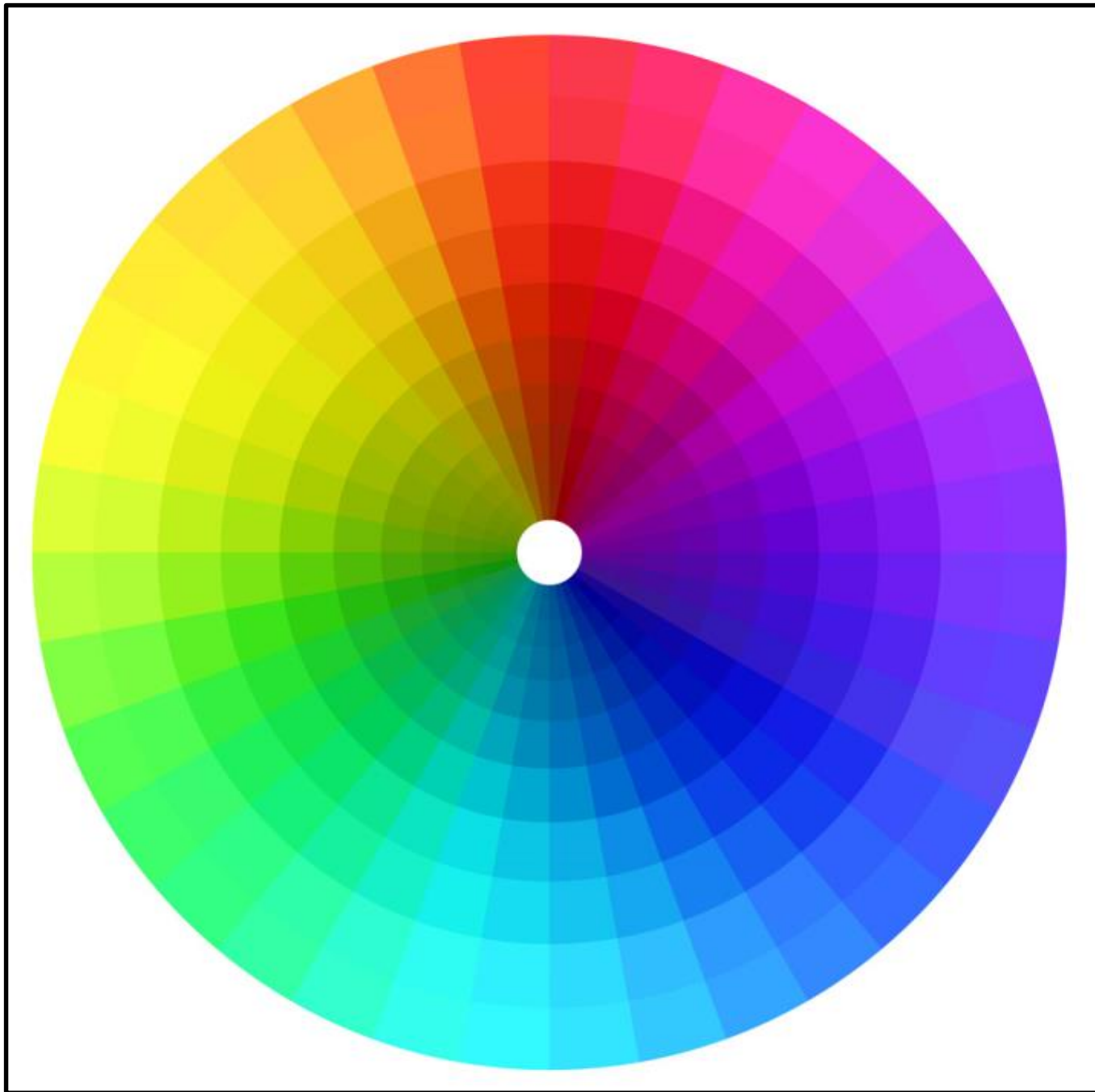
$$E = hf = hc/\lambda$$



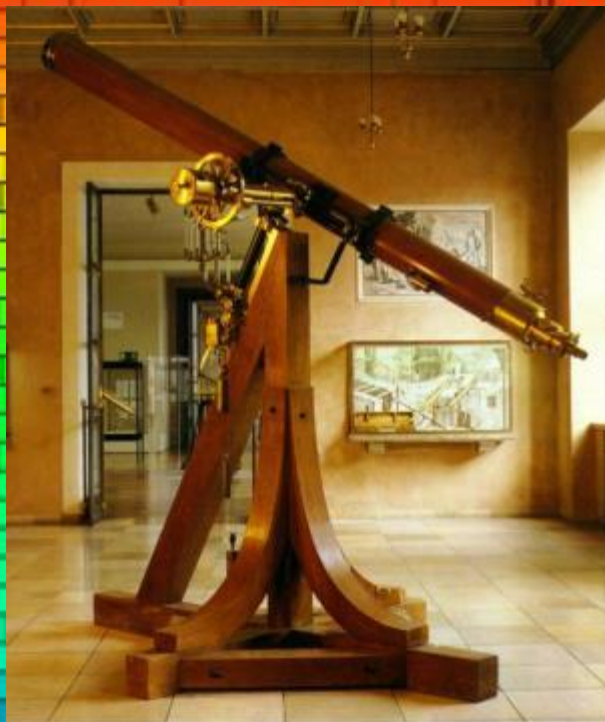


Περιοχή	Εύρος μηκών κύματος	Το χρώμα
Κόκκινου (Red)	760 nm – 630 nm	Κόκκινο (R) 700 nm
Πορτοκαλί (orange)	630 nm – 600 nm	Πορτοκαλί 620 nm
Κίτρινου (Yellow)	600 nm – 570 nm	Κίτρινο 580 nm
Πράσινου (Green)	570 nm – 490 nm	Πράσινο (G) 530 nm
Μπλε (Blue)	490 nm – 450 nm	Μπλε (B) 475 nm
Ιώδους (Violet)	400 nm – 440 nm	Ιώδες (μωβ) 440 nm
*Ινδικό (idigo) του Νεύτωνα	450 nm – 440 nm	





χημική ανάλυση  
από μακριά  
Fraunhofer (τηλεσκόπιο, φασματοσκόπιο, λεπτή σχισμή)

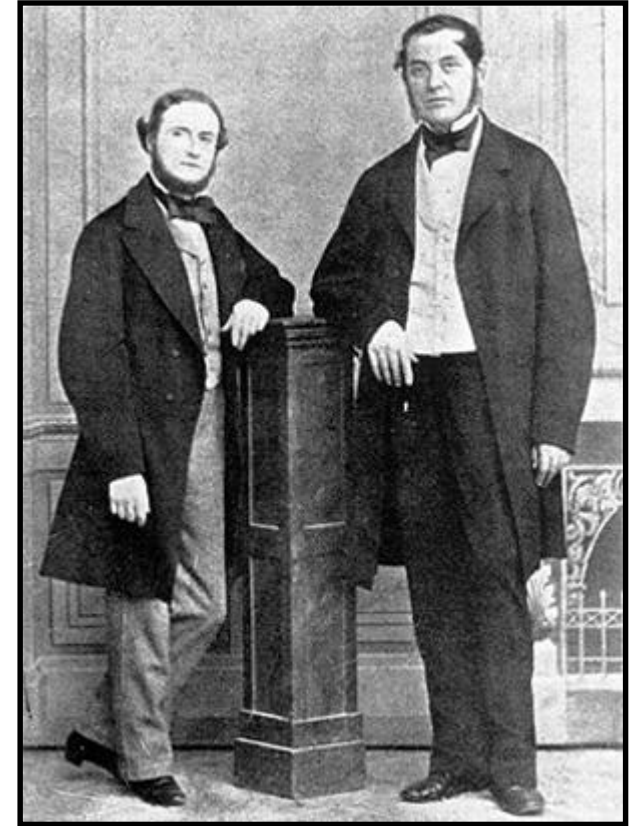
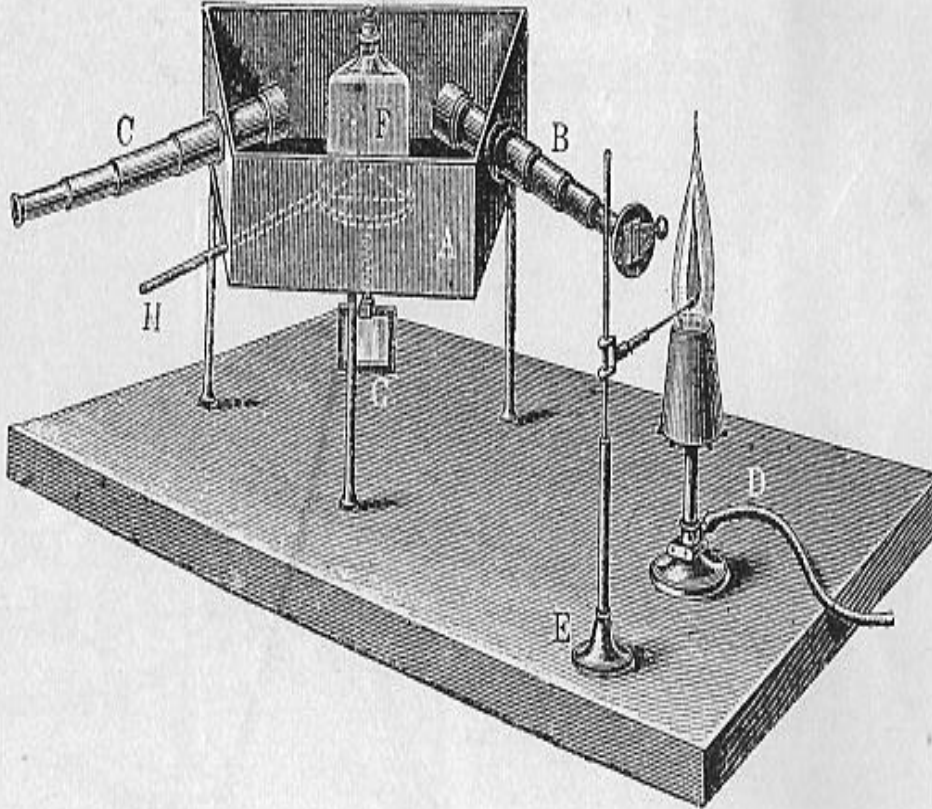


Bunsen, Kirchhoff

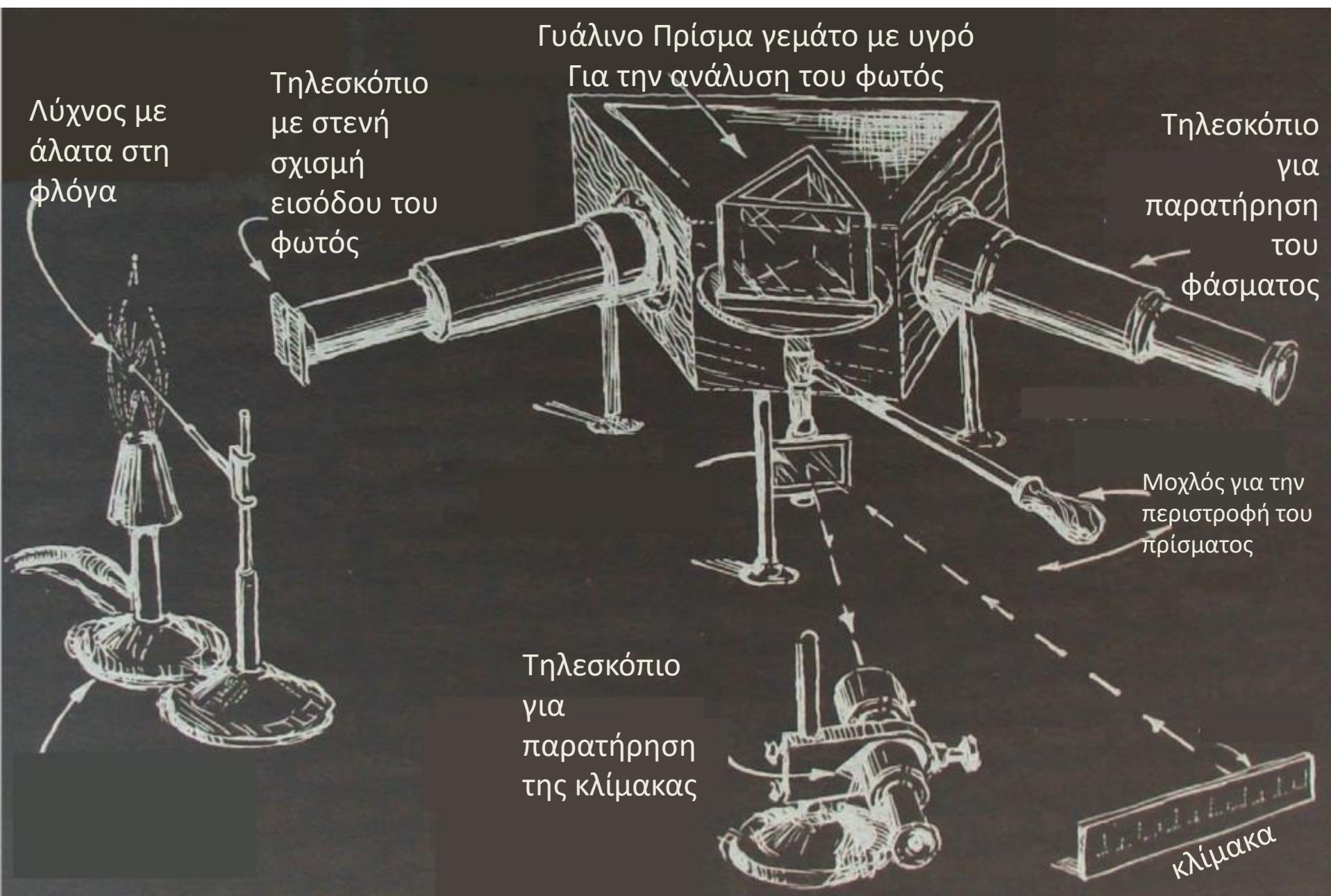
Φάσμα του ηλίου: όλα τα χημικά στοιχεία που έχουμε στη Γη, 1860,  
Courtesy of Aura



# Gustav Kirchhoff και Robert Bunsen

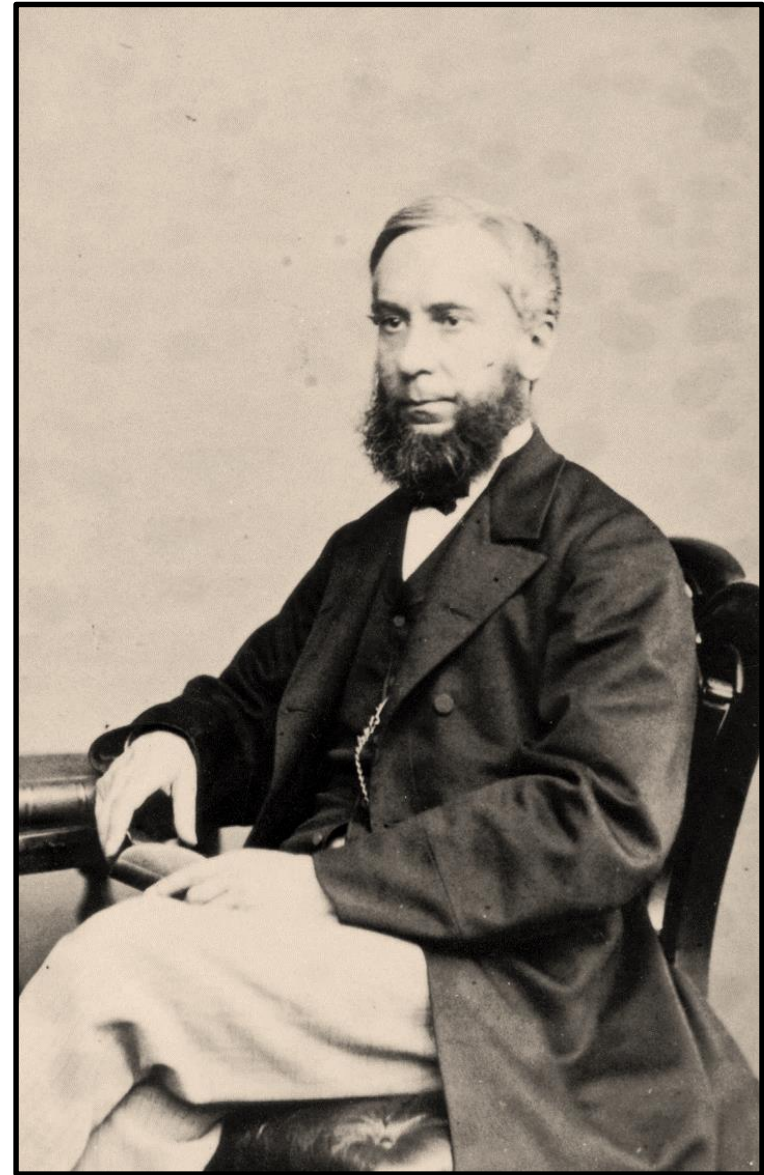


# Πείραμα του Bunsen για φασματοσκοπική ανάλυση





- Γύρω στο 1860 ο William Huggins (1824-1910) με την βοήθεια του William Miller στο ιδιωτικό του αστεροσκοπείο στο Tulse Hill έδειξε ότι πολλά χημικά στοιχεία που είναι στην Γη ανιχνεύονται στα άστρα.
- Χρησιμοποίησε ένα οπτικό φασματογράφο που προσάρμοσε στο κατοπτρικό του τηλεσκόπιο (διαμέτρου 20 cm)
- απέδειξαν ότι φασματικές γραμμές που εμφανίζονται σε λάμπες με εκκένωση εμφανίζονται και σε φάσματα άστρων ως γραμμές απορρόφησης στα ίδια μήκη κύματος



# Απλές πειραματικές διατάξεις ανάλυσης του φωτός



# Φασματοσκοπία

A vibrant rainbow arches across a blue sky with scattered white clouds. The rainbow's colors are bright and distinct, transitioning from red on the outer edge to violet on the inner edge. The sky is a deep blue, and the clouds are soft and white, adding texture to the background.

- Αρχαίοι έλληνες:
- Το ουράνιο τόξο δημιουργείται λόγω της αλληλεπίδρασης του ηλιακού φωτός με τις σταγόνες της βροχής



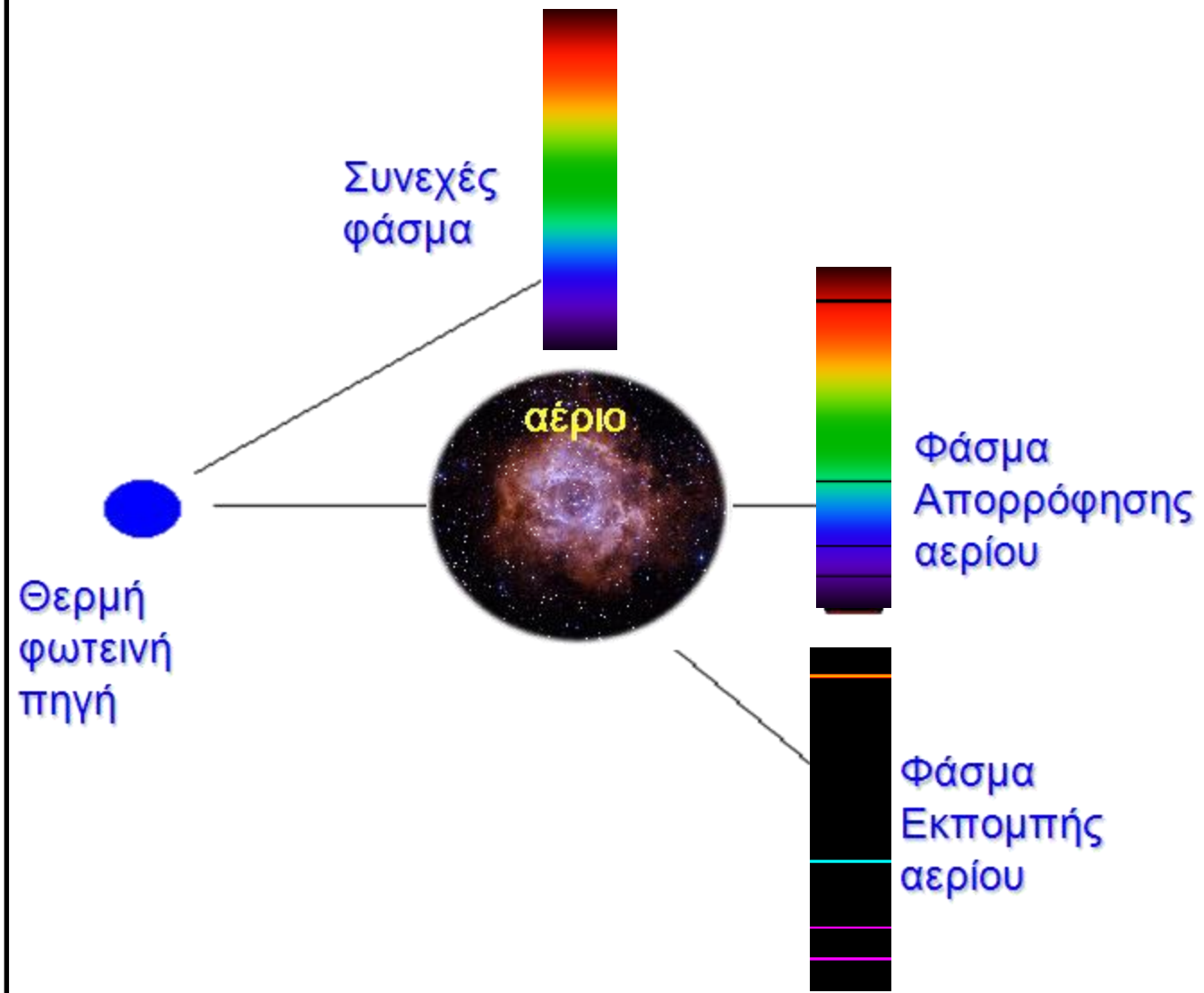


Νεύτων 1668

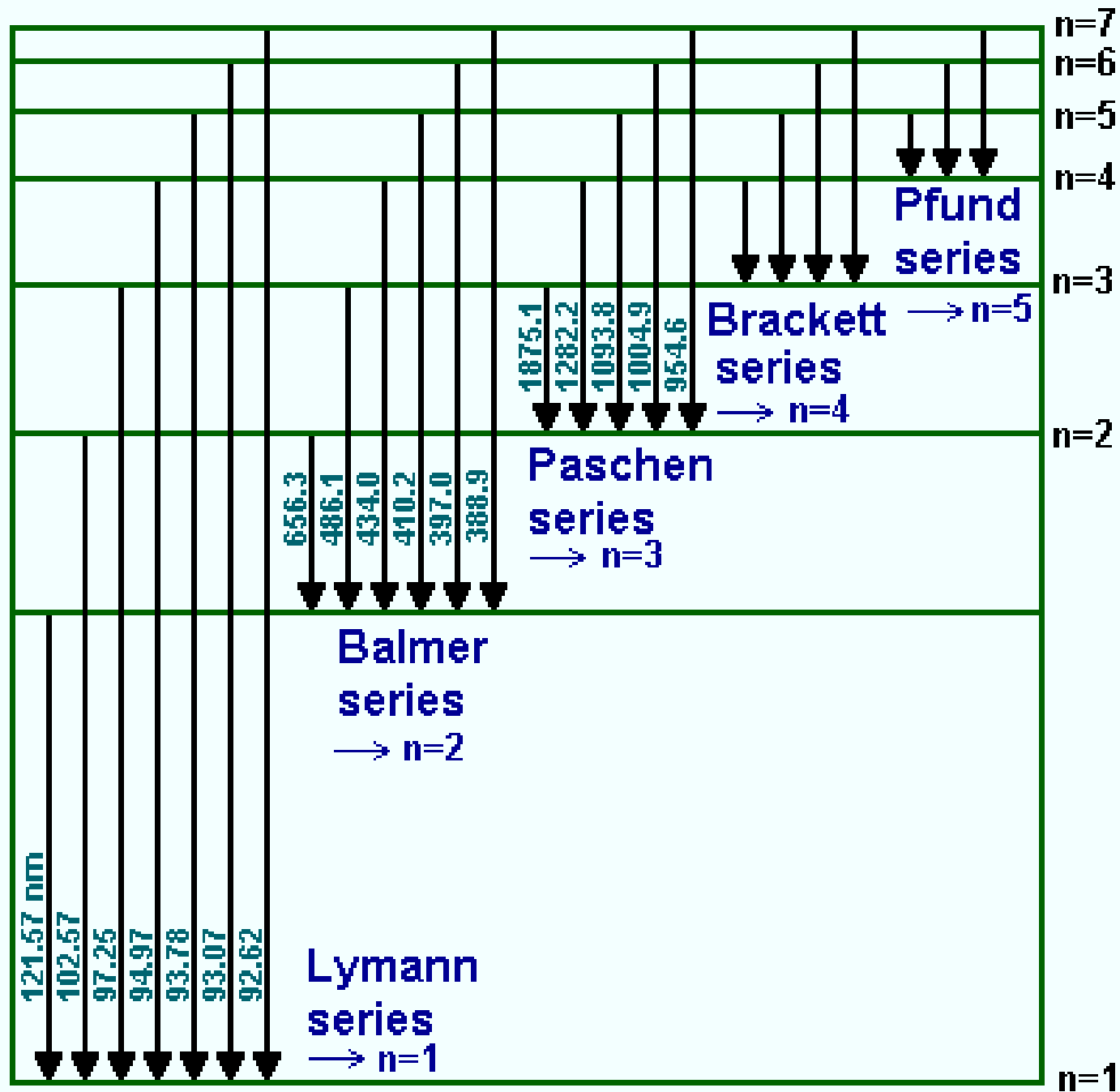
φάσμα δέσμης φωτός με τριγωνικό πρίσμα

ΑΝΑΛΥΣΗ ΦΩΤΟΣ ΜΕ ΠΡΙΣΜΑ ΣΧΗΜΑ Κ. D-Kuru

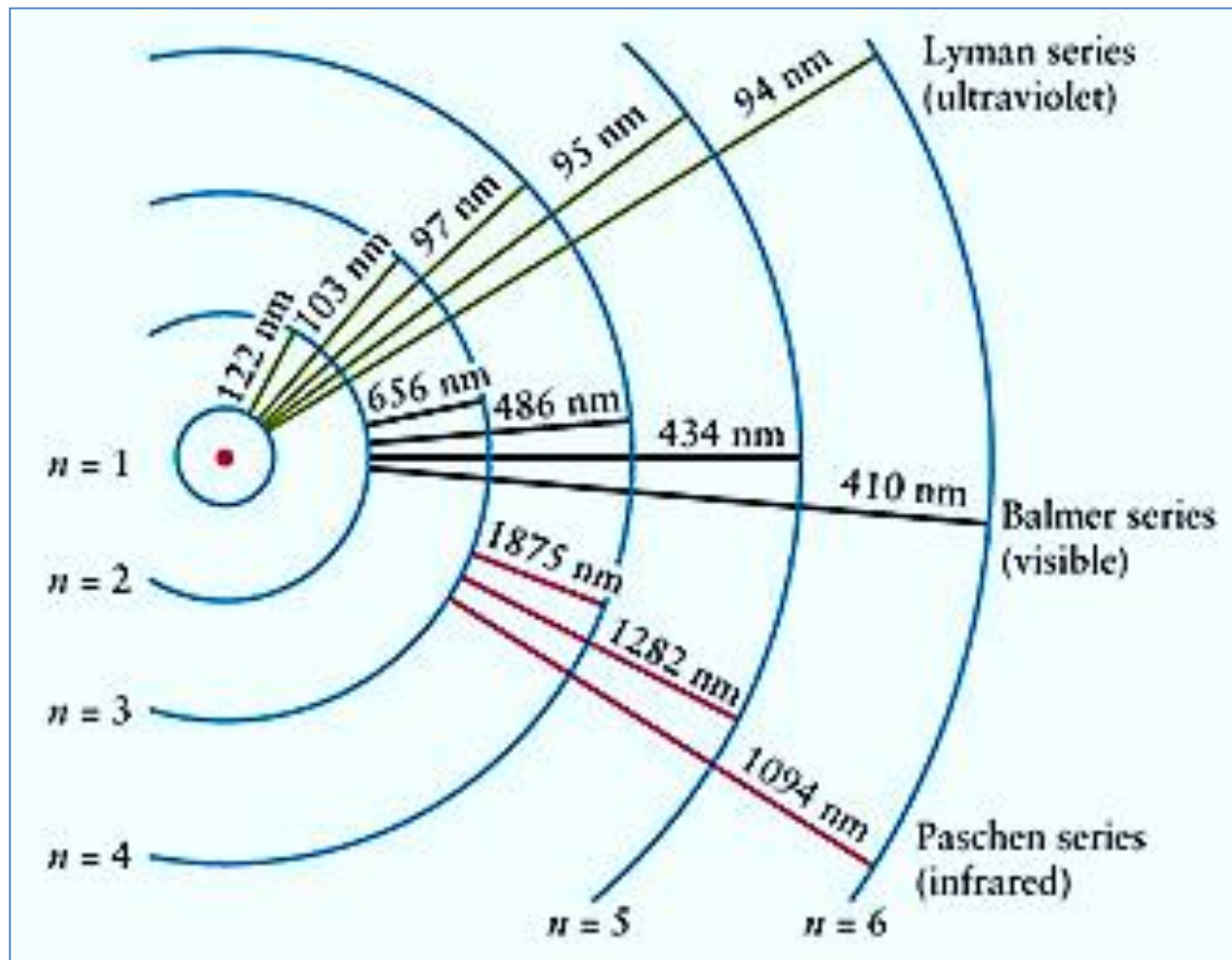
# Φάσματα

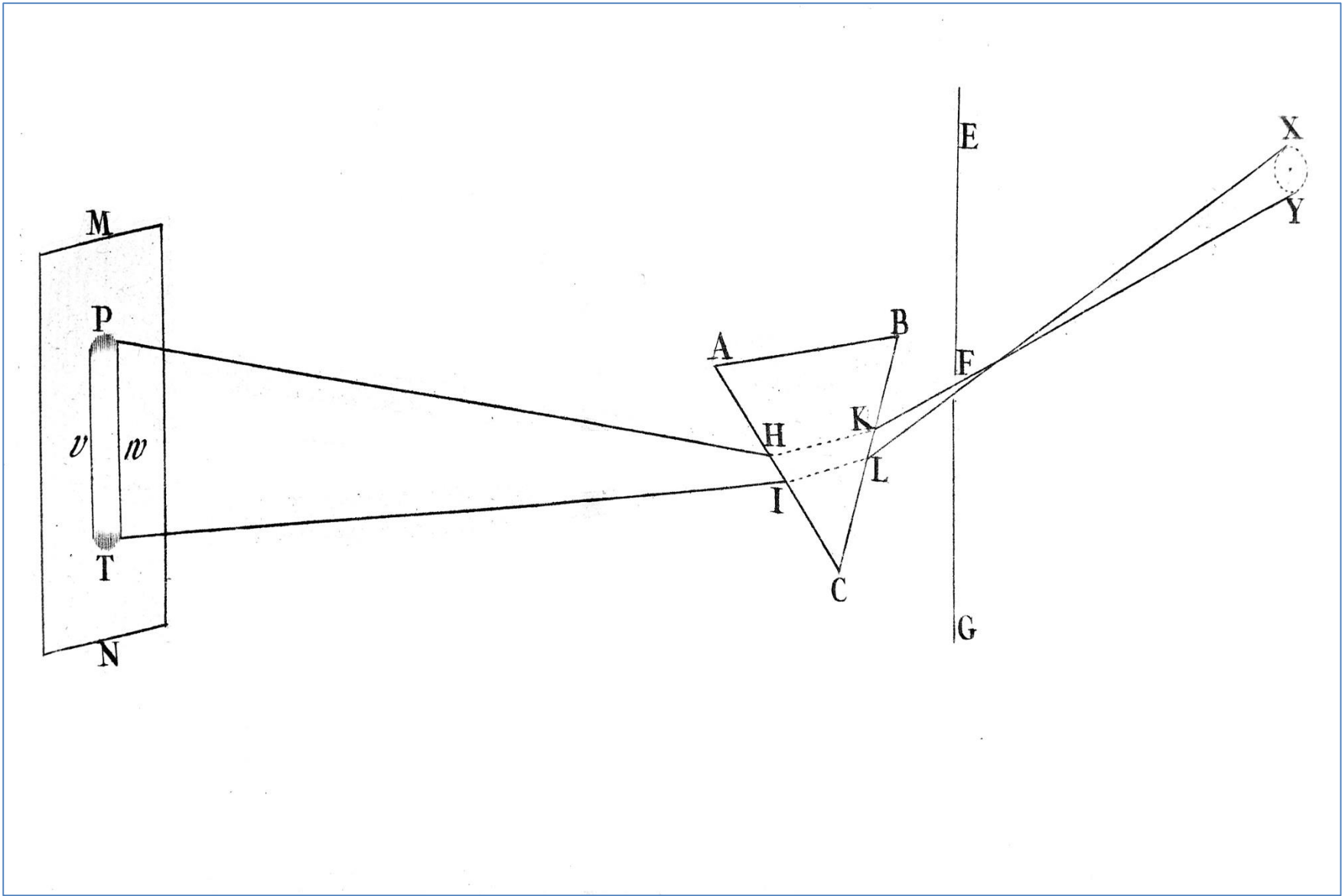


# Φάσμα υδρογόνου

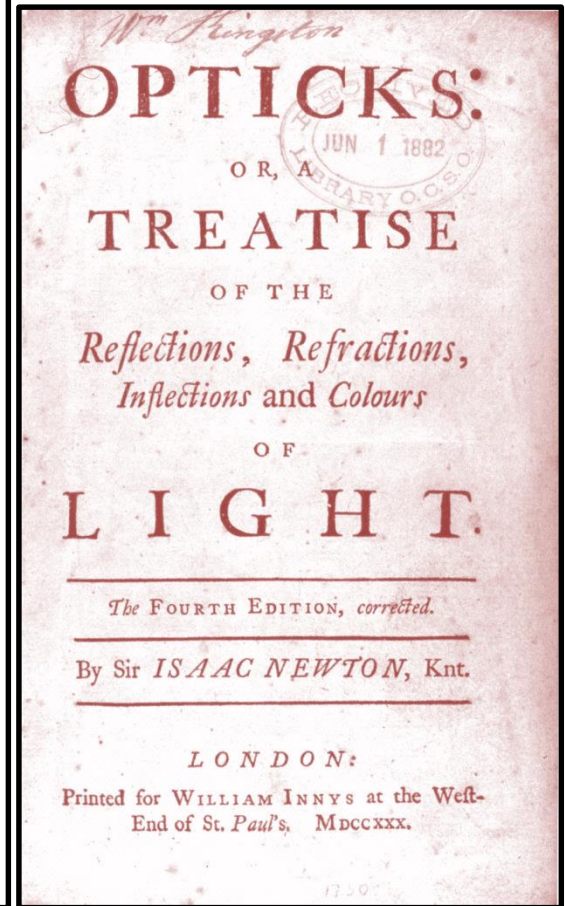
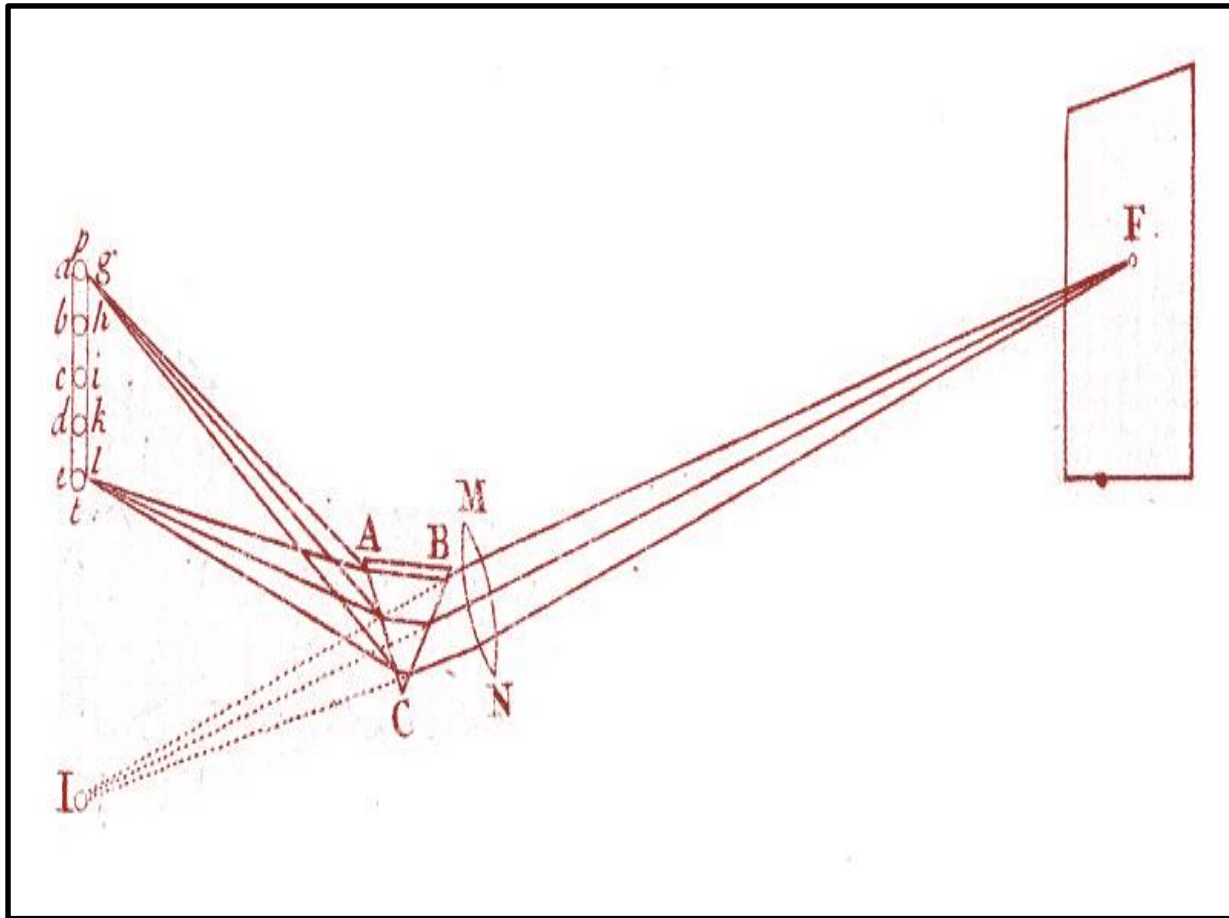


# Φάσμα υδρογόνου





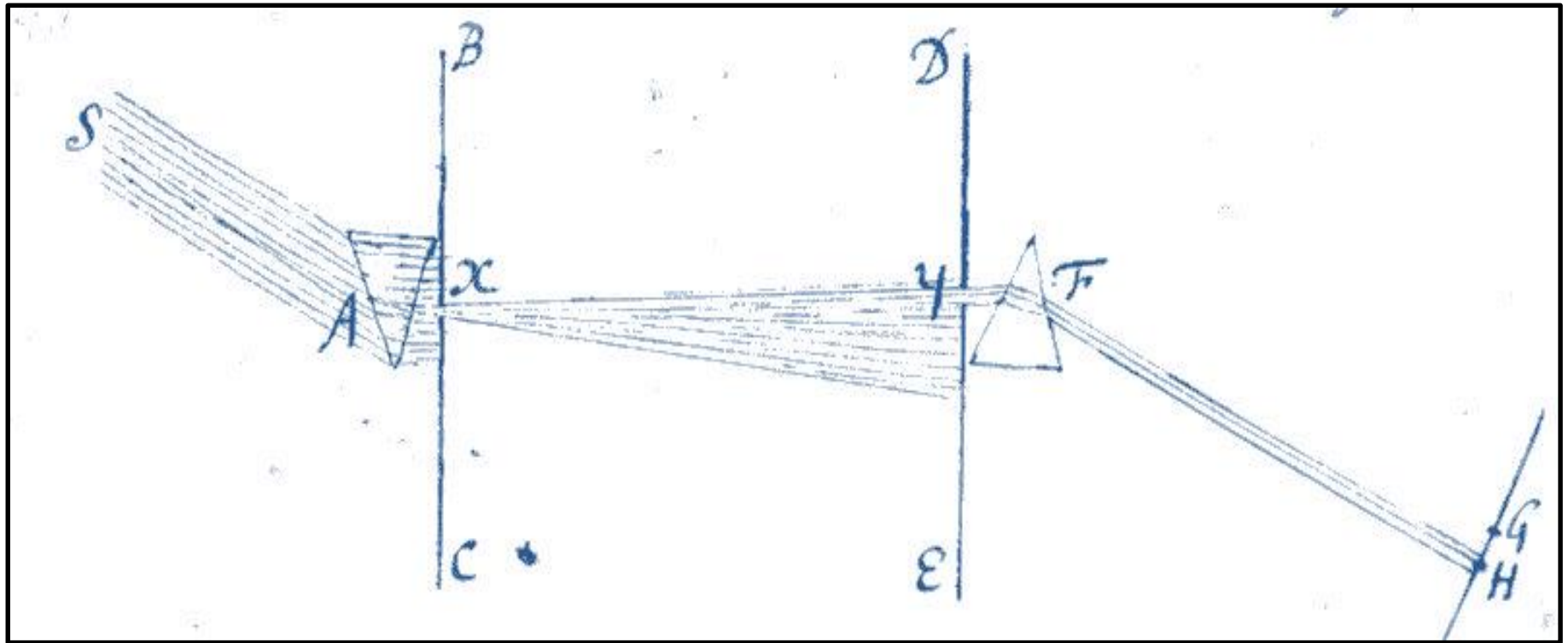
# Isaac Newton, Optics





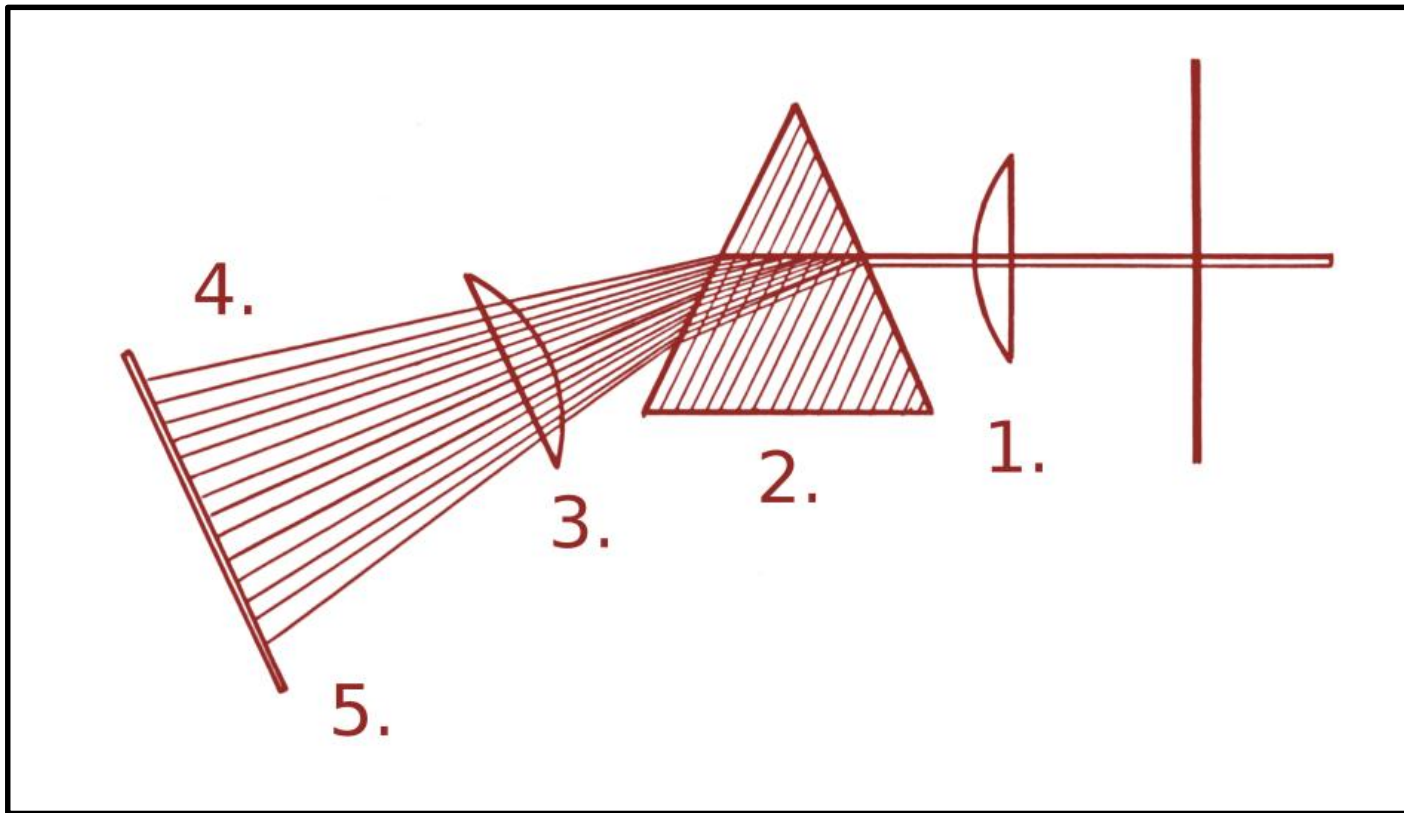
# Πείραμα που έκανε ο Νεύτων

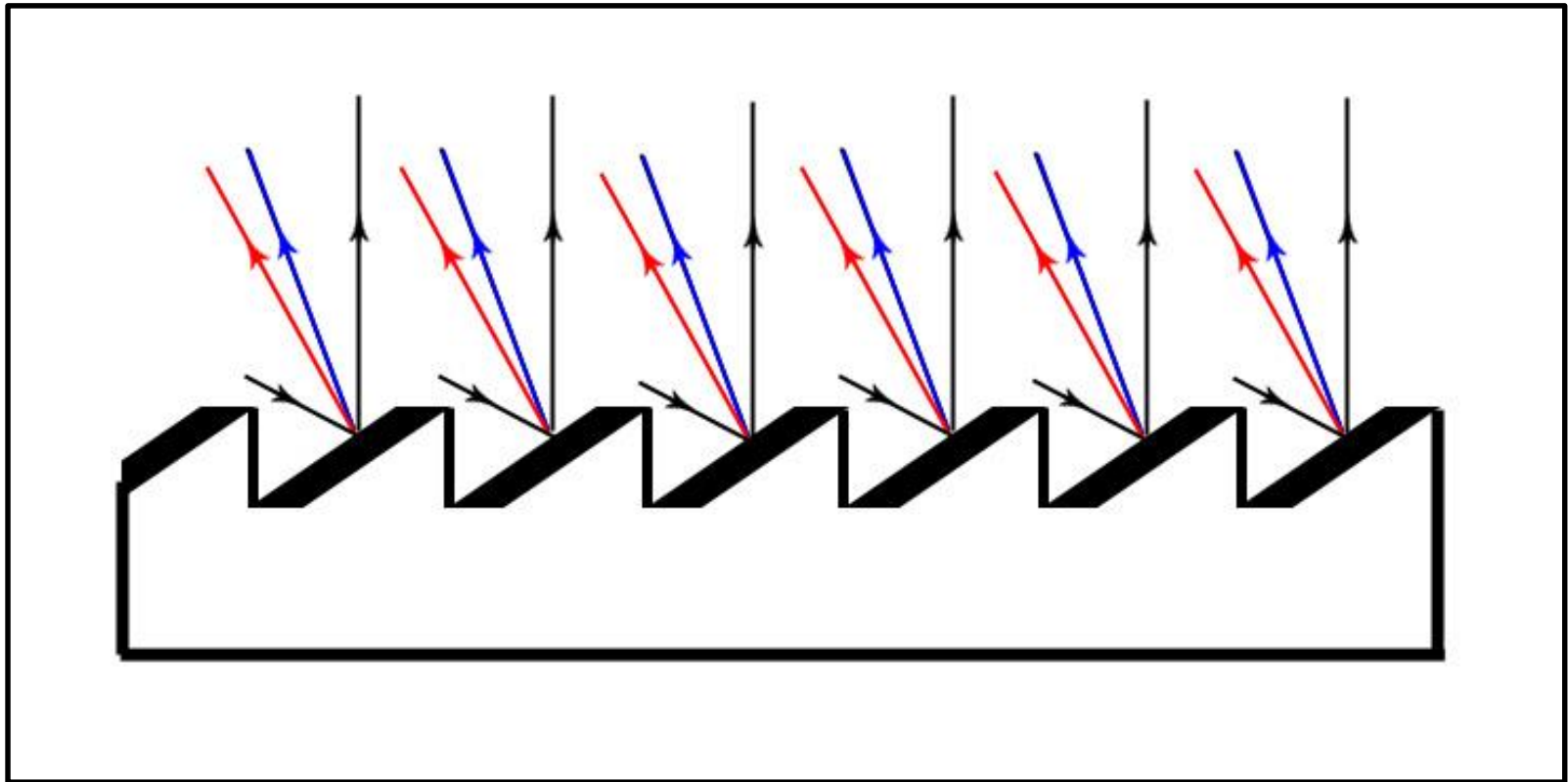
Newton's original letter to the Royal Society,  
1 January 1671





