

Εισαγωγή στη Φασματοσκοπία

Η **Αστρονομία** είναι μια από τις
αρχαιότερες επιστήμες και ως αντικείμενό
της είχε και έχει την μελέτη της θέσης και
της κίνησης των ουρανίων σωμάτων



Η Γέννηση της Αστροφυσικής

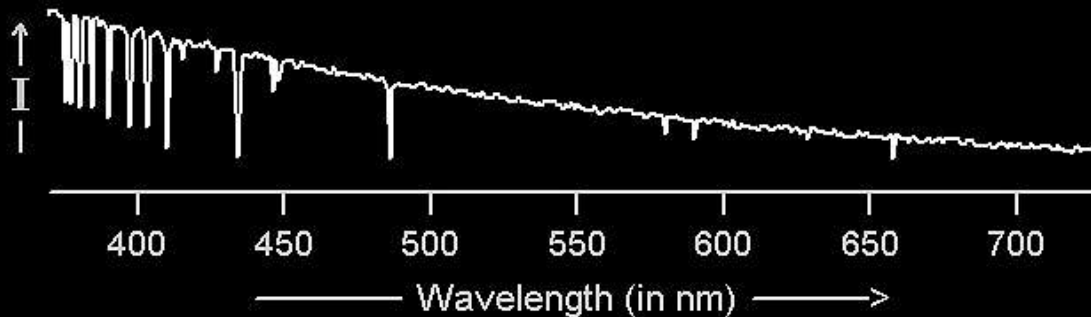


Η **Αστροφυσική** έχει ως
αντικείμενό της την μελέτη της
φύσης και των φυσικών ιδιοτήτων
και συνθηκών που επικρατούν στις
περιοχές συγκέντρωσης ύλης και
ενέργειας μέσα στο Σύμπαν

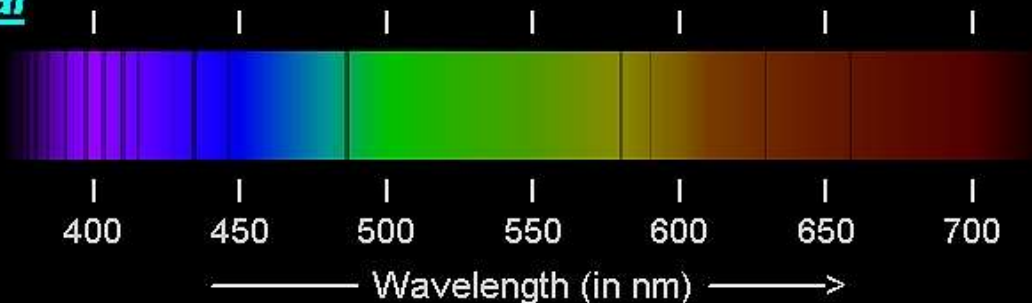


Βασικό εργαλείο της **Αστροφυσικής**
είναι η **Φασματοσκοπία**, δηλαδή η
ανάλυση και μελέτη των **φασμάτων**
των ουράνιων αντικειμένων

Graphical



Visual

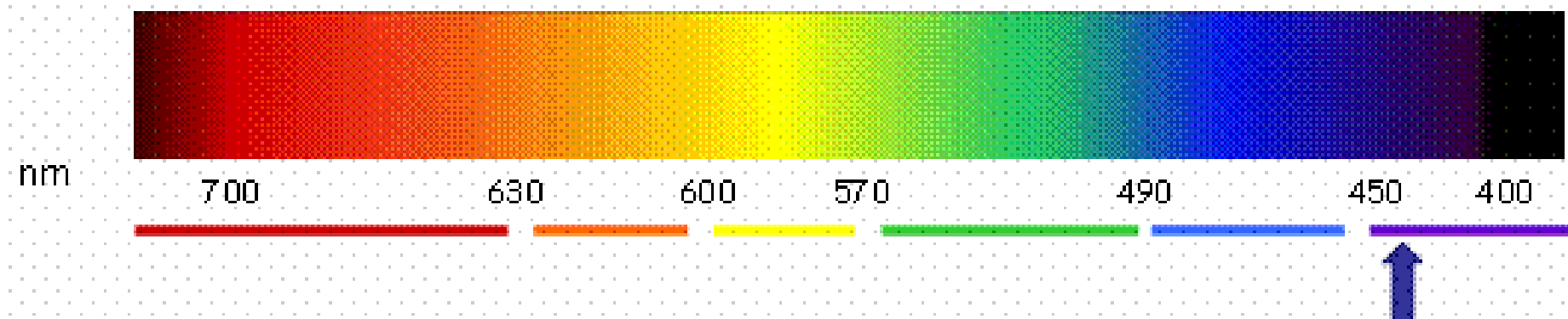




Ο Ισαάκ Νεύτων
αφήνοντας το φως του
ήλιου να περάσει από μια
οπή ανακάλυψε το
συνεχές φάσμα του φωτός



Τον 19ο αιώνα οι φυσικοί, απέδωσαν στο φως «κυματικότητα» και μέτρησαν το μήκος κύματος των λεγομένων μονοχρωματικών ακτινοβολιών



Το indigo που πρόσθεσε ο Newton είναι μεταξύ 450 και 440 nm

Η περιοχή από 760 nm (περίπου) μέχρι 630 nm θεωρείται «επικράτεια» του **κόκκινου**. Το «**κόκκινο**» ορίζεται συνήθως ως ακτινοβολία 700 nm . Η περιοχή από 630 nm έως 600 nm θεωρείται περιοχή του **πορτοκαλί** . Το χρώμα πορτοκαλί ορίζεται ως 620 nm . Η περιοχή από 600 nm έως 570 nm θεωρείται περιοχή του **κίτρινου** με το κίτρινο να ορίζεται ως 580 nm . Από 570 έως 490 θεωρείται περιοχή του **πράσινου** και το πράσινο ορίζεται ως 530 nm . Από το 490nm έως 450 nm θεωρείται περιοχή του **μπλε** και το μπλε ορίζεται ως 475 nm . Η υπόλοιπη περιοχή του φάσματος θεωρείται περιοχή του **ιώδους** και το ιώδες ορίζεται ως 400 nm

1nm= Ένα δισεκατομμυριοστό του μέτρου

ΜΗ ΙΟΝΙΖΟΥΣΕΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΕΣ

ΙΟΝΙΖΟΥΣΕΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΕΣ

Γραμμές μεταφοράς Υ.Τ.
Υποσταθμοί Υ.Τ.
Δίκτυο διανομής Μ.Τ. / Χ.Τ.
Ηλεκτρικές συσκευές



Ράδιο AM - Ράδιο FM
Σταθμοί TV - Κινητή τηλεφωνία
Επίγειοι δορυφορικοί σταθμοί
Διατάξεις ραντάρ



Μακρά μήκη κύματος

Ραδιοκύματα

Μικρο-
κύματα

Υπέρυθρες
ακτίνες

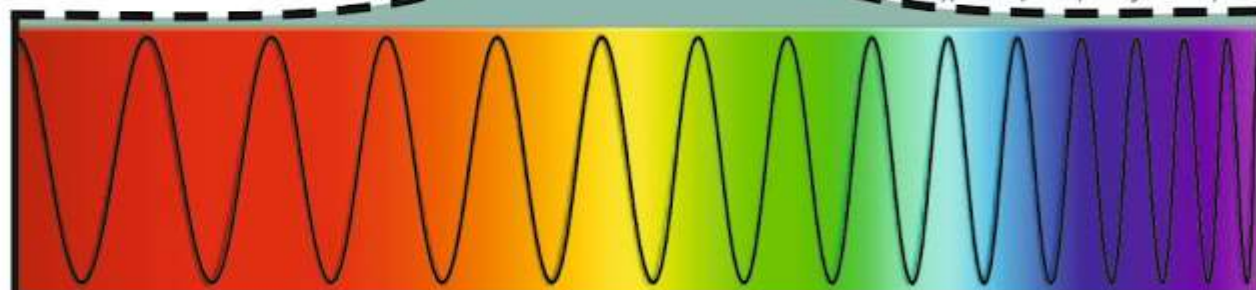
Υπεριώδεις
ακτίνες

Ακτίνες Χ και Gamma

10^{12} 10^{10} 10^8 10^6 10^4 10^2 10^0 10^{-2} 10^{-4} 10^{-6} 10^{-8} 10^{-10} 10^{-12}