# Ανάλυση φωτός με εστίαση για να έχουμε καλύτερη δέσμη φωτός

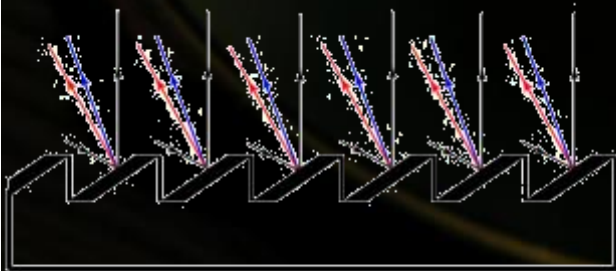




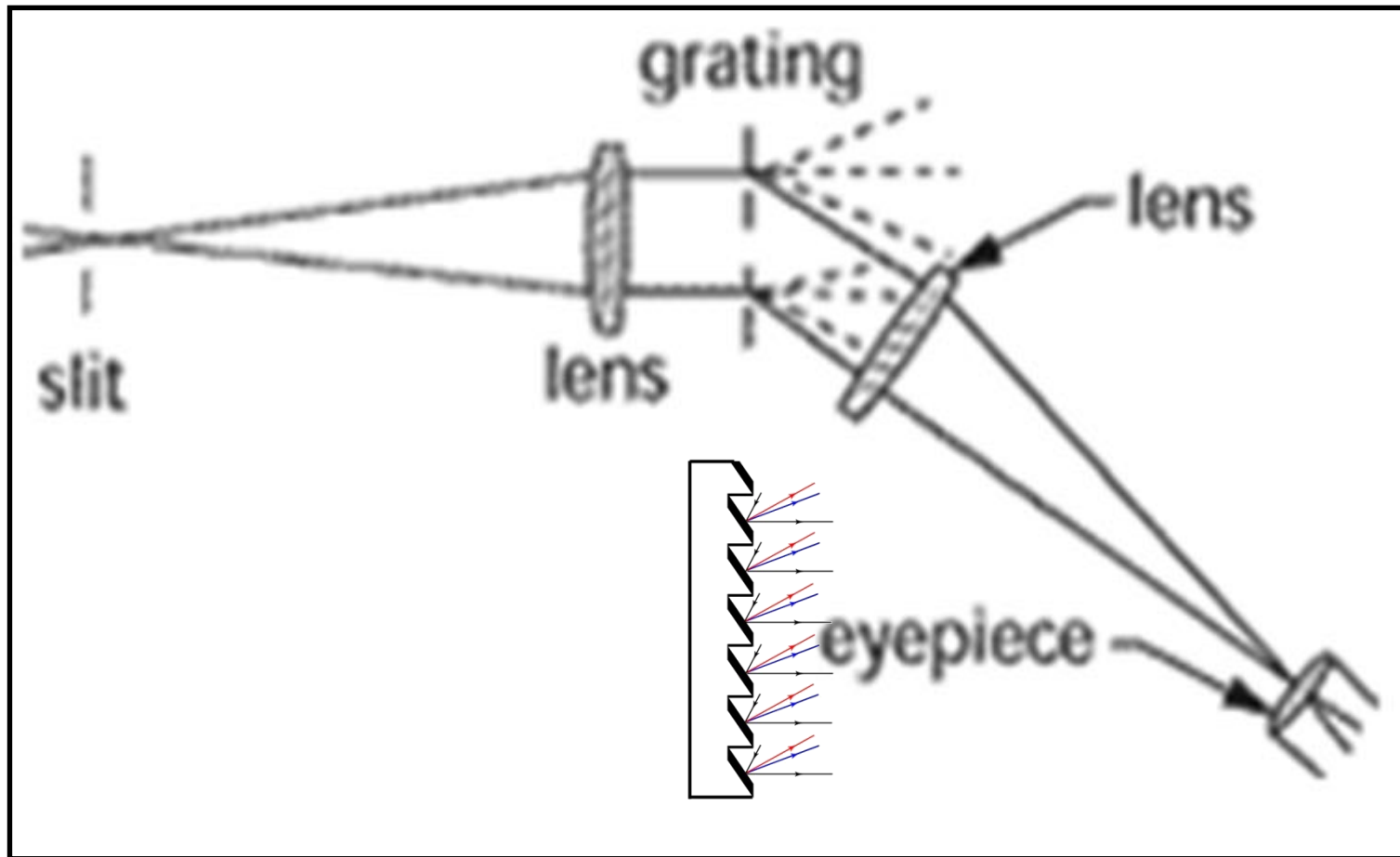
- Incident light reflects at the same angle (black lines), but a small portion of the light is refracted as coloured light (red and blue lines).  
εικόνα του Primefac



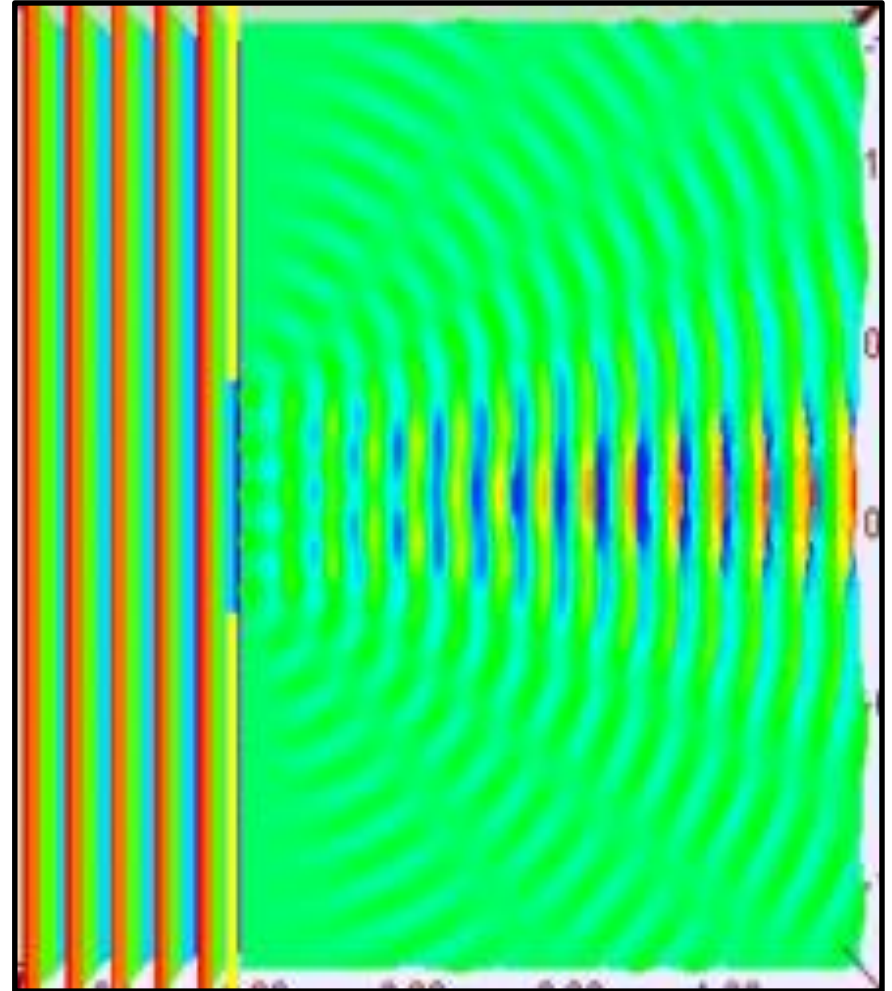
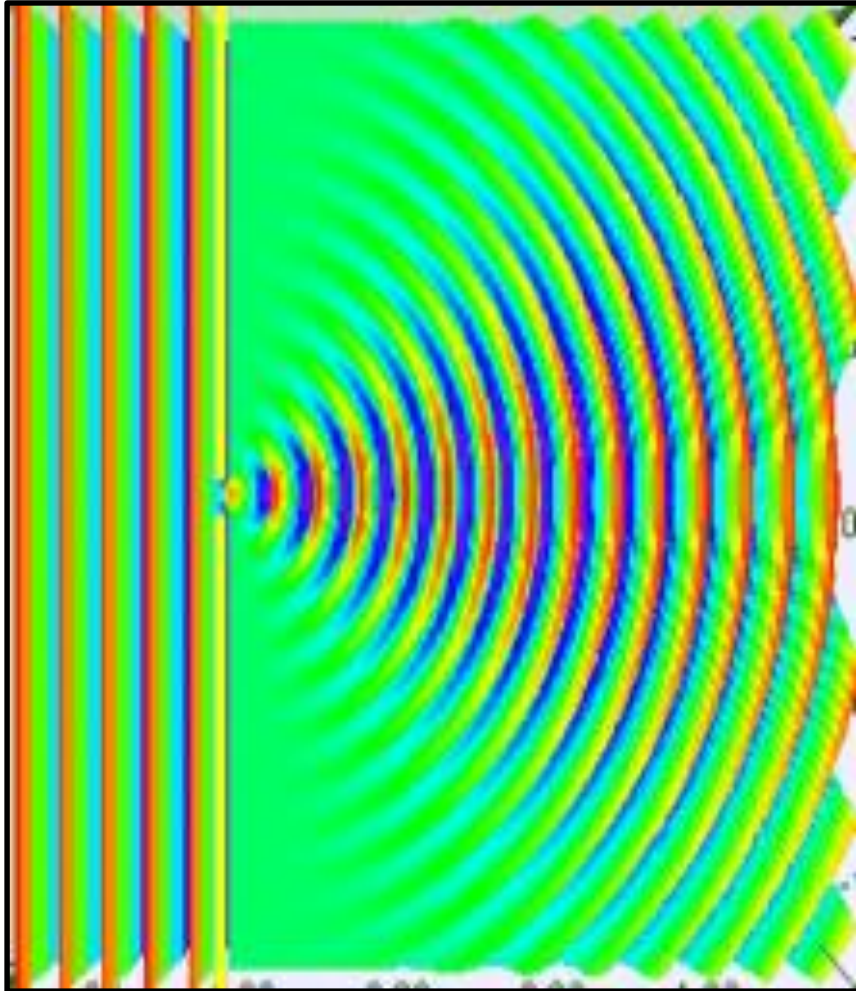
Έχουμε δει πώς αναλύεται το φως από ένα CD  
Παρόμοια συστήματα χρησιμοποιούν οι  
επιστήμονες από τον 19<sup>ο</sup> αιώνα  
Π.χ. Βλ. A. A. Michelson, "[The Echelon  
Spectroscope](#),"  
*Astrophysical Journal* 8: 37-47 (1898)



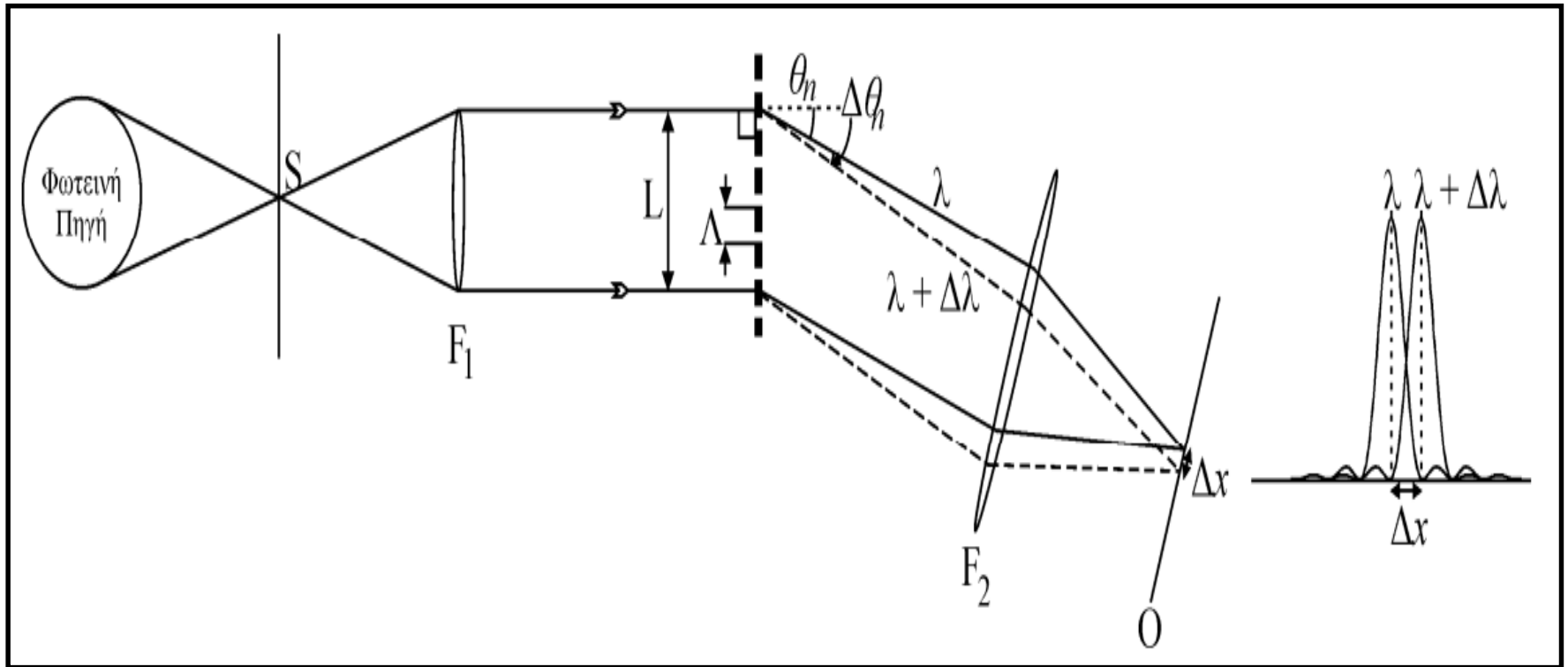
# Φασματοσκοπία με φράγμα περίθλασης



<http://en.wikipedia.org/wiki/Diffraction>

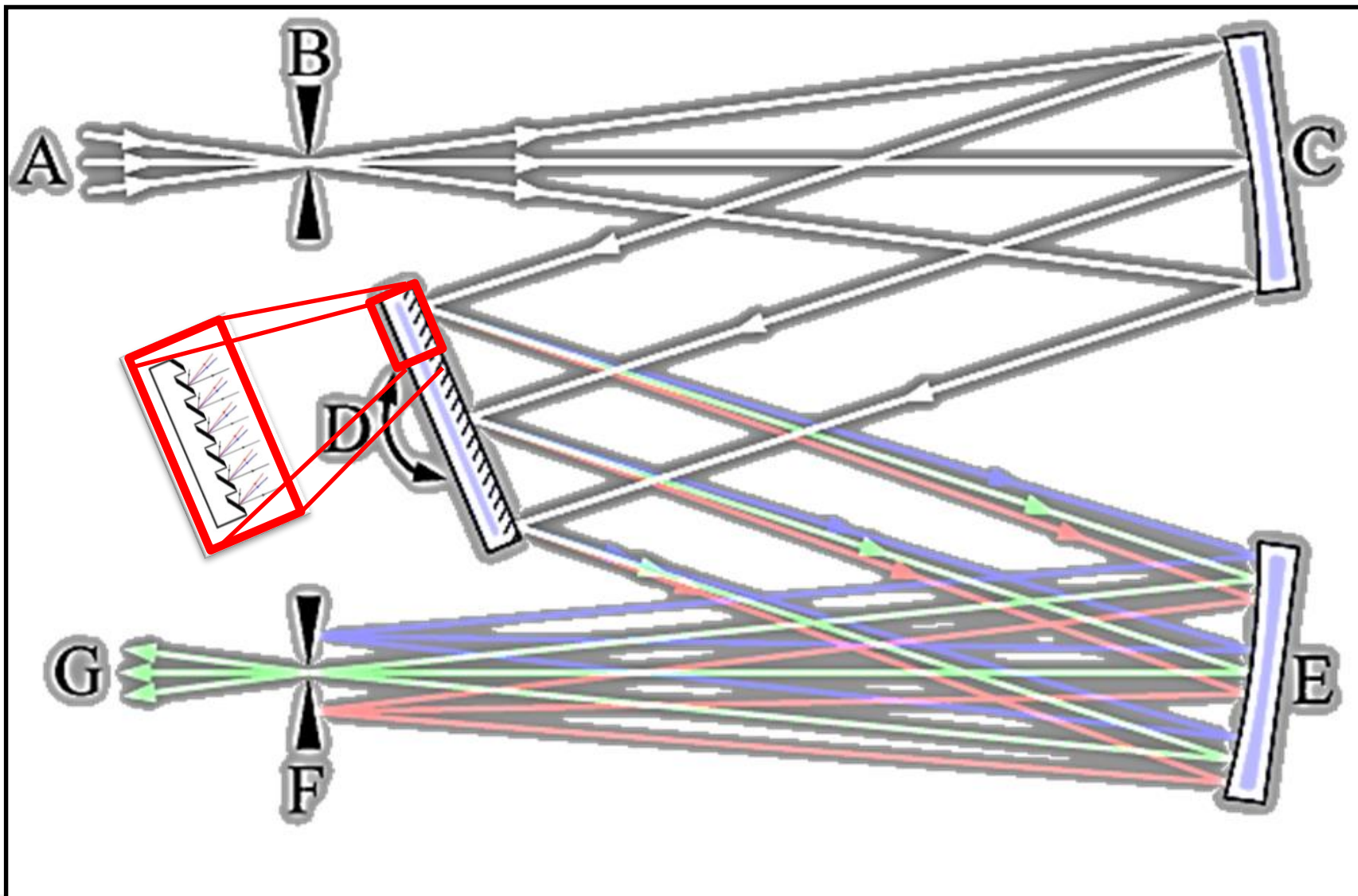


# Φασματοσκοπία με φράγμα περίθλασης



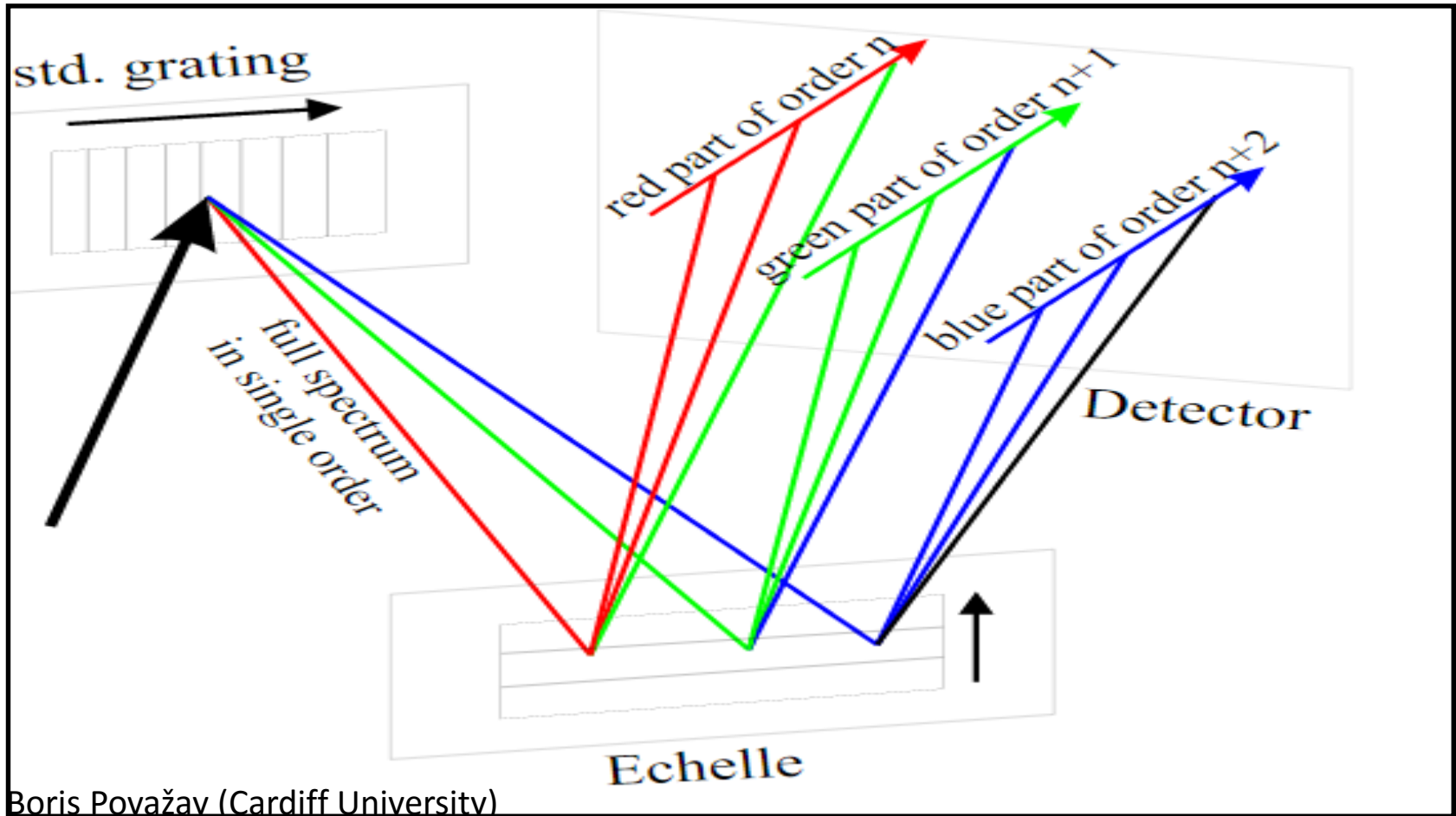


# Μονοχρωμάτωρ Czerny–Turner





# Φασματοσκοπία με κλιμακωτό φράγμα

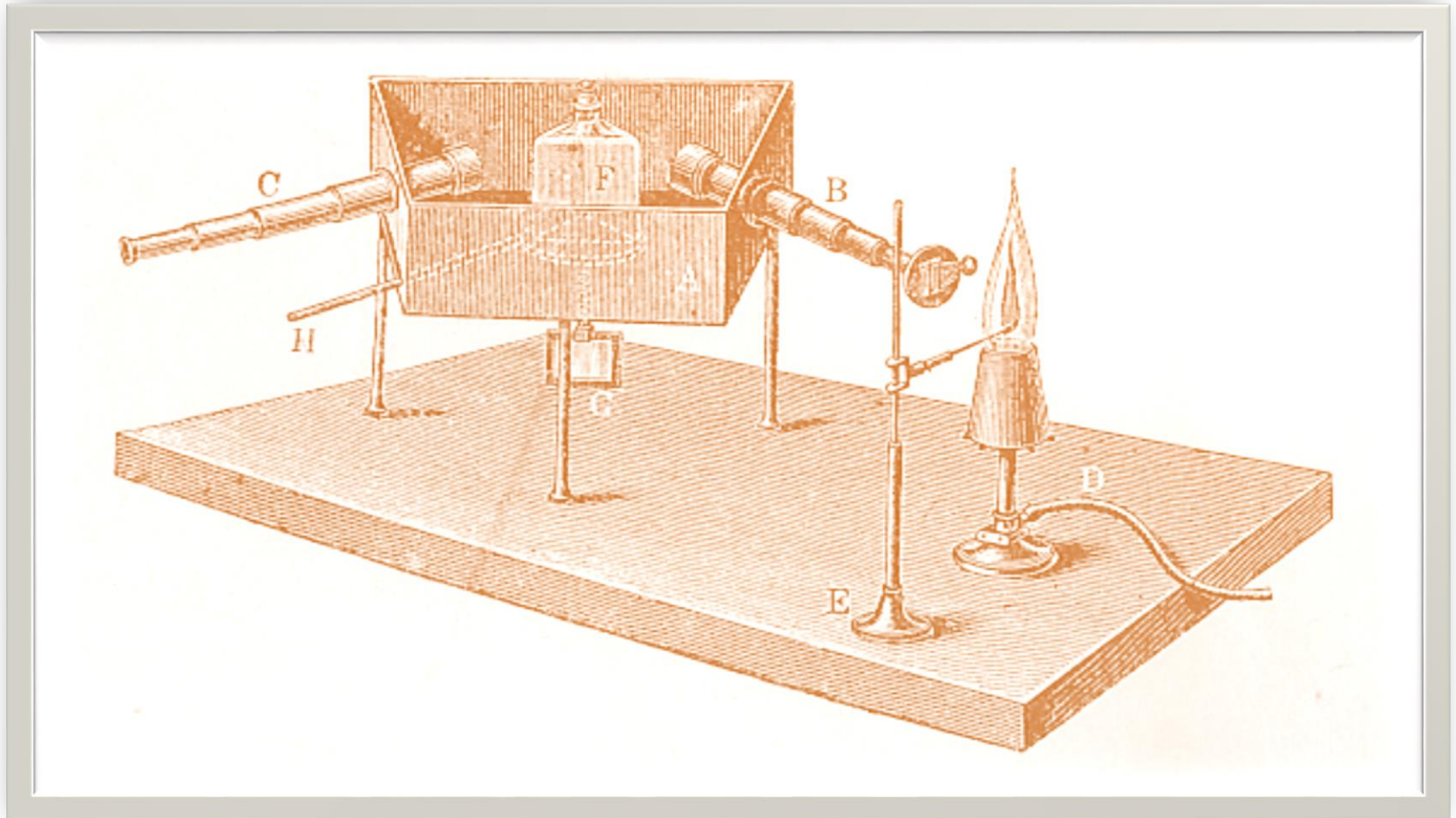


Boris Považay (Cardiff University)

A. A. Michelson, "[The Echelon Spectroscope](#)," *Astrophysical Journal* **8**: 37-47 (1898)



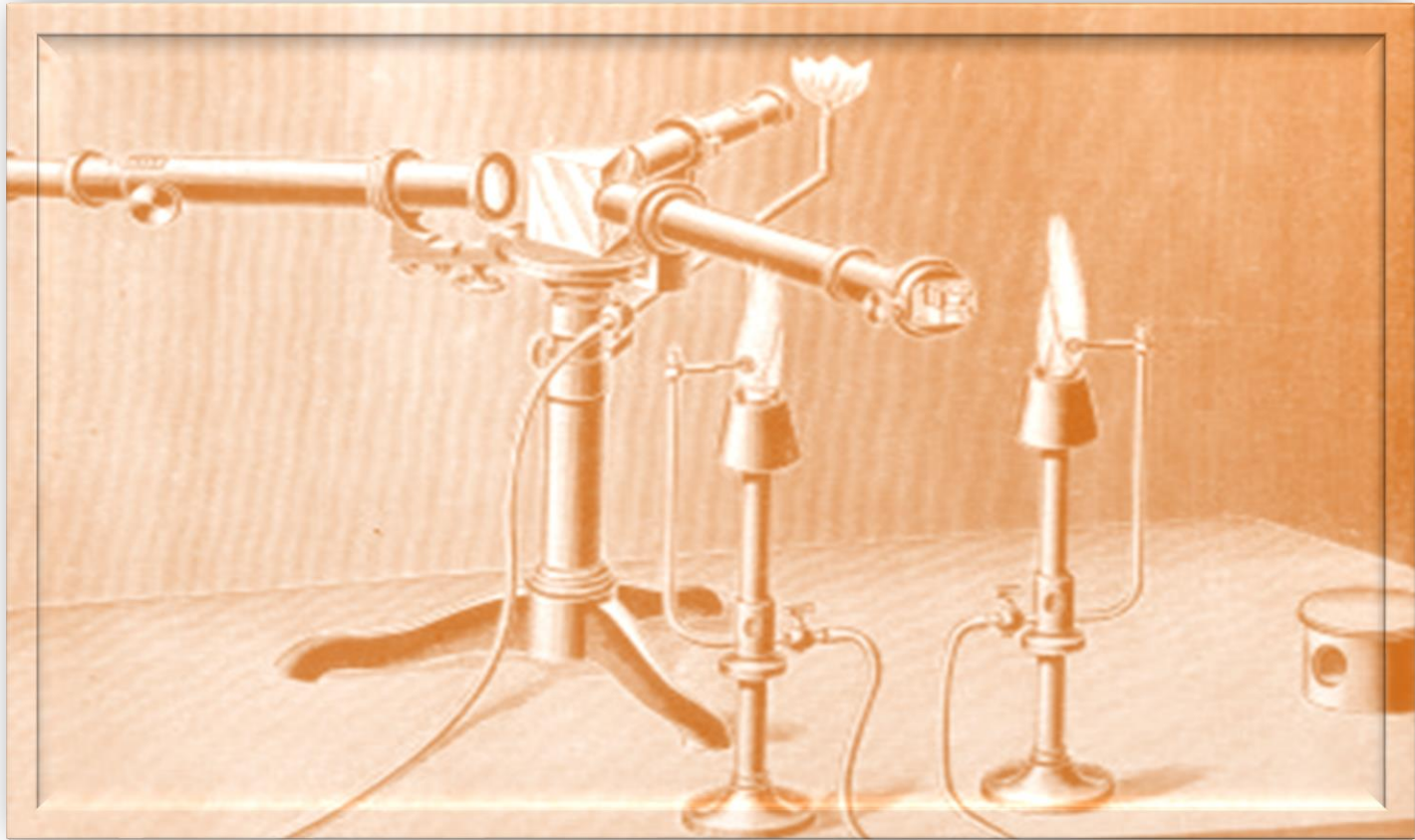
# Φασματοσκόπιο Kirchhoff και Bunsen



Kirchhoff, G.; Bunsen, R. (1901). "Chemical Analysis By Spectral Observations". In Brace, D. B. [\*The Laws of Radiation and Absorption: Memoirs by Prévost, Stewart, Kirchhoff, and Kirchhoff and Bunsen\*](#). New York: American Book Company. pp. 99–125



# Ανίχνευση χημικών στοιχείων από τους Kirchhoff και Bunsen

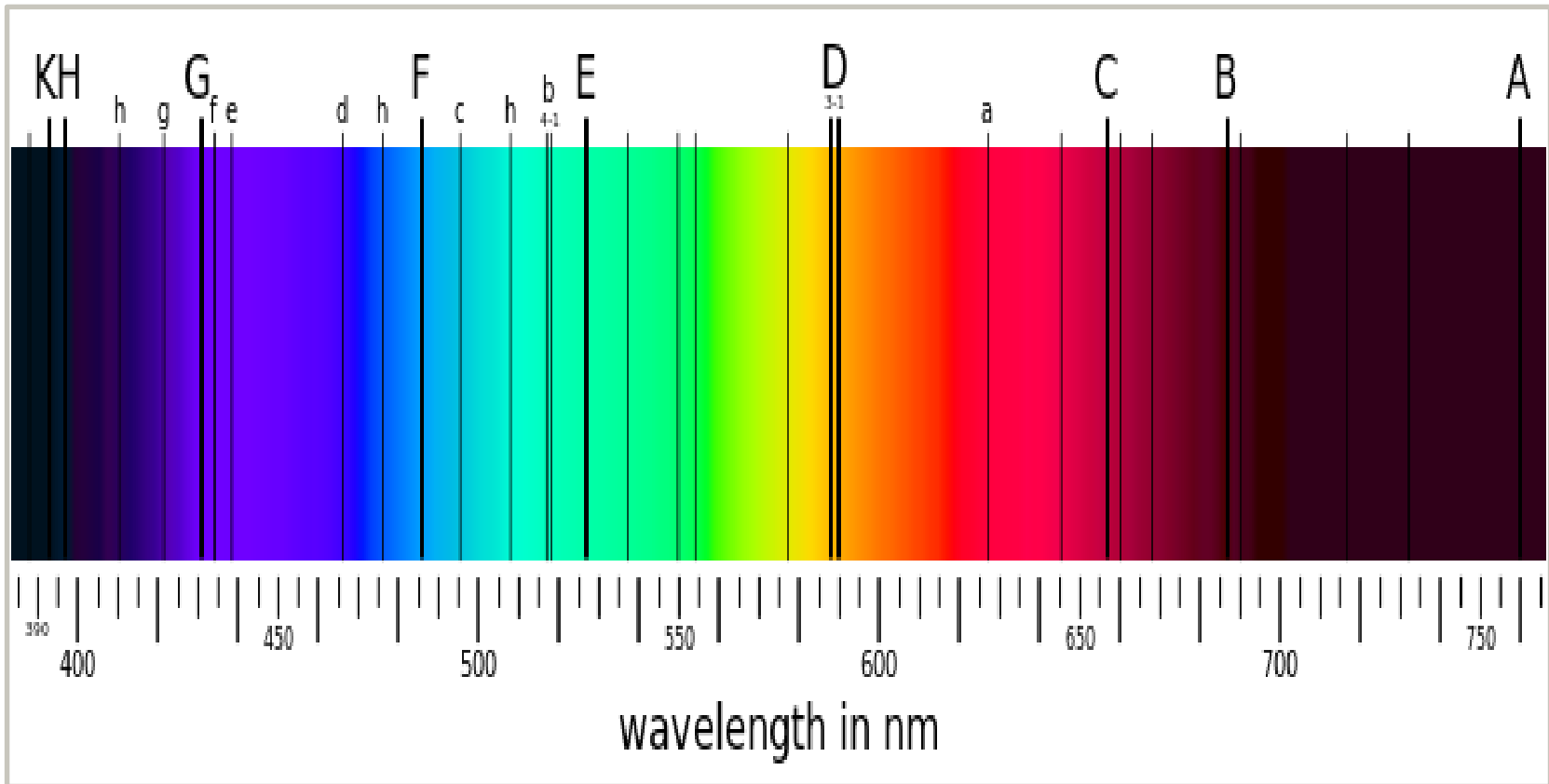


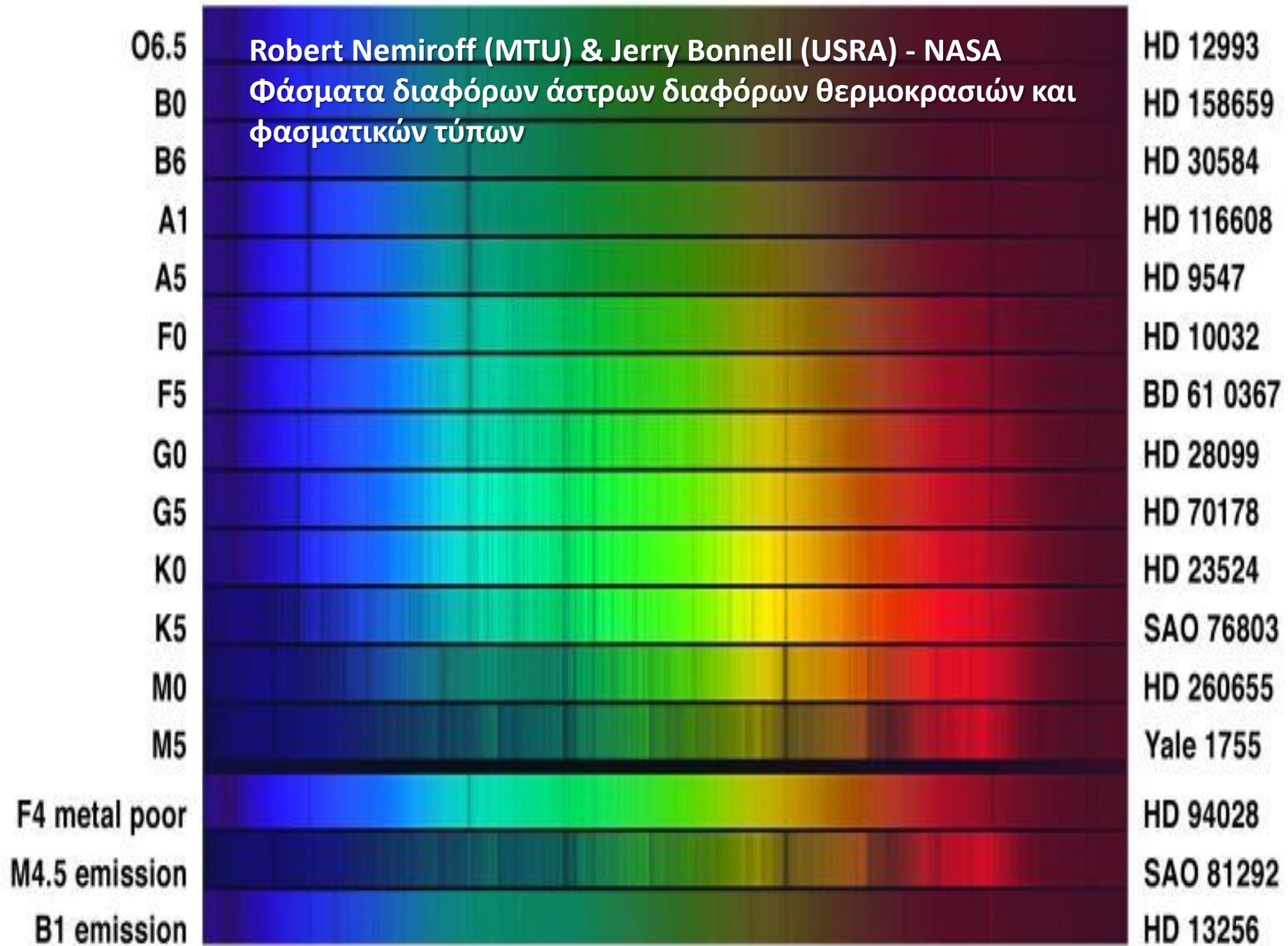




Ο Joseph von Fraunhofer δείχνει την λειτουργία φασματοσκοπίου. Από εικόνα του Richard Wimmer, από το βιβλίο του Richard Wimmer - "Essays in astronomy" - D. Appleton & company, 1900 (LCCN 00004435)