Μήκος κύματος (nm)

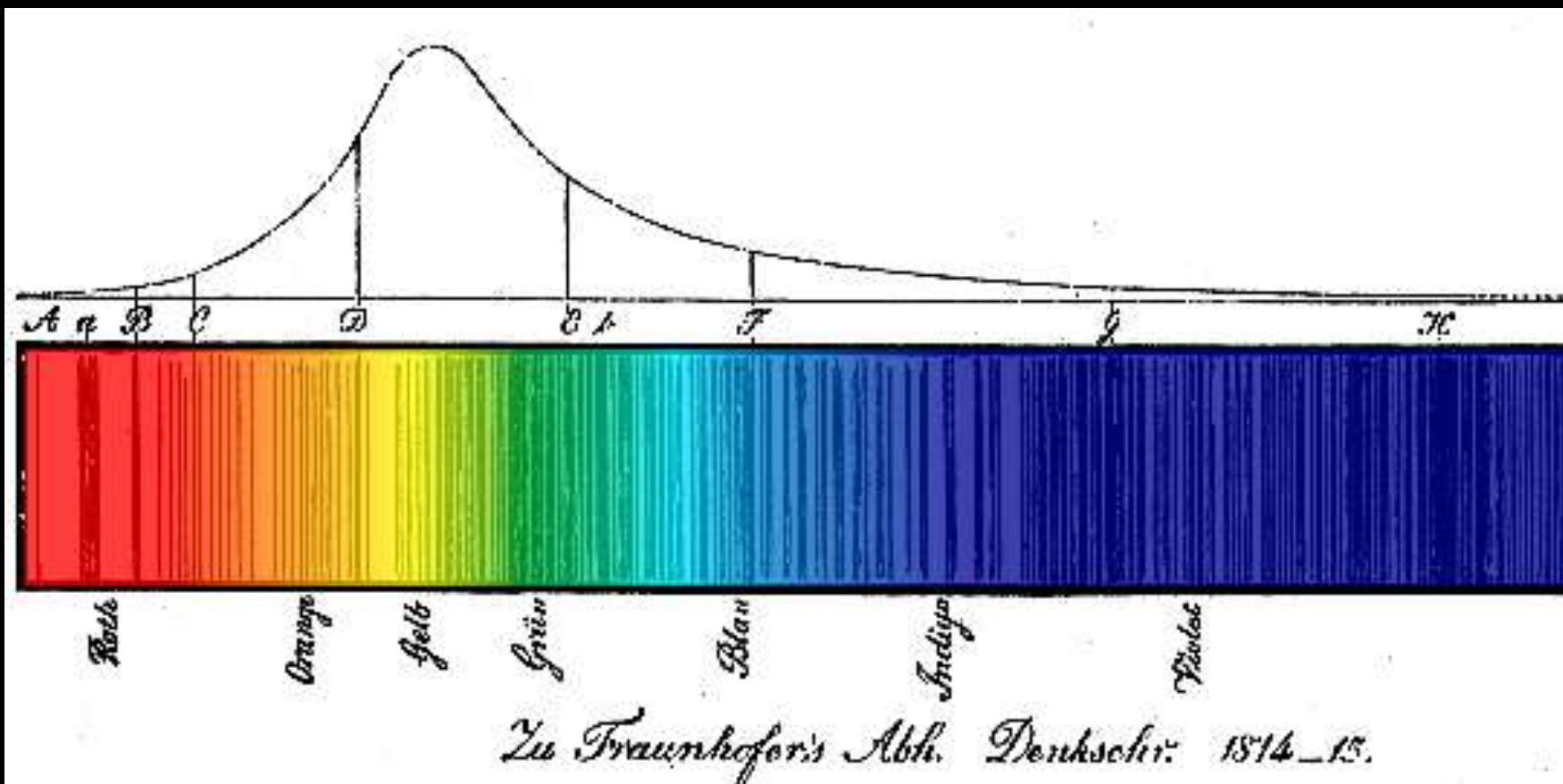
Σχεδίαση: Στέφανος Τουλόγλου



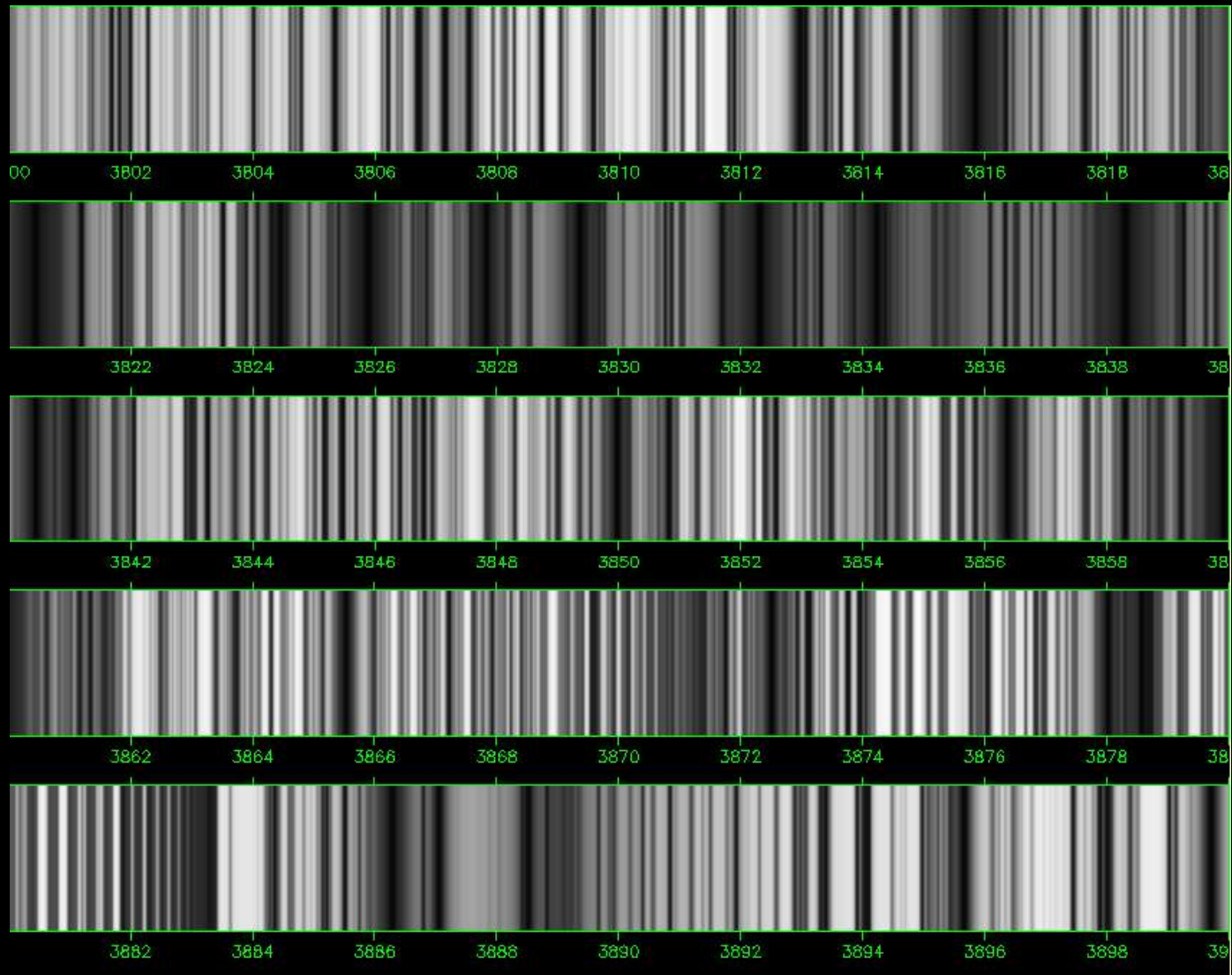


Ο Γιόζεφ φον Φραουνχόφερ
μελετώντας το φώς του Ήλιου μέσω
μιας σχισμής ανακάλυψε ότι το
συνεχές φάσμα διεκόπτετο από μια
μεγάλη σειρά σκοτεινών γραμμών
που είχαν σχέση με την φυσική
κατάσταση του Ήλιου.

Τα φάσματα αυτής της μορφής
ονομάζονται **φάσματα εκπομπής**
Ειδικότερα οι σκοτεινές γραμμές
στο φάσμα του Ήλιου ονομάζονται
γραμμές Φραουνχόφερ.



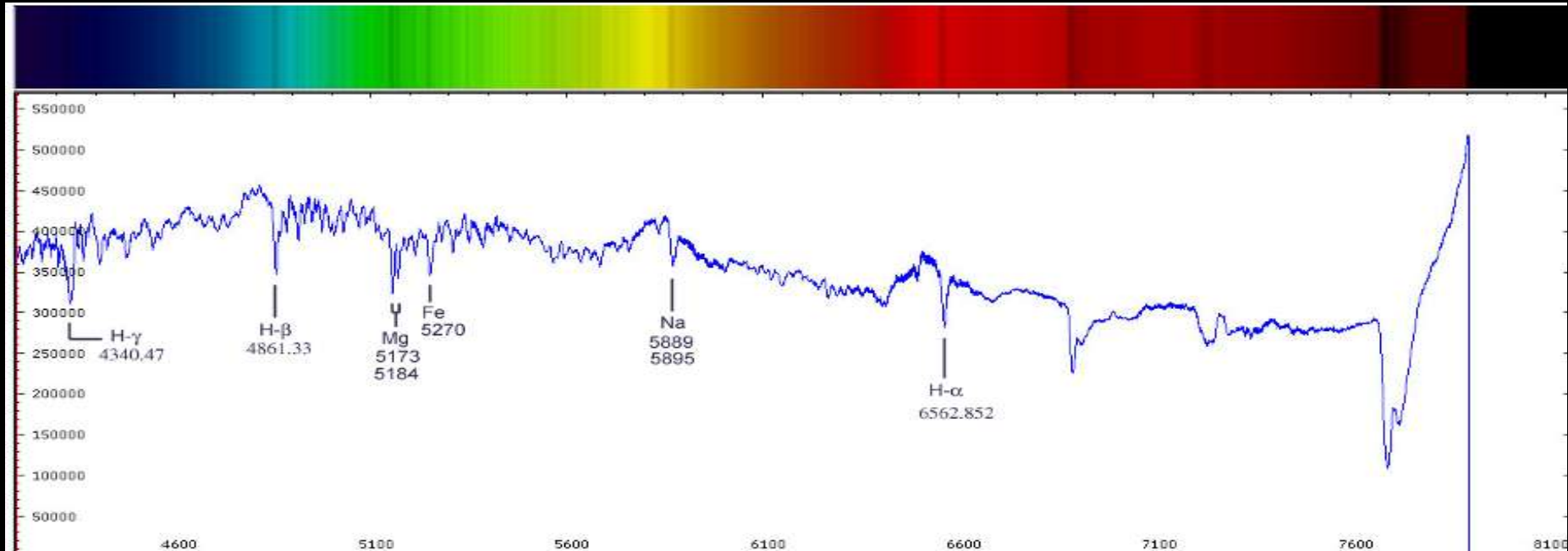
Το Ηλιακό φάσμα και οι «γραμμές Φραουνχόφερ».



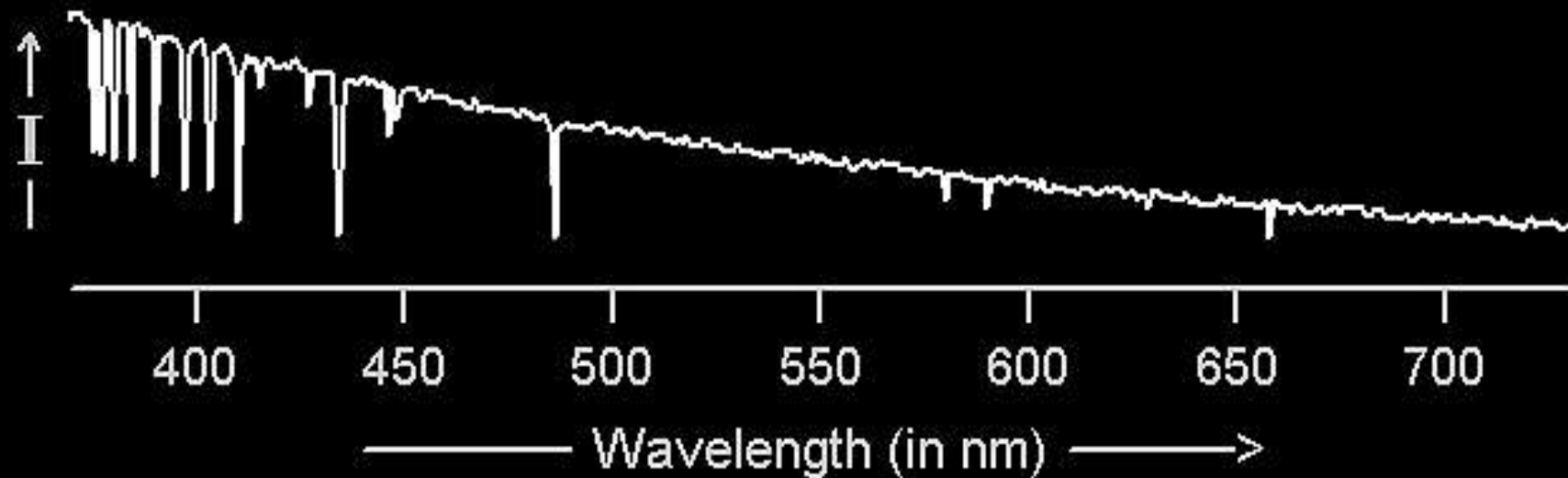
Οι κυριότερες γραμμές απορρόφησης Fraunhofer του Ήλιου

Το φασματοεγγραφήμα

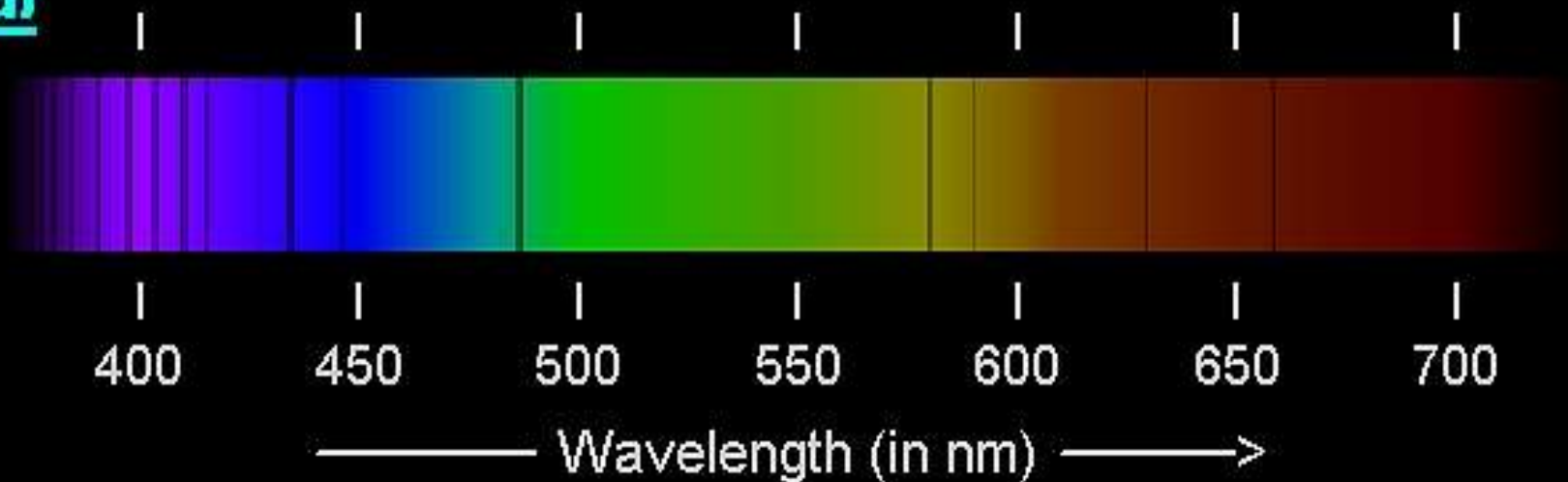
Μέσω ενός φωτοηλεκτρικού φωτόμετρου μετατρέπουμε το φάσμα ενός αστέρα (εκπομπής ή απορρόφησης) σε γραφική παράσταση της ροής (ή έντασης) της ακτινοβολίας προς τα διάφορα μήκη κύματος