# Φάσμα ηλίου, τύπου Fraunhofer







# Φάσματα άστρων

O5

O7

O8

O9.5

B1.5

B4

A1

A2

A5

A7

F0

F5

F7

F8

G0

G3

G7

K0

M0

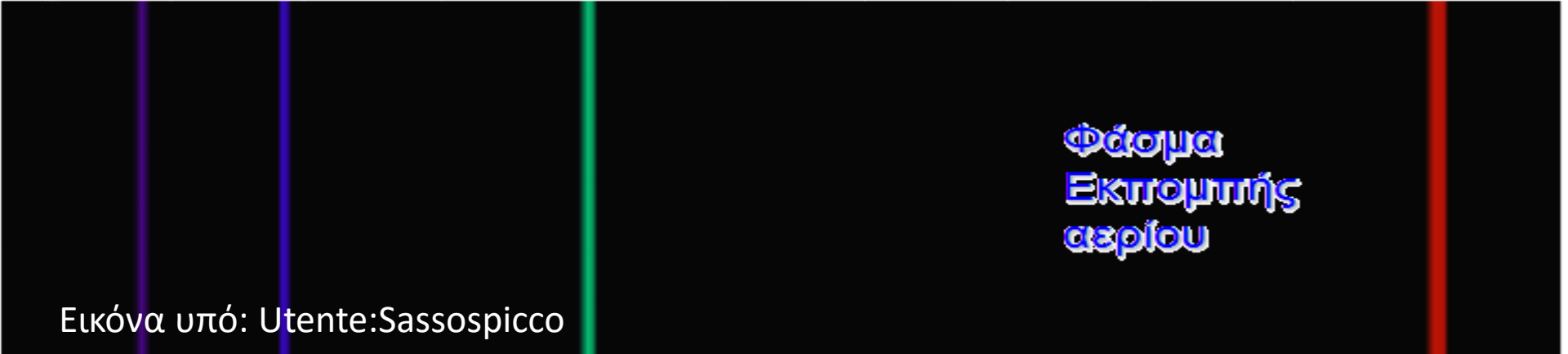




Συνεχές  
φάσμα



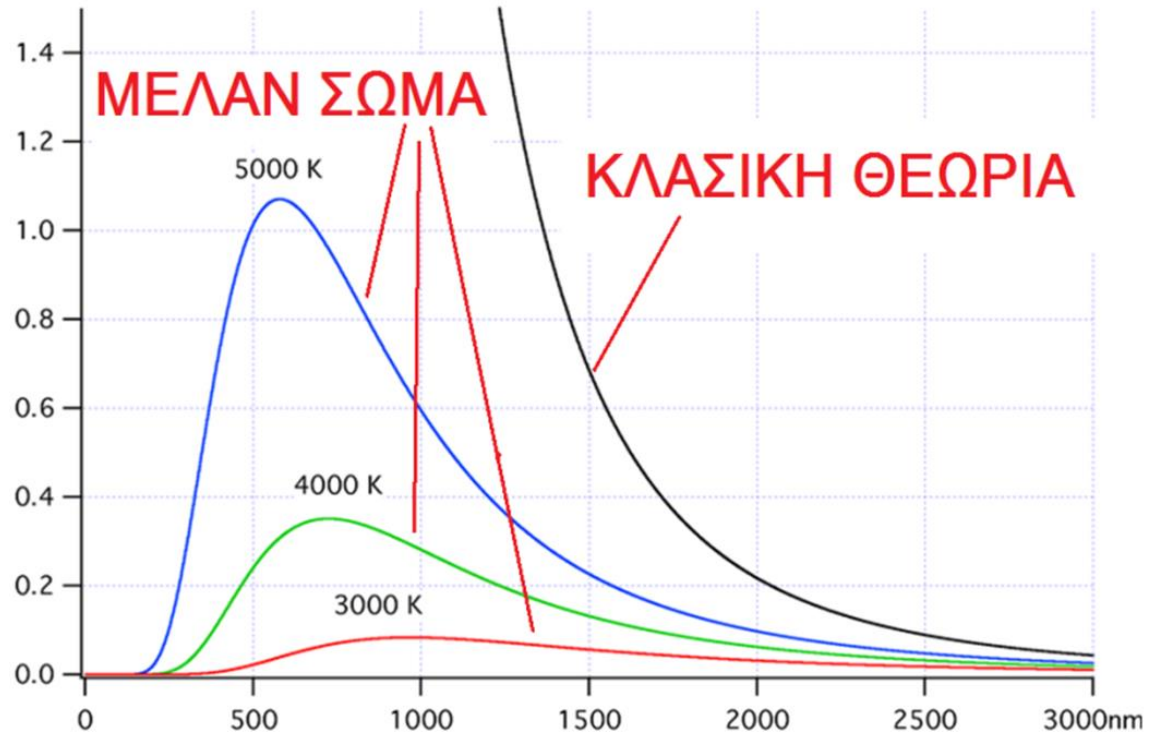
Φάσμα  
Απορρόφησης  
αερίου



Φάσμα  
Εκπομπής  
αερίου

Εικόνα υπό: Utente:Sassospicco

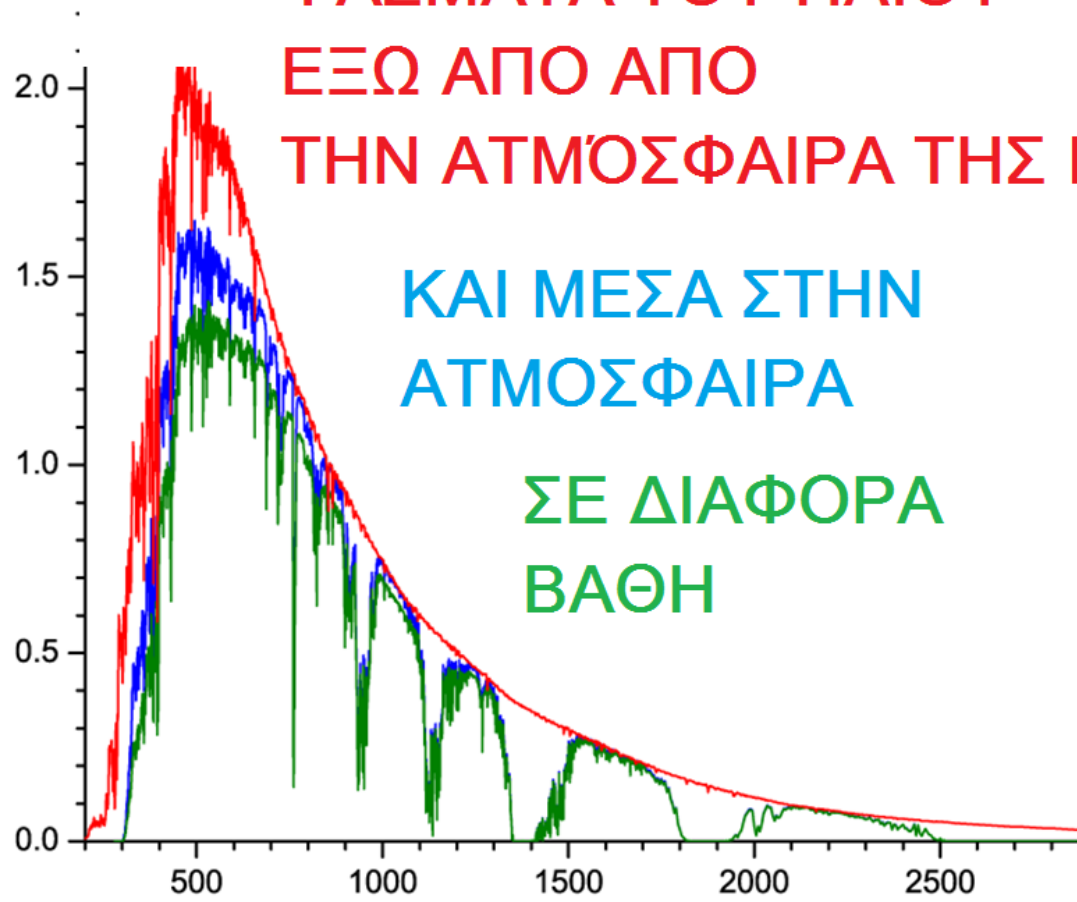
ΕΝΤΑΣΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ



ΜΗΚΟΣ ΚΥΜΑΤΟΣ

ΦΑΣΜΑΤΑ ΤΟΥ ΗΛΙΟΥ  
ΕΞΩ ΑΠΟ ΑΠΟ  
ΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ ΤΗΣ ΓΗΣ

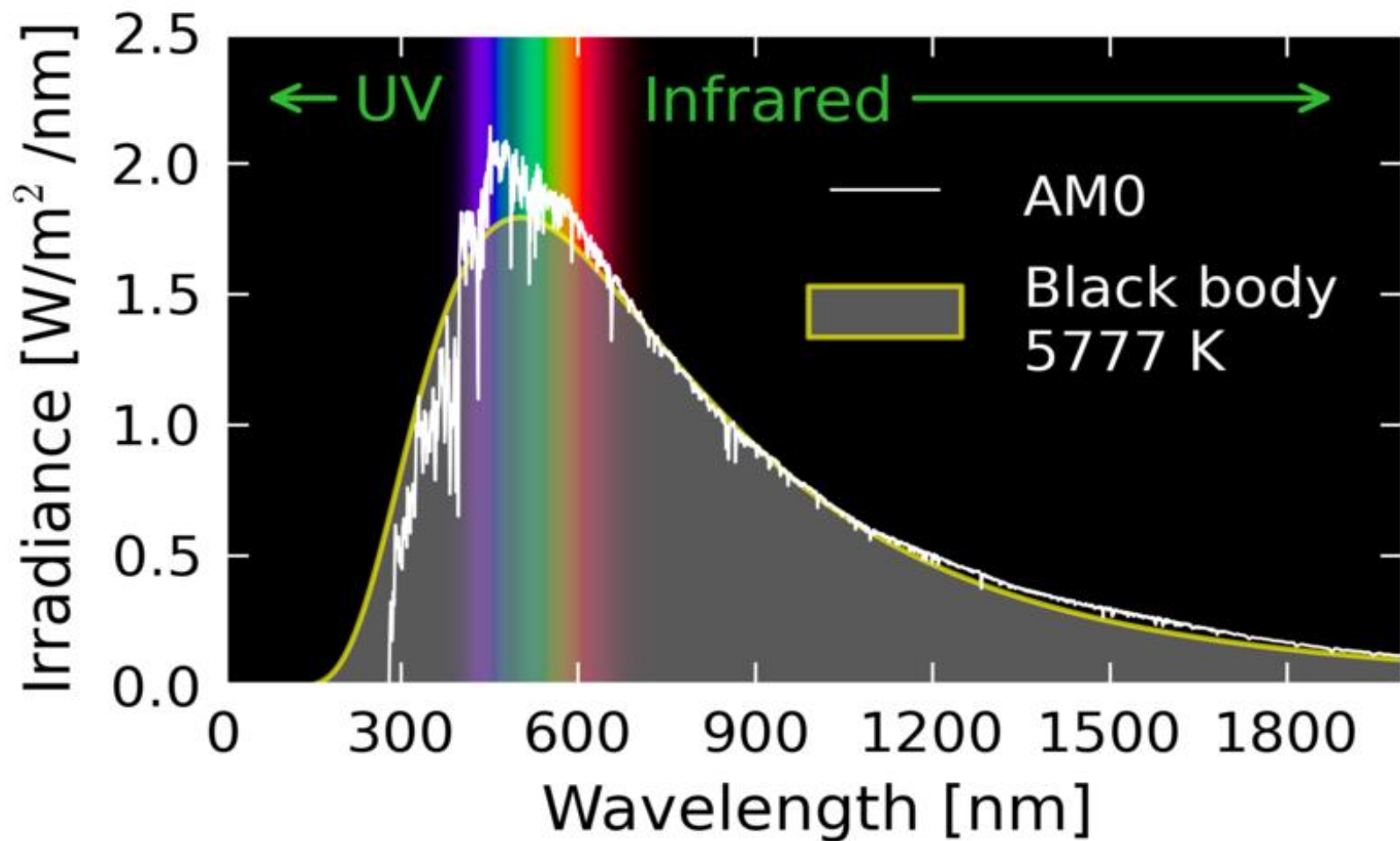
ΕΝΤΑΣΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ



ΚΑΙ ΜΕΣΑ ΣΤΗΝ  
ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ  
ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΑ  
ΒΑΘΗ

ΜΗΚΟΣ ΚΥΜΑΤΟΣ





Solar AM0 (Air Mass Zero) spectrum (Chris A. Gueymard 2002) as included in SMARTS 2.95, together with a blackbody spectrum for 5777 kelvin and solid angle  $2.16e-5 \cdot \pi$  steradian for the source (the solar disk). The visible region of the electromagnetic spectrum is shown using the CIE visible spectrum as implemented in ColorPy by Mark Kness (2008)



He

Ne

Ar

Kr

Xe



# Φάσματα ευγενών αερίων



H<sub>2</sub>



D<sub>2</sub>



N<sub>2</sub>



O<sub>2</sub>



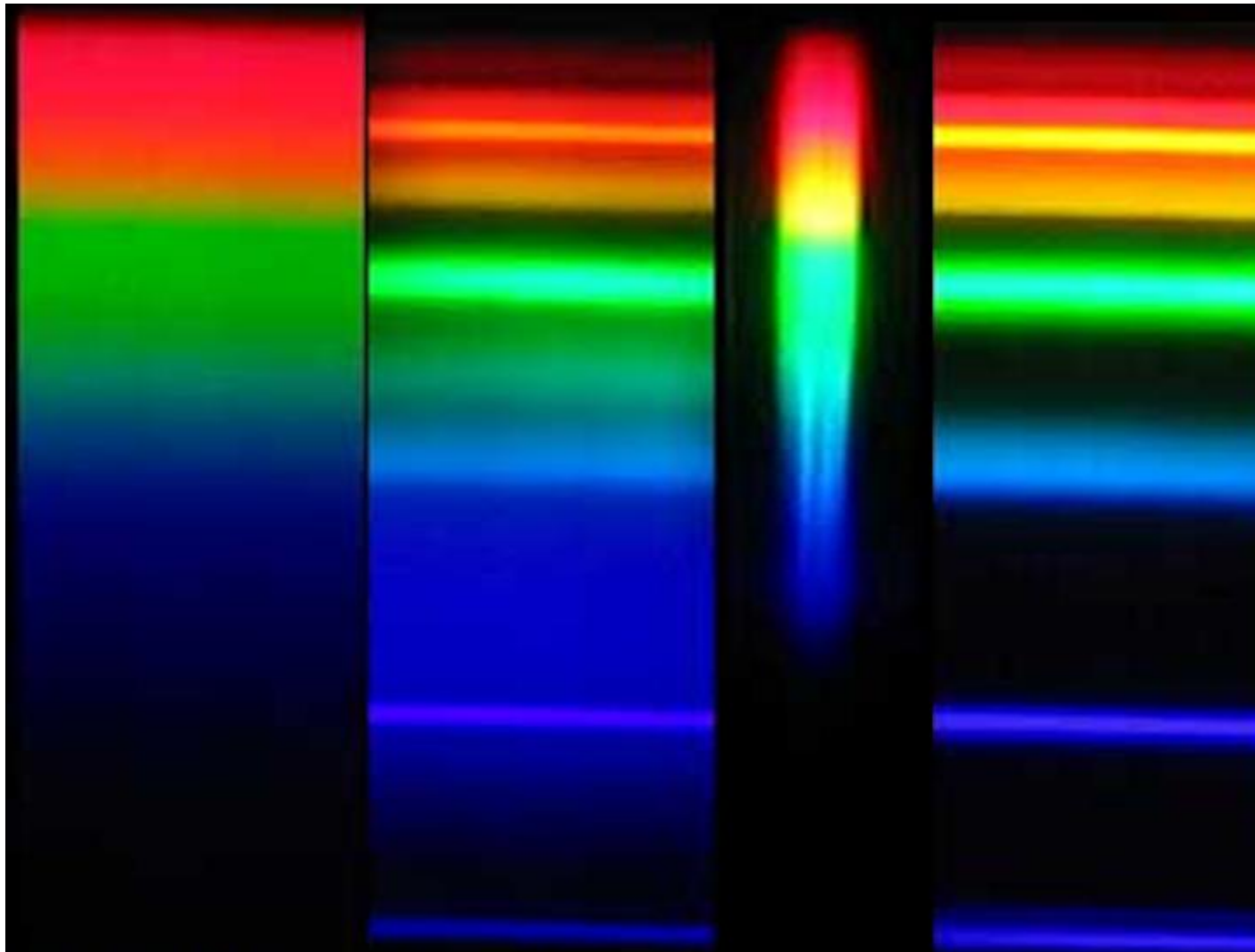
Hg



## Φάσματα αερίων και υδραργύρου







# Φάσματα διαφόρων λαμπτήρων



Fig. 1. (1<sup>st</sup> type: Sirius, Vega, Altair, Regulus, etc.)

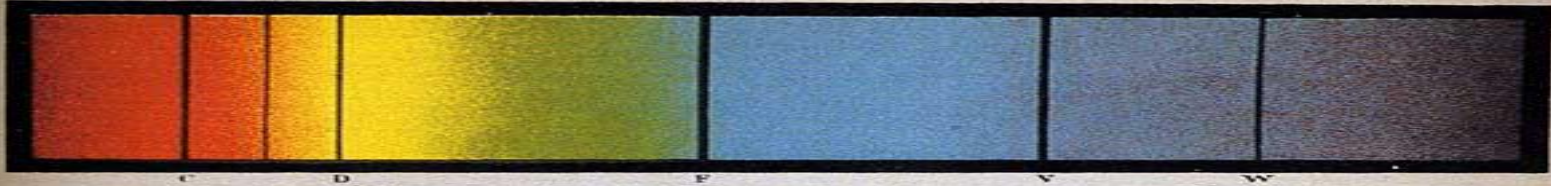


Fig. 2. (2<sup>nd</sup> type: Sun, Pollux, Arcturus, Procyon, etc.)



Fig. 3. (3<sup>rd</sup> type:  $\alpha$  Hercules,  $\beta$  Pegasus,  $\alpha$  of Orion, Antares, etc.)

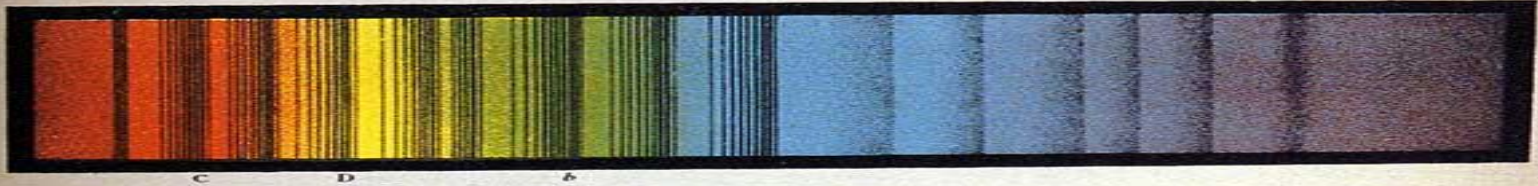
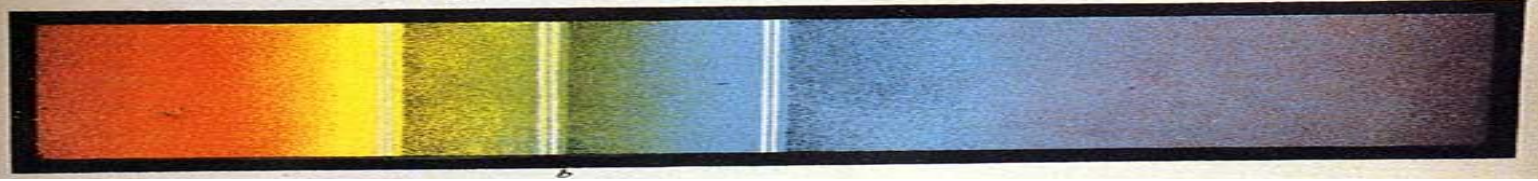
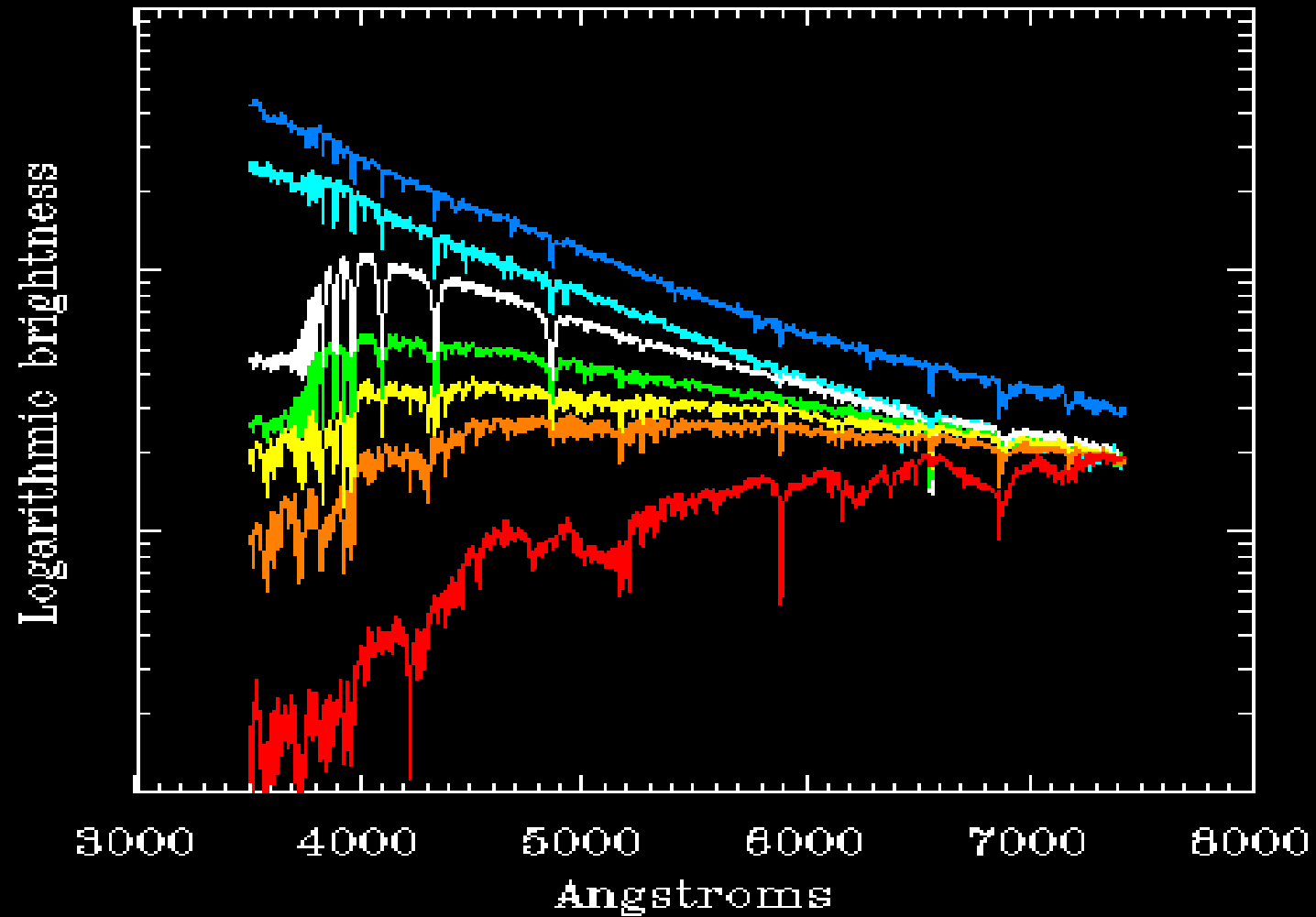


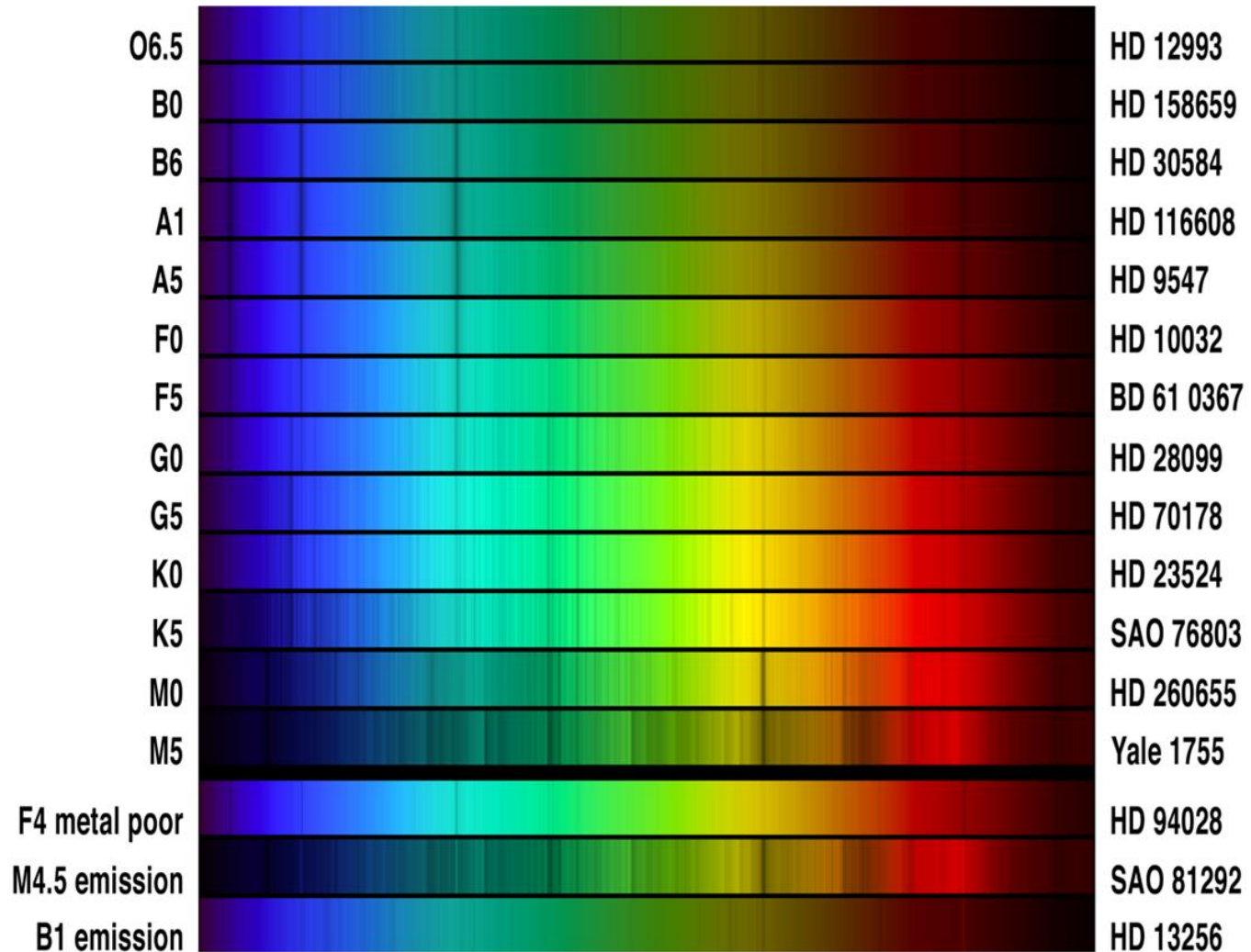
Fig. 4. (4<sup>th</sup> type: 15<sup>c</sup> of Schjellerup.)



Secchi's four classes of stellar spectra, from a colored lithograph in a book published around 1870. This shows how someone looking through a spectrograph on a large telescope would see the spectrum from the brightest stars. The spectra would be much fainter for most stars, making for difficult observing. The principal spectral lines are identified underneath by letters that Fraunhofer assigned. 1870

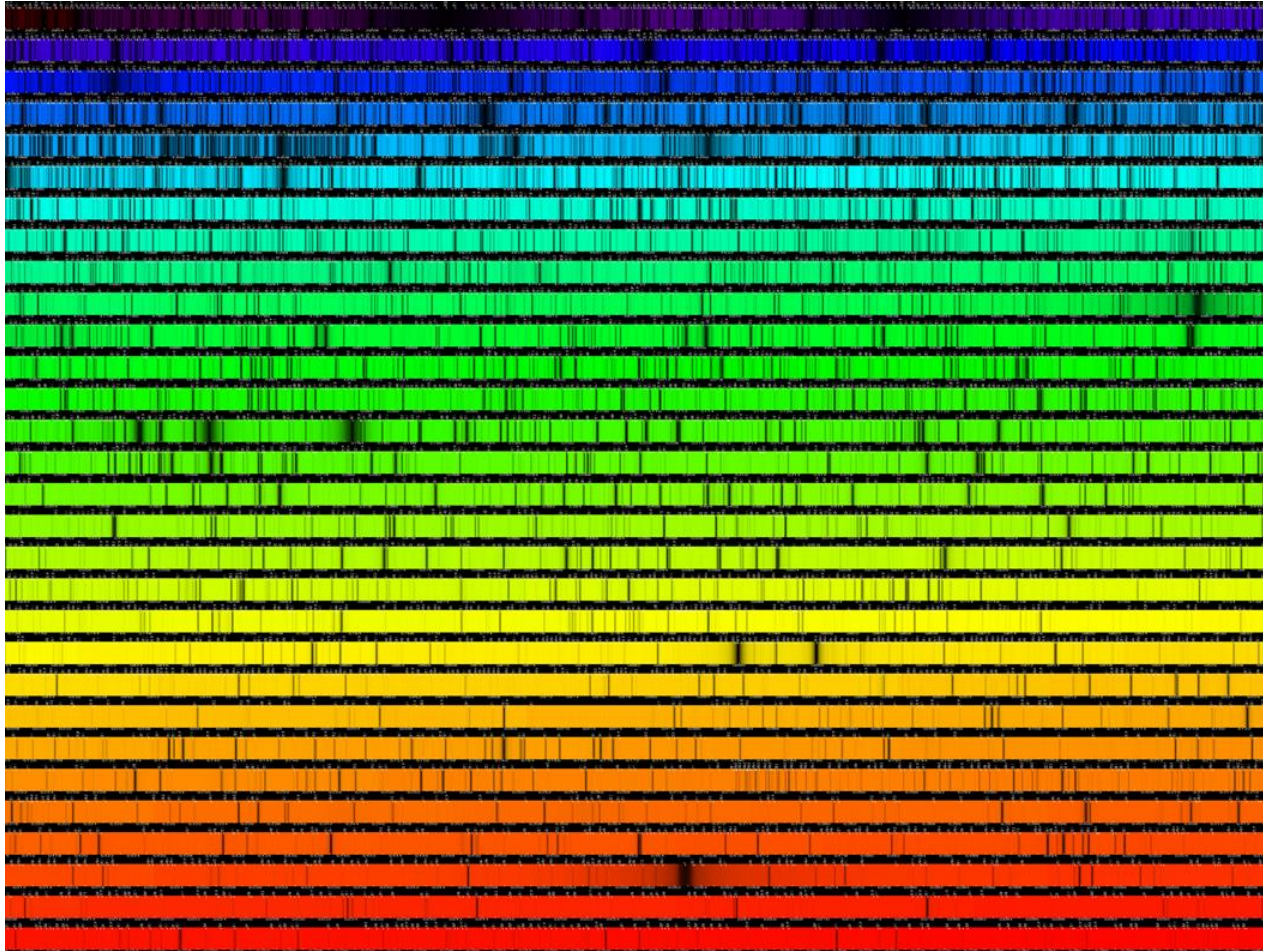
# Φάσματα διαφόρων αστέρων





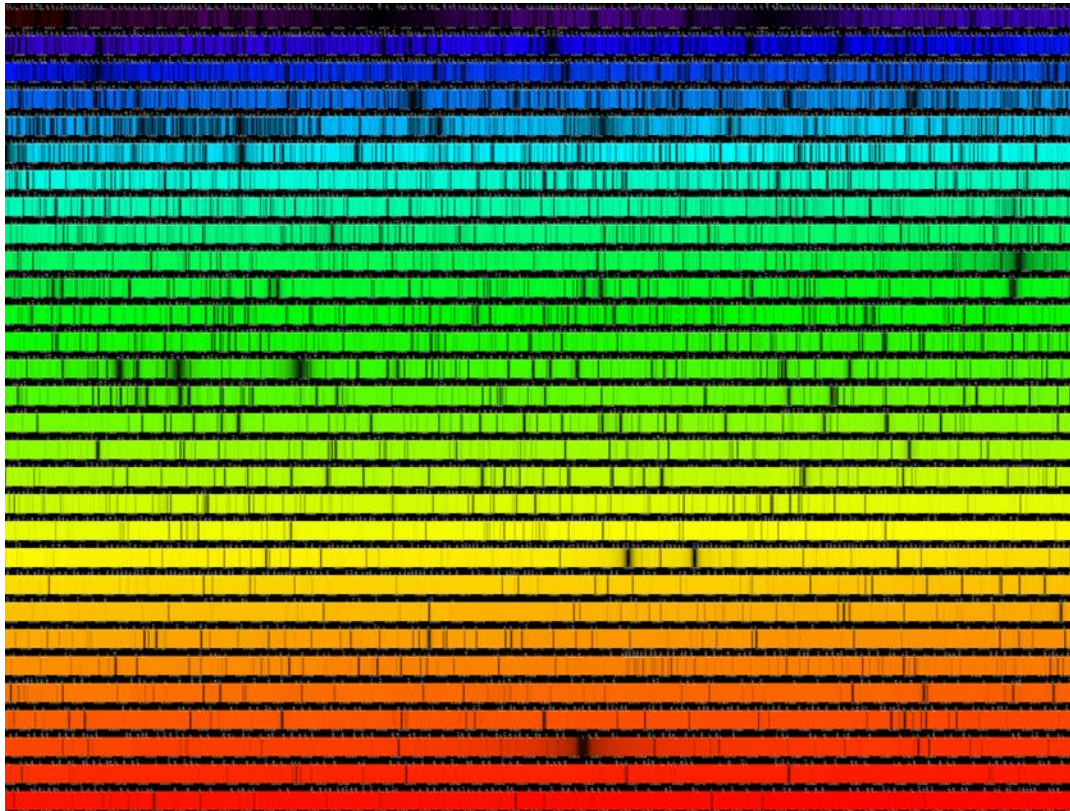


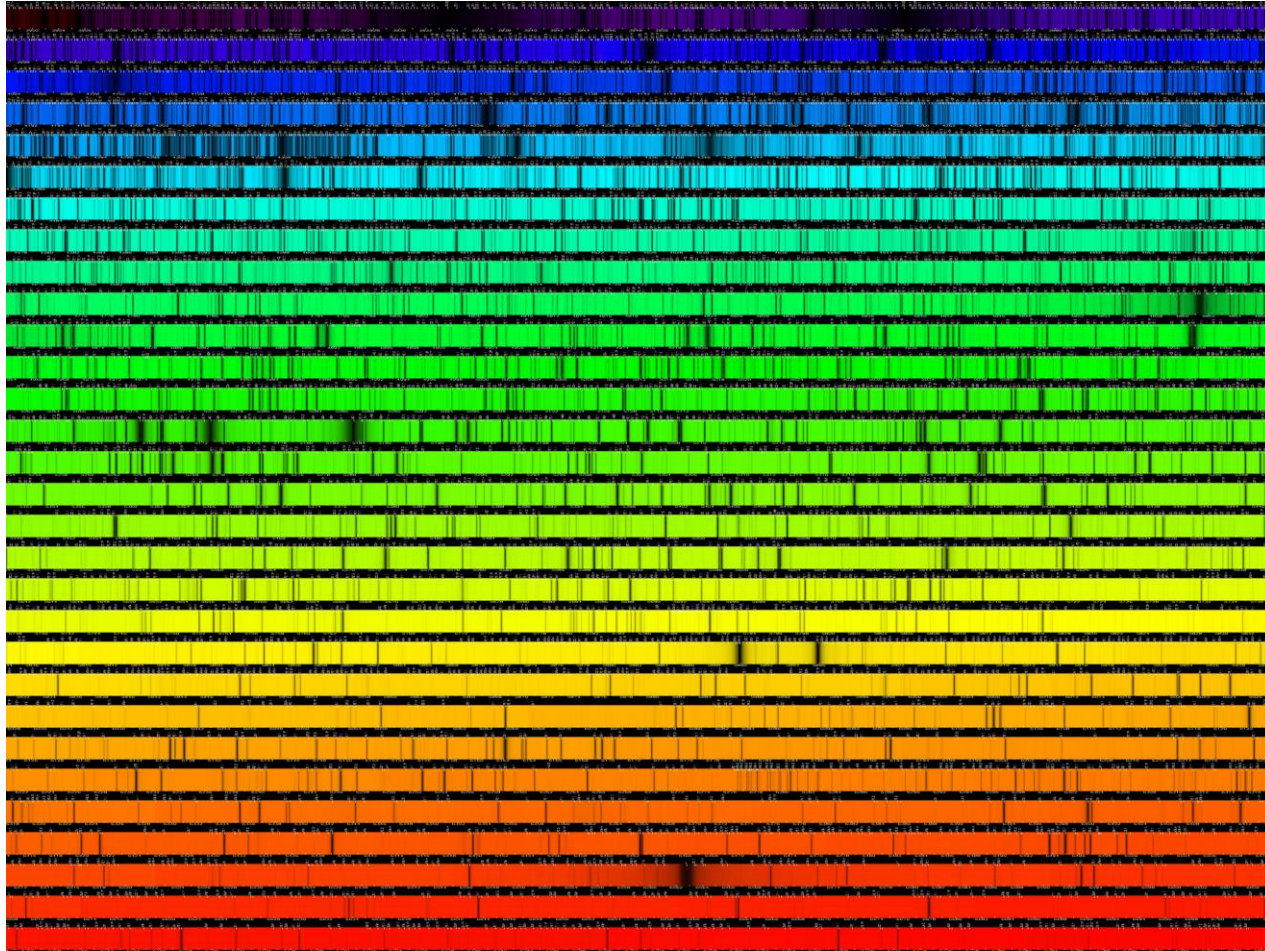
# Courtesy of Aura





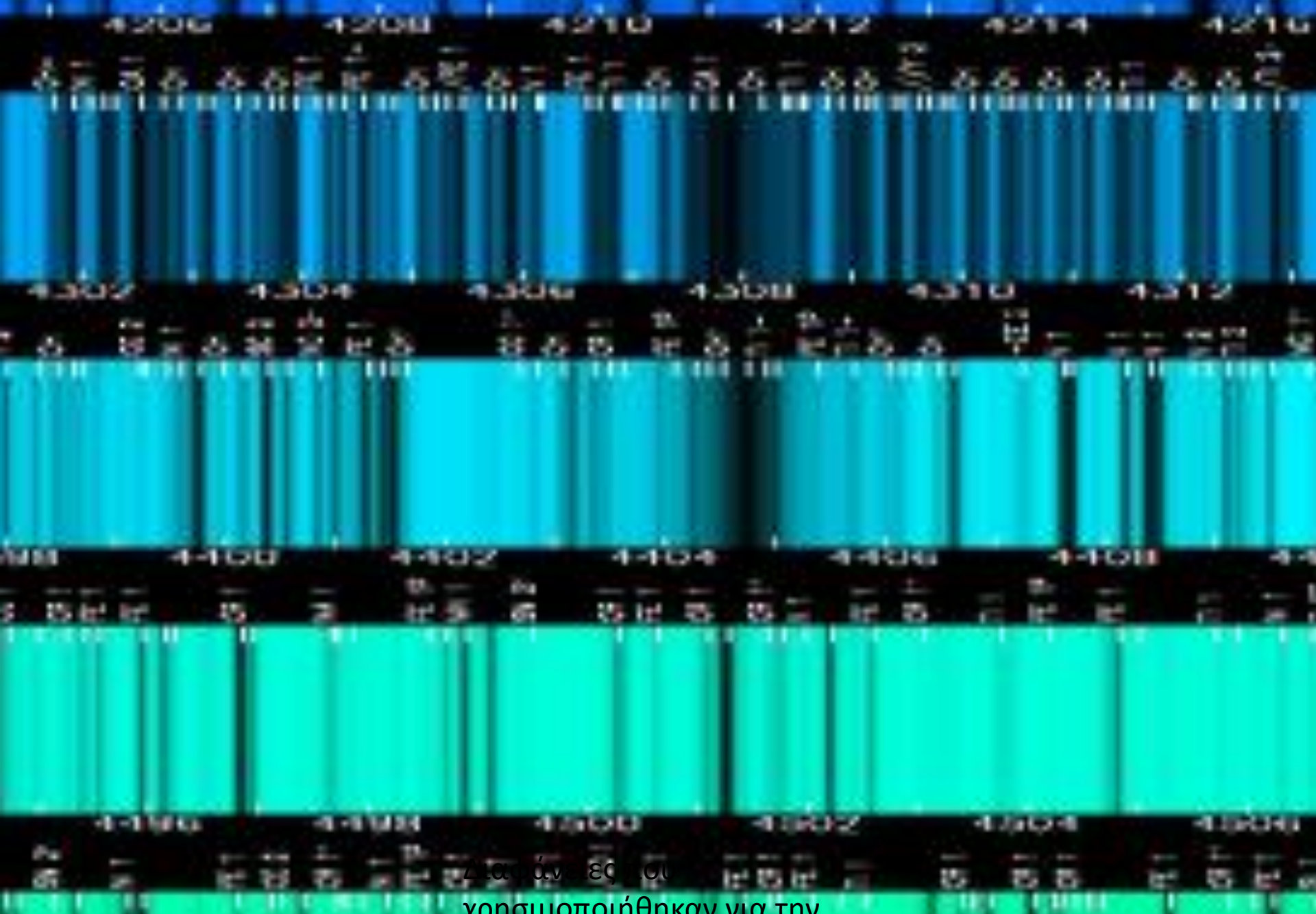
# Courtesy of Aura





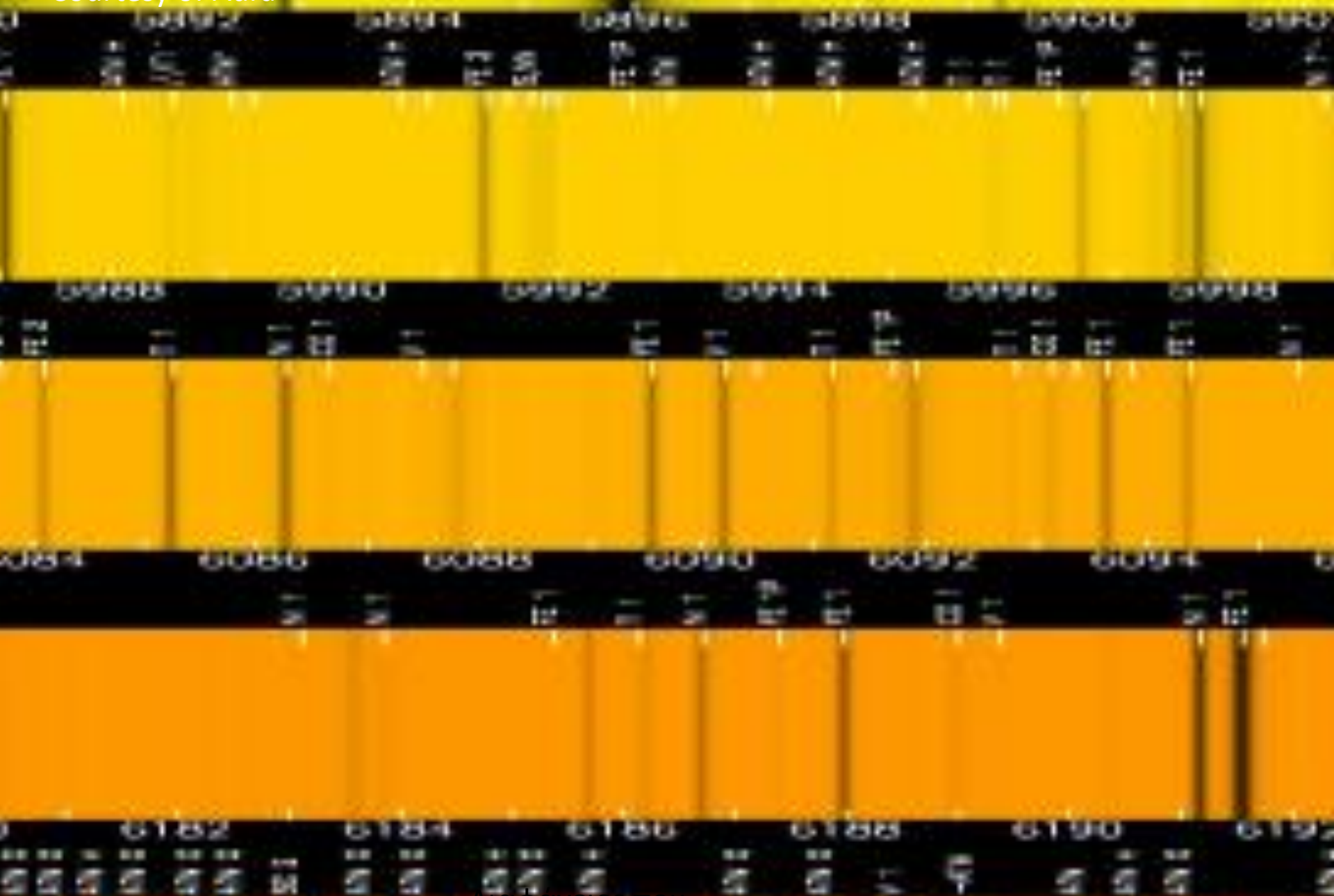


Courtesy of Aura



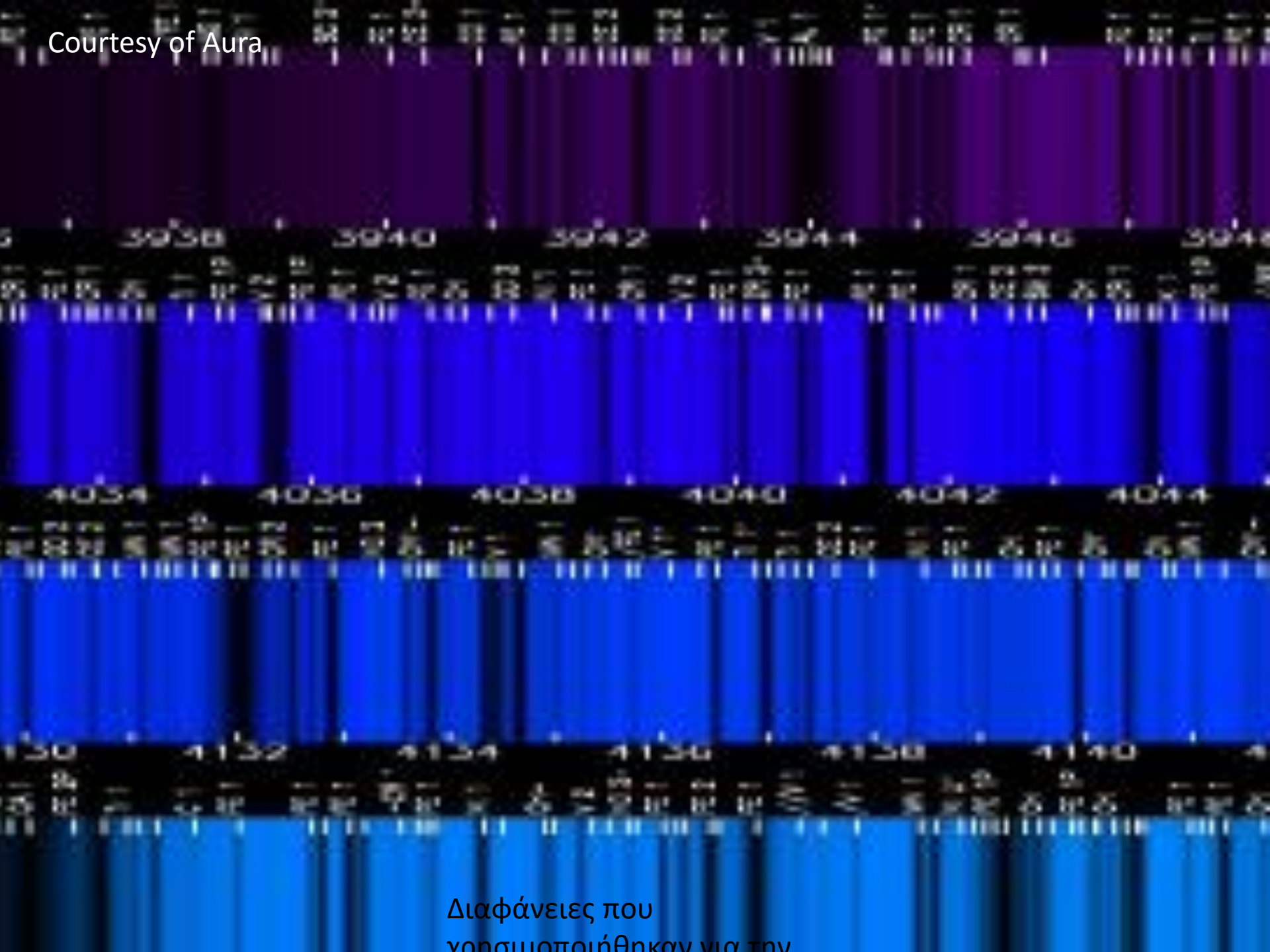
Διαγράμμιση που  
χρησιμοποιήθηκαν για την

Courtesy of Aura



Διαφανείς που  
χρησιμοποιήθηκαν για την

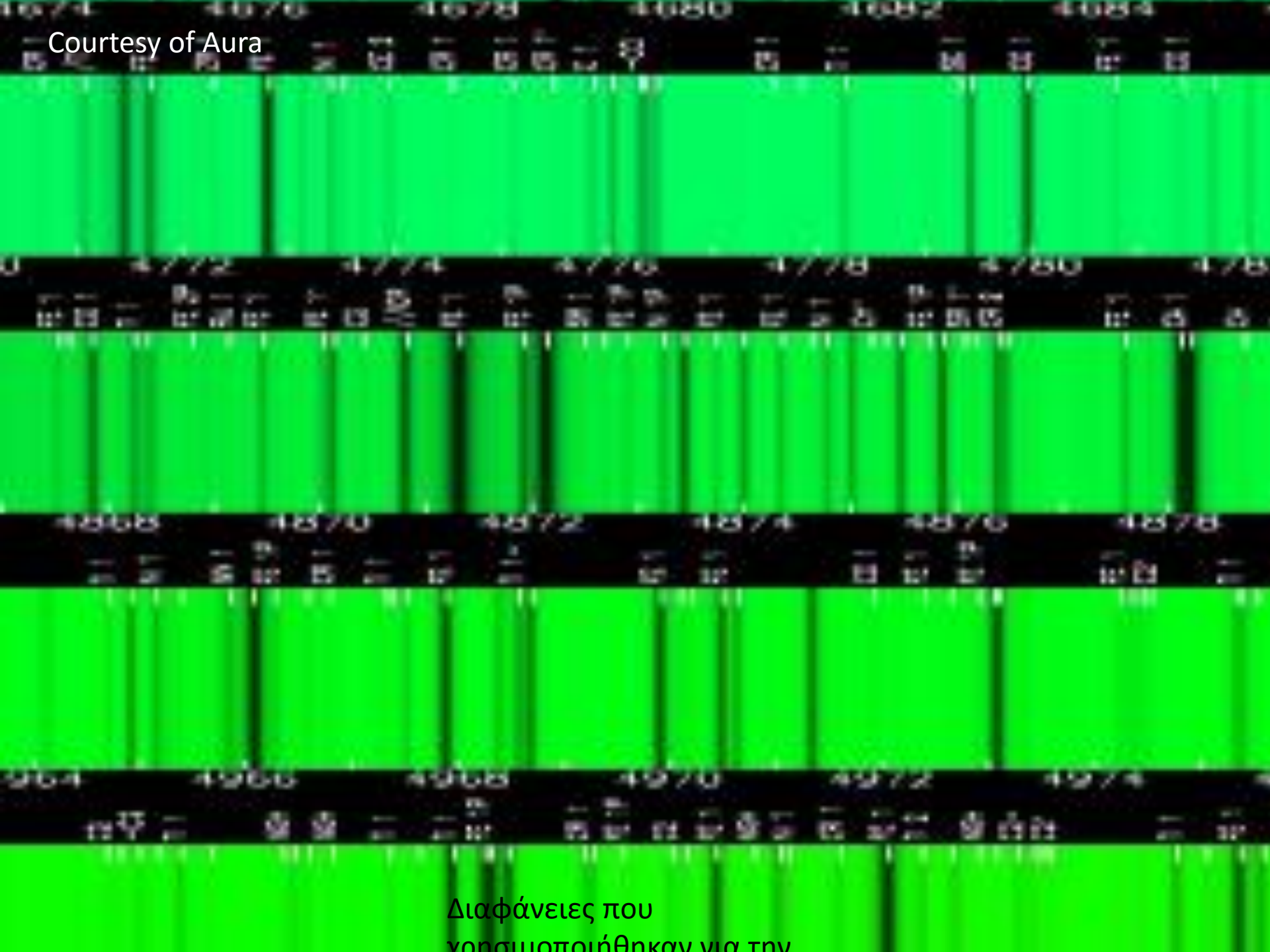
Courtesy of Aura



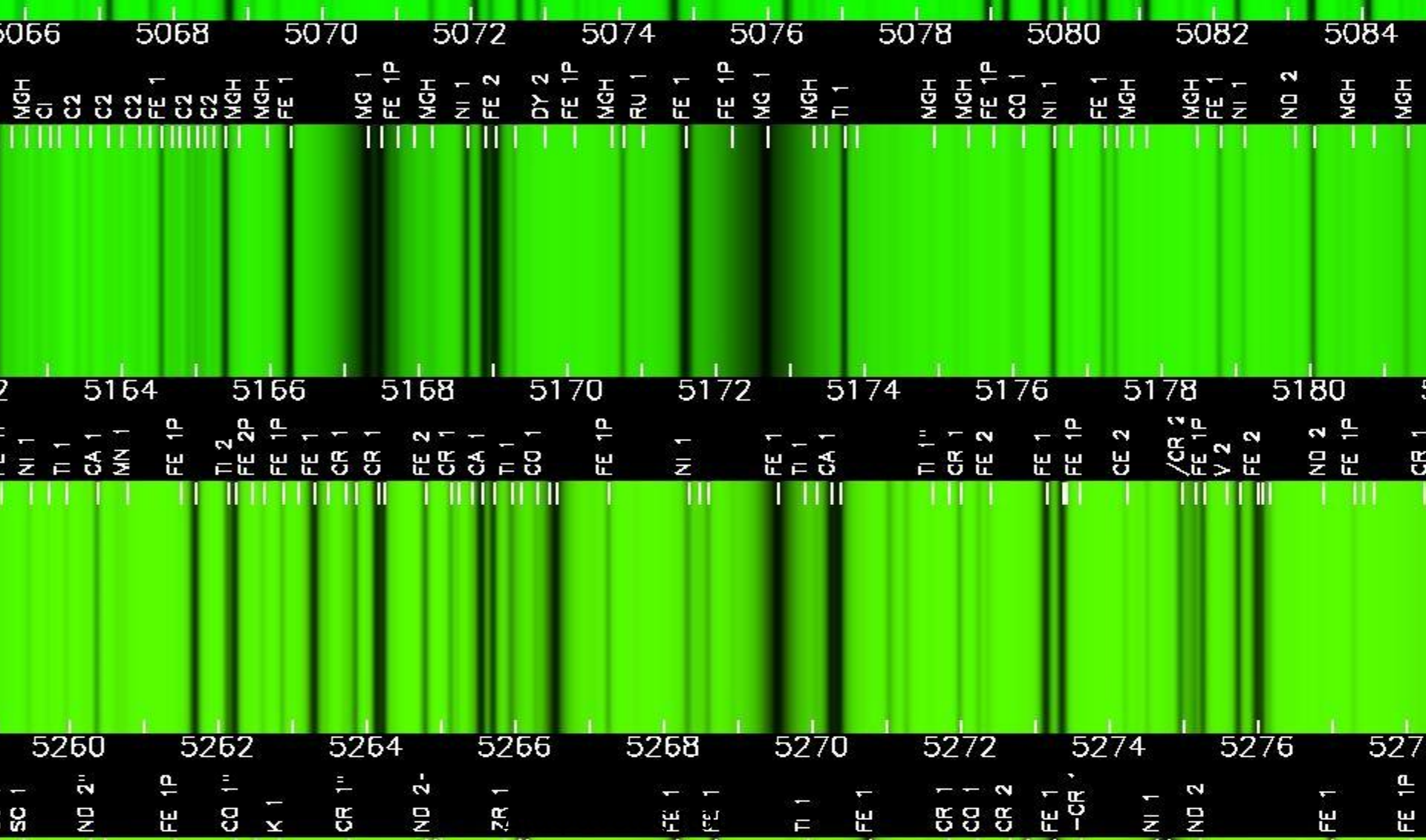
Διαφάνειες που  
χρησιμοποιήθηκαν για την



Courtesy of Aura

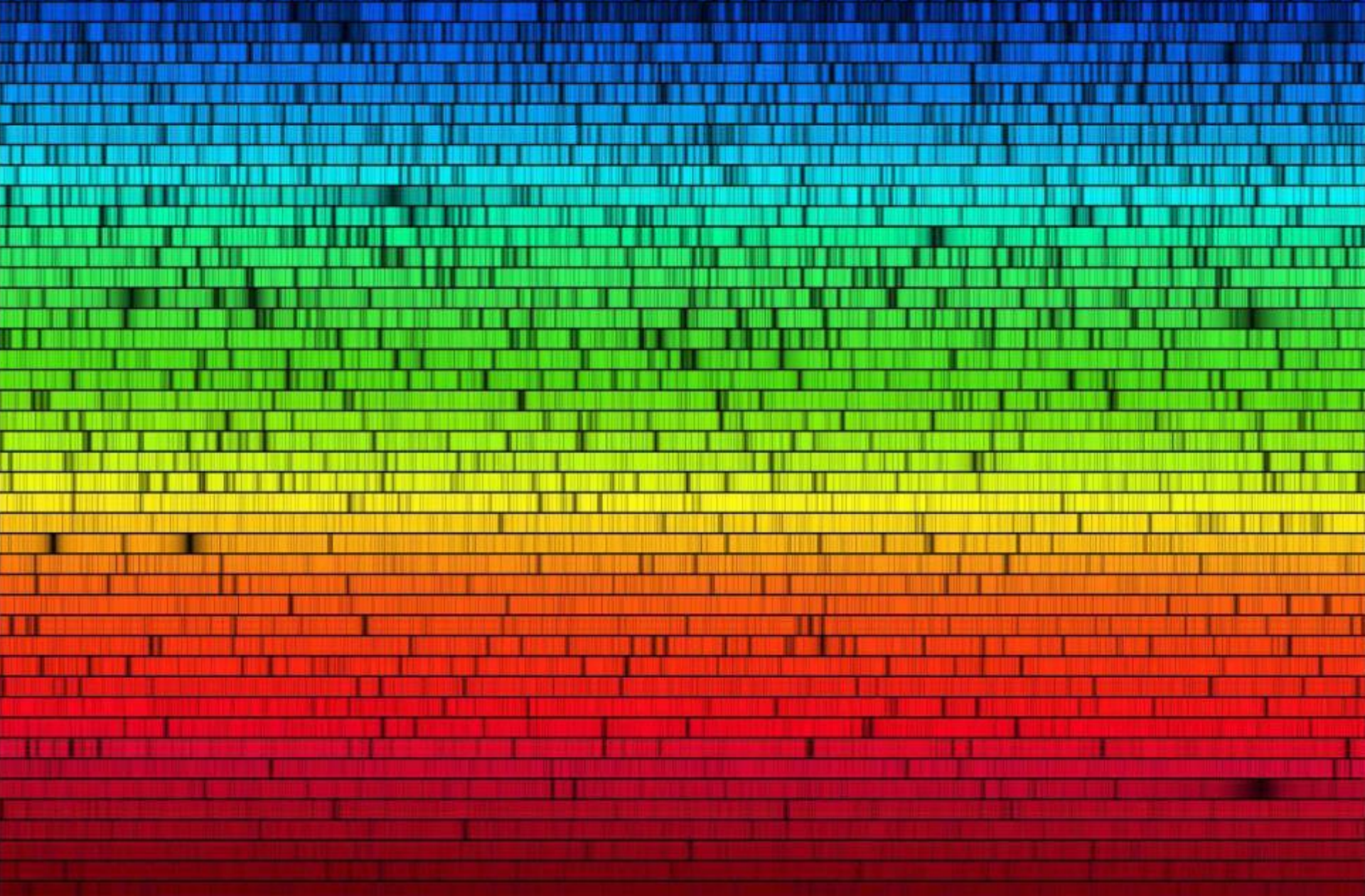


Διαφάνειες που  
χρησιμοποιήθηκαν για την



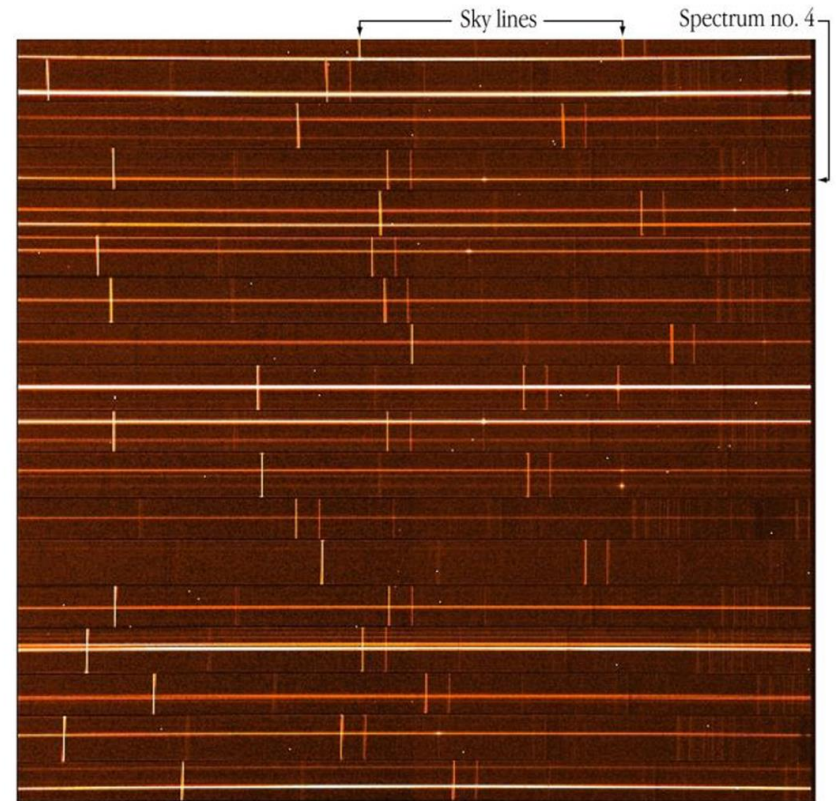


[http://www.cfa.harvard.edu/ssp/stars\\_planets/solarspectrum.html](http://www.cfa.harvard.edu/ssp/stars_planets/solarspectrum.html)



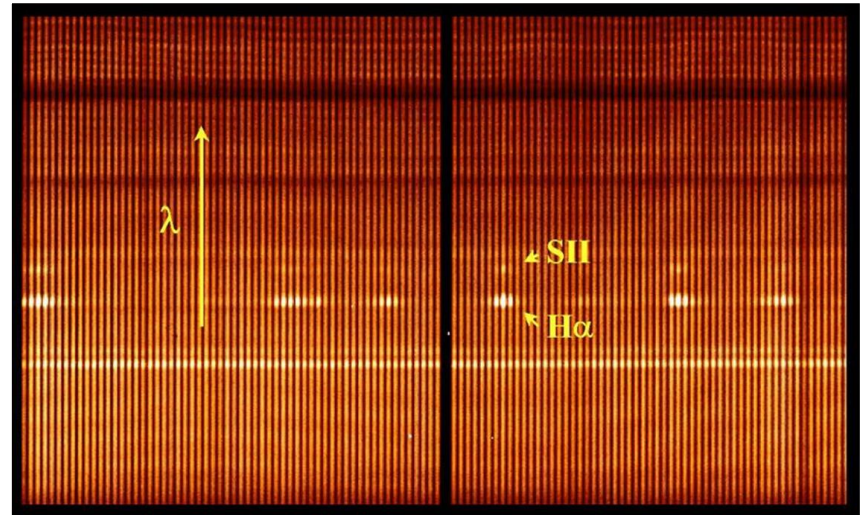


- Λεπτομερή φάσματα άστρων από ένα σμήνος
- Spectra (350 - 590 nm) of stars in the open cluster NGC 330 in the SMC, obtained during a 6-min exposure with FORS1 in MOS mode.
- **ευχαριστίες: ESO**



# Λεπτομέρεια φάσματος γαλαξία

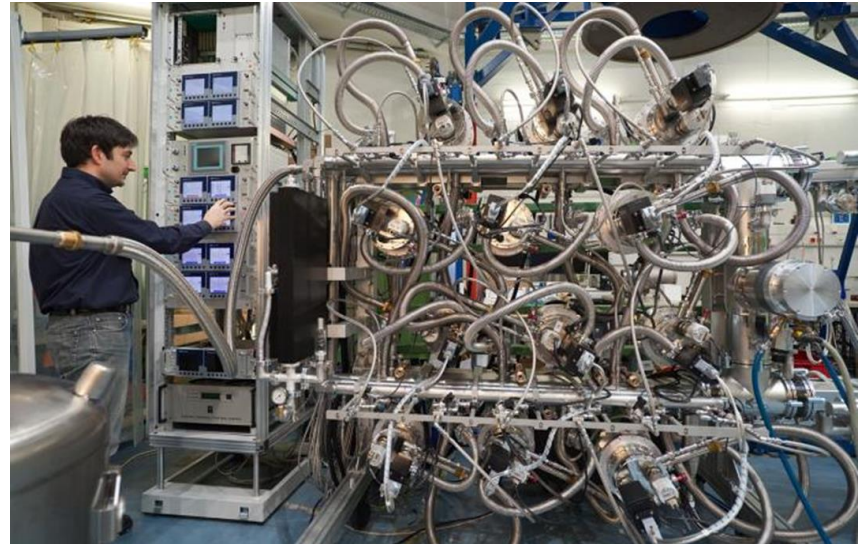
- VIMOS Integrated Field-Spectrum of Antennae Galaxies (Detail), ESO  
An enlargement of a small area in [ESO Press Photo eso0209b](#). This observation allows mapping of the distribution of elements like hydrogen (H) and sulphur (S II), for which the signatures are clearly identified in these spectra. The wavelength increases towards the top (arrow).





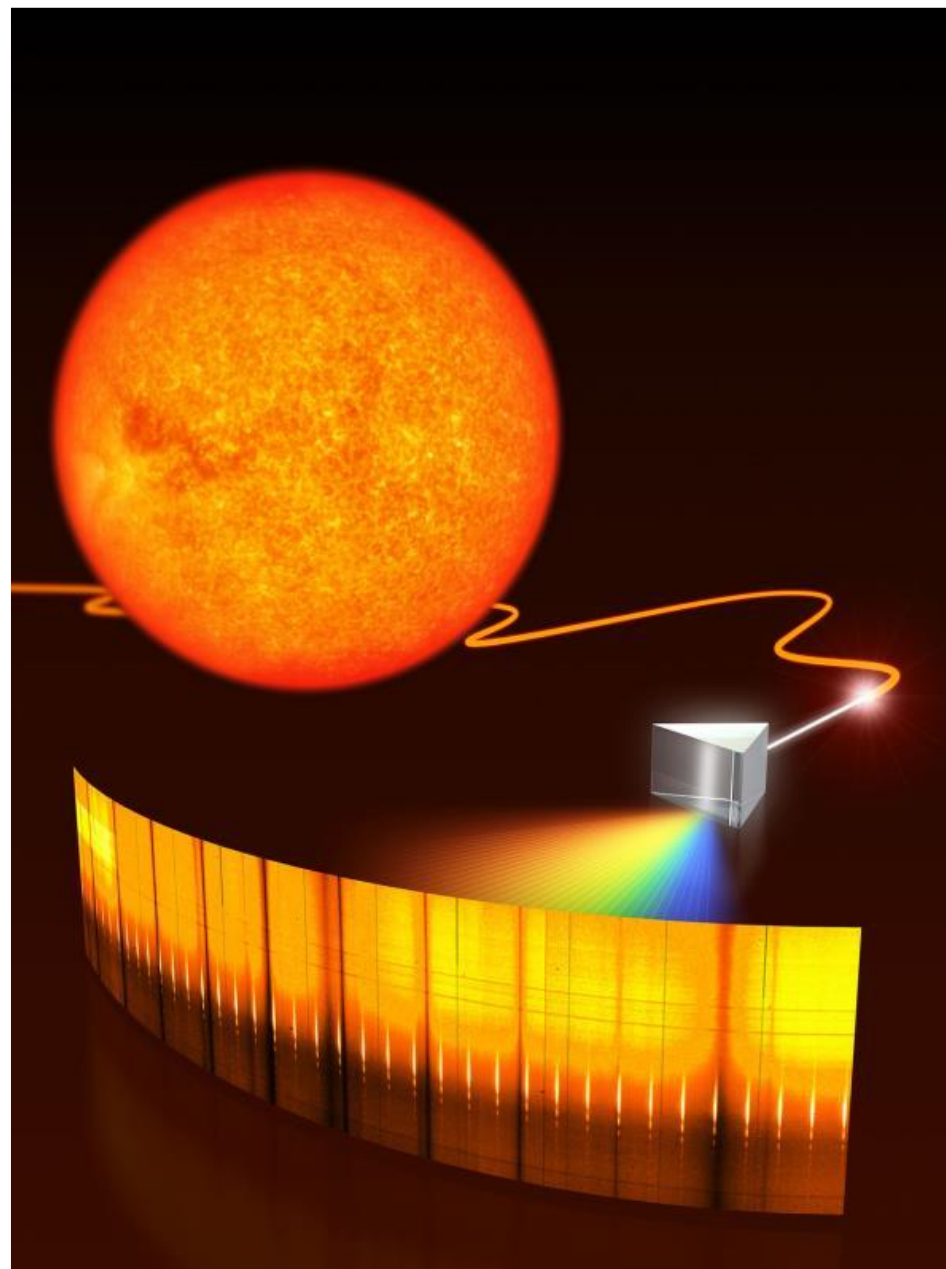
# Ένα πραγματικός σύγχρονος φασματογράφος

- The Multi Unit Spectroscopic Explorer (MUSE) second generation instrument for ESO's Very Large Telescope (VLT) is an innovative 3D spectrograph with a wide field of view, providing simultaneous spectra of numerous adjacent regions in the sky. Such spectrographs are efficient explorers of the Universe in three dimensions (two for the sky positions, and one for the wavelengths). Poised to become a unique and powerful tool for discovering objects that cannot be found in imaging surveys, MUSE, which is based on a number of technological developments, is bringing these advantages to a level never achieved before.
- This photo shows the large MUSE cryogenic system which provide cooling and vacuum for the 24 MUSE detectors.
- **Credit:**ESO

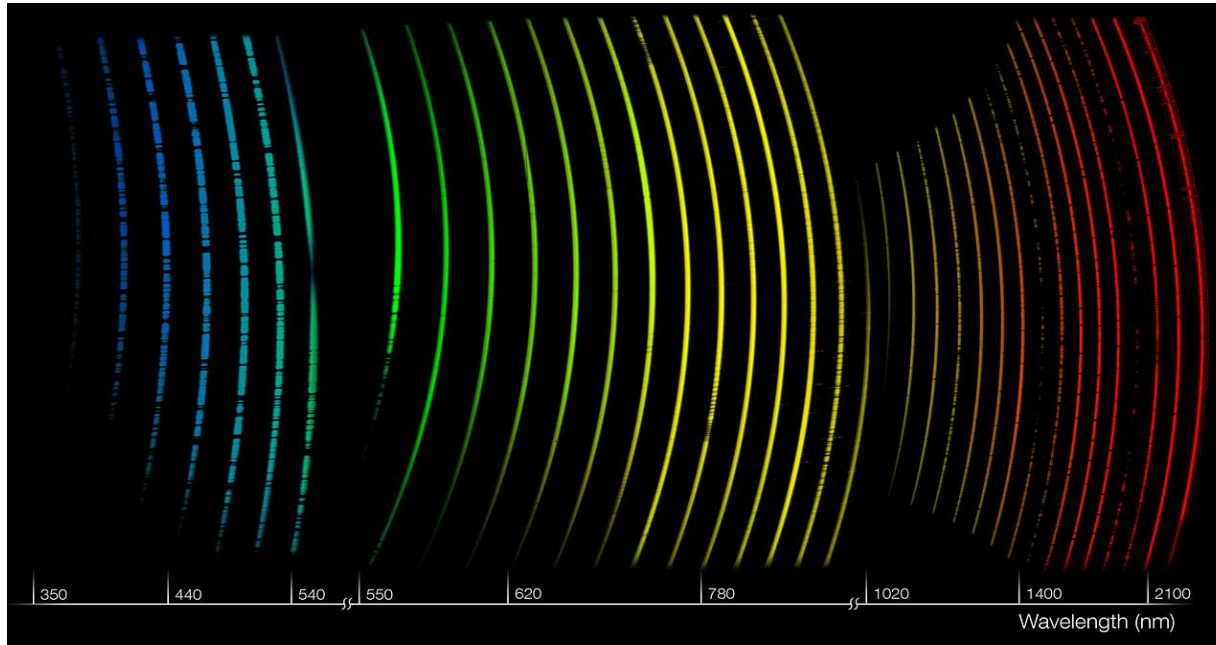


Artist's impression of the laser comb developed for astronomy. Such a laser comb is necessary to act as a 'ruler' for calibrating the new, extremely precise spectrographs that will be needed in the future to search for Earth-like planets or measure the expansion of the Universe. To test this laser comb, a team of scientists went to the telescope and analysed the light coming from the Sun. The light from the Sun was coupled to an optical fibre that guides it to a spectrograph (prism) in order to resolve its spectral lines. The spectral lines from the Sun appear as dark bands because they represent the wavelengths of light that has been absorbed by the Sun's photosphere as it emerges from deeper within it. Superimposed are many short, bright (white) spectral lines of the laser frequency comb that serve for calibration. The spectrum shown is the real observed one.

**Credit: ESO**



# Ένα σύγχρονο φάσμα ενός κβάζαρ

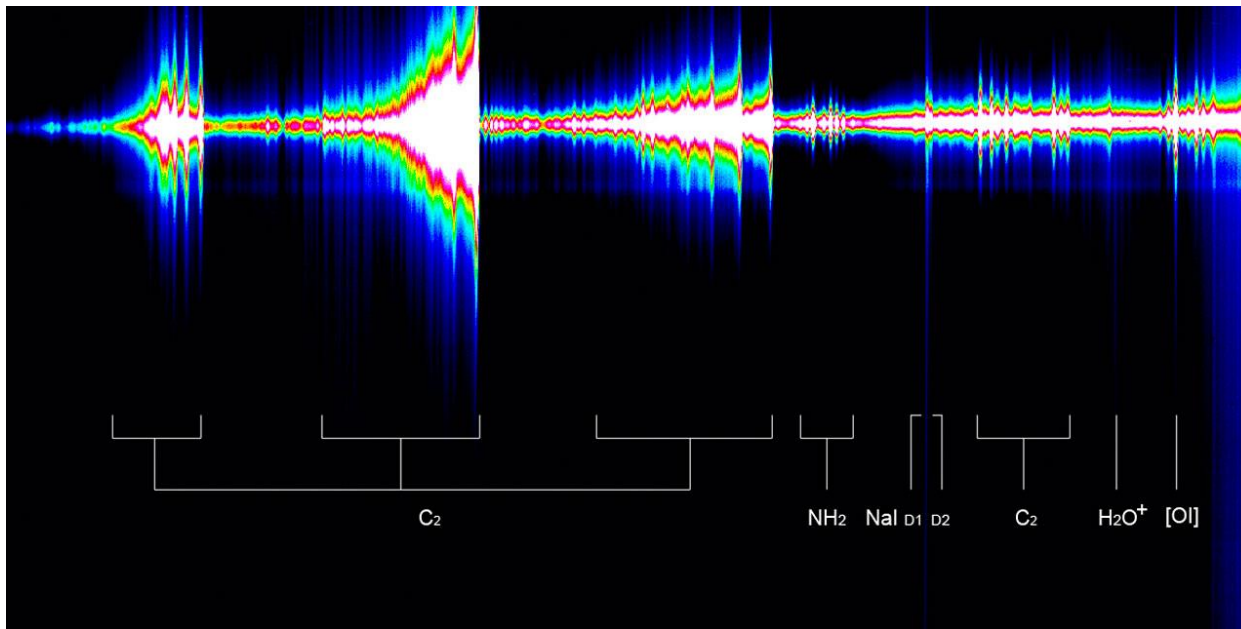


This illustration shows the three spectra produced simultaneously by the new efficient X-shooter instrument on ESO's Very Large Telescope. X-shooter can record the entire spectrum of a celestial object (in this example a distant lensed quasar) in one shot — from the ultraviolet to the near-infrared— with great sensitivity and spectral resolution. This unique new instrument will be particularly useful for the study of distant exploding objects called gamma-ray bursts, among the most energetic events in the Universe, which fade rapidly in brightness in matter of hours after the their appearance. The rainbow colours applied to the spectra indicate X-shooter's wide spectral coverage and are meant for illustrative purposes only. The majority of the wavelengths covered are in fact invisible to the human eye.

**Credit:** ESO



# Το φάσμα ενός κομήτη που δείχνει τα διάφορα μόρια με τις χαρακτηριστικές μπάντες γραμμών



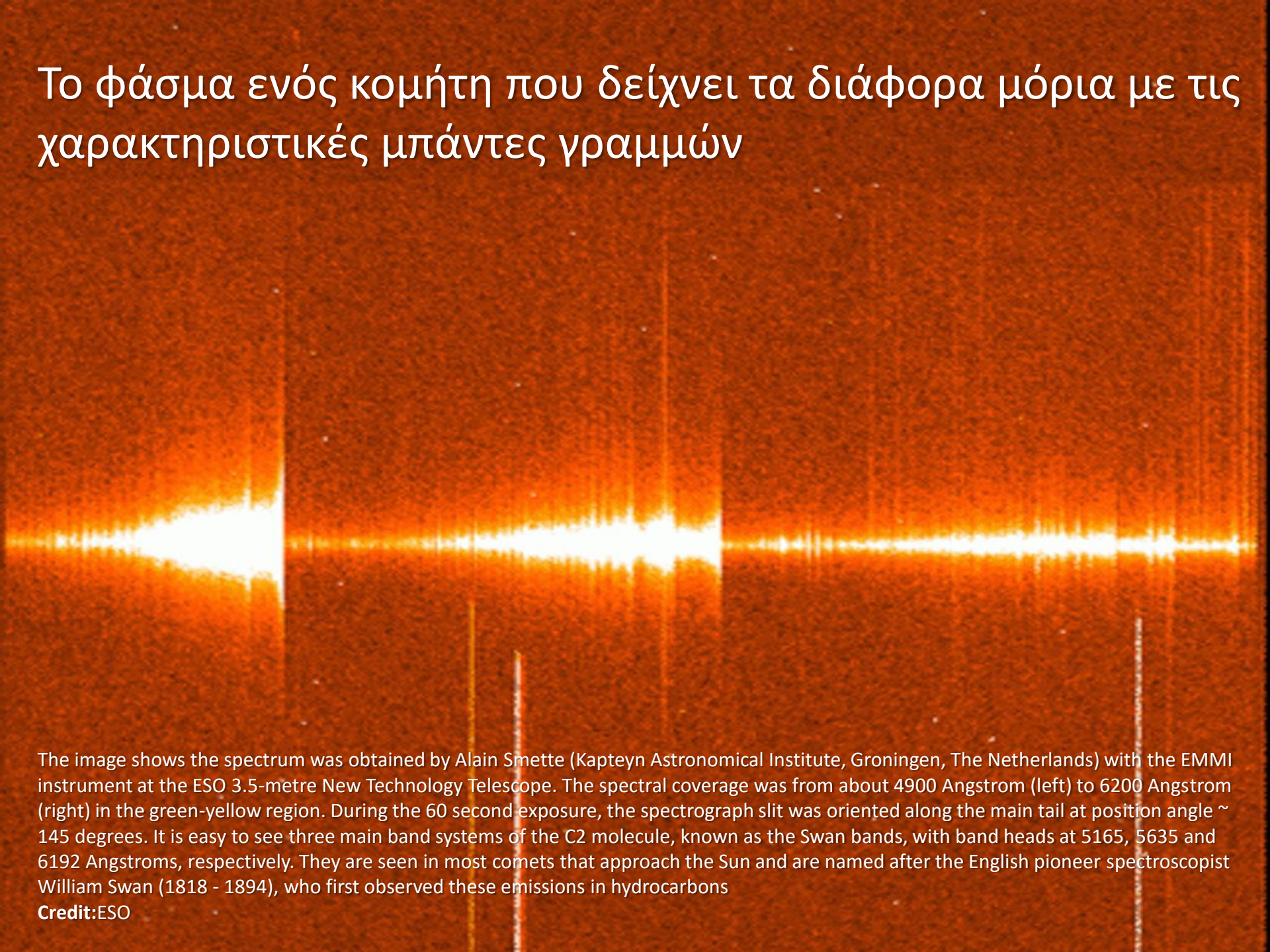
Long slit medium resolution spectrum of Comet McNaught taken on 3 February 2007 and covering the spectral range 450-650nm (the spectral direction is along the horizontal axis, blue side to the left and red to the right). The spatial direction is along the vertical axis and covers about 80,000 km on the sky. The nucleus has been centred in the 1" (800 km) slit, and is located at the position of the solar continuum in the spectrum. The Sun direction is up and the tail direction is toward the bottom of the image. The many emission lines from the gaseous coma are spatially extended by several thousands kilometres and grouped in so-called molecular bands. The sodium (NaI D) emission is visible as the sharp and very extended line. In fact the sodium doublet (NaI D1 and D2 lines) is just resolved. On 3 February the flux that this line had in the inner coma dropped by a factor of 10 in only a few days. For sake of clarity only some of the most conspicuous features are annotated.

Credit:ESO





# Το φάσμα ενός κομήτη που δείχνει τα διάφορα μόρια με τις χαρακτηριστικές μπάντες γραμμών

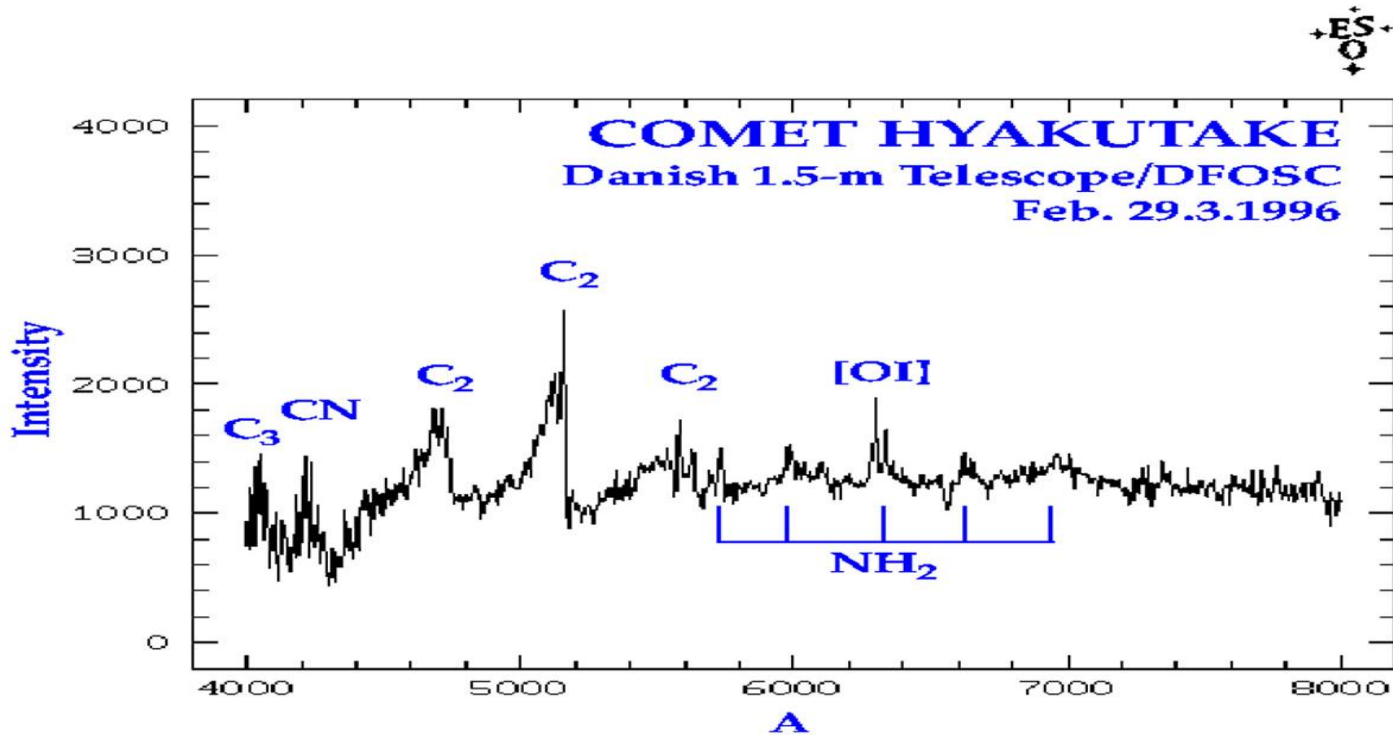
The image displays a horizontal emission spectrum of a comet. The spectrum is a bright, horizontal band of light with a dark background. The light is composed of many narrow, vertical lines of varying intensity, creating a textured appearance. The spectrum is oriented horizontally, with the brightest part on the left and the faintest on the right. The background is a dark, grainy orange-brown color.

The image shows the spectrum was obtained by Alain Smette (Kapteyn Astronomical Institute, Groningen, The Netherlands) with the EMMI instrument at the ESO 3.5-metre New Technology Telescope. The spectral coverage was from about 4900 Angstrom (left) to 6200 Angstrom (right) in the green-yellow region. During the 60 second exposure, the spectrograph slit was oriented along the main tail at position angle  $\sim 145$  degrees. It is easy to see three main band systems of the C<sub>2</sub> molecule, known as the Swan bands, with band heads at 5165, 5635 and 6192 Angstroms, respectively. They are seen in most comets that approach the Sun and are named after the English pioneer spectroscopist William Swan (1818 - 1894), who first observed these emissions in hydrocarbons

**Credit:**ESO



# Φάσμα κομήτη όπου διακρίνονται οργανικές ενώσεις.



Spectra of Comet Hyakutake were obtained at the ESO La Silla Observatory on February 29.3 UT by Klaus Simon (Institute for Astronomy and Astrophysics, University of Munich, Germany) and Chris Lidman (ESO-Chile). They used the Danish 1.54-m telescope with the multi-mode DFOSC instrument and a large CCD. The slit was centred on the brightest part of the cometary coma. The frames were reduced by S. Benetti (ESO-Chile). This graphical representation is based on the combination of two 10-min exposures. They have been calibrated to show the wavelength (abscissa, in Angstrom) and relative intensity (ordinate). The spectrum covers the wavelength region 4000-8000 Å with a spectral resolution of approx. 12 Å.

Credit:ESO

This is a photo of an active galaxy that was observed with ISAAC during the programme being carried out. It shows the central areas of NGC 1808 (H-band). The bar-like structure and the luminous centre where the Black Hole is located is visible. The distance to this galaxy is approximately 35 million light-years; the local scale is indicated in the photo.

**Credit:**ESO



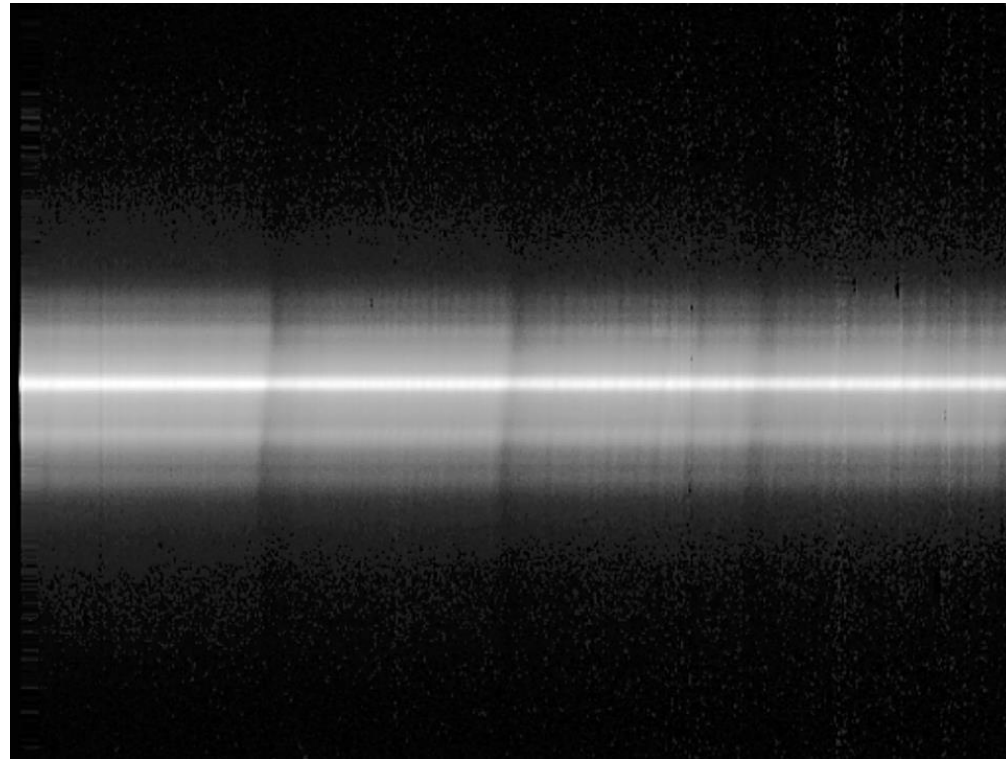
Φάσμα ενός γαλαξία με σύγχρονη μέθοδο. Η σιγμοειδής κάμψη των γραμμών του φάσματος οφείλεται στην περιστροφή των άστρων γύρω από το κέντρο του γαλαξία

This image is a reproduction of a long-slit ISAAC spectrum of the central region of the active galaxy NGC 1808. It is in the  $2.3 \mu\text{m}$  spectral region and the wavelength increases towards right. Several strong, vertical bands are seen; they are caused by CO-molecules in the atmospheres of the stars in this area. The bright band at the centre corresponds to the nucleus of the galaxy within which the central black hole is located. The characteristic S-shape is a result of the rotation of the stars around this centre, due to the Doppler effect.

*Technical information: this image shows a raw, long-slit IR-spectrum in the  $2.3 \mu\text{m}$  wavelength region, obtained with ISAAC along the major axis of this galaxy.*

**Credit:** ESO

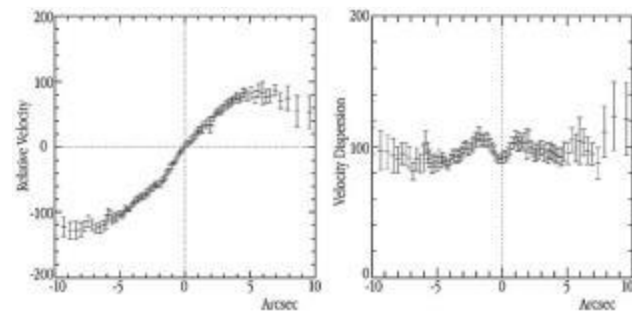
Φάσμα ενός γαλαξία με σύγχρονη μέθοδο. Η σιγμοειδής κάμψη των γραμμών του φάσματος οφείλεται στην περιστροφή των άστρων γύρω από το κέντρο του γαλαξία. Απεικονίζεται και η ταχύτητα περιστροφής στο γράφημα.