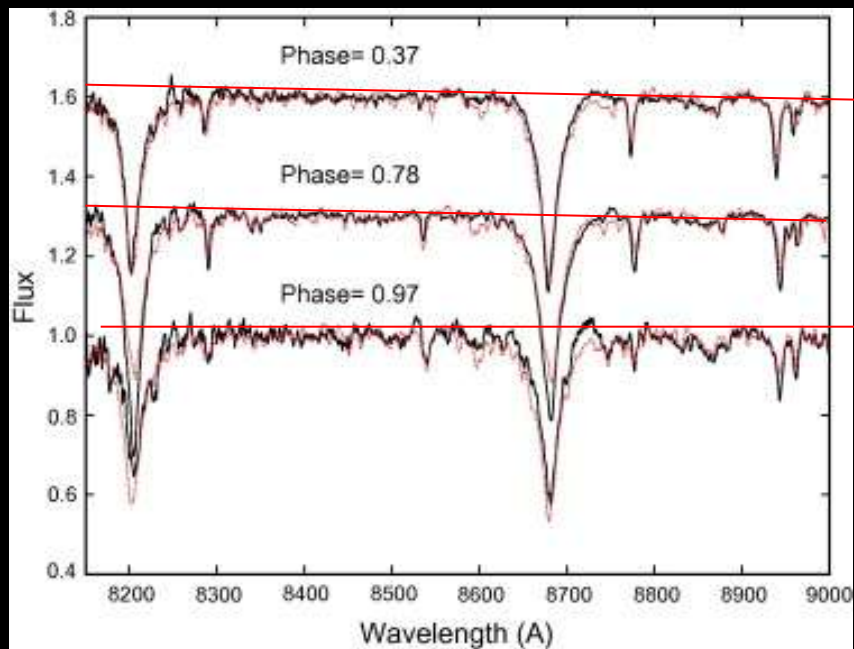


Graphical



Visual



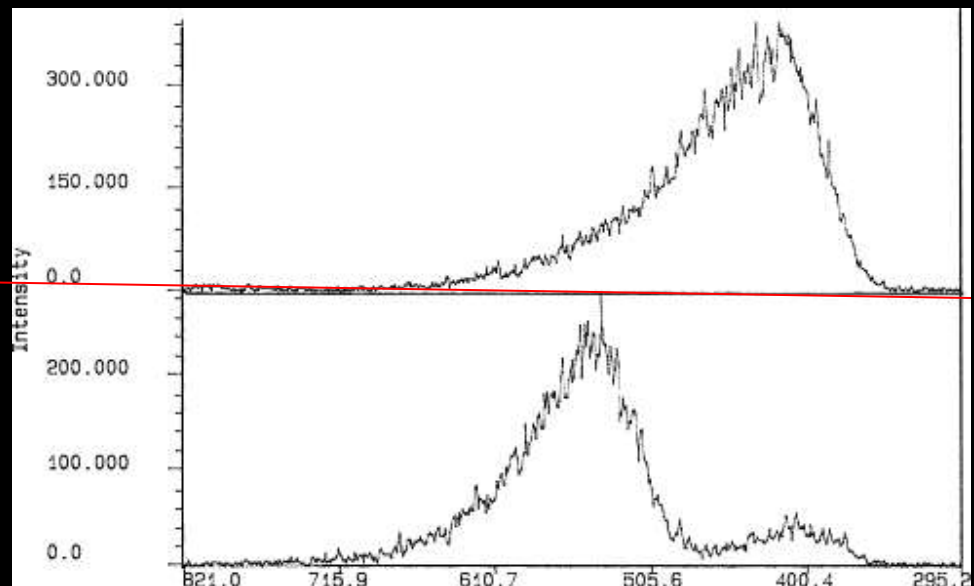


Οι φασματικές γραμμές
απορρόφησης

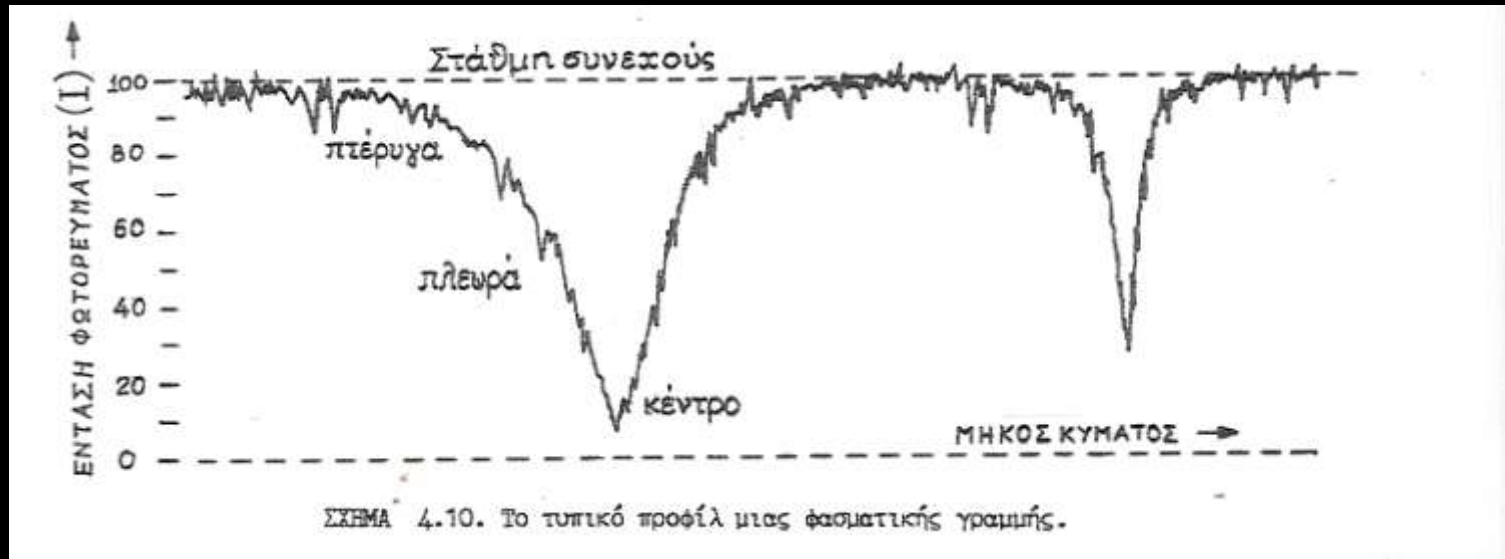
Συνεχές φάσμα

Συνεχές φάσμα

Οι φασματικές γραμμές
εκπομπής

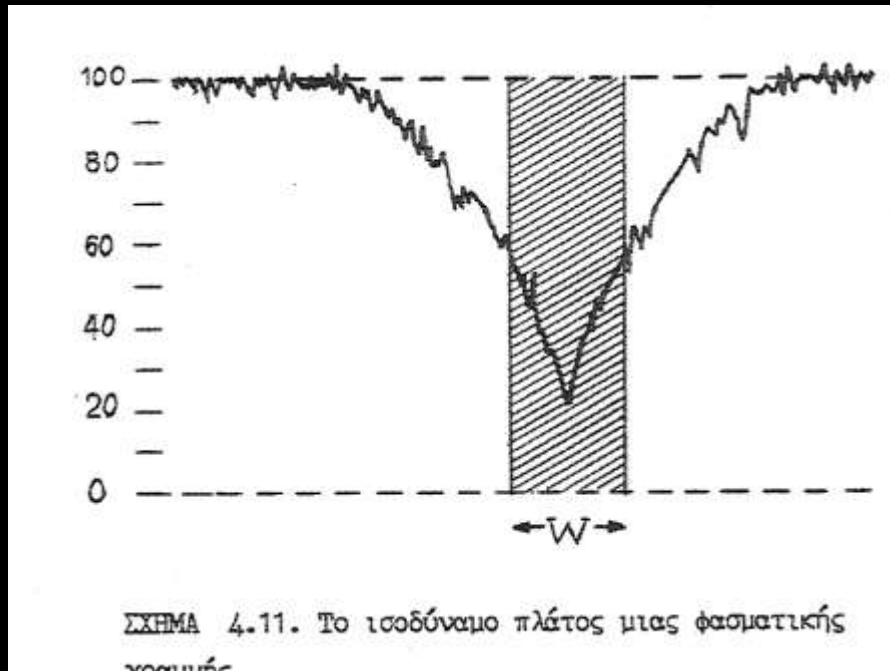


Προφίλ φασματικής γραμμής



Το περίγραμμα μιας φασματικής γραμμής ονομάζεται προφίλ της φασματικής γραμμής

Ισοδύναμο Εύρος



Το εμβαδόν της περιοχής που περικλείεται από το προφίλ μιας φασματικής γραμμής και το συνεχές δείχνει