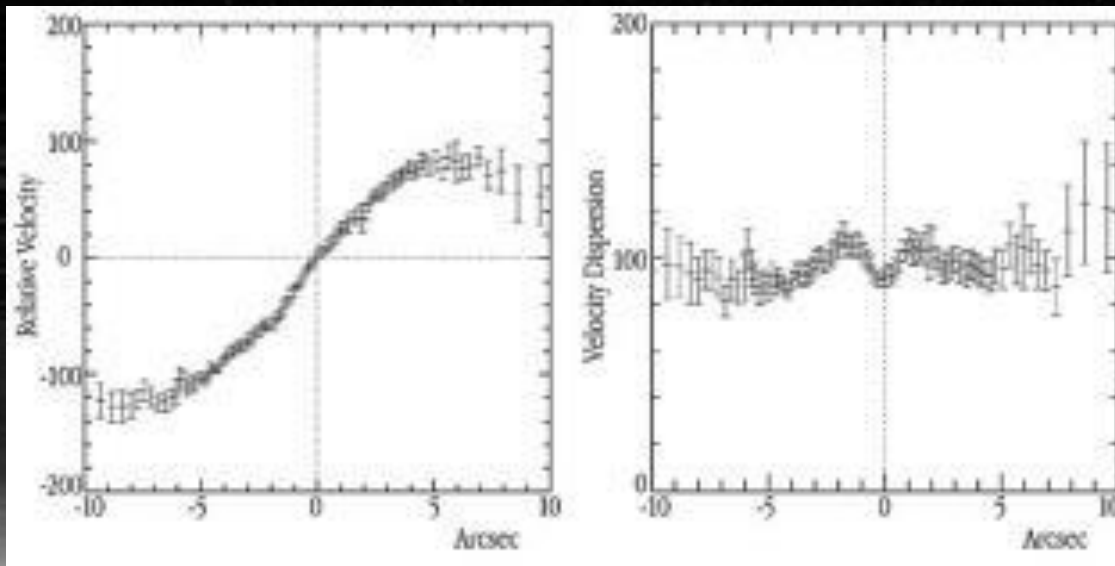


This image is a reproduction of a long-slit ISAAC spectrum of the central region of the active galaxy NGC 1808. It is in the  $2.3 \mu\text{m}$  spectral region and the wavelength increases towards right. Several strong, vertical bands are seen; they are caused by CO-molecules in the atmospheres of the stars in this area. The bright band at the centre corresponds to the nucleus of the galaxy within which the central black hole is located. The characteristic S-shape is a result of the rotation of the stars around this centre, due to the Doppler effect.

*Technical information: this image shows a raw, long-slit IR-spectrum in the  $2.3 \mu\text{m}$  wavelength region, obtained with ISAAC along the major axis of this galaxy.*

**Credit: ESO**





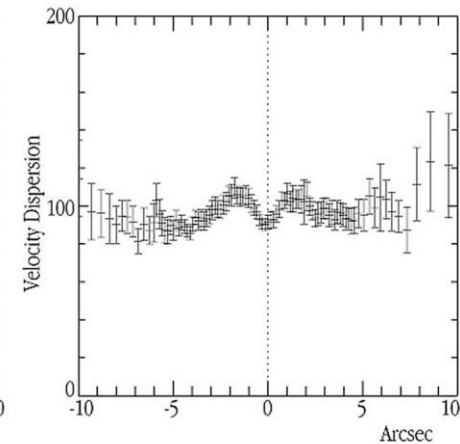
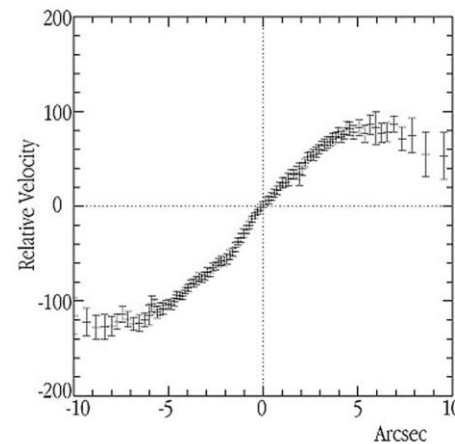
Φάσμα ενός γαλαξία με σύγχρονη μέθοδο. Η σιγμοειδής κάμψη των γραμμών του φάσματος οφείλεται στην περιστροφή των άστρων γύρω από το κέντρο του γαλαξία. Απεικονίζεται και η ταχύτητα περιστροφής στο γράφημα.

This image is a reproduction of a long-slit ISAAC spectrum of the central region of the active galaxy NGC 1808. It is in the 2.3  $\mu\text{m}$  spectral region and the wavelength increases towards right. Several strong, vertical bands are seen; they are caused by CO-molecules in the atmospheres of the stars in this area. The bright band at the centre corresponds to the nucleus of the galaxy within which the central black hole is located. The characteristic S-shape is a result of the rotation of the stars around this centre, due to the Doppler effect.

*Technical information: this image shows a raw, long-slit IR-spectrum in the 2.3  $\mu\text{m}$  wavelength region, obtained with ISAAC along the major axis of this galaxy.*



- In this chart, the measured velocities (ordinate) of the stars near the centre of NGC 1808 are plotted at different distances from the nucleus (abscissa). The right half shows the corresponding curve after "removal" of the effect from the rotation — the remaining spread is a direct measure of the "velocity dispersion" and the individual stellar motions. As can be clearly seen, the width of the "band" decreases towards the centre, indicating the presence of a "dynamically cool" central stellar system.
- **Credit:** ESO



# Το φάσμα ενός κβάζαρ.

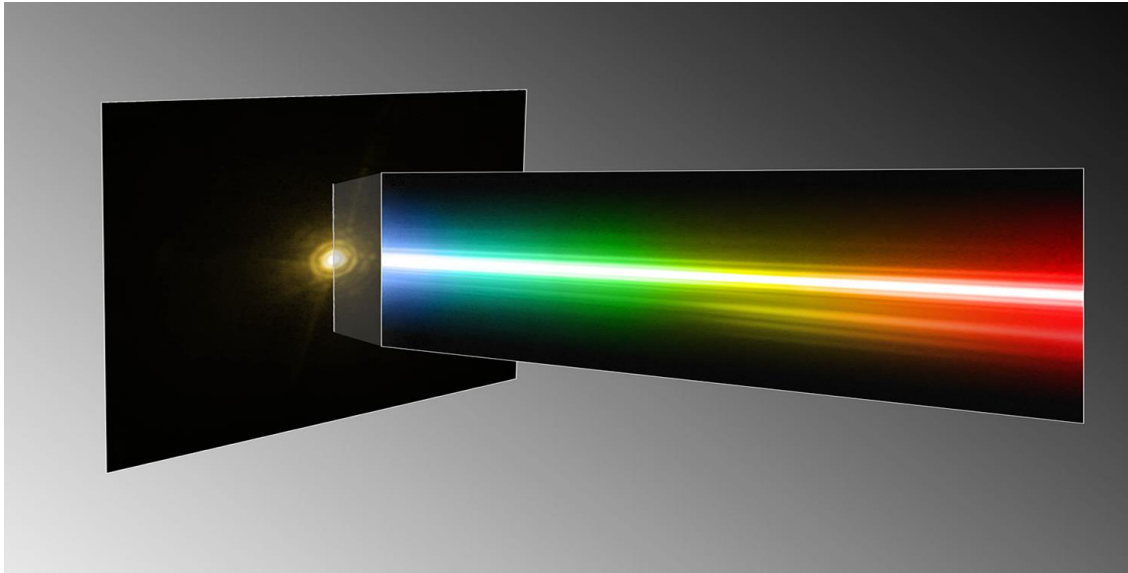


This UVES echelle spectrum QSO HE2217-2818 (U-magnitude = 16.5) is recorded in different orders (the individual horizontal lines) and altogether covers the wavelength interval between 330 - 450 nm (from the bottom to the top). It illustrates the excellent capability of UVES to work in the UV-band on even faint targets. Simultaneously with this observation, UVES also recorded the adjacent spectral region 465 - 660 nm in its other channel. The broad Lyman-alpha emission from ionized hydrogen associated with the powerful energy source of the QSO is seen in the upper half of the spectrum at wavelength 413 nm. At shorter wavelengths, the dark regions in the spectrum are Lyman-alpha absorption lines from intervening, neutral hydrogen gas located along the line-of-sight at different redshifts (the so-called Lyman-alpha forest) in the redshift interval  $z = 1.7 - 2.4$ . Note that since this exposure was done with the nearly Full Moon above the horizon, an underlying, faint absorption-line spectrum of reflected sunlight is also visible.

**Credit:**ESO




# Φάσμα εξωπλανήτη



By studying a triple planetary system that resembles a scaled-up version of our own Sun's family of planets, astronomers have been able to obtain the first direct spectrum of a planet around a star, thus bringing new insights into its formation and composition. The spectrum is that of a giant exoplanet, orbiting around the bright and **very young star HR 8799**, about 130 light-years away. This montage shows the image and the **spectrum of the star and the planet** as seen with the NACO adaptive optics instrument on ESO's Very Large Telescope. As the host star is several thousand times brighter than the planet, this is a remarkable achievement at the border of what is technically possible. According to the scientists it is like trying to see what a candle is made of, by observing it from a distance of two kilometres when it's next to a blindingly bright 300 Watt lamp. Despite the power of the VLT's extraordinary adaptive optics system, the spectrum of the planet appears very faint, but still contains enough information for the astronomers to characterise the object. In the spectrum (right) several artefacts from the instrument are seen, such as internal reflections, or "ghosts", and diffraction rings. Similarly, the image of the star (left) suffers from several diffraction artefacts, which should not be confused with the real signal of the exoplanet.

**Credit: ESO/M. Janson**

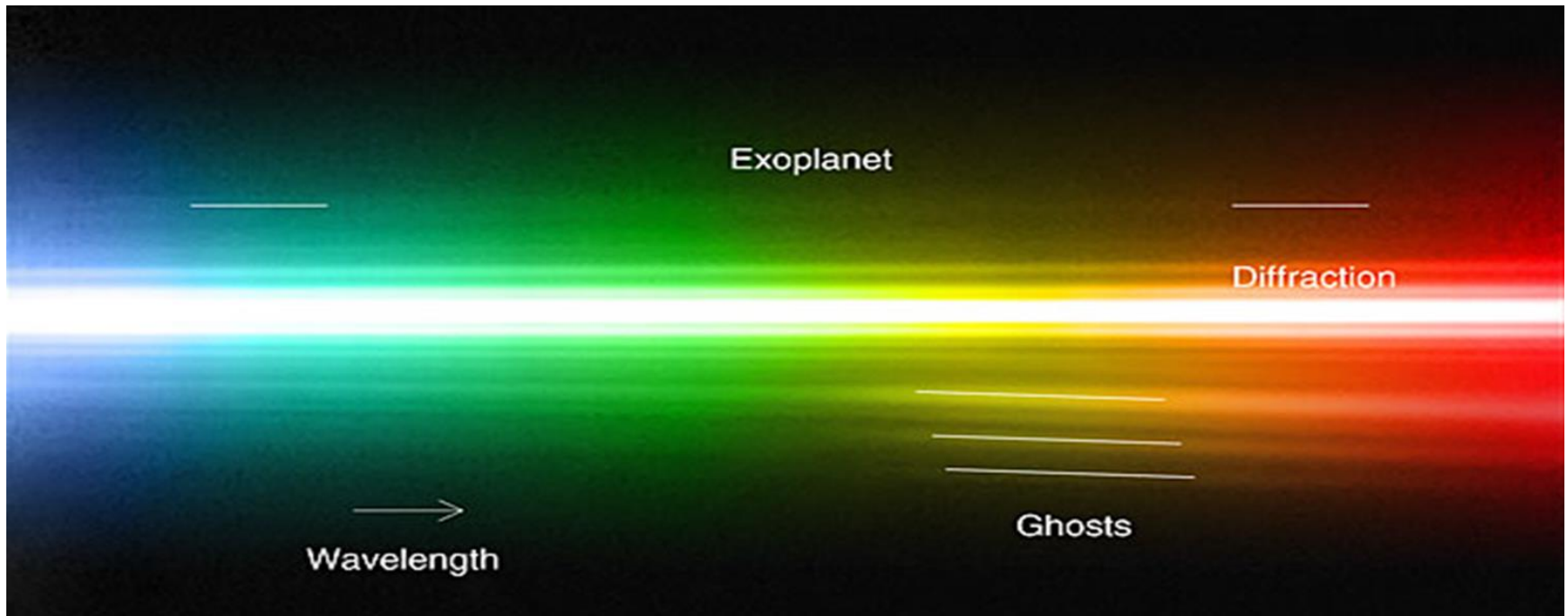




By studying a triple planetary system that resembles a scaled-up version of our own Sun's family of planets, astronomers have been able to obtain the first direct spectrum of a planet around a star, thus bringing new insights into its formation and composition. The spectrum is that of a giant exoplanet, orbiting around the bright and very young star HR 8799, about 130 light-years away. This spectrum of the star and the planet was obtained with the NACO adaptive optics instrument on ESO's Very Large Telescope. As the host star is several thousand times brighter than the planet, this is a remarkable achievement, at the border of what is technically possible. According to the scientists it is like trying to see what a candle is made of, by observing it from a distance of two kilometres when it's next to a blindingly bright 300 Watt lamp. Despite the power of the VLT's extraordinary adaptive optics system, the spectrum of the planet appears very faint, but still contains enough information for the astronomers to characterise the object. In the spectrum several artefacts from the instrument are seen, such as internal reflections, or "ghosts", and diffraction rings.

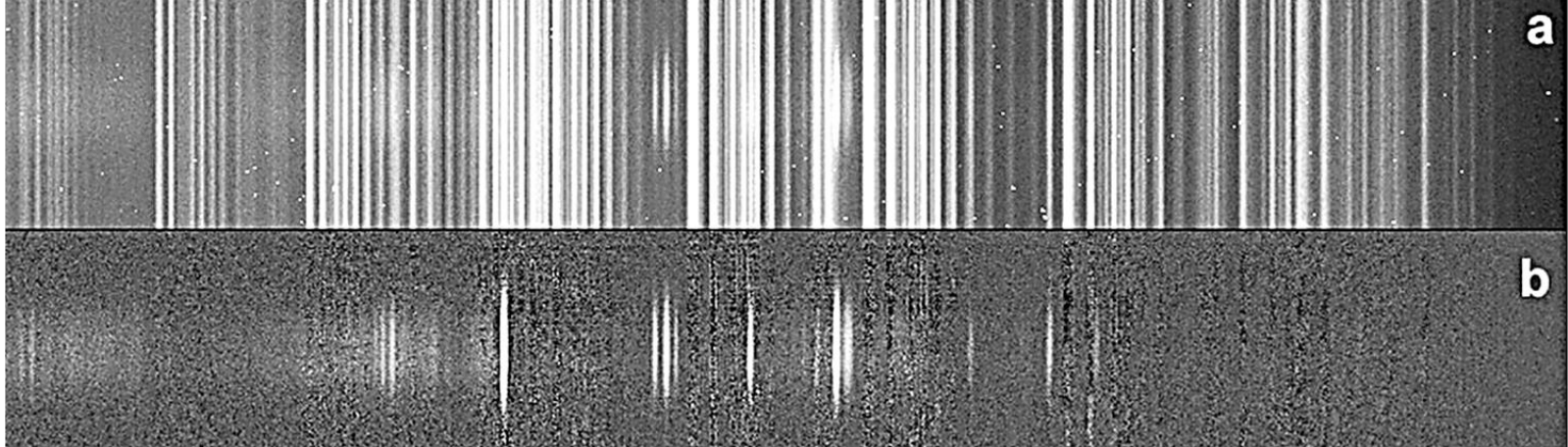
**Credit:**ESO/M. Janson



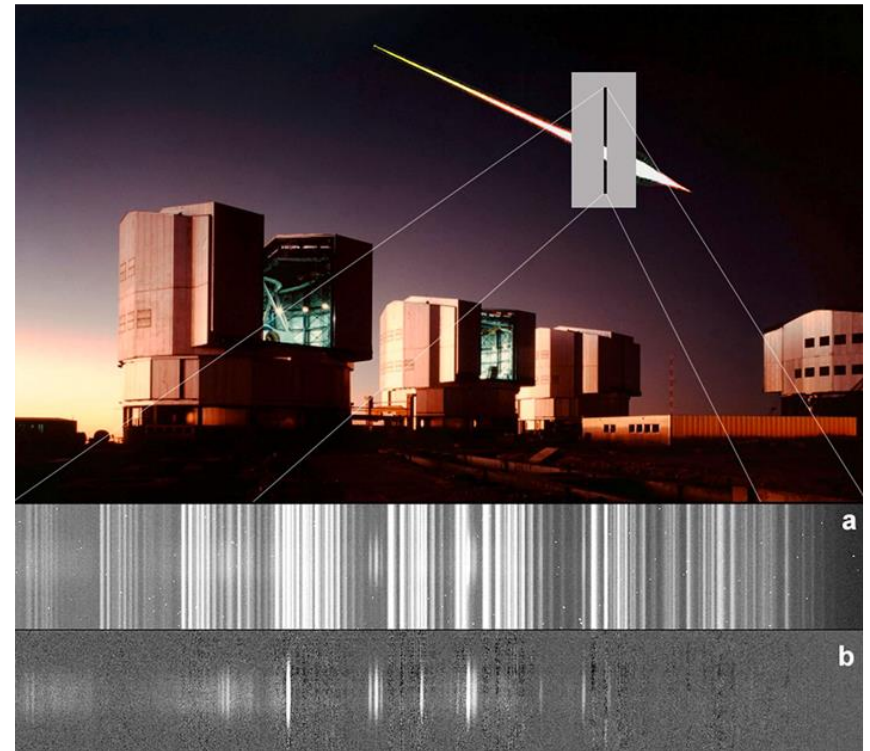


By studying a triple planetary system that resembles a scaled-up version of our own Sun’s family of planets, astronomers have been able to obtain the first direct spectrum of a planet around a star, thus bringing new insights into its formation and composition. The spectrum is that of a giant exoplanet, orbiting around the bright and very young star HR 8799, about 130 light-years away. This spectrum of the star and the planet was obtained with the NACO adaptive optics instrument on ESO’s Very Large Telescope. As the host star is several thousand times brighter than the planet, this is a remarkable achievement, at the border of what is technically possible. According to the scientists it is like trying to see what a candle is made of, by observing it from a distance of two kilometres when it’s next to a blindingly bright 300 Watt lamp. Despite the power of the VLT’s extraordinary adaptive optics system, the spectrum of the planet appears very faint, but still contains enough information for the astronomers to characterise the object. In the spectrum several artefacts from the instrument are seen, such as internal reflections, or “ghosts”, and diffraction rings.

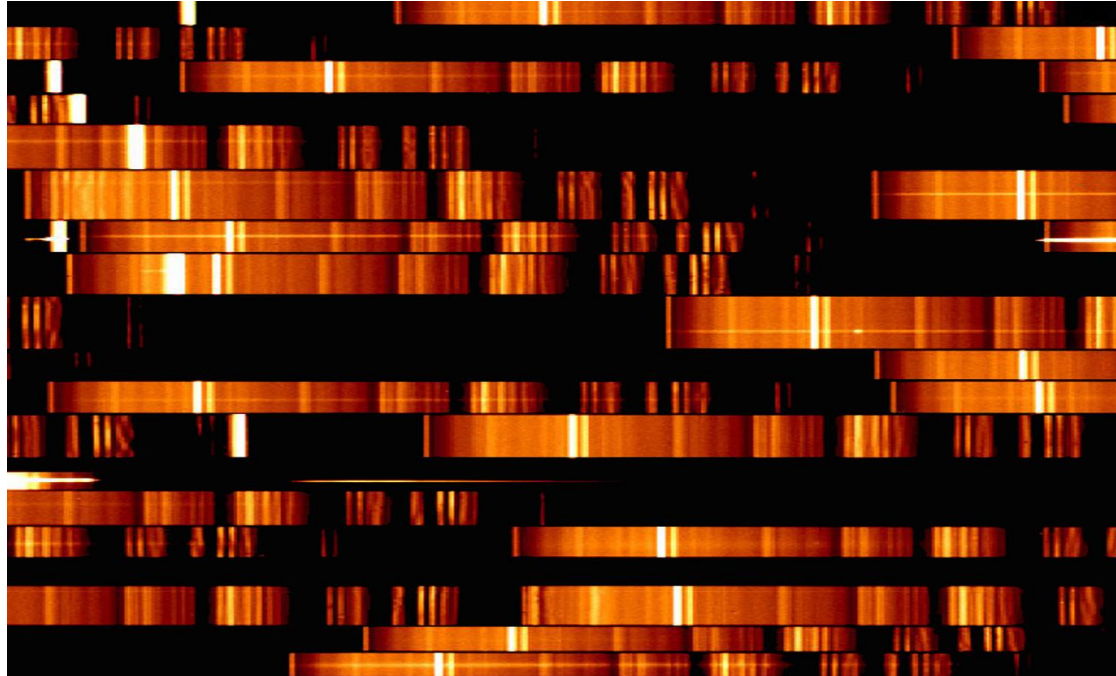
**Credit:**ESO/M. Janson



- Spectrum of a bright meteor, as observed serendipitously by the multi-mode FORS 1 instrument on the ESO Very Large Telescope during the night of May 12-13, 2002, in front of a photo of the VLT enclosures and with a meteor trail inserted in the sky (montage). The position of the meteor trail on the narrow slit of FORS (not to scale) is also indicated. The lower panel shows the spectrum of the meteor, following removal of the supernova spectrum and before (up) and after (down) removal of the spectrum of the night sky by image processing. Several emission lines from colliding Oxygen and Nitrogen atoms (sharp emissions) and molecules (broad emissions) are visible.
- **Credit:**ESO



# Φάσματα πολλών άστρων μαζί



An enlargement of the first Multi-Object Spectroscopy (MOS) observations with VIMOS showing a small part of the field shown in [ESO Press Photo eso0209b](#). The light from each galaxy passes through the dedicated slit in the mask (see [ESO Press Photo eso0209k](#)) and produces a spectrum on the detector. Each vertical rectangle contains the spectrum of one galaxy that is located several billion light-years away.

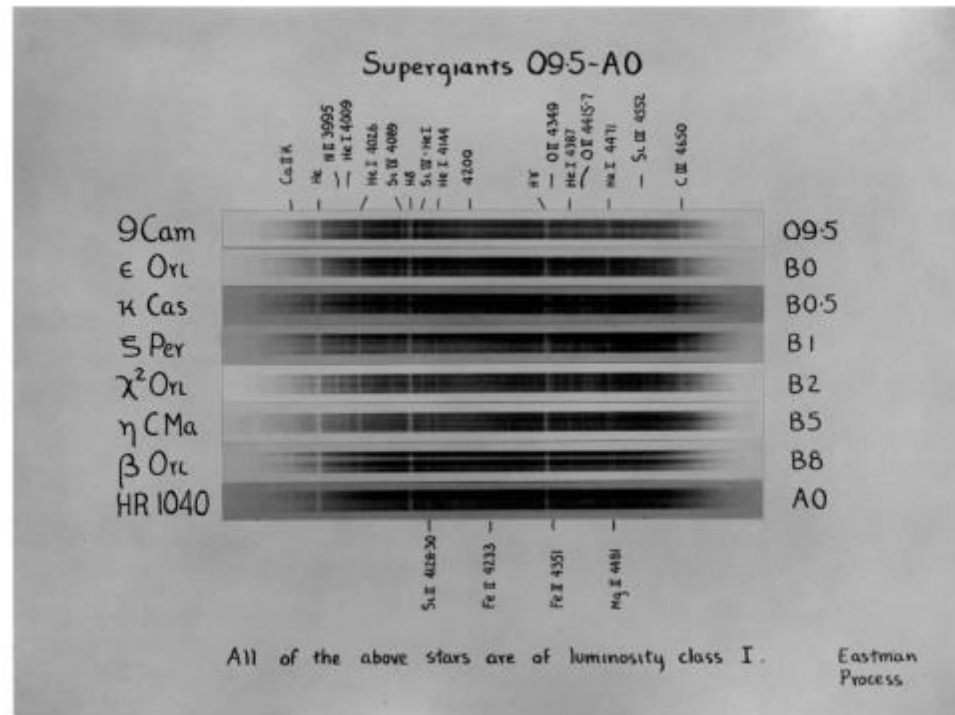
The horizontal lines are the strong emission from the "night sky" (radiation from atoms and molecules in the Earth's upper atmosphere), while the vertical traces are the spectral signatures of the galaxies. The full field contains the spectra of over 220 galaxies that were observed simultaneously, illustrating the great efficiency of this technique. Later, about 1,000 spectra will be obtained in one exposure.

**Credit:**ESO



# Morgan, Keenan, Kellman (1943)

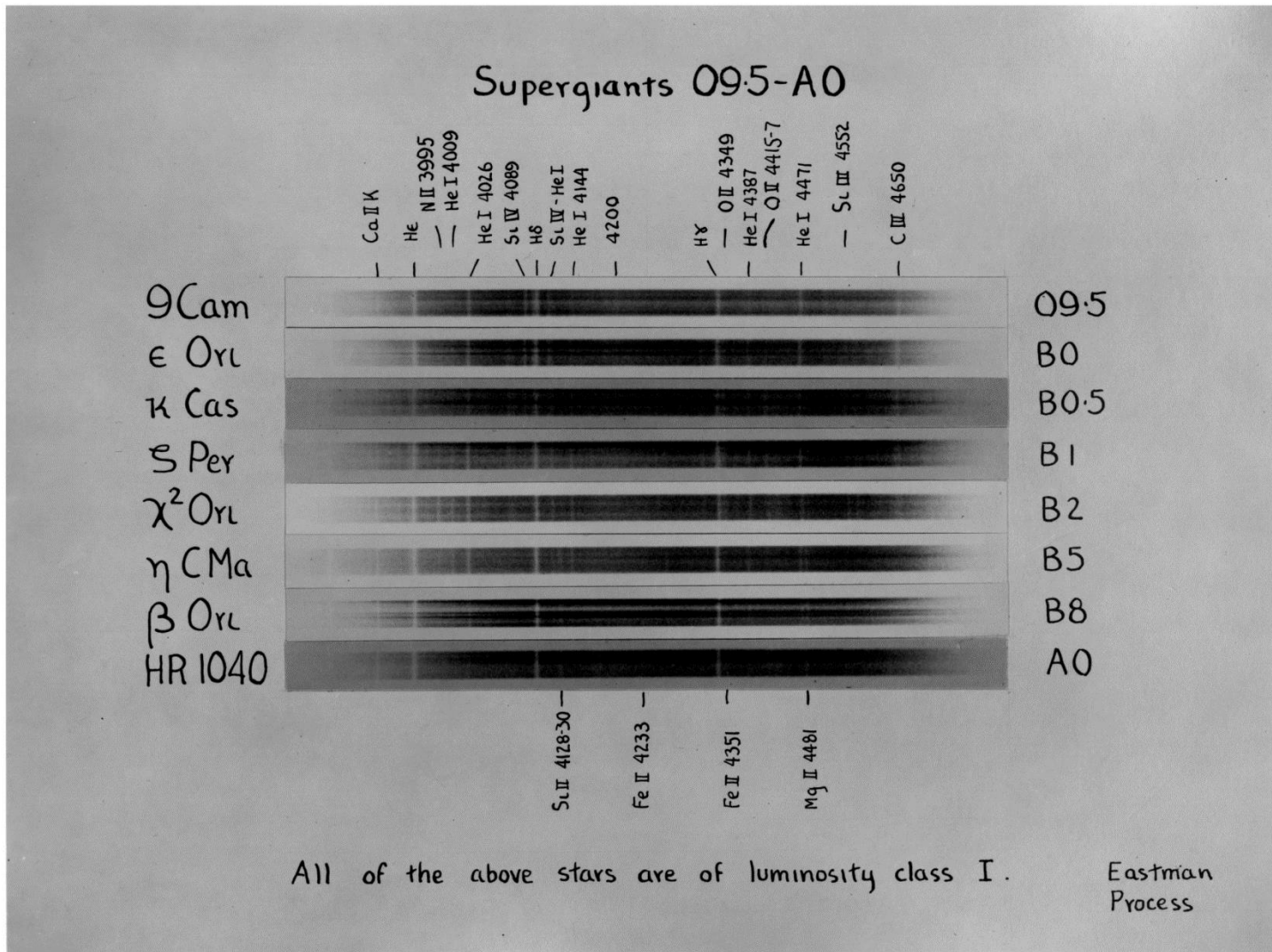
<http://ned.ipac.caltech.edu/level5/>



[http://nedwww.ipac.caltech.edu/level5/ASS\\_Atlas/frames.html](http://nedwww.ipac.caltech.edu/level5/ASS_Atlas/frames.html)





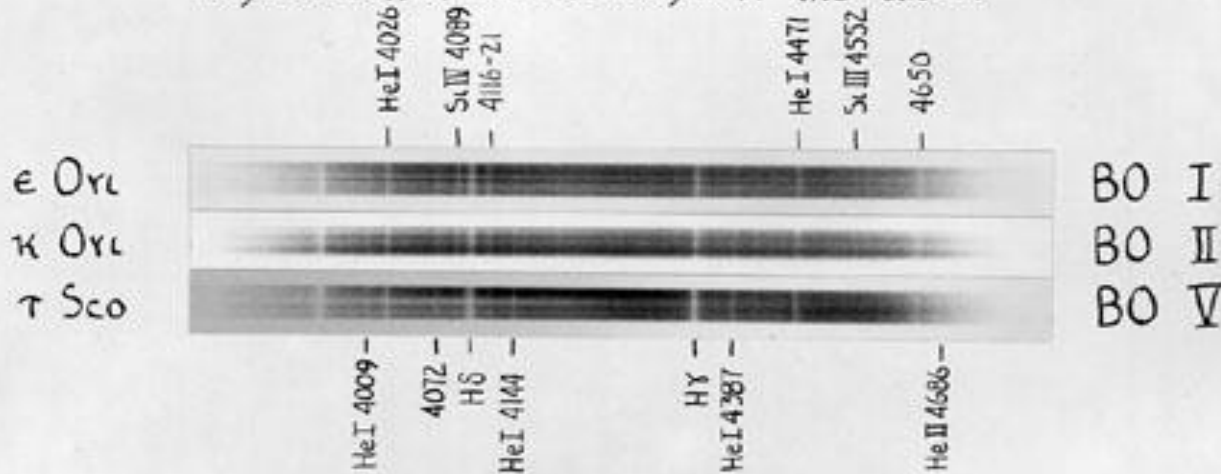


[http://nedwww.ipac.caltech.edu/level5/ASS\\_Atlas/frames.html](http://nedwww.ipac.caltech.edu/level5/ASS_Atlas/frames.html)



## Luminosity Effects at B0

Si IV 4089 shows a progressive decrease in intensity on passing from the very luminous supergiant  $\epsilon$  Ori toward the main sequence star  $\tau$  Sco. The He I lines 4387, 4144 and 4009 have a negative absolute magnitude effect and are strongest in the dwarf



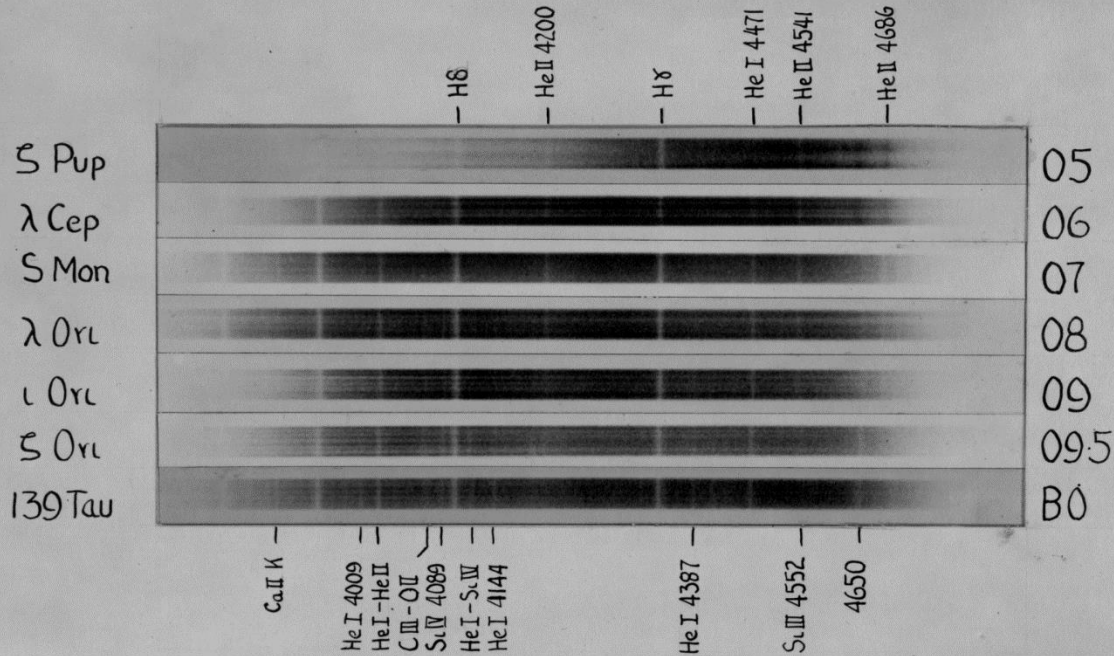
At class B0 the line at  $\lambda 4200$  is absent or very much fainter than He I 4387. Si IV 4089 is stronger than Si III 4552. The following luminosity ratios are used: He I 4009: Si IV 4089,  $\lambda 4072$ : Si IV 4089, and  $\lambda 4119$ : He I 4144. The line He II 4686 is present in the dwarf, but is fainter than in class O9.5

Eastman  
Process

[http://nedwww.ipac.caltech.edu/level5/ASS\\_Atlas/frames.html](http://nedwww.ipac.caltech.edu/level5/ASS_Atlas/frames.html)

# O5 - B0 Standards

The System is that of H.H. Plaskett (05-9)  
 Pubs. D.A.O. 1, 365, 1922



The principal criterion of type is the ratio He I 4471 : He II 4541.  
 At 09.5  $\lambda$ 4200 is still visible and the ratio He I 4387 :  $\lambda$ 4200  
 is used. At B0 the He I spectrum is stronger in general, while the  
 line Si IV 4089 is stronger than Si III 4552.

Eastman  
 Process

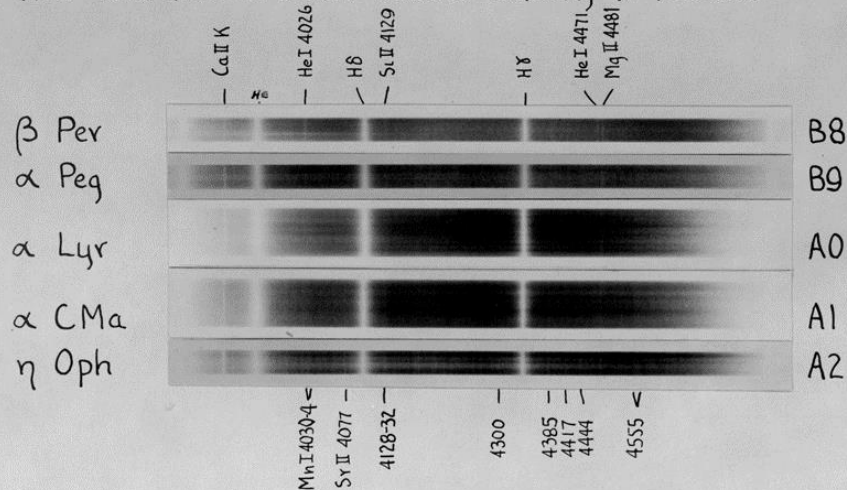
[http://nedwww.ipac.caltech.edu/level5/ASS\\_Atlas/frames.html](http://nedwww.ipac.caltech.edu/level5/ASS_Atlas/frames.html)





## Main Sequence B8-A2

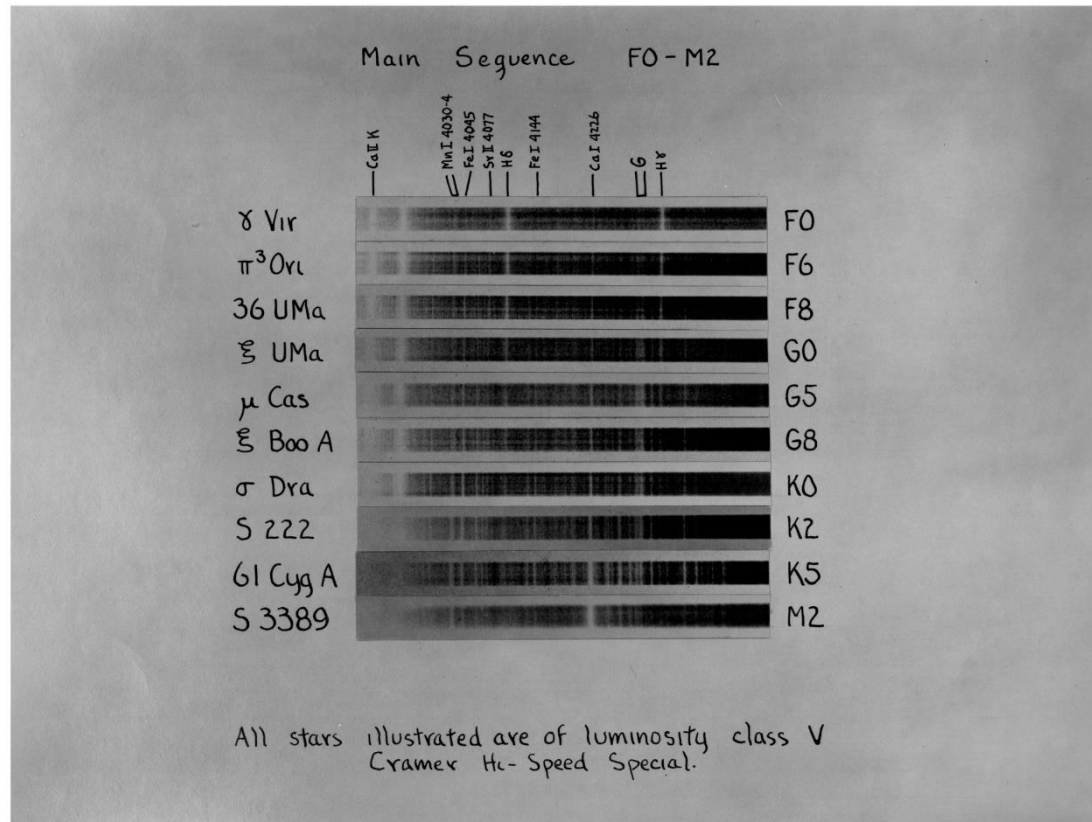
He I 4026, which is equal in intensity to K in the B8 dwarf  $\beta$  Per, becomes fainter at B9 and disappears at A0. In the B9 star  $\alpha$  Peg He I 4026 = Si II 4129. He I 4471 behaves similarly to He I 4026.



The singly ionized metallic lines are progressively stronger in  $\alpha$  CMa and  $\eta$  Oph than in  $\alpha$  Lyr. The spectral type is determined from the ratios: B8, B9: He I 4026: Ca II K, He I 4026: Si II 4129, He I 4471: Mg II 4481. A0-A2: Mg II 4481: 4385, Si II 4129: Mn I 4030-4. Eastman Process

[http://nedwww.ipac.caltech.edu/level5/ASS\\_Atlas/frames.html](http://nedwww.ipac.caltech.edu/level5/ASS_Atlas/frames.html)



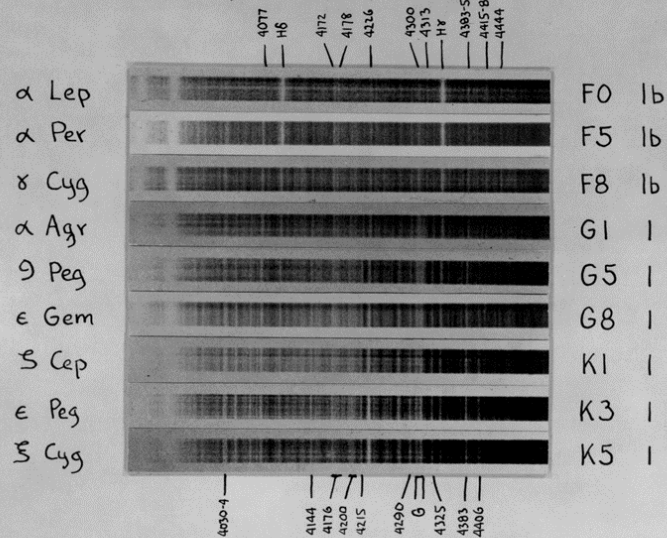


[http://nedwww.ipac.caltech.edu/level5/ASS\\_Atlas/frames.html](http://nedwww.ipac.caltech.edu/level5/ASS_Atlas/frames.html)



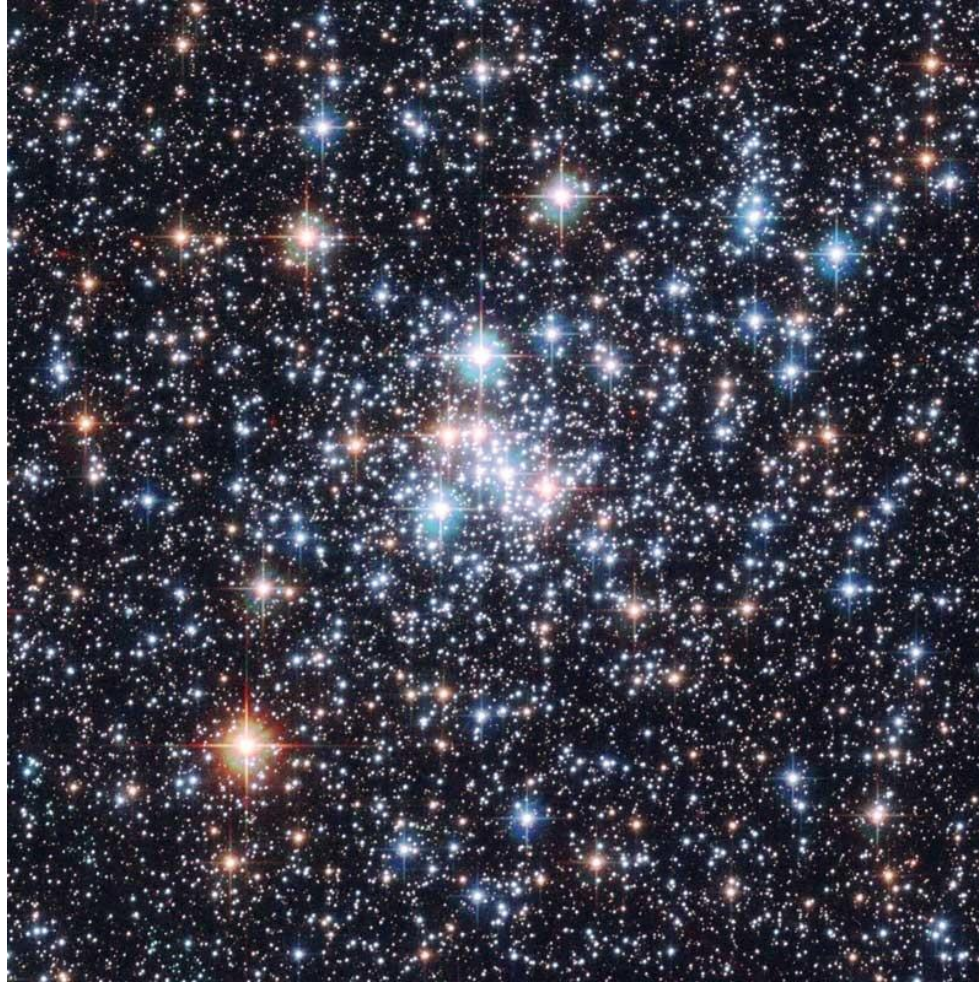
### Supergiants FO-K5

Accurate spectral types of supergiants cannot be determined by direct comparison with normal giants and dwarfs. It is advisable to compare supergiants with a standard sequence of stars of similar luminosity. Useful criteria are: Intensity of H lines (FO-G5), change in appearance



of G-band (FO-K5), growth of  $\lambda 4226$  relative to H $\gamma$  (F5-K5), growth of the blend at  $\lambda 4406$  (G5-K5), and the relative intensity of the two blends near  $\lambda 4200$  and  $\lambda 4176$  (K1-K5). The last-named blend degenerates into a line at K5.  
Cramer H $\gamma$ -Speed Spectra

# Το Χρώμα των άστρων





# Το Χρώμα των άστρων

## 10 γρήγορα και εύκολα

Διαφάνειες που  
χρησιμοποιήθηκαν για την



# Το Χρώμα των άστρων

Φασμα-  
τικός  
τύπος

**O B A F G K M**

Τ σε (Κ)

50,000	28,000	10,000	7,500 -	6,000 -	4,900 -	3,500 -
-	-	- 7,500	6,000	4,900	3,500	2,000
28,000	10,000					

Χρώμα

Κυανό

γαλάζιο

λευκό

Λευκο-  
κίτρινο

κίτρινο

Πορτο-  
καλί

Ερυθ-  
ρό



# Μέγεθος σε περιοχή του φάσματος

$$m_i = -k \log \left\{ \int_{\lambda_{i1}}^{\lambda_{i2}} F(\lambda) d\lambda \right\}$$



# Δείκτης Χρώματος

$$CI = B - V$$

$$CI = m_B - m_V$$

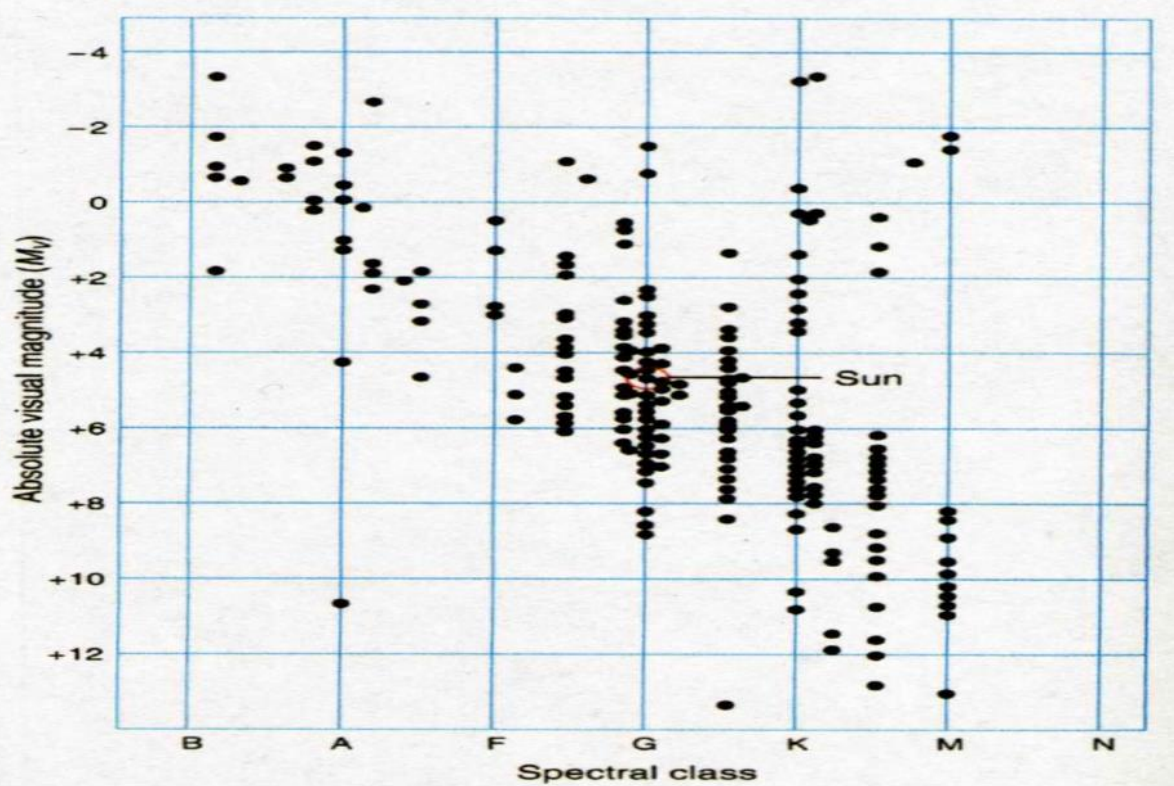


# Διάγραμμα Hertzsprung-Russell

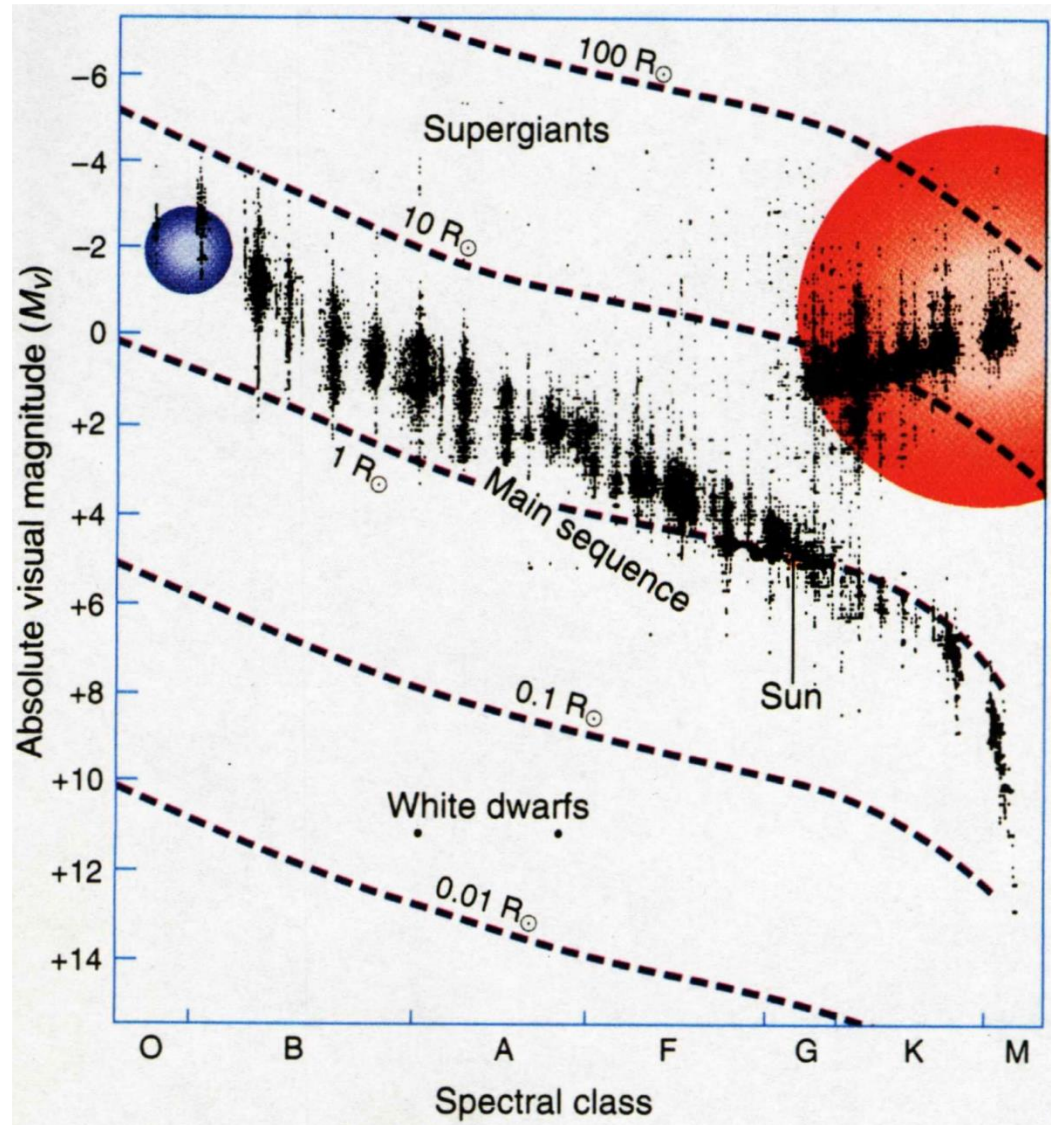
- Διάγραμμα H-R diagram
- HRD, Διάγραμμα χρώματος-μεγέθους
- 1910 Ejnar Hertzsprung και Henry Norris Russell

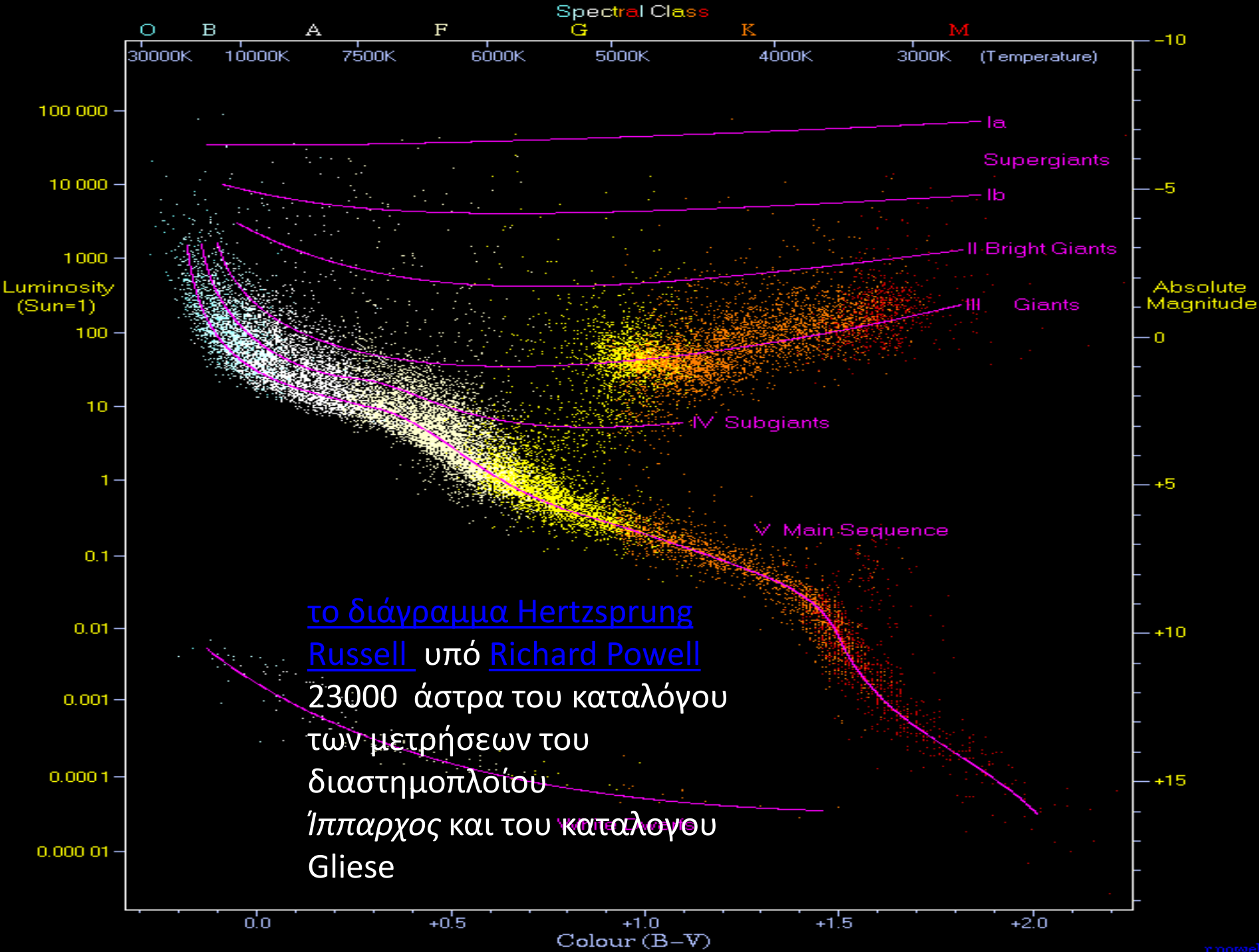




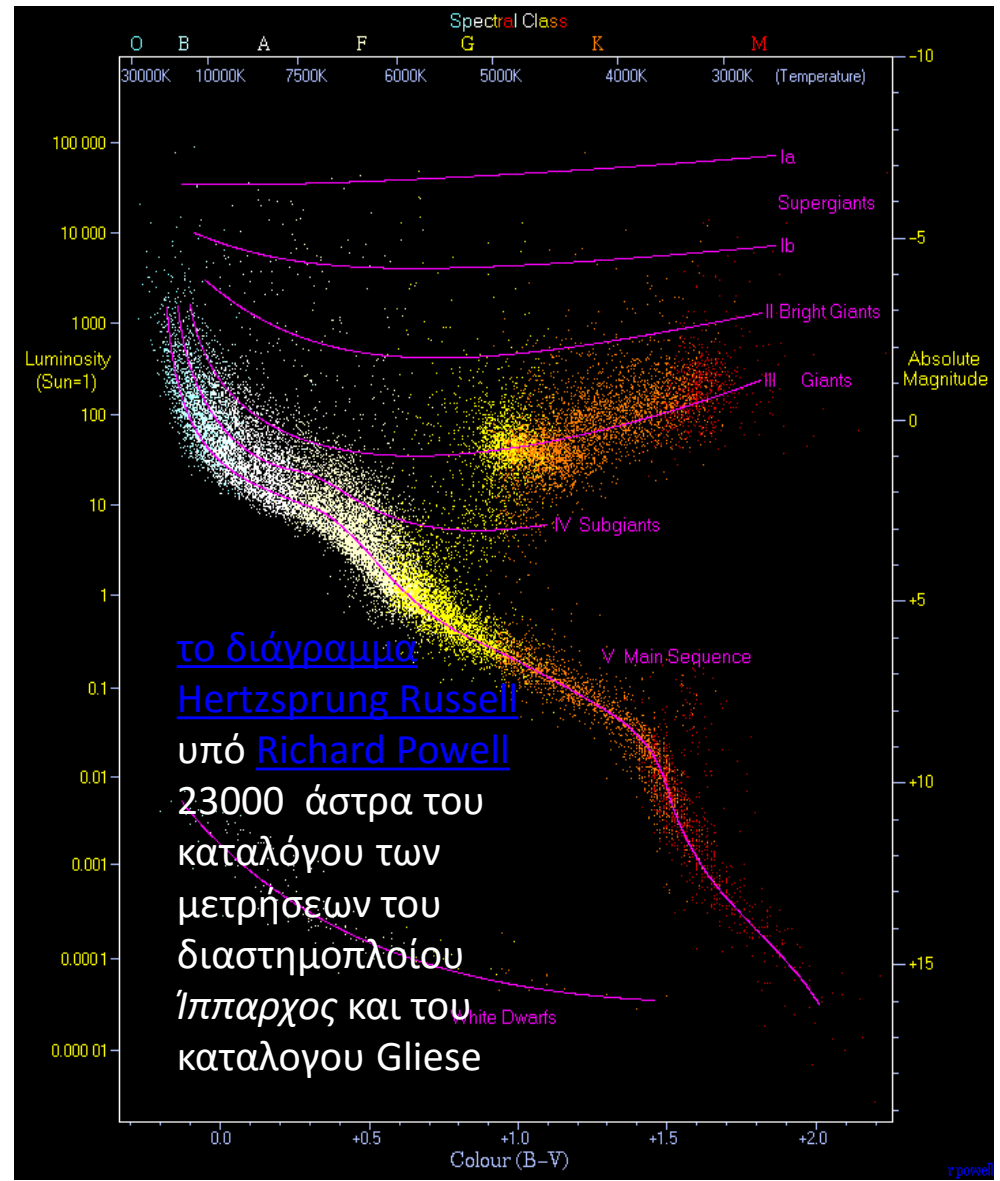


**Figure 19.17** In Henry Norris Russell's original diagram, he plotted stars according to absolute visual magnitude and spectral class. The dwarf sequence (now called the main sequence), which includes the Sun, goes from lower right to upper left. The giant branch scatters out toward the upper right. One white dwarf sits at bottom left.

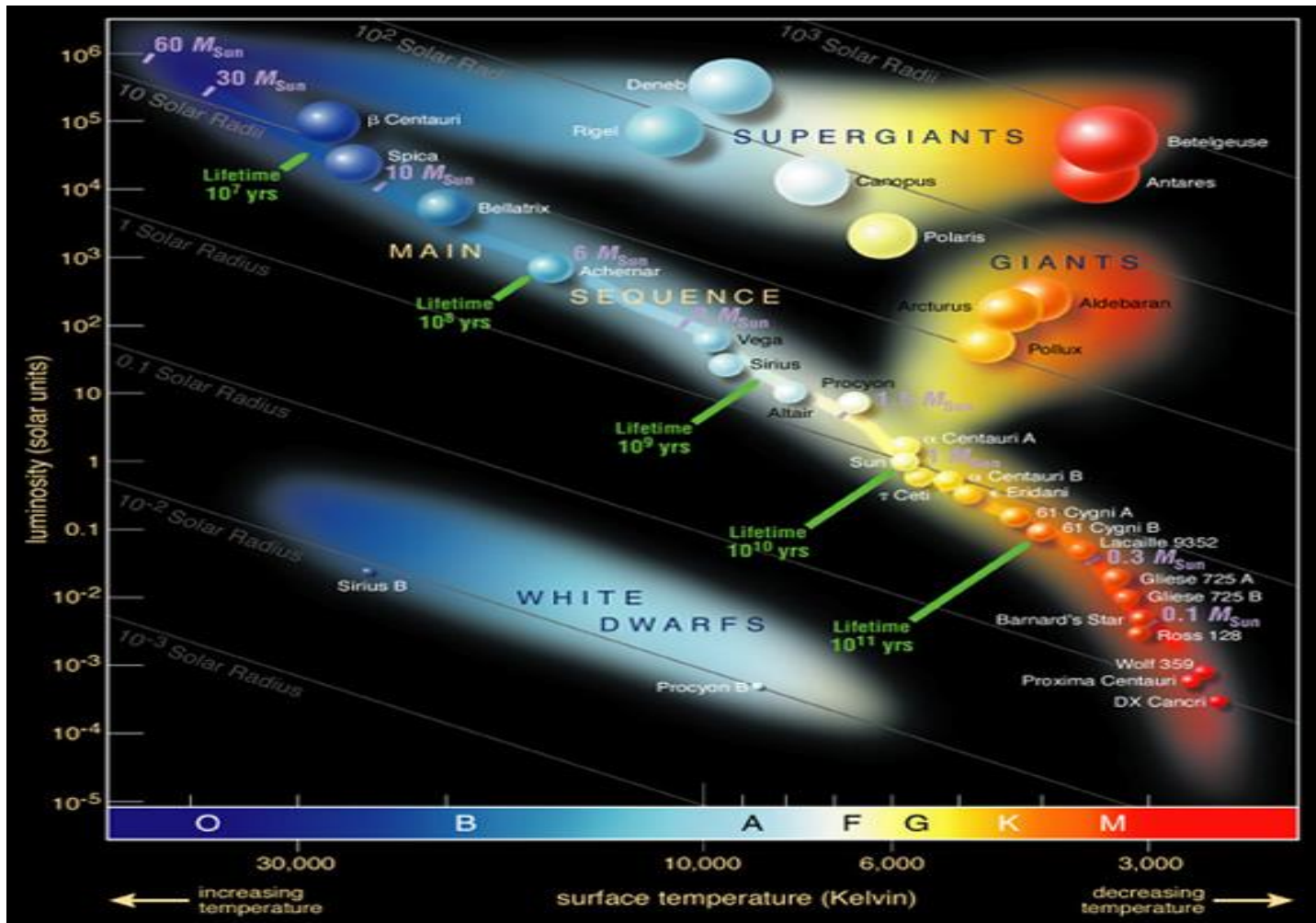




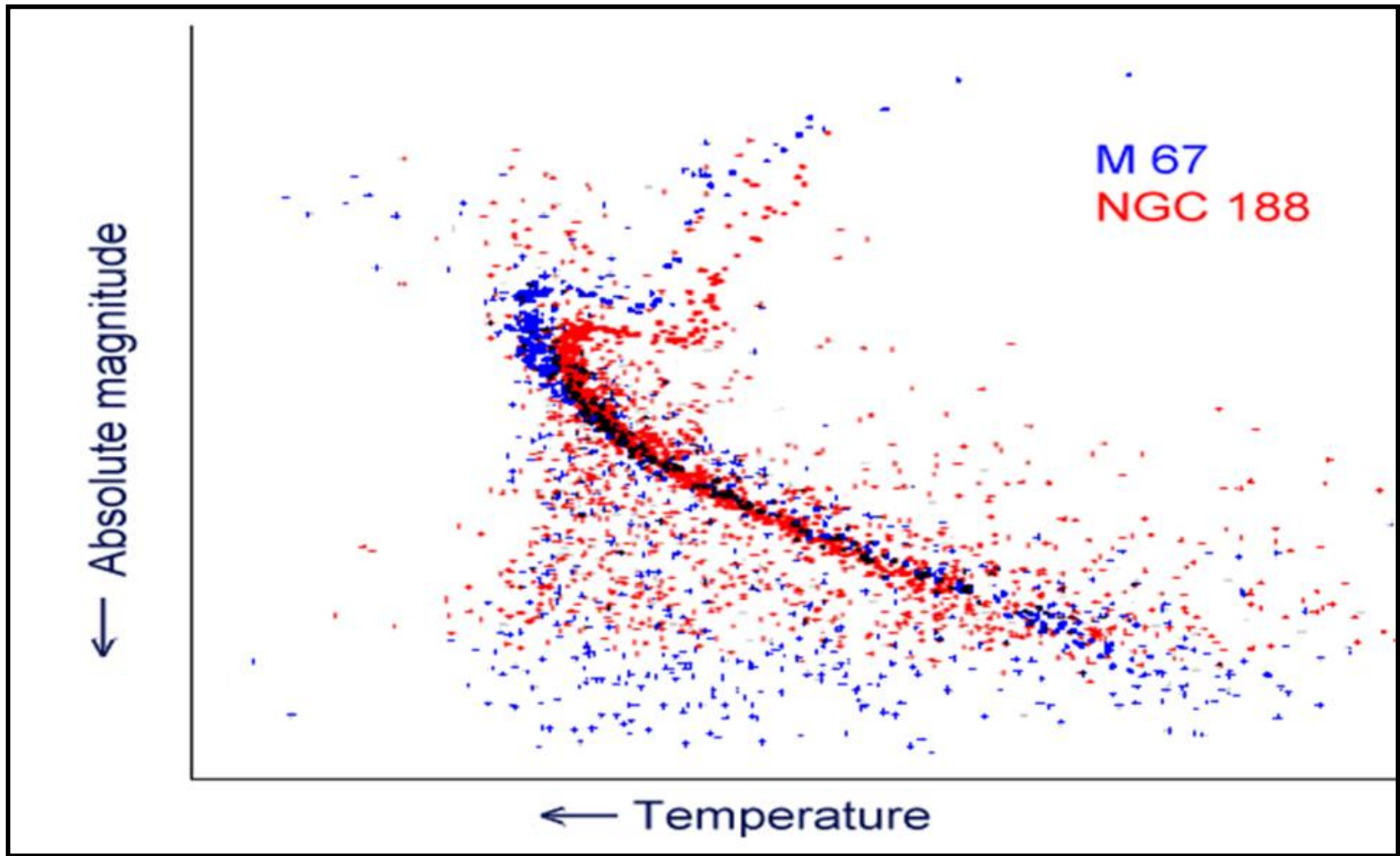
Hertzsprung-Russell diagram. A plot of luminosity (absolute magnitude) against the colour of the stars ranging from the high-temperature blue-white stars on the left side of the diagram to the low temperature red stars on the right side. "This diagram below is a plot of 22000 stars from the Hipparcos Catalogue together with 1000 low-luminosity stars (red and white dwarfs) from the Gliese Catalogue of Nearby Stars. The ordinary hydrogen-burning dwarf stars like the Sun are found in a band running from top-left to bottom-right called the Main Sequence. Giant stars form their own clump on the upper-right side of the diagram. Above them lie the much rarer bright giants and supergiants. At the lower-left is the band of white dwarfs - these are the dead cores of old stars which have no internal energy source and over billions of years slowly cool down towards the bottom-right of the diagram.





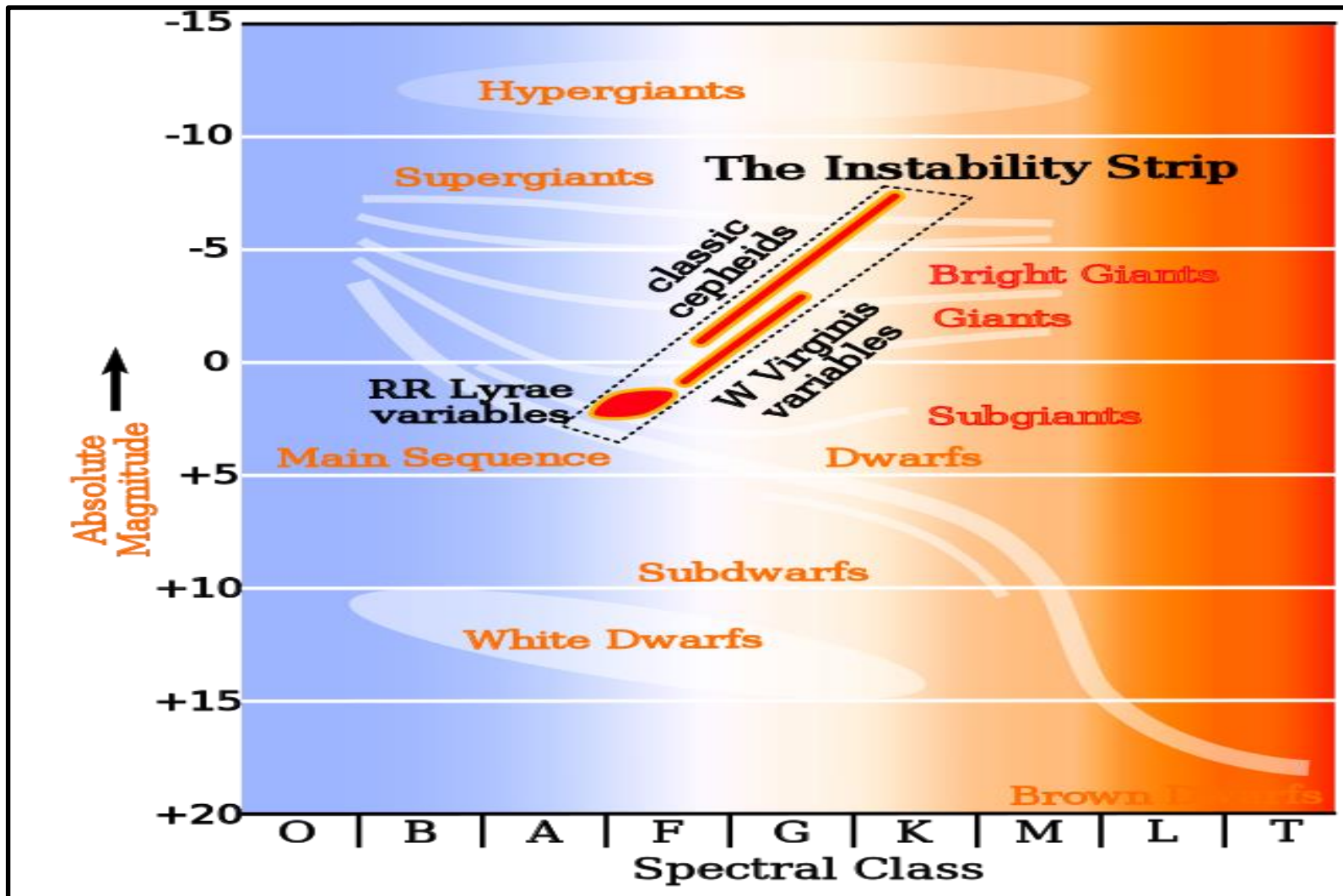


[το διάγραμμα Hertzsprung Russell](#) με τα πιο γνωστά άστρα του ουρανού, [ESO](#)



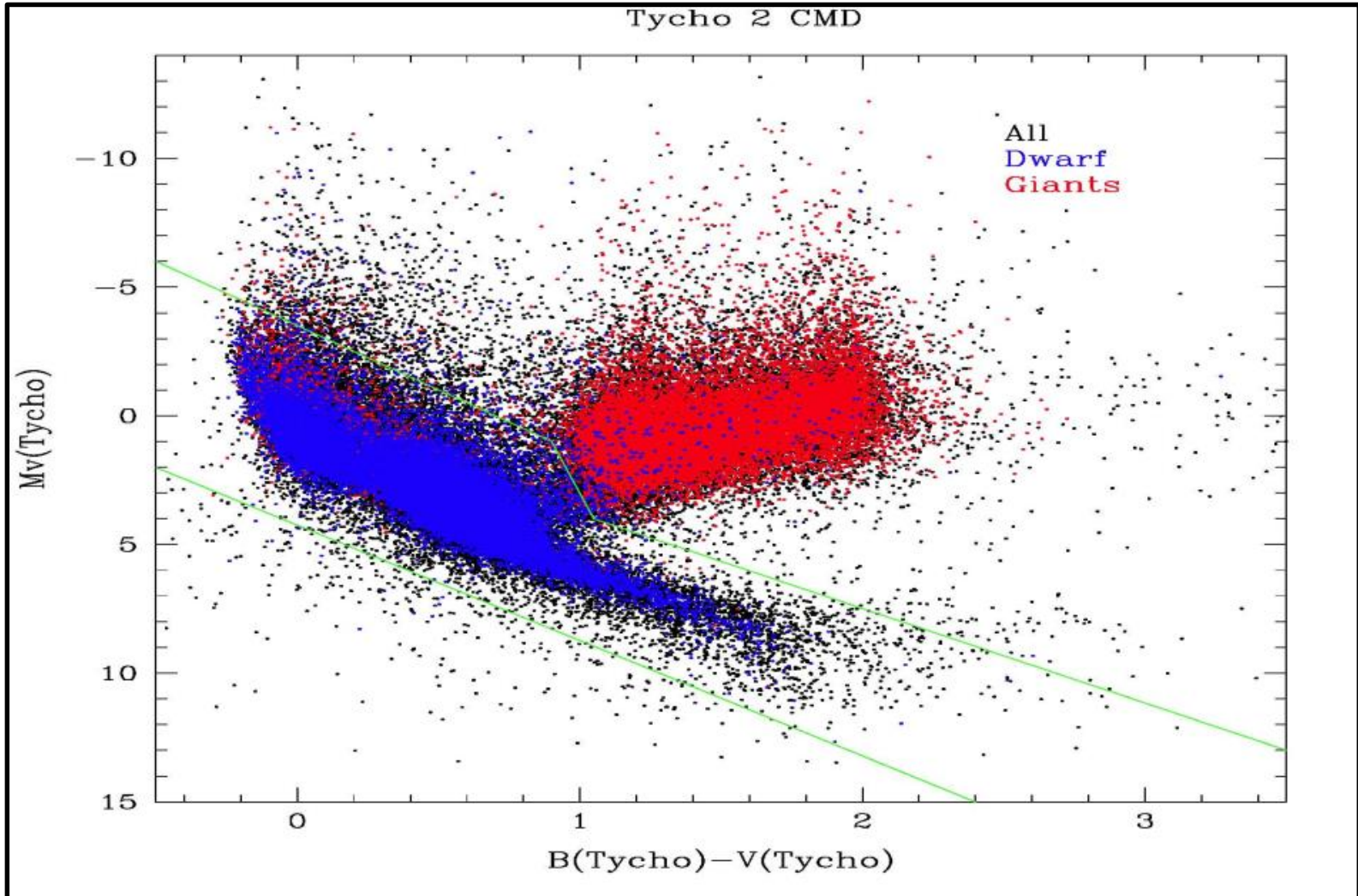
το διάγραμμα Hertzsprung Russell δύο ανοικτών σμηνών, M67 και NGC 188, που έχουν διαφορετικές ηλικίες και το σημείο που αποκλίνουν διαφέρει, ενδεικτικό της ηλικίας τους. Σχήμα υπό Worldtraveller.





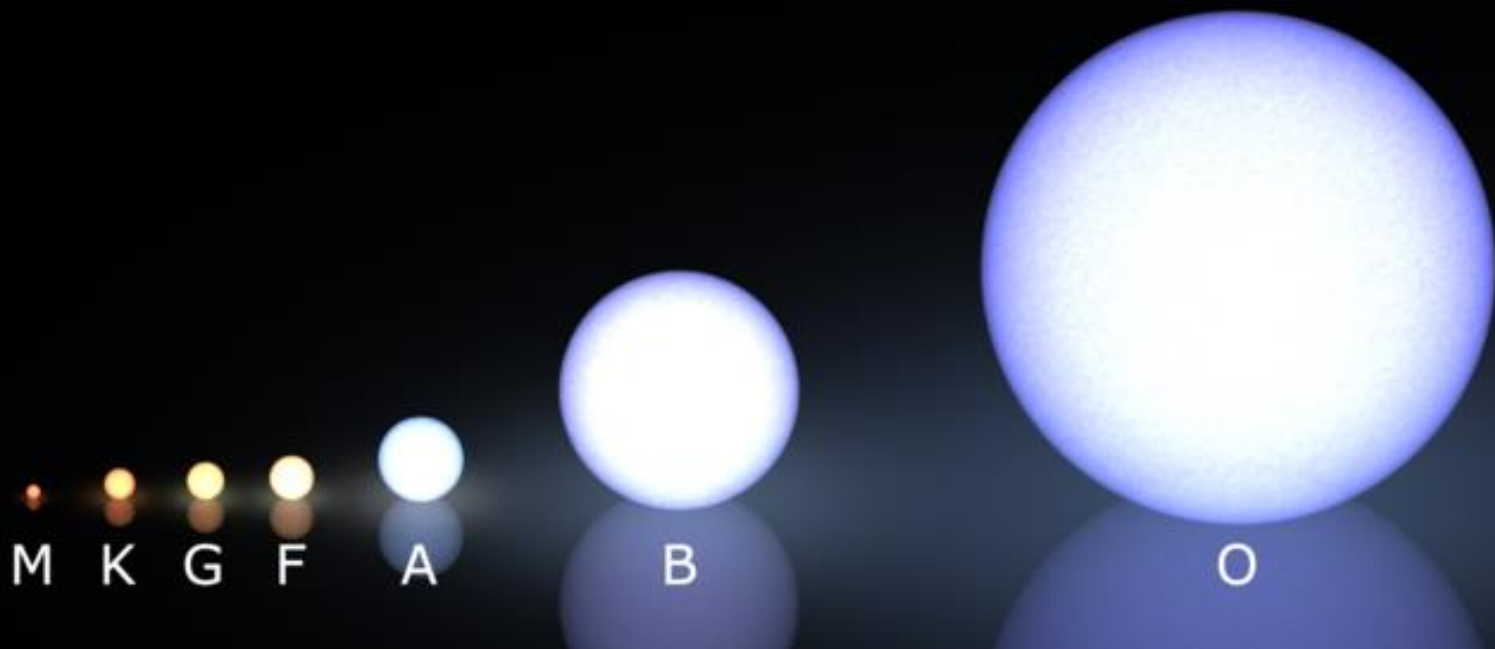
[το διάγραμμα Hertzsprung Russell](#) με μεταβλητούς αστέρες, εικόνα [Rursus](#)





το διάγραμμα Hertzsprung Russell με τους νάνους αστέρες με γαλάζιο και τους γίγαντες με κόκκινο χρώμα





ΦΤ

Θερμοκρασία<sup>1</sup>

χρώμα

Γραμμές

O

&gt; 25 000 K

κυανό

Αζωτου, άνθρακα,  
Ηλίου, οξυγονου

B

10 000 - 25 000 K

γαλάζιο

Ηλίου, υδρογόνου

A

7 500 - 10 000 K

λευκό

υδρογόνου

F

6 000 - 7 500 K

κίτρινο

μεταλλικές:  
σίδηρο, τιτάνιο,  
ασβέστιο,  
στρόντιο, μαγνήσιο

G

5 000 - 6 000 K

κίτρινο

ασβέστιο, Ηλίου,  
υδρογόνου και  
μετάλλων

K

3 500 - 5 000 K

Κιτρινο-πορτοκαλί

Μετάλλων και  
οξειδίου του  
τιτανίου

M

&lt; 3 500 K

ερυθρό

Μετάλλων και  
οξειδίου του  
τιτανίου

# Φασματοσκοπία άστρων



Φασματικός τύπος	θερμοκρασία	χρώμα	χρώμα	Μάζα/μάζα ηλίου	Ακτίνα/ηλίου	Ισχύς	Γραμμές υδρογόνου	Ποσοστό άστρων κύριας ακολουθίας
<u><a href="#">O</a></u>	≥ 30,000 K	blue	blue	≥ 16 <u><a href="#">M<sub>☉</sub></a></u>	≥ 6.6 <u><a href="#">R<sub>☉</sub></a></u>	≥ 30,000 <u><a href="#">L<sub>☉</sub></a></u>	Weak	0.00003%
<u><a href="#">B</a></u>	10,000–30,000 K	blue to blue white	blue white	2.1–16 <u><a href="#">M<sub>☉</sub></a></u>	1.8–6.6 <u><a href="#">R<sub>☉</sub></a></u>	25–30,000 <u><a href="#">L<sub>☉</sub></a></u>	Medium	0.13%
<u><a href="#">A</a></u>	7,500–10,000 K	white	white to blue white	1.4–2.1 <u><a href="#">M<sub>☉</sub></a></u>	1.4–1.8 <u><a href="#">R<sub>☉</sub></a></u>	5–25 <u><a href="#">L<sub>☉</sub></a></u>	Strong	0.6%
<u><a href="#">F</a></u>	6,000–7,500 K	yellowish white	white	1.04–1.4 <u><a href="#">M<sub>☉</sub></a></u>	1.15–1.4 <u><a href="#">R<sub>☉</sub></a></u>	1.5–5 <u><a href="#">L<sub>☉</sub></a></u>	Medium	3%
<u><a href="#">G</a></u>	5,200–6,000 K	yellow	yellowish white	0.8–1.04 <u><a href="#">M<sub>☉</sub></a></u>	0.96–1.15 <u><a href="#">R<sub>☉</sub></a></u>	0.6–1.5 <u><a href="#">L<sub>☉</sub></a></u>	Weak	7.6%
<u><a href="#">K</a></u>	3,700–5,200 K	orange	yellow orange	0.45–0.8 <u><a href="#">M<sub>☉</sub></a></u>	0.7–0.96 <u><a href="#">R<sub>☉</sub></a></u>	0.08–0.6 <u><a href="#">L<sub>☉</sub></a></u>	Very weak	12.1%
<u><a href="#">M</a></u>	≤ 3,700 K	red	orange red	≤ 0.45 <u><a href="#">M<sub>☉</sub></a></u>	≤ 0.7 <u><a href="#">R<sub>☉</sub></a></u>	≤ 0.08 <u><a href="#">L<sub>☉</sub></a></u>	Very weak	76.45%





Φασματοσκοπία μακρινών γαλαξιών  
Credit: VIMOS, VLT, ESO

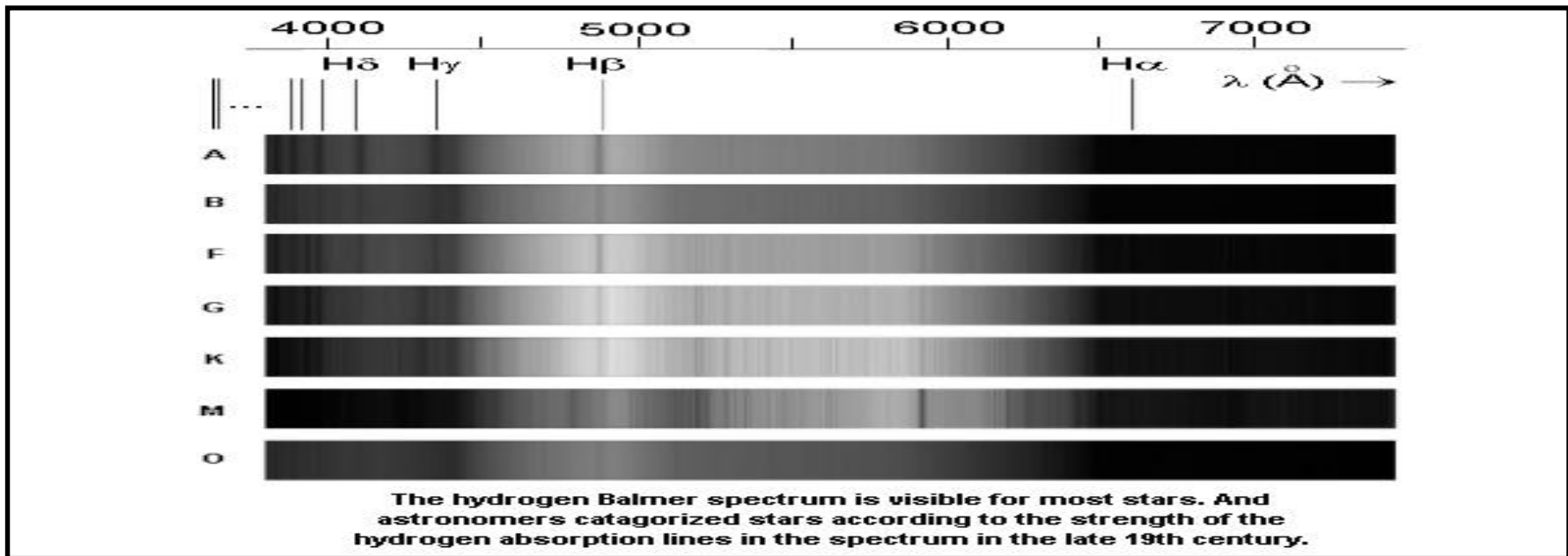
Η ταξινόμηση των άστρων έγινε  
από την Annie Jump Cannon  
(1863-1941) στο Harvard college  
observatory





στο τέλος του 19<sup>ου</sup> αιώνα η Canon με την ομάδα της με τη χρήση φωτογραφιών ανέλυσε φάσματα 400.000 άστρων και τα ταξινόμησε κυρίως με βάση την παρουσία Υδρογόνου, ασβεστίου και μαγνησίου





Αρχικά δεν ήξεραν  
 ποια είναι η σημασία  
 αυτής της ταξινόμησης





# Η χημεία του σύμπαντος και η Cecilia Payne-Gaposchkin, 1900 - 1979

Με το διδακτορικό της το 1925 διαπίστωσε  
ότι ο Ήλιος και τα άστρα είναι φτιαγμένα  
από τα χημικά στοιχεία της Γης

~90% H

~10% He

και

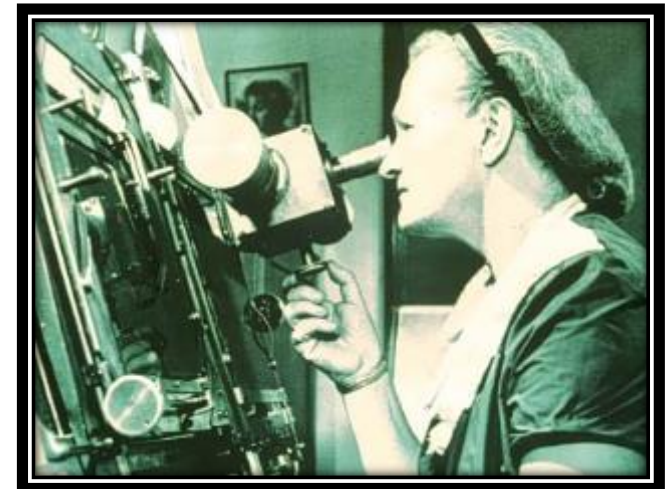
~1-2% από τα βαρύτερα χημικά στοιχεία

Ήλθε σε σύγκρουση με τις αντιλήψεις της  
εποχής



# Η χημεία του σύμπαντος και η Cecilia Payne-Garoshkin, 1900 - 1979

- Ο Otto Struve είπε ότι το διδακτορικό της ήταν αδιαμφισβήτητα το καλύτερο διδακτορικό στην αστρονομία
- Εφάρμοσε την θεωρία που ανέπτυξε ο ινδός φυσικός Megh Nad Saha σχετικά με τον ιονισμό και συσχέτισε τους φασματικούς τύπους των άστρων με τις θερμοκρασίες τους



*Cecilia Payne Garoshkin*



# Megh Nad Saha মেঘনাদ সাহা

$$\frac{n_{i+1}n_e}{n_i} = \frac{2}{\Lambda^3} \frac{g_{i+1}}{g_i} \exp \left[ -\frac{(\epsilon_{i+1} - \epsilon_i)}{k_B T} \right]$$

- $n_i$  είναι η πυκνότητα των ατόμων που βρίσκονται στην  $i$ -οστή κατάσταση ιονισμού (ιονισμένα  $i$  φορές)
- $g_i$  είναι η κατάσταση εκφυλισμού των ιονισμένα  $i$  φορές ιόντων
- $\epsilon_i$  είναι η ενέργεια που απαιτείται να ιονισθεί ένα ουδέτερο άτομο και να γίνει ιόν που είναι  $i$  φορές ιονισμένο, δηλαδή η ενέργεια που απαιτείται να χάσει  $i$  ηλεκτρόνια
- $n_e$  είναι η πυκνότητα των ηλεκτρονίων



$$\Lambda \stackrel{\text{def}}{=} \sqrt{\frac{h^2}{2\pi m_e k_B T}}$$



# Megh Nad Saha মেঘনাদ সাহা

$$\frac{n_{i+1}n_e}{n_i} = \frac{2}{\Lambda^3} \frac{g_{i+1}}{g_i} \exp \left[ -\frac{(\epsilon_{i+1} - \epsilon_i)}{k_B T} \right]$$