την ενέργεια που απορροφήθηκε και **είναι ένα μέτρο της έντασης της γραμμής**. Η ένταση της γραμμής εκφράζεται **με το ισοδύναμο εύρος W** το οποίο εκφράζεται σε μονάδες μήκους κύματος και είναι το πλάτος ενός παραλληλογράμμου, ύψους ένα (1). Το μέσο μήκος κύματος του πλάτους του παραλληλογράμμου πρέπει να συμπίπτει με το κέντρο της πραγματικής γραμμής



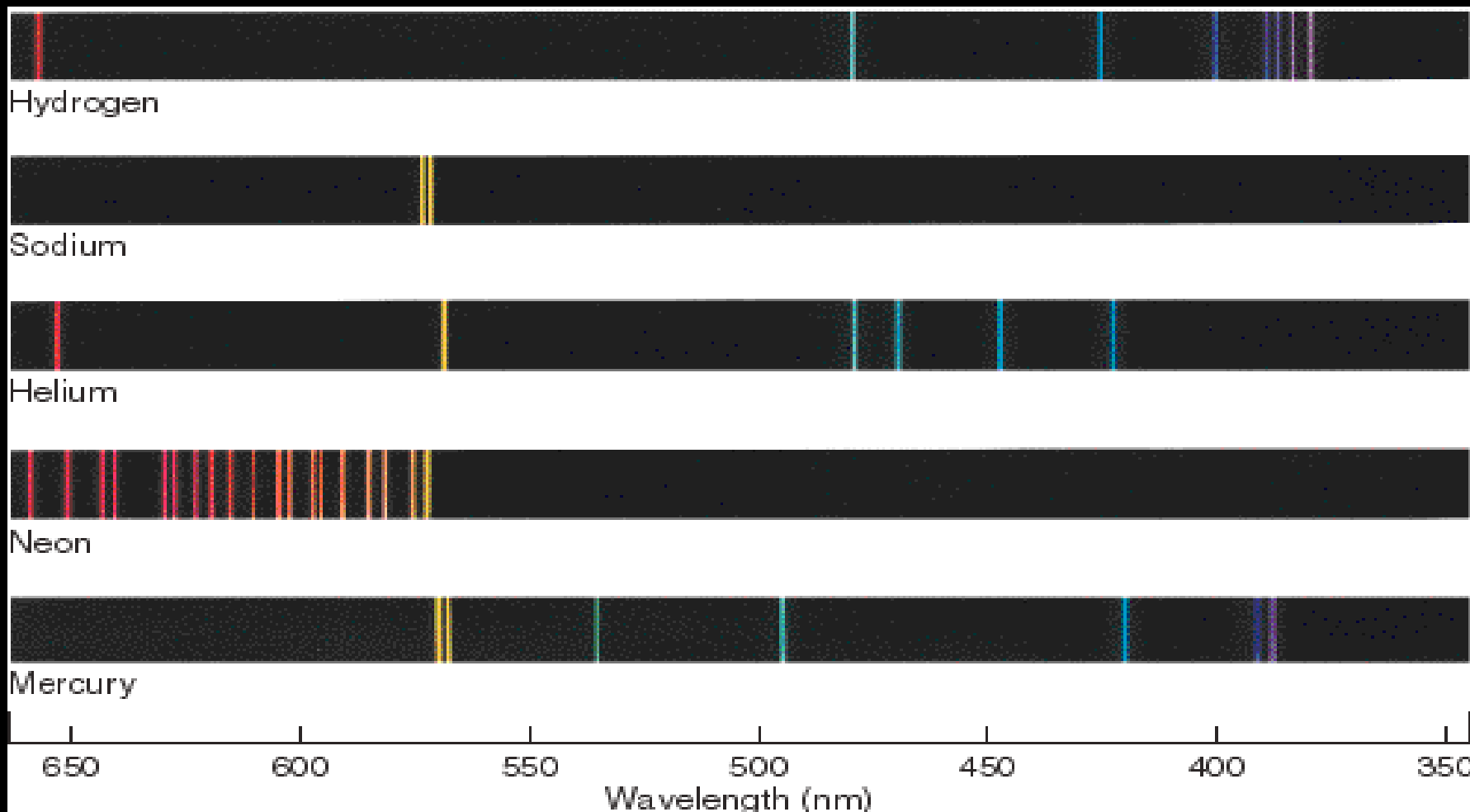
Κάθε χημικό στοιχείο έδινε **μια μοναδική διάταξη φωτεινών γραμμών** που έτσι το διέκρινε και το διαχώριζε από τ' άλλα.