- $\Lambda$  είναι το θερμικό μήκος κύματος ενός ηλεκτρονίου κατά de Broglie
- $m_e$  είναι η μάζα του ηλεκτρονίου
- $T$  η θερμοκρασία του αερίου
- $k$  η σταθερά Boltzmann
- $h$  η σταθερά Planck



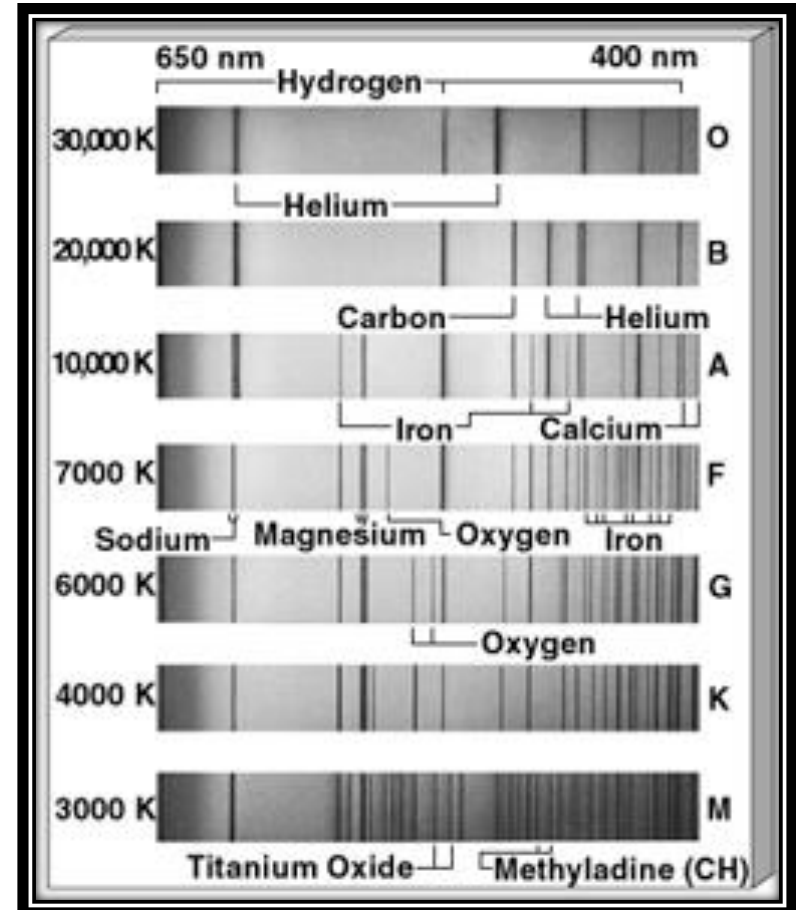
$$\Lambda \stackrel{\text{def}}{=} \sqrt{\frac{h^2}{2\pi m_e k_B T}}$$



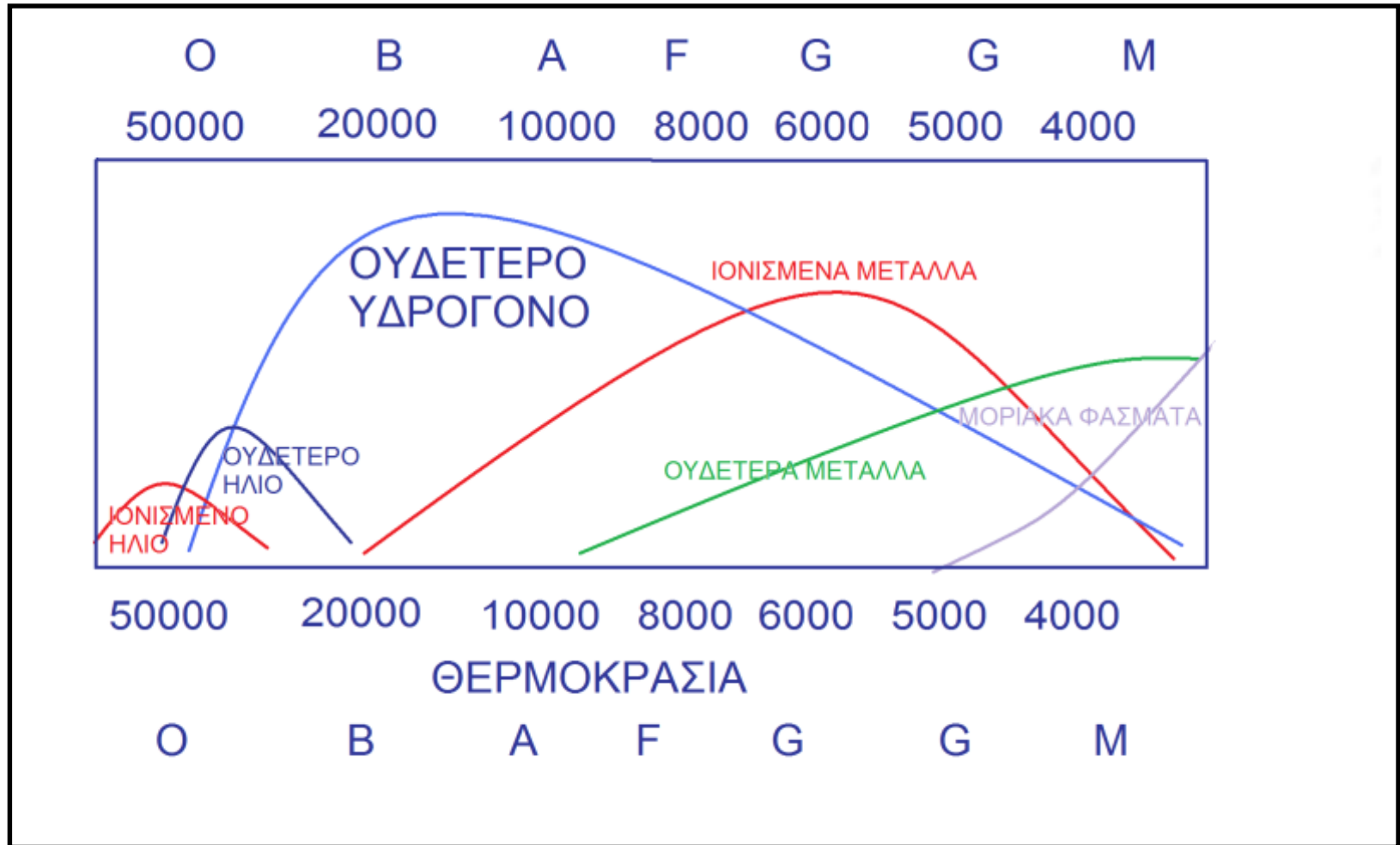


# Cecilia Payne-Gaposhkin OBAFGKM

- Η θερμοκρασία αλλάζει τόσο πολύ τα φάσματα και όχι η χημική σύσταση των άστρων

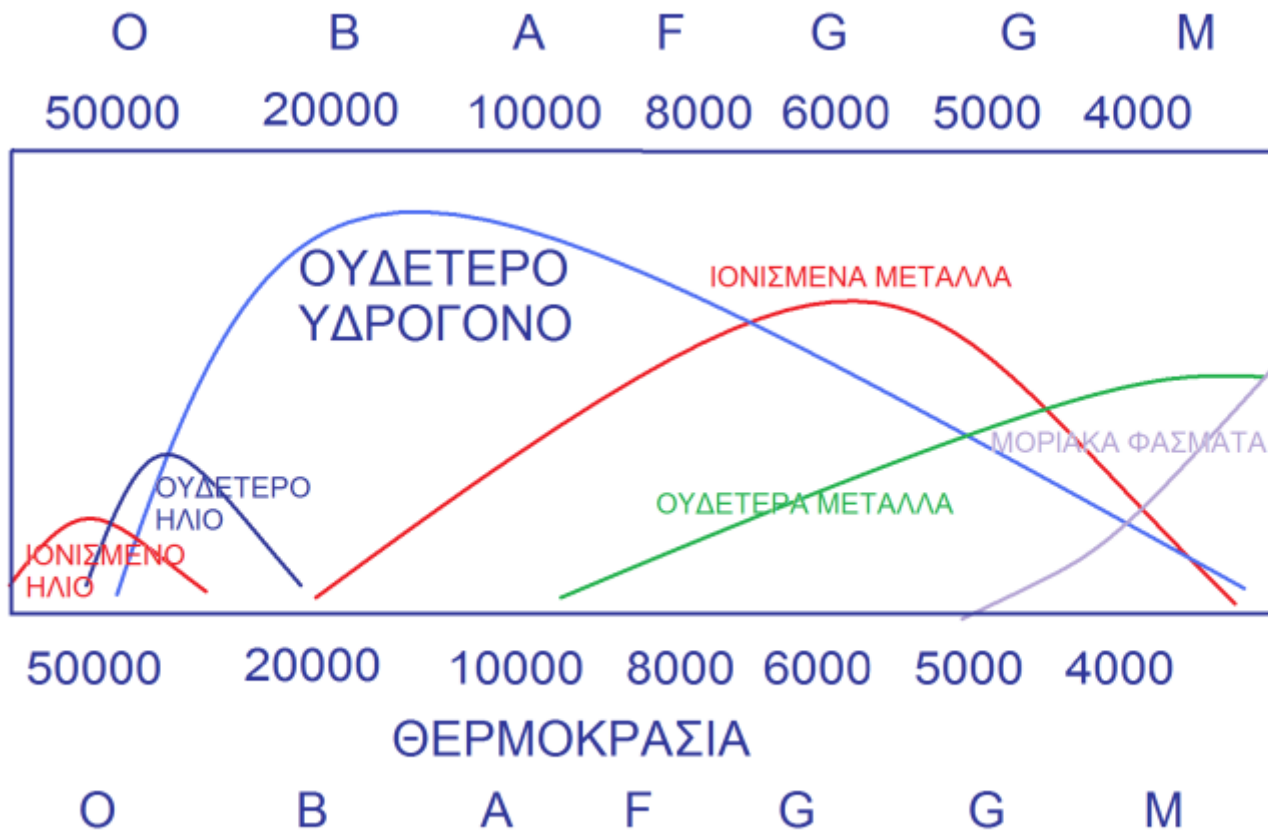


# Cecilia Payne-Gaposchkin ΟΒΑFGKM



- Η θερμοκρασία αλλάζει τόσο πολύ τα φάσματα και όχι η χημική σύσταση των άστρων



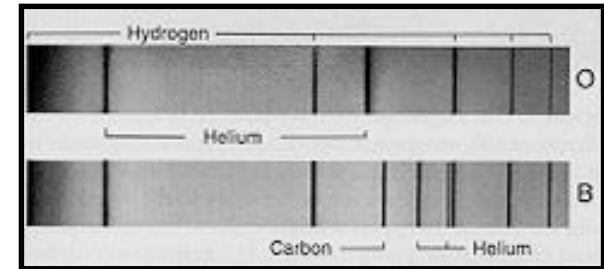


# Φασματική ταξινόμηση



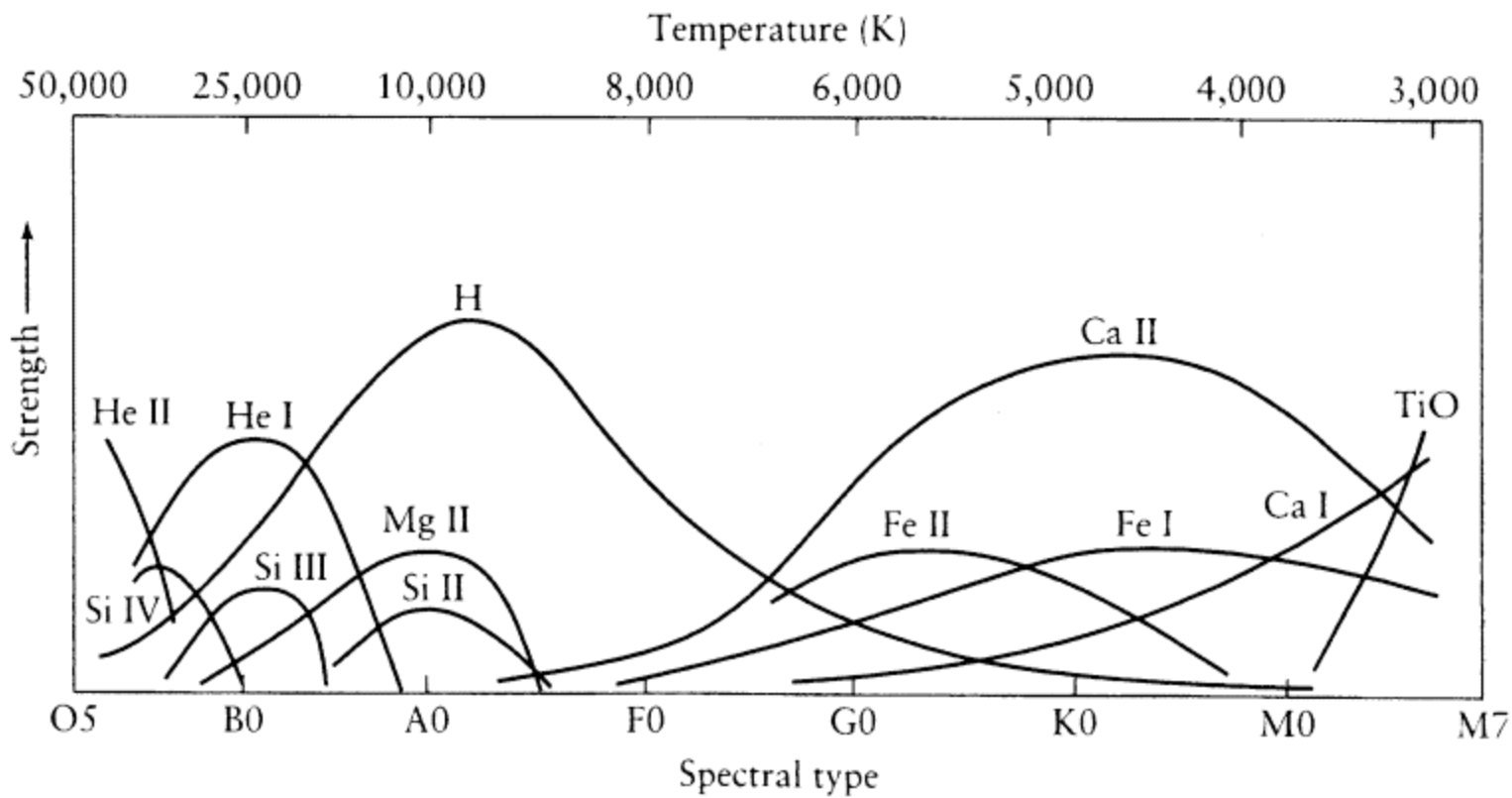


# Υπέρθερμα άστρα O & B T > 20.000 K



- Απουσία γραμμών μετάλλων
- Μεγάλη θερμοκρασία => ιονισμός μετάλλων
- Συνεπώς απουσία φασματικών γραμμών ιόντων μετάλλων στο ορατό διότι εμφανίζονται στο υπεριώδες και ακτίνες X
- Τα ηλεκτρόνια που μένουν στα ιονισμένα χρειάζονται πολύ ενέργεια για να εμφανίσουν γραμμές από μετάβαση σε άλλη στάθμη
- Βλέπουμε H & He, C

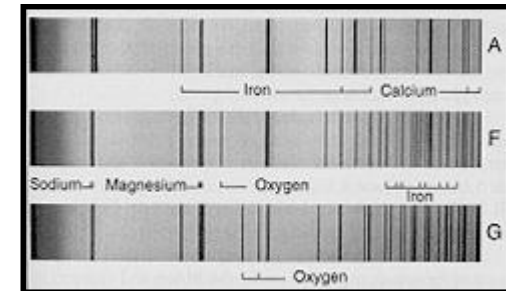




# Μέσης Θερμοκρασίας

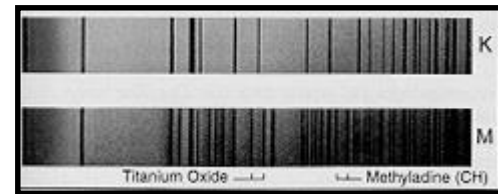
A, F, G , T = 5.000 με 12.000 K

- Εμφανίζονται μερικές ακόμη γραμμές
- Από ότι στα O & B
- Μέταλλα
- Εντονότερες γραμμές υδρογόνου
- Έντονες γραμμές ασβεστίου



# Άστρα χαμηλής θερμοκρασίας K & M, $T < 5.000\text{ K}$

- Πιο σύνθετα φάσματα
- Η θερμοκρασία αρκεί για να έχουμε ακτινοβολία από μέταλλα και εμφανίζονται πολλές φασματικές γραμμές
- Οξειδία του Τιτανίου





# Χρόνος ζωής άστρων

- Εξαρτάται κυρίως από τη μάζα
- Καθορίζεται η ισχύς τους
- Και η συνολική ενέργεια που μπορούν α αποδώσουν
- Τα άστρα ζουν το 80% της ζωής τους στην κύρια ακολουθία
- – 10 δις έτη ο Ήλιος
- – 10 εκατομμύρια έτη  $10 M_{\odot}$
- – 10 τρις έτη  $0,1 M_{\odot}$

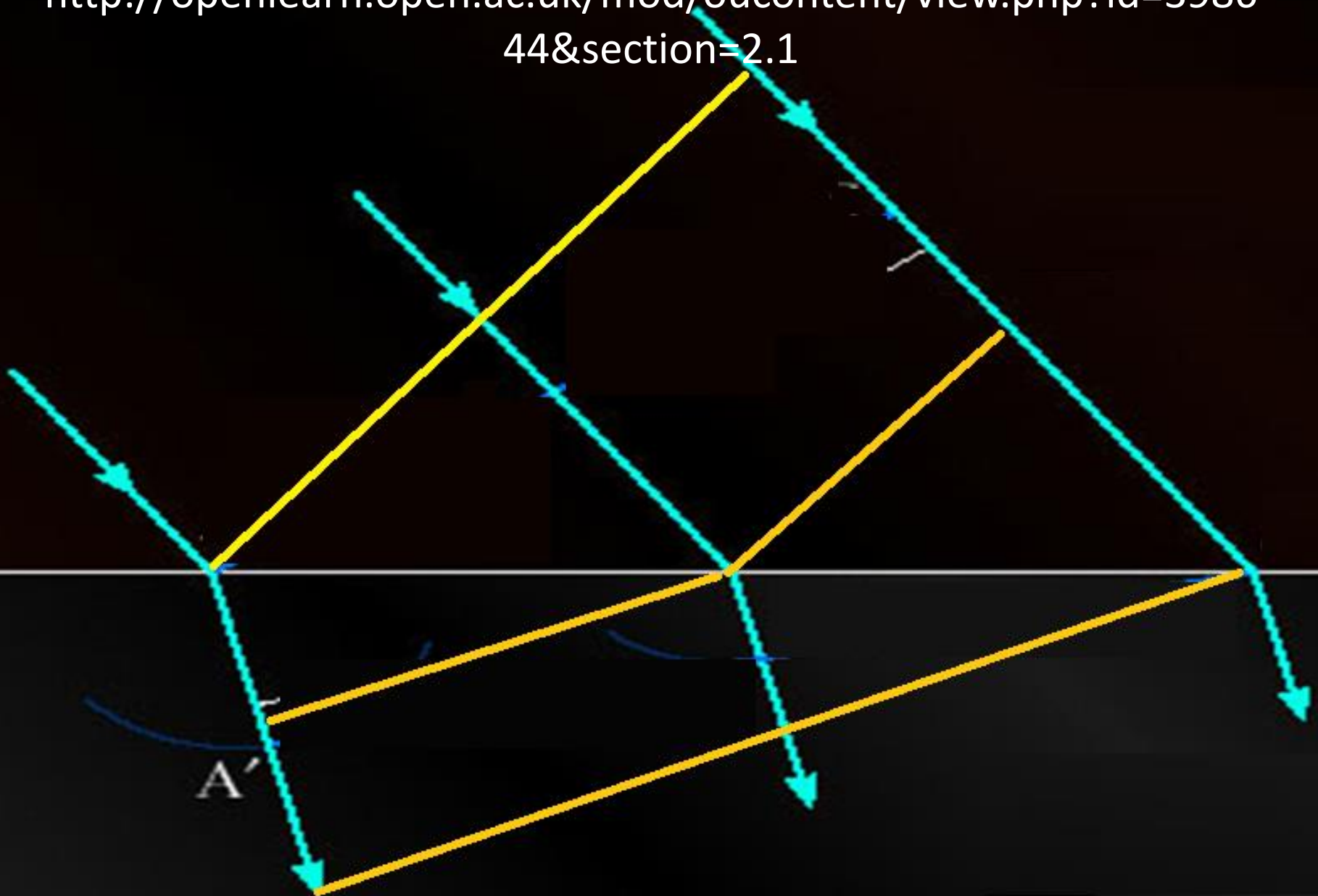


# Καλύτερα Φάσματα



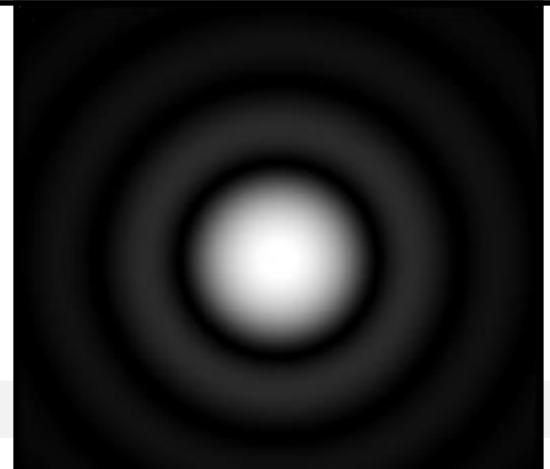
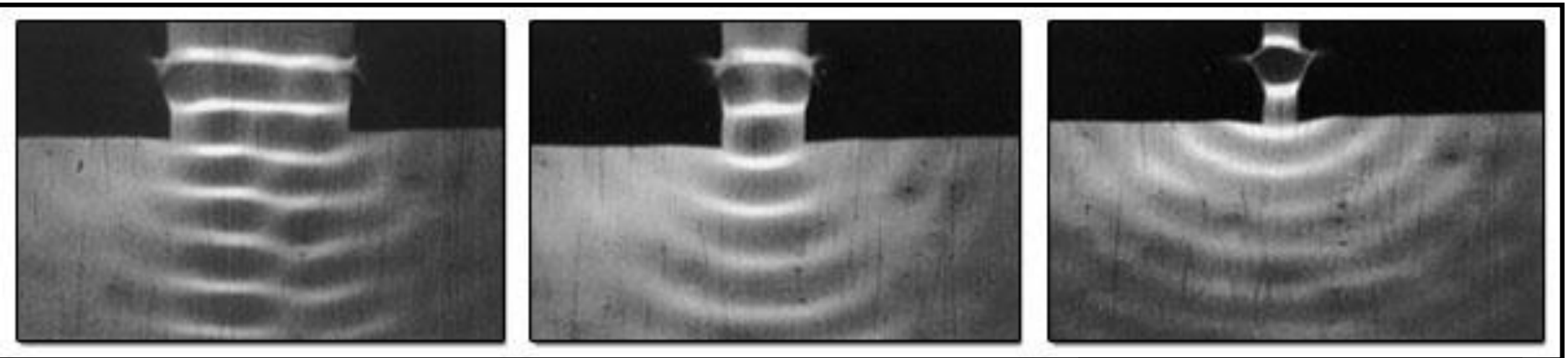
Διάθλαση φωτός (ή κύματος εν γένει)

<http://openlearn.open.ac.uk/mod/oucontent/view.php?id=398644&section=2.1>

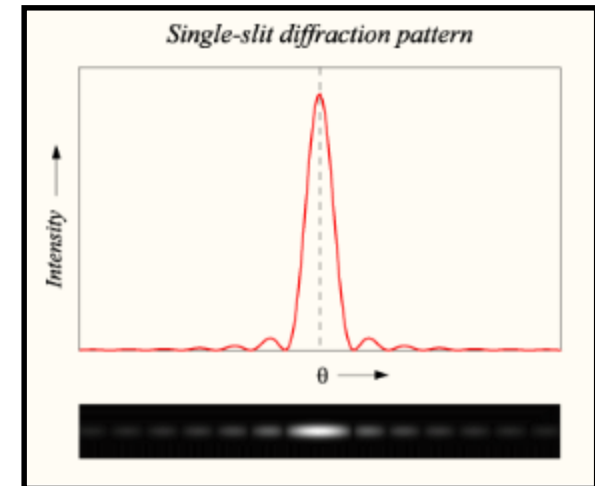
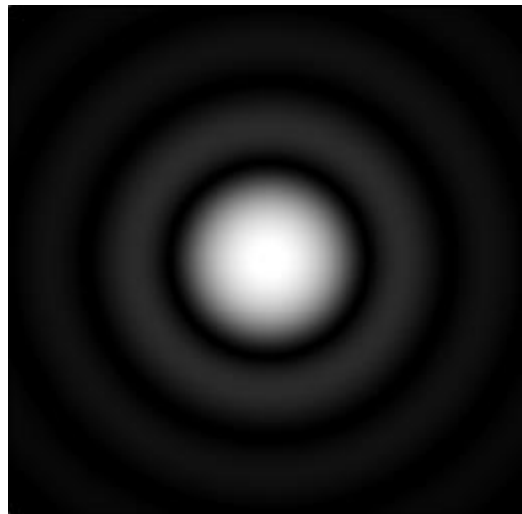
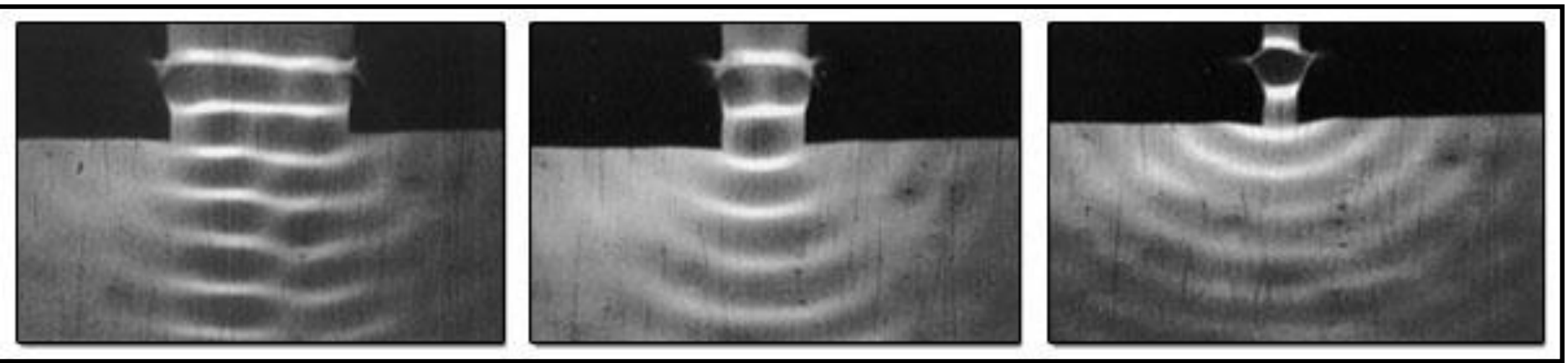


# Περίθλαση η σχισμή ως πηγή

Ιταλός φυσικός Φραντσέσκο Γκριμάλντι 1665







# PHYSICO-MATHESIS DE LUMINE. COLORIBVS. ET IRIDE.

ALIIQVE ADNEXIS

## LIBRI DVO,

In quorum Primo afferuntur Noua Experimenta, & Rationes  
ab ijs deductæ pro Substantialitate Luminis.

In Secundo autem dissoluuntur Argumenta in Primo adducta,  
& probabiliter sustineri posse docetur Sententia  
Peripatetica de Accidentalitate Luminis.

### QVA OCCASIONE

De hactenus incognita Luminis Diffusione, de Reflexionis, Refractionis, ac Dif-  
fractionis Modo & Causis, de Visione, deque Speciebus Intentionalibus  
Visibilem & Audibilem, ac de Substantiali Magnetis effluuio omnia  
corpora pernate, non pauca scitu digna proferuntur,  
& speciali etiam argumento impugnantur Atomistæ.

AUCTORE

P. FRANCISCO MARIA GRIMALDO  
SOCIETATIS IESV.

OPVS POSTHVMM.



BONONIÆ, M.DC.LXV.

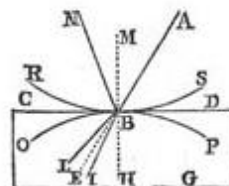
Ex Typographia Hæredis Victorij Benatij. Superiorum permisso.  
Imperij Hieronymi Bernia Bibliopola Bononiensis.

## PROPOSITIO I.

Lumen propagatur seu diffunditur non solum Directè,  
Refractè, ac Reflexè, sed etiam alio quodam  
Quarto modo, DIFFRACTE'.



**H**æcenus non nisi tribus mo-  
dis exerceri luminis diffu-  
sionem Optici communi-  
ter agnouerunt, Directè  
scilicet, Refractè, ac Re-  
flexè. Certissimis namq; experimentis  
obseruatum est, lumen per lineam quidem  
rectam propagari, seu diffundi, donec me-  
dium, per quod diffunditur, maneat idem:  
mutare verò lineam, seu viam suæ diffu-  
sionis, eamq; cum fractione radij inclinare,  
ad vnâ partem, statim ac transit ab vno  
medio ad aliud, densitatem habens diuer-  
sam à densitate medij prioris, si tamen in  
illud incurrat obliquè: ac tandem suum  
cursum retro conuertere per reflexionem,  
quotiescumq; incidit in corpus illi resistens,  
nec permittens vltiorem progressum.



2. Exempli gratiâ à luminoso A de-  
scendat lumen per radium AB, obliquè  
incidentem superficiè planæ, ac post-  
ea corporis alicuius diaphani, quæ sit CD:  
erit enim diffusio luminis per radium AB  
rectissima, quia ille totus transit per vni-  
cum medium. At quia deinde mutatur  
medium, idem lumen non perget amplius  
rectâ per radium ABE, si corpus diapha-  
num de nouo occurrens diuersam habue-

rit densitatem ab ea, quam habet corpus  
item diaphanum, per quod radius AB, de-  
scendit. Quin immò si transitus fiat à me-  
dio rariore ad densius, radius refringetur  
versus perpendiculararem, hoc est versus  
lineam rectam, quæ concipiatur educi per  
punctum ingressus B, ita vt faciat cum su-  
perficie CD, angulos omnes æquales. Ac  
si transitus fiat à medio densiore ad rari-  
us, radius flectetur, seu refringetur ad partes  
contrarias, magis recedendo à perpendicu-  
lari.

3. Ponamus iam corpus CDG, in quod  
radius incidit, esse crystallum, ærenu-  
verò esse illud medium prius, per quod de-  
scendit radius AB: & quia crystallum est qui-  
dem diaphanum, densius tamen quam  
aër; propterea lumen relicta via BE, aliam  
instituet viciniorè lineæ perpendiculari  
BH, & procedet per BI. E contrariò si  
corpus CDG ponatur esse rari-  
us, quàm medium CDA, radius AB, alioqui rectâ  
itatus per BE, perget per rectam BI, remo-  
tiorè à prædicta perpendiculari BH, &  
ipse passus refractionem, hoc est obliqua-  
tionem à rectitudine viæ, quam prius se-  
quebatur. Ceterum si radius perpendicu-  
lariter incideret superficiè CD, vt facit  
recta MB, tenderet absq; vlla refractione,  
per viam semper rectam in H.

4. Iam verò fingamus corpus CDG  
esse opacum, ac lumini imperium: idem  
enim lumen incidens sup. efficiè CD, cum  
non possit vilo modo vltius progressus  
coeperit flecti retrosum aliquatenus contra  
luminosum A. Et si quidem incidere per-  
pendiculariter, vt facit radius MB, refle-  
ctetur in se ipsum per eandem viam, qua  
venit: Si verò obliquè incidere, vt facit  
radius AB, reflectetur ad partes oppositas  
per



PROPOSITIO I.

fractum resilit ad latera, & format lucidos illos tractus.

Sed neq; hoc sustineri potest, tum quia modica illa perspicuitas etiam si concedatur, non est tamen dicenda æqualis in omnibus opacis, aut semiopacis, quæ in prædicto cono lucido inferuntur, & quæ omnia ex æquo efficiunt, seu determinant luminosos tractus iam dictos, qui, vt expositum fuit, sunt semper eiusdem magnitudinis, habentq; eandem interuallorum mensuram, siue magis, siue minus perspicuum sit corpus illud imperfectè opacum, quod inferitur in cono lucido: tum quia refractionis ad vnam tantummodo partem fieri potest, at lumen lucidas illas series formans seclitatur ad vtramque partem post opacum insertum cono, easq; pingit, tam supra lucidam basem, quam supra vmbra à prædicto opaco, vel semiopaco proiectam. Ergo lumen illud non est refractum.

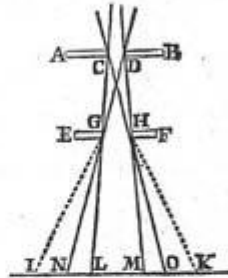
Hactenus probata fuit Propositio per ea, quæ obseruata sunt circa series luminis principales, propè vmbra apparentes.

24 Probatur iam eadem Secunda Pars Propositionis similitè ex obseruatis circa lucidas series secundi generis, quæ scilicet super ipsa vmbra conspicuæ sunt modo, iam supra exposito à num. 14. Quia nimirum ne illæ quidem fieri possunt à lumine Directo, neq; à Refracto, neq; à Reflexo, easdem prorsus ob causas, quæ pro primi generis seriebus allate fuerunt, vt consideranti statim patebit. Quin immò longius abest, vt illæ dicantur pingi à lumine Directo, quia inter ipsas, & foramen luminis perueniunt intercedit in linea recta opacum illud, quod proicit vmbra, & consequenter non potest ex foramine illo dirigi radius ad eas in vmbra formandas. Non apparet præterea vllum corpus, quod vel reflectat versus vmbra prædictam lumen illud, quo series illæ pinguntur. Ergo nullo ex dictis tribus modis propagationis lumen ad eas propagatur à foramine, quàmuis certum sit, eas de facto super vmbra formatas esse vi luminis per prædictum foramen ingredientis. Deniq; licet earum lumen sit valde remissum præ illo, quod efficit exteriores, ac præcipuas series lucidas; non tamen hinc fit vt earum lu-

men sit refractum, aut per aliquam reflexionem debilitatum: Sed remissio illa dicenda est aliunde oriri, vt postea explicabitur.

Experimentum secundum.

25 Aperto in fenestra lignea cubiculi bene obscurati foramine serè digitalis crassitie, applicetur ei lamina opaca subtilis AB, per cuius foraminulū arctissimum CD Solis lumen admittitum formabit se in conum: hic verò in magna distantia post



laminam AB ad rectos angulos secetur ab alia lamella EF, habente pariter foramen paruum GH, per quod excipiat aliquid de prædicto luminoso cono secto à lamina EF, vtiq; in loco vbi eius basis valde superat amplitudinem foraminis GH, vt ita foramen hoc totum illustretur, seu lumine compleatur. Rursus ergo hoc ipsum lumen, quod ingreditur secundum foramen GH, formabitur, seu procedet formatum in conum, vel quasi conum, qui sectus orthogonaliter, ac terminatus ab aliquo plano mundo, & candido, exhibebit in illo suam basem lucidam IK notabiliter maiorem, quam ferant radij per vtrumq; foramen rectè transmissi, & non solum transseunt per extrema foraminum ad easdem partes spectantia, vt sunt radij CGL, & DHM; sed etiam ad partes contrarias, vt sunt radij DGN, & CHO.

Id verò constitit manifestè repetito superius experimento, obseruando nimirum quanta de facto esset basis IK apparentis, & deduc-

*Lumen per  
das foramina  
inter se di-  
stincta trans-  
missum, ex-  
celsior ma-  
ior quàm fer-  
ret, non dis-  
soluta dicitur.*

*Quamvis id  
verò depre-  
hendatur.*

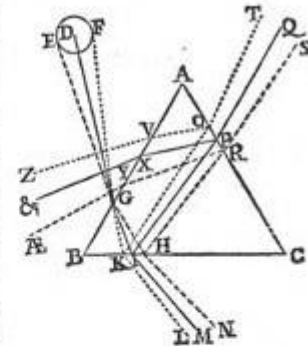
PROPOSITIO XXXV.

mentum, radij per vnum diaphanum al-  
lapi ad alterum, aliquam diuisionem  
partuntur, & partim quidem reflectun-  
tur, partim verò cum vltiori transitu  
refringuntur. Res adeo certa est, vt suf-  
ficiat adverteere ad radiationes luminis, quæ  
per facies prædicti prismatis egrediuntur:  
manifestè enim poterit deprehendi  
illos à præcedenti facie reflexas fuisse,  
seruatis legibus reflexionis, de quibus  
Optici, & quas attulimus ad Propos. 17.  
Id verò facillimè cognoscetur si prima  
facies AB opaco aliquo tegatur, solo par-  
uo foramine G aperto, & obseruetur per  
quoddam punctum faciei sequentis BC  
egrediat radiatio, & rursus per quodam  
deinde in facie sequenti AC egre-  
diatur radiatio reflexa ex facie BC, ac  
deniq; per quoddam in facie AB egre-  
diatur alia radiatio reflexa ex facie AC;  
comparando enim loca talium egressu  
radiationis, deprehendetur illam sic pro-  
fusè dispositi, vt exigunt regulæ reflexio-  
nis.

Ceterum hæc magis certa reddentur  
si, vt dictum est ad Propos. 30. num. 5.  
facies AC asperabitur, perscrutando eam  
subulo crassiore. Sic enim radiatio, quæ  
exibat per faciem AB, cessabit, perdu-  
tante tamen ea, quæ egreditur per BC,  
quod est euidentis signum radiationem  
illam, quæ cessat, prius fuisse reflexam à  
facie AC, dum hæc erat leuis, ac bene-  
tensit adeoq; solum cessare, quia reflexio  
illa impeditur ob prædictam asperationem  
superficiæ AC.

9 Ponatur iam ex Sole DEF descē-  
dere lumen ad prismatis faciem AB, cū  
prædicta debita obliquitate illi exposi-  
tum. Et quæ radij ab eodem Solis pun-  
cto ad totam faciem prismatis descen-  
dentes, sunt ad sensum paralleli ob in-  
gentem distantiam Solis, ac præterea  
eiusdem parallelismum seruant radij præ-  
dicti post quamcumq; ipsorum reflexio-  
nem intra crystallum planum, & post re-  
fractionem extra factam, vt facile Optici  
quouis intelligit; idcirco sufficere  
considerate radios per vnum determi-  
natum punctū prismatis ingresses, nam  
quid de alijs eueniat poterit statim intel-  
ligi ob parallelismum prædictum. Imò

factis erit in Sole determinare tria puncta  
ad prædictum superficiem crystalli pu-  
ctum radiantia, vnum in centro, & reli-



qua in extremis lateribus Solis, posita  
in eodem plano cum prædicta prismatis  
seccione ABC.

10 Sint igitur ex Solis centro D, &  
ex lateribus E, F demissi radij ad G, pu-  
ctum in superficie crystalli prismatis  
trigoni, qui ante ingressum quidè æqua-  
liter inclinatur inter se, at post intres-  
sum per G, refracti versus perpendicu-  
larem, procedit cum interuallu inæqua-  
li, eò quòd licet æquales sint differentie  
inter inclinationes radiorum DG, EG,  
FG supra superficiem AB, sunt tamen  
inæquales ipsorum refractiones, & in-  
æqualia etiam incrementa refractionum,  
nempe maiora pro radijs cum maiori  
inclinatione incidentibus: Etenim radius  
directus EG refringitur in GH, & dire-  
ctus DG magis inclinatus maiori etiam  
patitur refractionem, tenditq; in I, &  
directus FG adhuc magis inclinatus ma-  
iori quoq; refractione seclitatur versus  
K, sed ita vt excessus refractionis radij  
GK supra refractionem radij GI, maior  
sit, quàm excessus refractionis radij eius-  
dem GI supra refractionem radij GH, vt  
Optica experientia conuincunt. Igitur  
minus erit interuallum inter GK, & GI,  
quàm inter GI, & GH: & differetia  
Kk hcc

*radij h  
obliquitate di-  
stincti post  
refractionem,  
ob inæqualia  
refractiones.*

Color rubrus  
ad partem deu-  
fiorum, caru-  
lineus ad par-  
tem.

Deinde color rubeus ad eam partem  
apparet, ad quam lumen est magis in-  
tensum, seu conspiciat; caruleus uero  
ad eam, ad quam lumen remissius est  
magisq; dilatatum: nec dubium esse po-  
test, quin rubeus color sit magis lucidus,  
atq; bilis, quam caruleus, qui in casu  
experimenti spectatur. Argumentum,  
hoc certissimum est ex obseruatione reipsa  
à nobis sæpissimè, & abunde iam expli-  
catis in expositione Experimenti huius  
Secundi, præsertim num. 12. 17. & 18.  
ubi sermo fuit de duabus radiationibus  
LKHN, & ZVYE, quæ solæ euadunt  
multicolores, & densius habent lumen,  
ad partes KL, & ZV, ubi subescunt, ra-  
tius autem ad partes HN, & YE, ubi tin-  
guntur colore caruleo, sed obscuro. Ce-  
terum quicumq; in præxi Experimentum  
explorabit, Argumenti vim oculis ipsis  
illico percipiet.

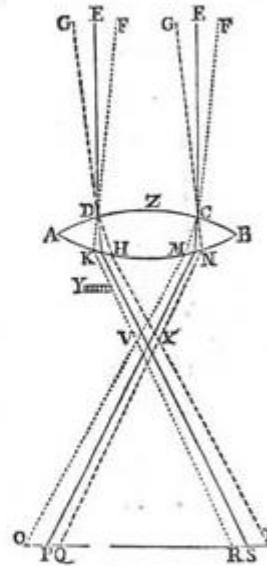
*Tertium Experimentum.*

21. In crystallina lente spherica AB,  
sit pars CD detecta, & detectæ, atq; or-  
thogonaliter opposita Soli, cuius integrum  
quidem hemisphærium intelligatur radi-  
are super totam CD; sufficiat tamen  
hic designare radios à centro Solis, & ab  
extremis eius marginibus descendentes  
ad utrumq; lentis detectæ extremum D,  
& C. Igitur à centro Solis veniant radij  
ED, & EC, qui physicè, & ad sensum  
paralleli sunt ob nimiam Solis distantiam  
comparatiuè ad latitudinem lentis CD:  
à margine autem vno defluat radij GD,  
& GC, & ipsi inter se paralleli physicè,  
& à reliquo margine Solis cadant item  
duo FD, FC similiter inter se paralleli.  
Poterò hi omnes radij in ingressu refrac-  
ti, magis vel minus pro maiori, vel mi-  
nori inclinatione ipsorum sic inciden-  
tium, pergant deinde rectâ, vsq; ad vlti-  
mam superficiem lentis: & illi quidem,  
qui per vnum punctum ingressi sunt,  
procedant conspiciati inter se magis ad  
vnam partem, quam ad alteram, ob præ-  
dictam inæqualitatem incrementorum  
in ipsa refractione. Videlicet GD per-  
gat in H, ED in I, & FD in K; ita ut licet  
ante ingressum per lentem crystallinam

Radij enim  
æquales uerò  
sunt incidentes  
vni puncto  
lentis crys-  
tallinæ.

Cuius deinde  
inæqualiter  
dispersi sunt  
refractionem.

differentiæ Inclinationum in radijs præ-  
dictis eidem puncto incidentibus, æqua-  
les sint; post ingressum tamen differen-  
tiæ Refractionum sint inæquales, nempe  
maiores versùs partem DK, quam versùs  
DH, siquidem experimenta contin-  
cunt esse maiora incrementa refractionum  
in radijs refractis DK, DI, DH,



quàm incrementa Inclinationum in ra-  
dijs incidentibus FD, ED, GD; ex quo  
manifestè sequitur, radios per D ingres-  
sos reddi conspiciatios ad partem DK,  
quàm ad partem DH: quomobrem erit  
inter DK, & DI minus spatium, quàm  
inter DI, & DH.