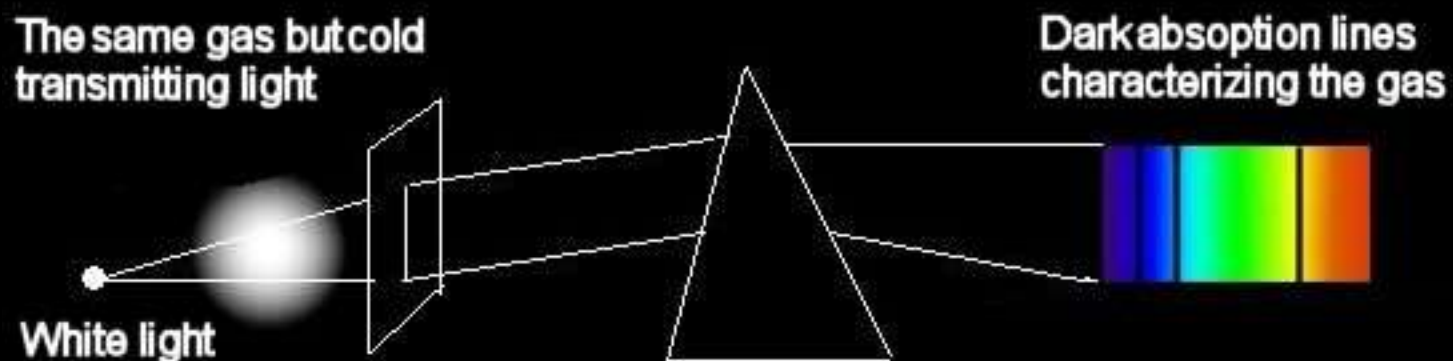
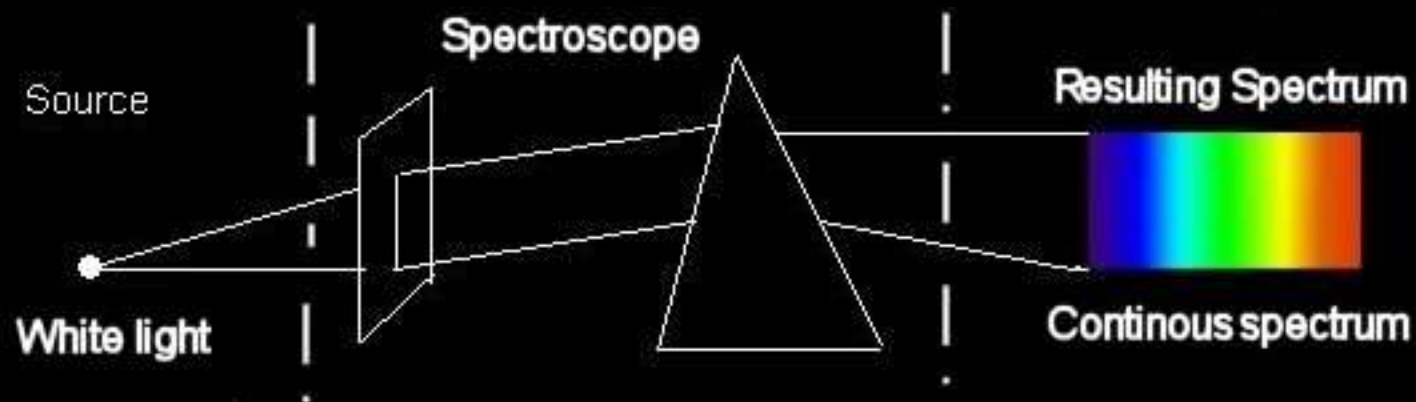
Ο Κίρχοφ (G.R. Kirchhoff) εφαρμόζοντας τα αποτελέσματα των ερευνών του στα φάσματα των αστεριών, διαπίστωσε ότι **οι σκοτεινές φασματικές γραμμές** που παρατήρησε ο Φραουνχόφερ **οφείλονταν στην απορρόφηση του φωτός του Ήλιου και των αστέρων από τα ψυχρά αέρια που τους περιβάλλουν.**



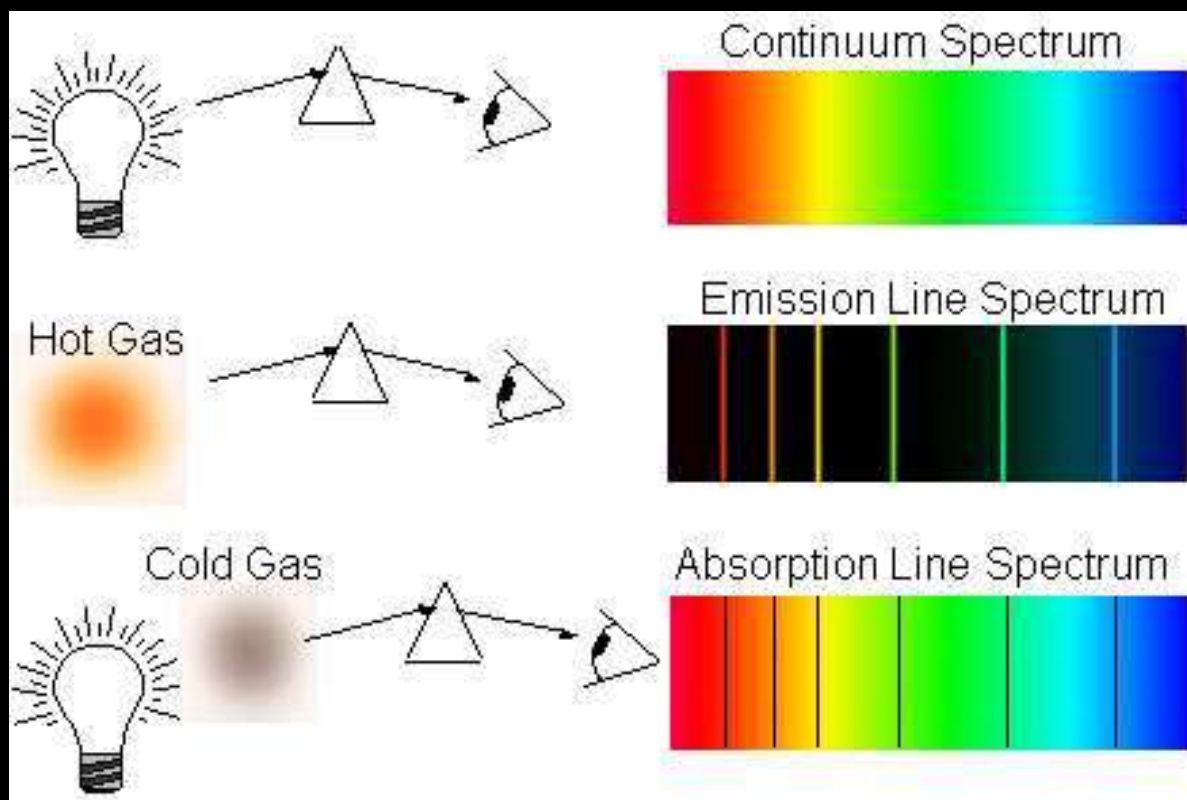
Το φάσμα του στοιχείου Ήλιου

Κάθε χημικό στοιχείο και κάθε ιόν του δίνει μια συγκεκριμένη σειρά φασματικών γραμμών





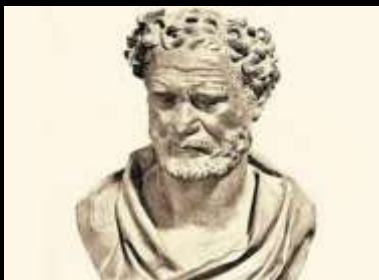
Τύποι φασμάτων



Αναστροφή των φασματικών γραμμών.

Όταν το αέριο αναγκαστεί να εκπέμψει ακτινοβολία, εκπέμπει στα μήκη κύματος στα οποία ακριβώς μπορεί να απορροφήσει ενέργεια.

Η Φύση του Φωτός



Από τα αρχαία χρόνια πίστευαν ότι το φως αποτελείται από **μικρά σωματίδια** τα οποία κινούνται με πολύ μεγάλη ταχύτητα και, όταν πέφτουν στο μάτι του παρατηρητή, διεγείρουν το αισθητήριο όργανο της όρασης.



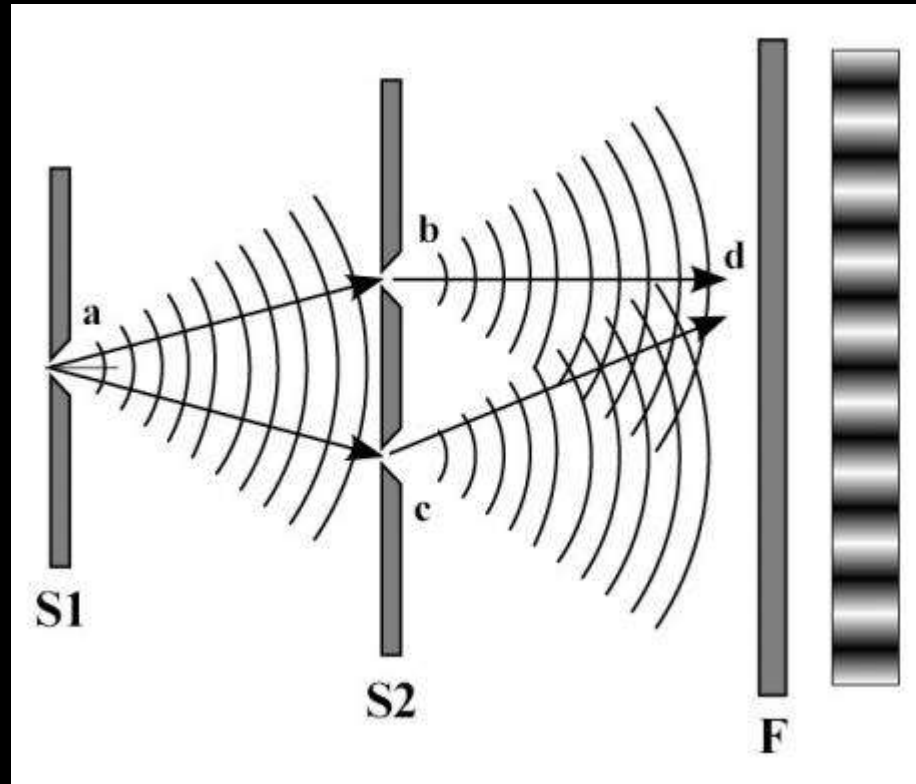
Στη “σωματιδιακή” φύση του φωτός, στηρίχτηκε ο **Newton**, για να διατυπώσει με βάση και τις αρχές της διατήρησης της ενέργειας και ορμής, το νόμο της ανάκλασης του φωτός.



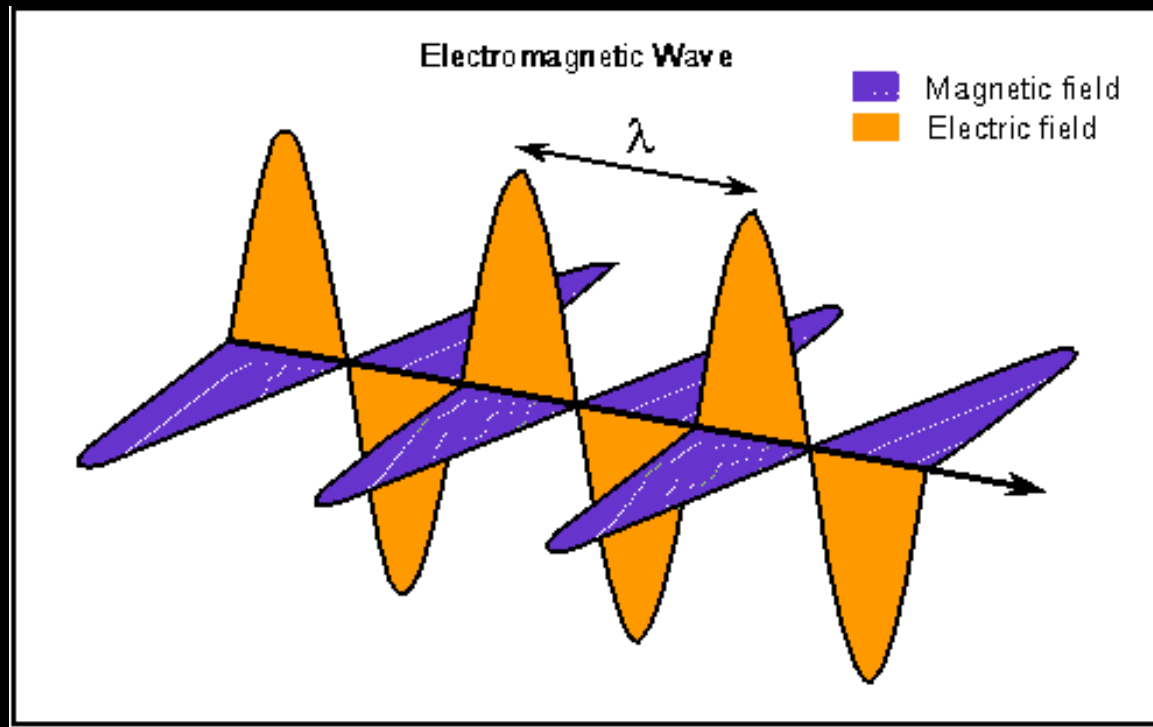
Αργότερα, το 1865, όταν ο **Maxwell** απέδειξε ότι το φως είναι **εγκάρσια ηλεκτρομαγνητικά κύματα**.

Στα χρόνια που ακολούθησαν αναπτύχθηκαν πολλές θεωρίες και σήμερα πια πιστεύουμε στη **διπλή φύση** του φωτός, δηλαδή ότι το φως **συμπεριφέρεται ως κύμα αλλά και ως σωματίδιο**, που ονομάζεται **φωτόνιο**.

Κυματική φύση του φωτός



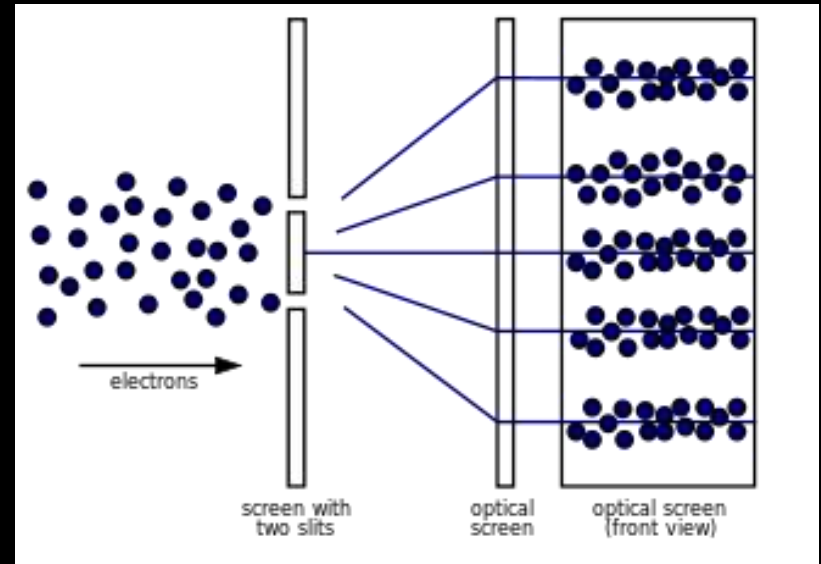
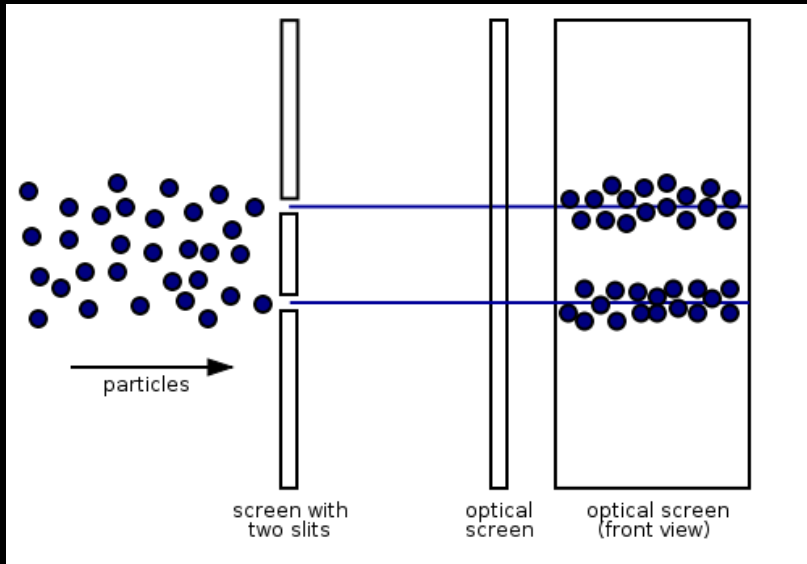
Σε φαινόμενα όπως η συμβολή, η περίθλαση και η πόλωση εκδηλώνεται η κυματική φύση του φωτός
(ηλεκτρομαγνητικό κύμα)