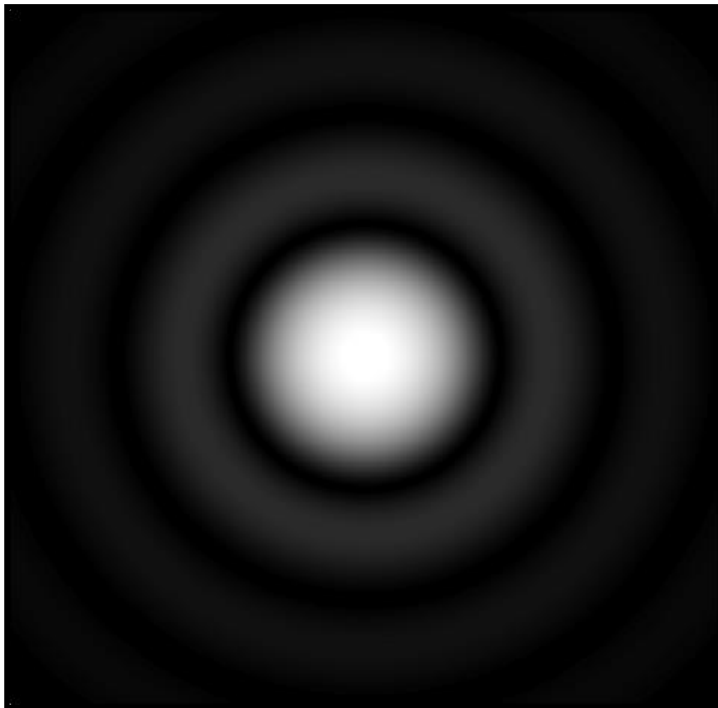
23. Eadem ratione radij à centro So-  
lis, & ab extremis eius marginibus des-  
cendentes ad punctum C, & æquali-  
bus Inclinationum differentiis inciden-  
tes superficiæ ACB, post ingressum ta-  
men



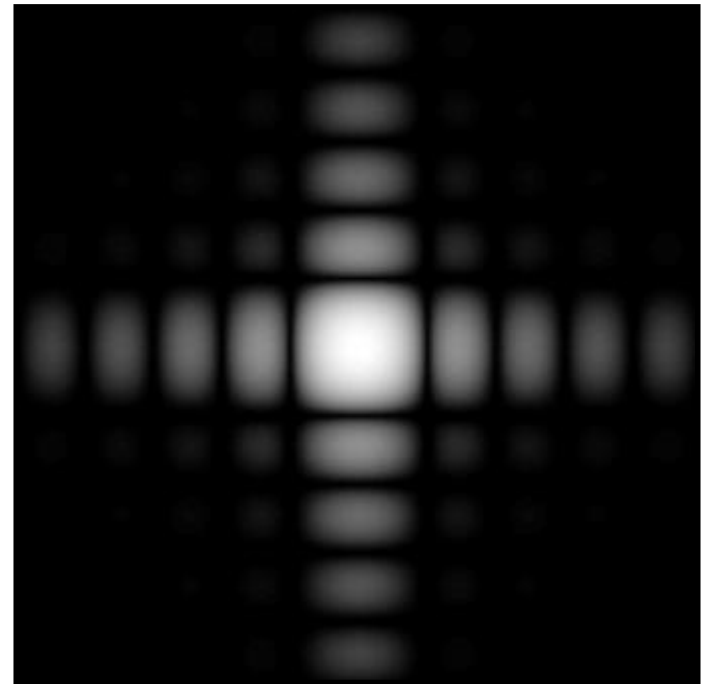
# Περίθλαση, η σχισμή ως πηγή

Οπή

Κυκλική

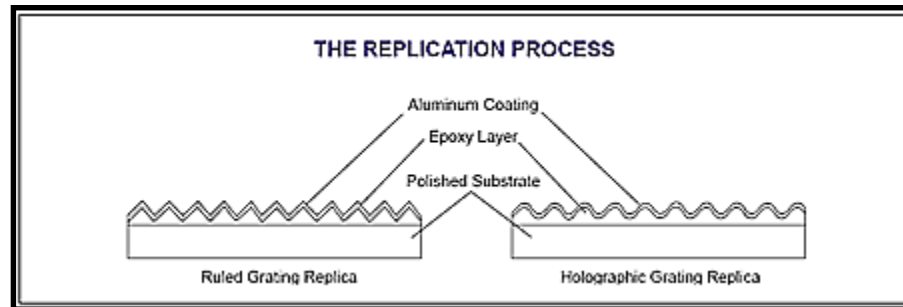


τετράγωνη

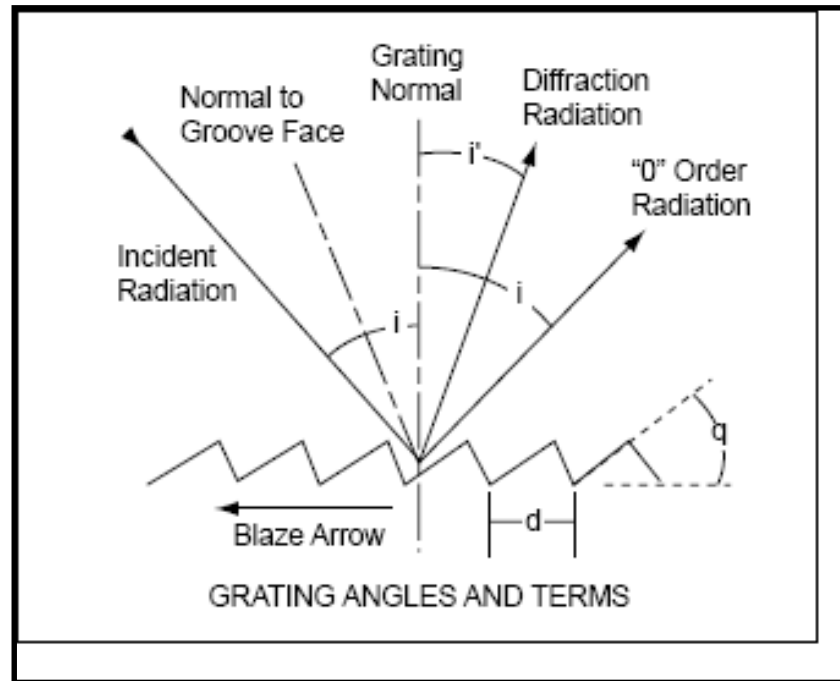




# Το ίδιο επιτυγχάνεται με ανάκλαση από πολλές ανακλαστικές επιφάνειες



# Το ίδιο επιτυγχάνεται με ανάκλαση από πολλές ανακλαστικές επιφάνειες



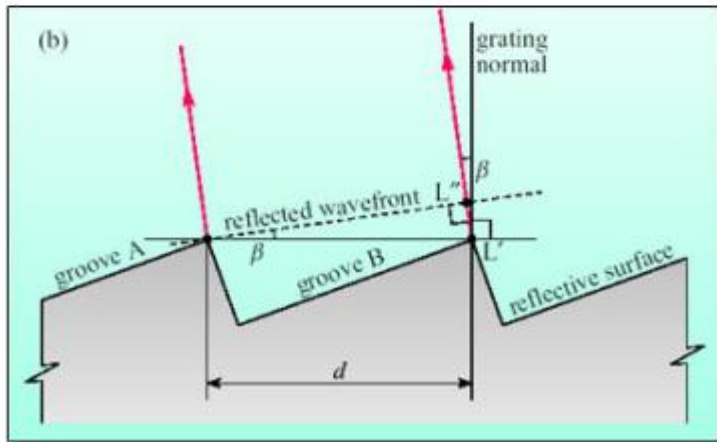
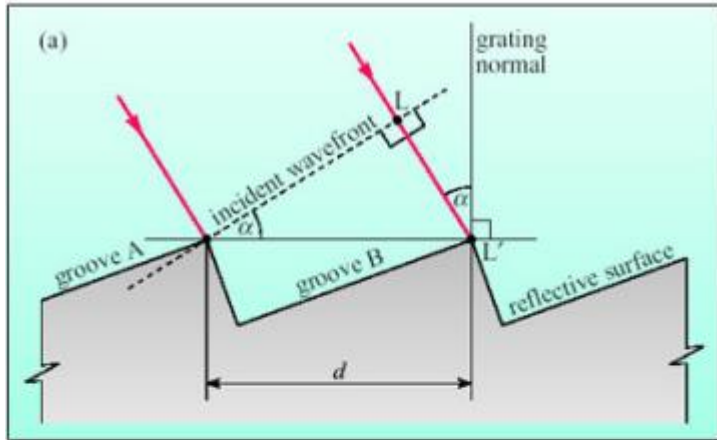


Το ίδιο επιτυγχάνεται με ανάκλαση από πολλές ανακλαστικές επιφάνειες

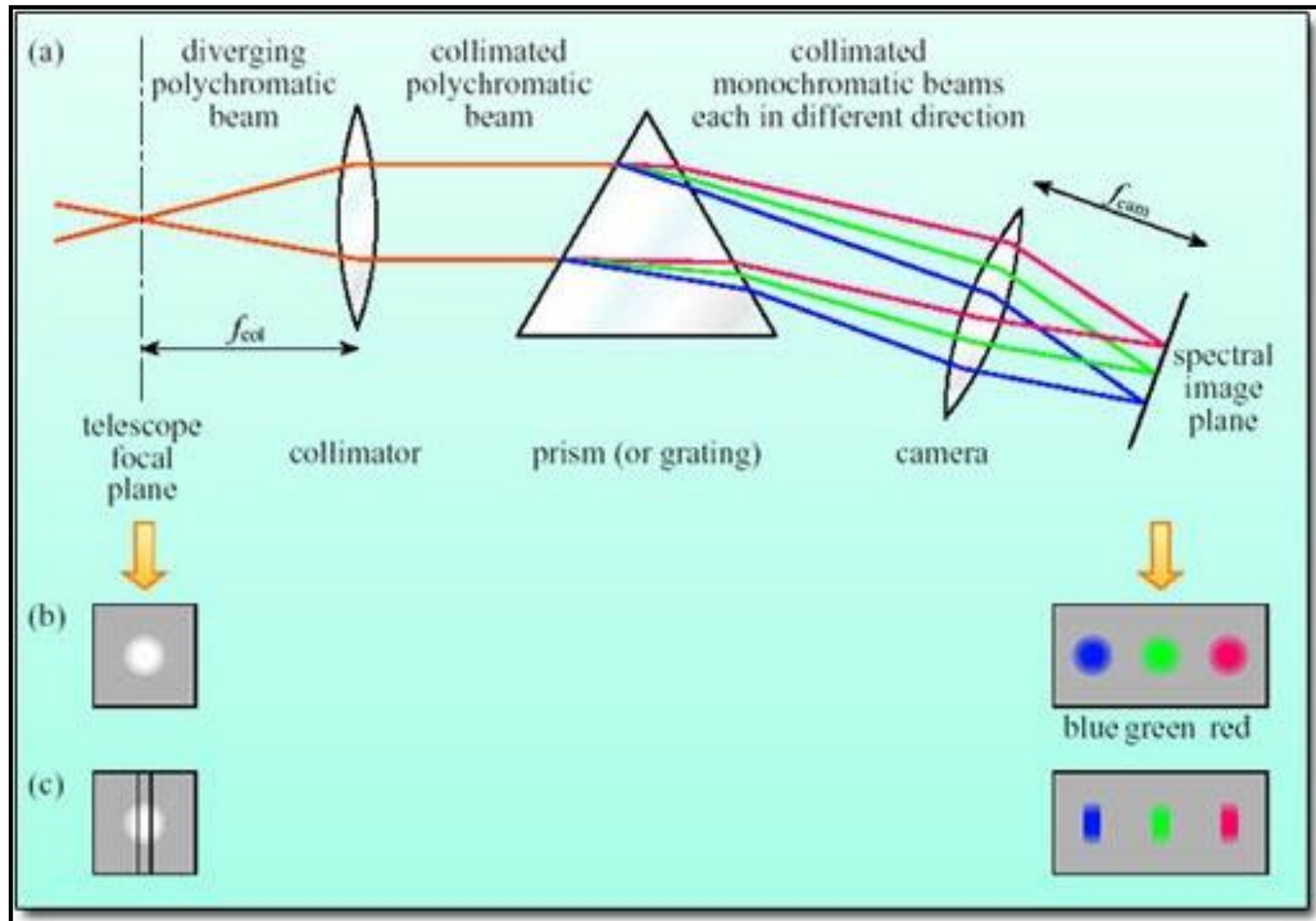
Συνθήκη συμβολής:

$$d (\sin \alpha + \sin \beta) = n \lambda$$

<http://openlearn.open.ac.uk/mod/oucontent/view.php?id=398644&section=2.1.3>



# φασματογράφος



- 8 m Gemini (North) Hawaii.
- 40 cm Schmidt-Cassegrain



(a)



(b)



## Meghnad N. Saha, το 1920

Πώς αλλάζει η κατάσταση  
ιονισμού κάποιου χημικού  
στοιχείου στην ατμόσφαιρα ενός  
άστρου για δεδομένη  
θερμοκρασία και πίεση



$$\frac{N_{II}}{N_I} = \frac{2Z_{II}}{n_e Z_I} \left( \frac{2\pi m_e kT}{h^2} \right)^{3/2} e^{-\chi/kT}$$





# Meghnad N. Saha, το 1920

$$kT \sim E_{\text{ionize}} = E_{\infty} - E_1$$

Ποσοστό ατόμων  
σε κάθε  
ενεργειακή  
κατάσταση

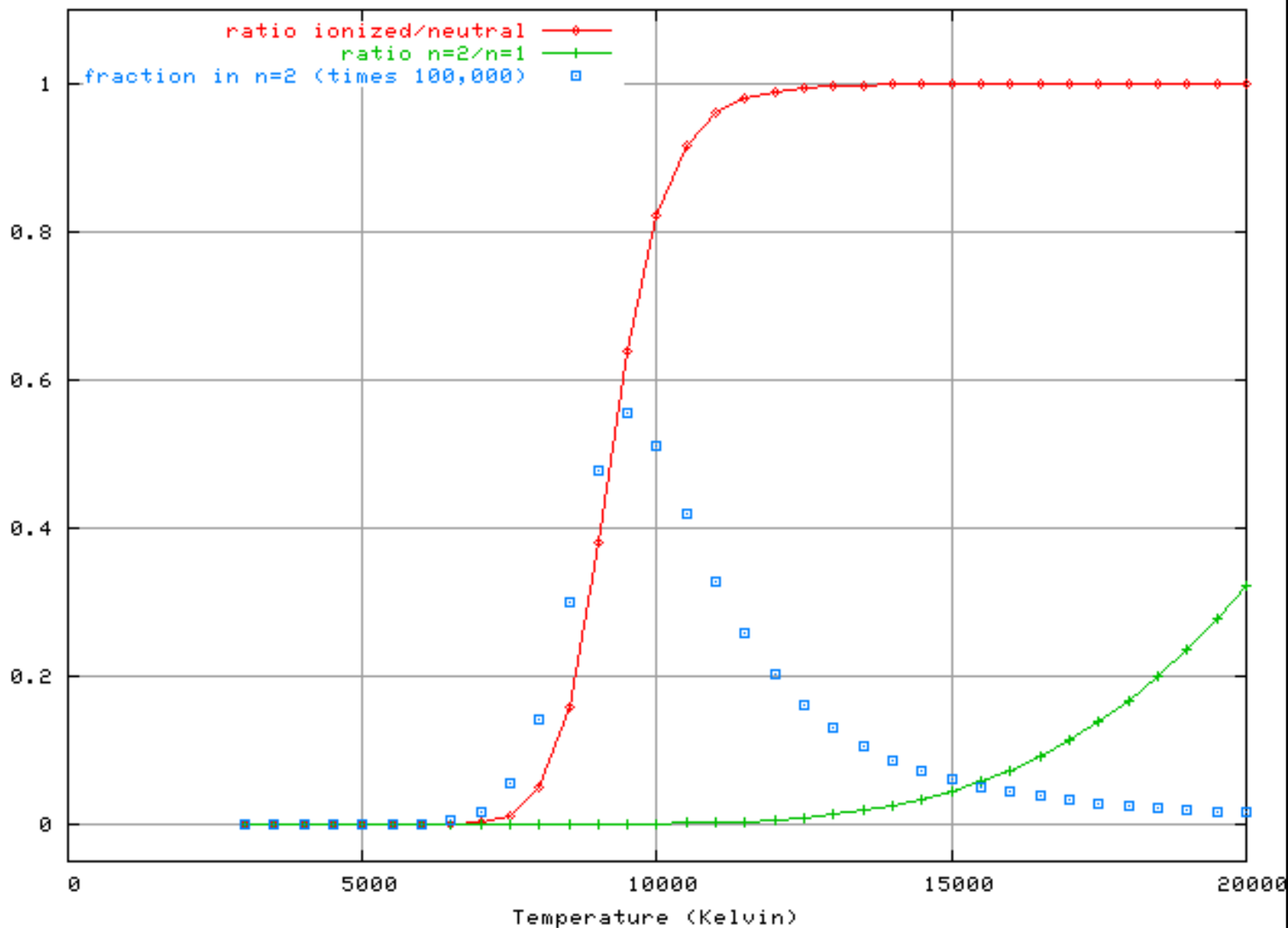
$$Z = g_1 + \sum_{j=2}^{\infty} g_j e^{-(E_j - E_1)/kT}$$

$n_e$  ο αριθμός των  
ελεύθερων ηλεκτρονίων  
 $\chi$  η ενέργεια ιονισμού  
από την βασική στάθμη

$$\frac{N_{II}}{N_I} = \frac{2Z_{II}}{n_e Z_I} \left( \frac{2\pi m_e kT}{h^2} \right)^{3/2} e^{-\chi/kT}$$



Hydrogen atoms in a stellar atmosphere with  $P=200$  dynes/sq.cm.



$$\frac{n_{i+1}n_e}{n_i} = \frac{2}{\Lambda^3} \frac{g_{i+1}}{g_i} \exp \left[ -\frac{(\epsilon_{i+1} - \epsilon_i)}{k_B T} \right]$$

- $n_i$  η πυκνότητα των ατόμων ιονισμένων  $i$  φορές ,
- $g_i$  είναι οι εκφυλισμένες καταστάσεις των ιόντων  $i$
- $\epsilon_i$  είναι η ενέργεια που απαιτείται να ιονίσει το άτομο σε κατάσταση  $i$
- $n_e$  η πυκνότητα των ηλεκτρονίων
- $\Lambda$  το μήκος Broglie του ηλεκτρονίου
- $m_e$  η μάζα του ηλεκτρονίου
- $T$  θερμοκρασία αερίου
- $k_B$  η σταθερά Boltzmann
- $h$  η σταθερά Planck

$$\Lambda \stackrel{\text{def}}{=} \sqrt{\frac{h^2}{2\pi m_e k_B T}}$$



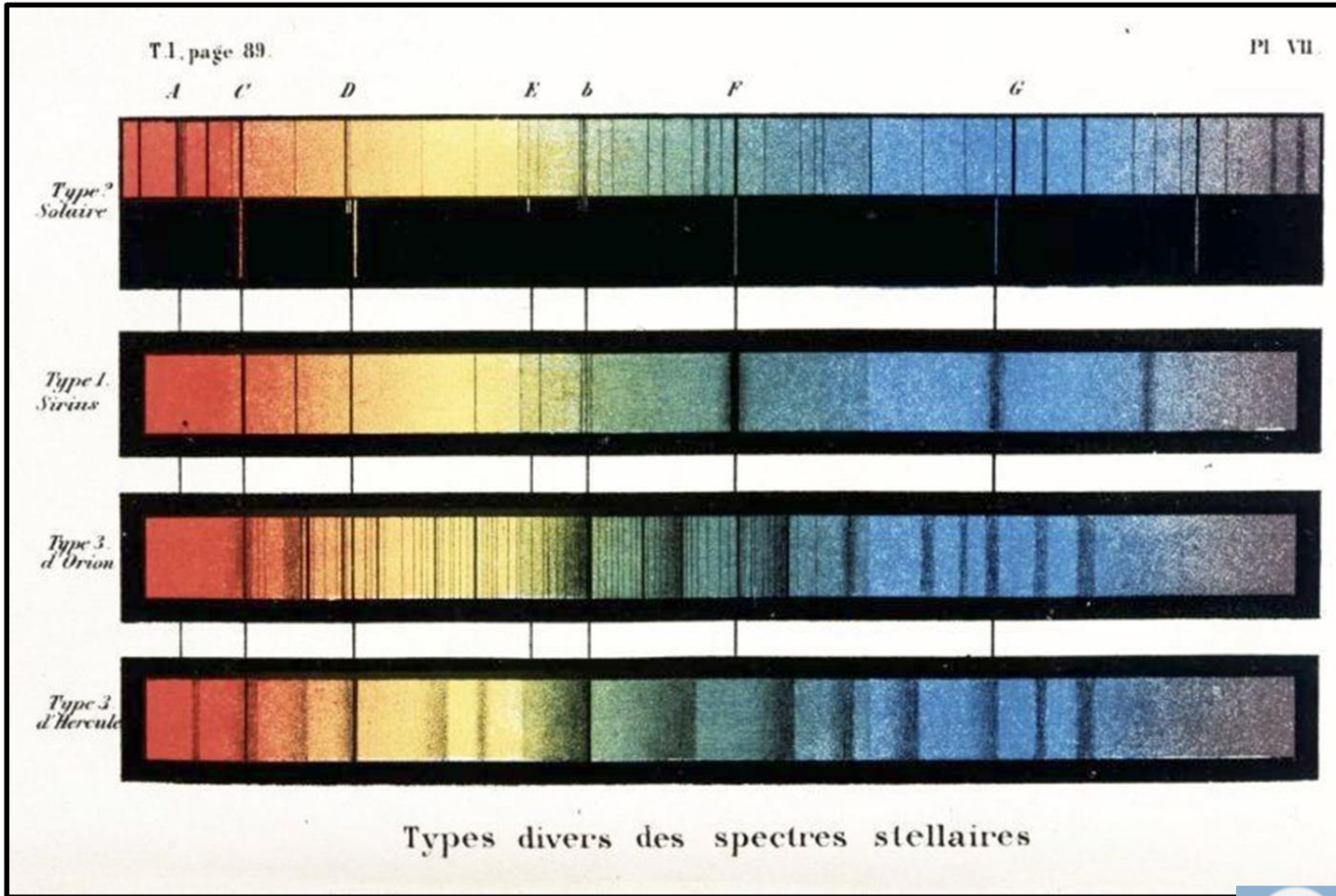
1802, William Wollaston φάσματα ηλίου έχουν σκοτεινές γραμμές

1814 Joseph Fraunhofer καλύτερα φάσματα (600 σκοτεινές γραμμές)

1864, Sir William Huggins ταυτίζει τις σκοτεινές γραμμές αστρικών φασμάτων με γραμμές εκπομπής χημικών στοιχείων

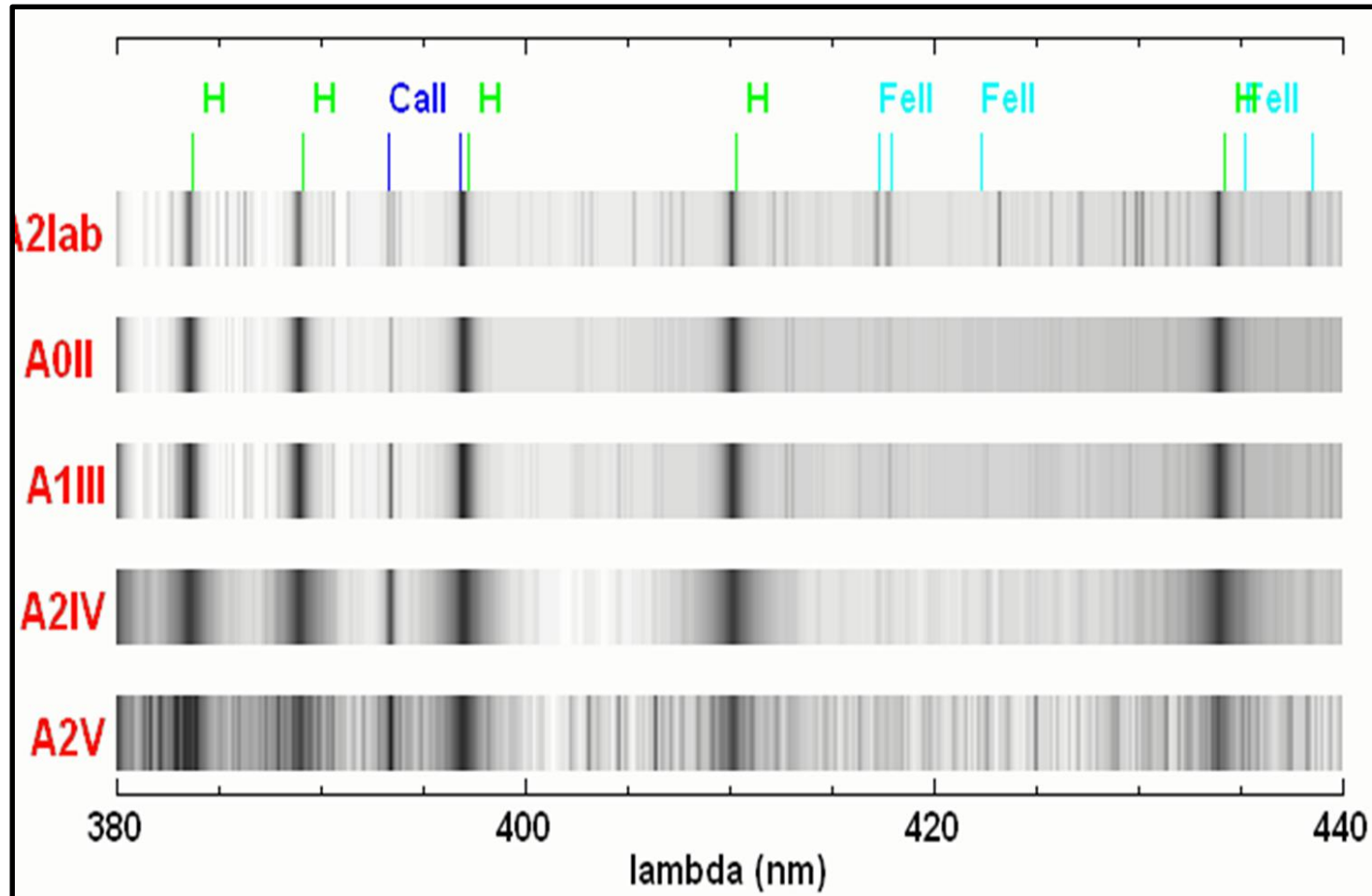


# Φάσματα άστρων του Secchi, γύρω στο 1880

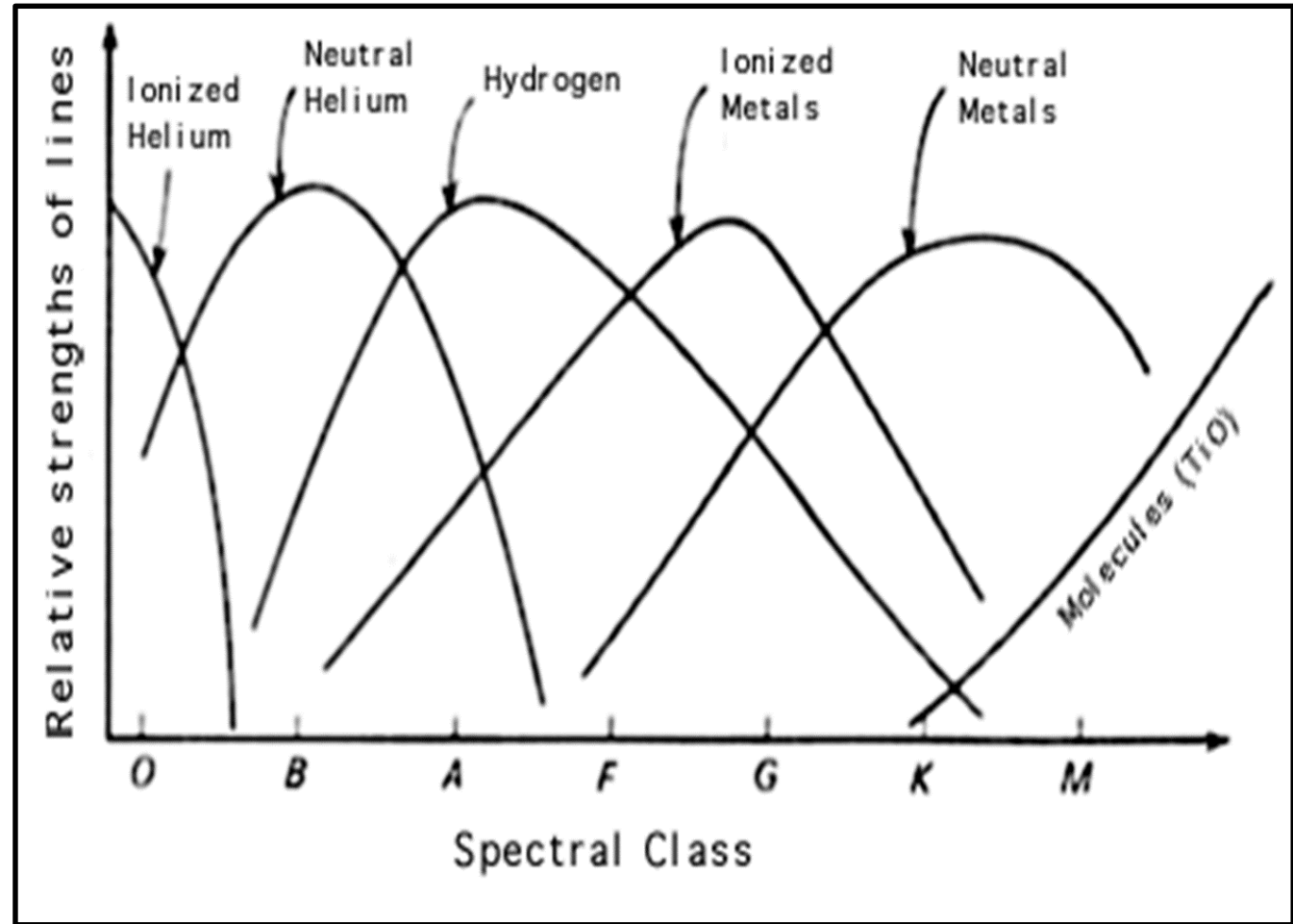




# Λωρίδες πλάτους σε Φάσματα άστρων



# Standard Stellar Types (O, B, A, F, G, K, and M)



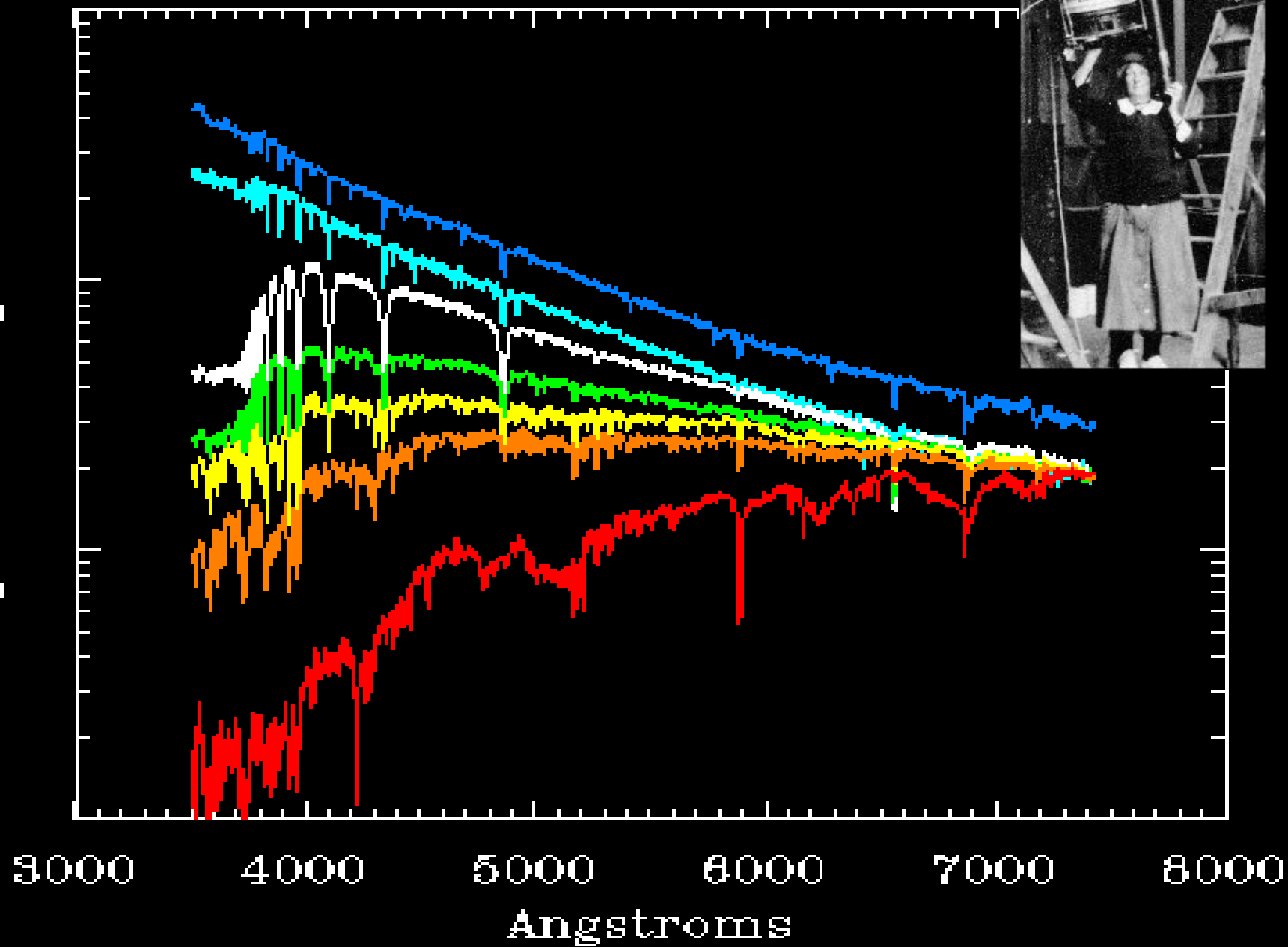
# Annie Jump Cannon, Harvard Observatory Director Edward C. Pickering, 1890



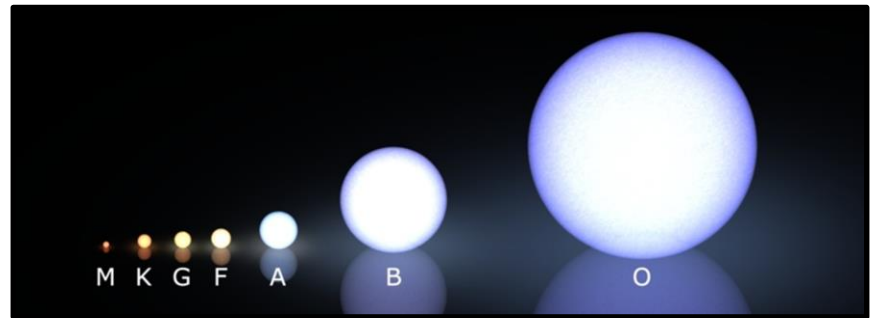
# Stars Representative of Different Spectral Classes

star	temp.	class	
Sirius	10,000K	A1-V	
Deneb	8,000K	A2-I	
Procyon	7,000K	F5-IV	
Algenib	6,500K	F5-I	
Sun	5,700K	G2-V	
Arcturus	4,500K	K2-III	
Aldebaran	4,000K	K5-III	
Betelgeuse	3,000K	M2-I	

Logarithmic brightness









# Αφθονία χημικών στοιχείων στα άστρα

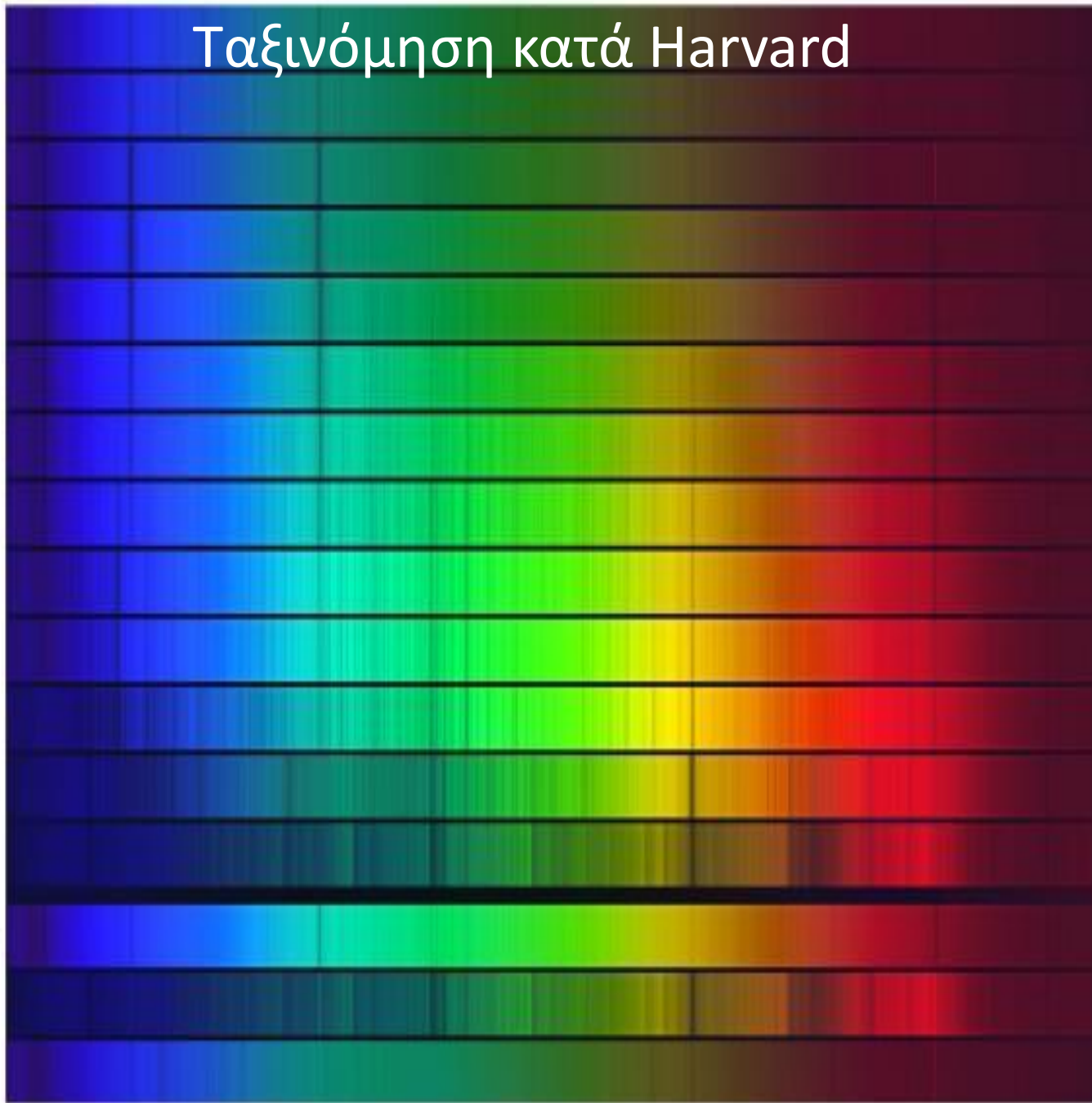
**Cecilia Payne**  
(1900-1979)

Payne απέδειξε ότι η μεγάλη μεταβολή των γραμμών απορρόφησης στα φάσματα άστρων οφείλεται στην τεράστια διαφορά θερμοκρασίας και της εξ αυτής ιονισμού των χημικών στοιχείων και όχι σε διαφορετική αφθονία των στοιχείων που υποστήριξε ότι έχουν την ίδια αφθονία όπως η Γη μας.



# Ταξινόμηση κατά Harvard

06.5  
B0  
B6  
A1  
A5  
F0  
F5  
G0  
G5  
K0  
K5  
M0  
M5  
F4 metal poor  
M4.5 emission  
B1 emission

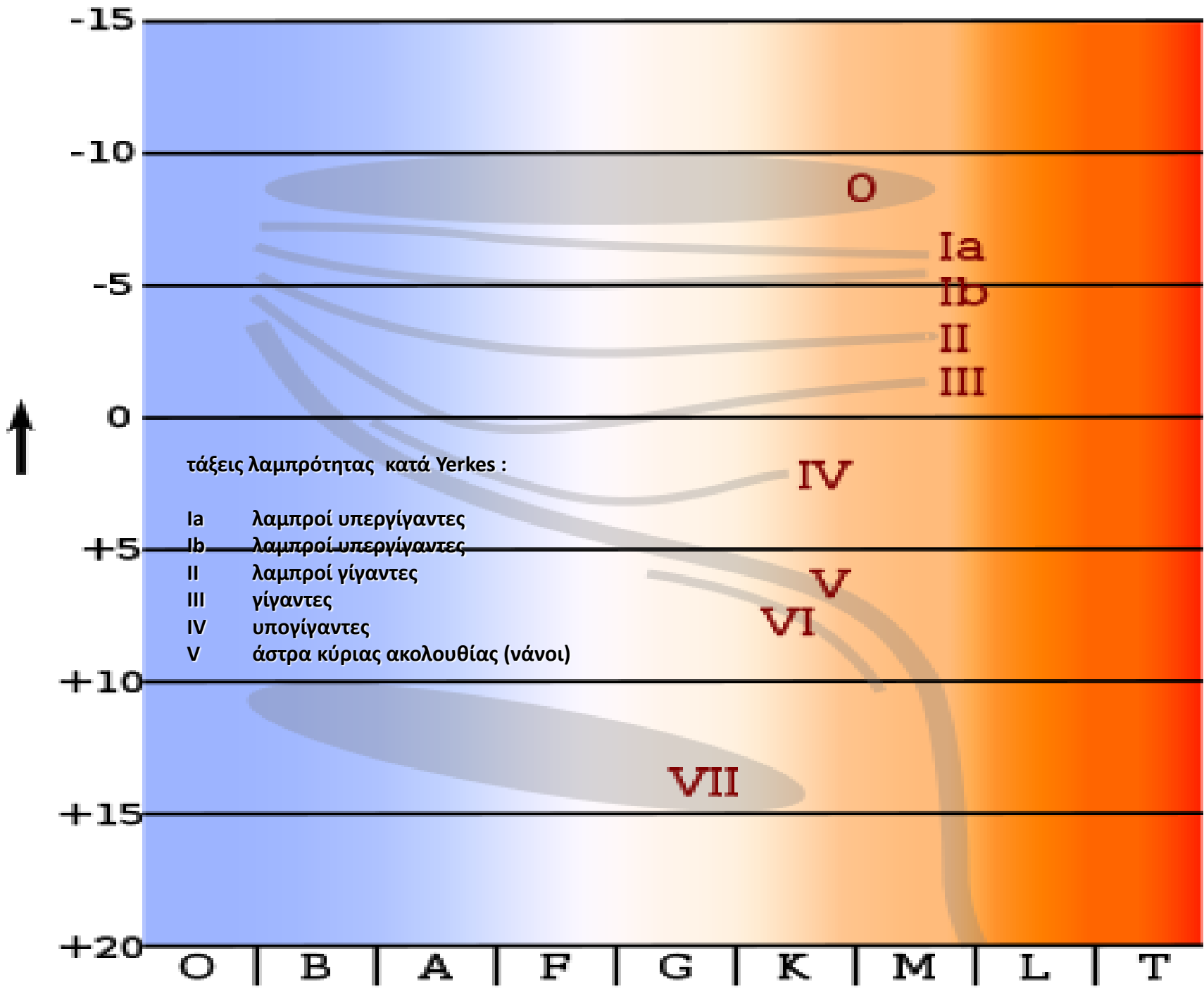


HD 12993  
HD 158659  
HD 30584  
HD 116608  
HD 9547  
HD 10032  
BD 61 0367  
HD 28099  
HD 70178  
HD 23524  
SAO 76803  
HD 260655  
Yale 1755  
HD 94028  
SAO 81292  
HD 13256

# τάξεις λαμπρότητας κατά Yerkes :

- Ia λαμπροί υπεργίγαντες
- Ib λαμπροί υπεργίγαντες
- II λαμπροί γίγαντες
- III γίγαντες
- IV υπογίγαντες
- V άστρα κύριας ακολουθίας (νάνοι)







Spectral Class	Intrinsic Color	Temperature (K)	Prominent Absorption Lines
O	Blue	41,000	He+, O++, N++, Si++, He, H
B	Blue	31,000	He, H, O+, C+, N+, Si+
A	Blue-white	9,500	H (strongest), Ca+, Mg+, Fe+
F	White	7,240	H (weaker), Ca+, ionized metals
G	Yellow-white	5,920	H (weaker), Ca+, ionized & neutral metal
K	Orange	5,300	Ca+(strongest), neutral metals strong, H(weak)
M	Red	3,850	Strong neutral atoms, TiO

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. 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.