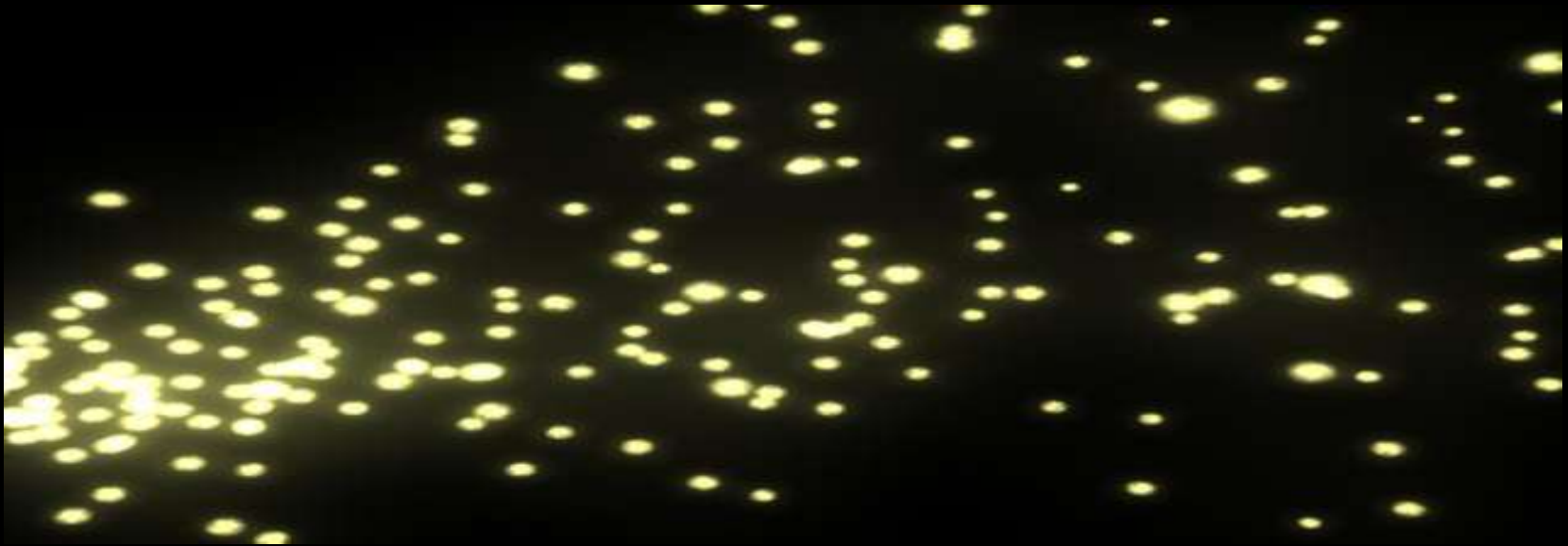


Το φως αποτελείται από ένα ηλεκτρικό και ένα μαγνητικό κύμα τα οποία είναι κάθετα μεταξύ τους και διαδίδονται με την ταχύτητα του φωτός

Σωματιδιακή φύση του φωτός

Σε φαινόμενα που σχετίζονται με την αλληλεπίδραση του φωτός με την ύλη (απορρόφηση – εκπομπή), όπως το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, εκδηλώνεται η σωματιδιακή φύση του φωτός.



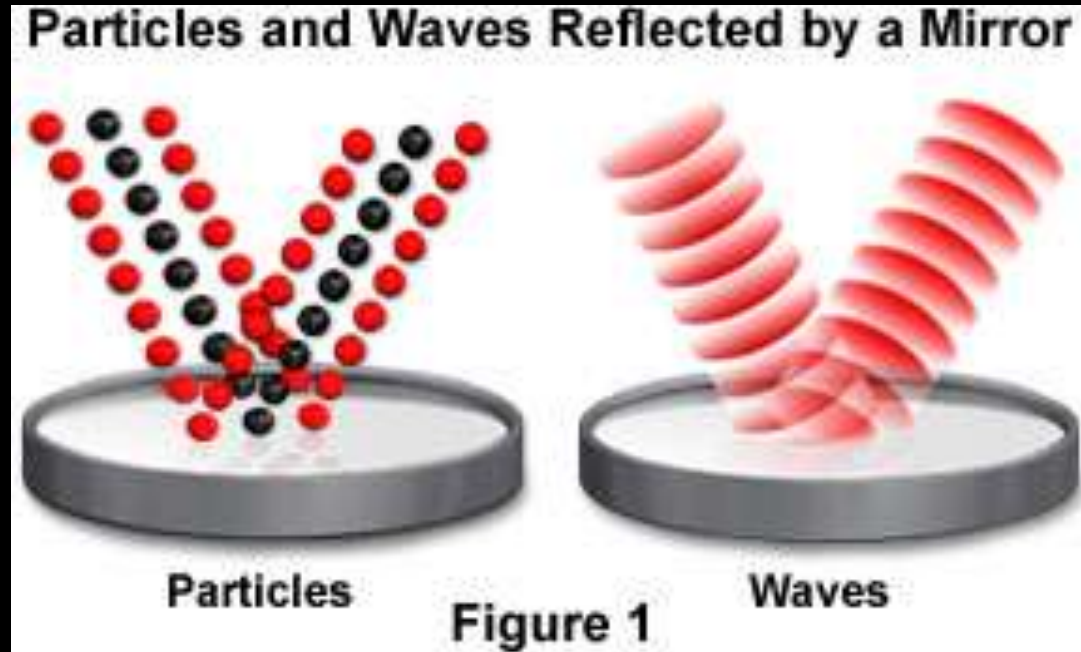


Τα σωματίδια ονομάζονται φωτόνια και η ενέργεια τους δίνεται
από την σχέση:

$$E=hf$$

Όπου h είναι η σταθερά του Planck και f η συχνότητα

Τα φαινόμενα της ανάκλασης και της διάθλασης ερμηνεύονται και με τις δύο φύσεις του.



Το φαινόμενο κατά το οποίο το φως συμπεριφέρεται άλλοτε σαν κύμα και άλλοτε σαν σωματίδιο είναι γνωστό ως **κυματοσωματιδιακός δυϊσμός (wave–particle duality)**. Υποατομικά σωματίδια όπως τα ηλεκτρόνια επιδεικνύουν και αυτά την ίδια συμπεριφορά με το φως

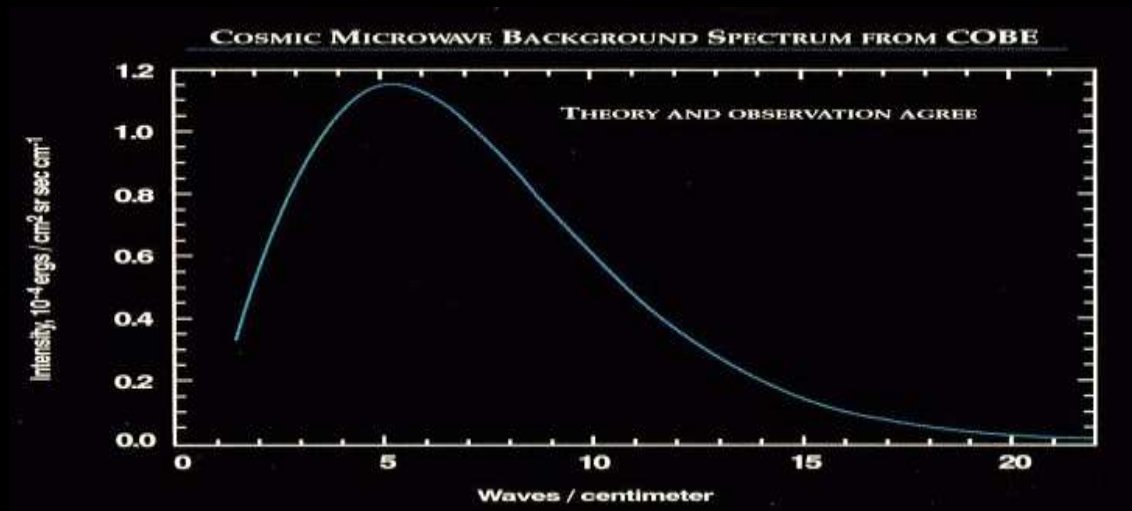
Το Μέλαν Σώμα

Ονομάζουμε «μέλαν σώμα» το ιδεατό εκείνο σώμα που σε θερμοδυναμική ισορροπία έχει την ιδιότητα να απορροφά προσπίπτουσα ακτινοβολία όλων ανεξαρτήτως των μηκών κύματος αλλά **όχι ισόποσα**.

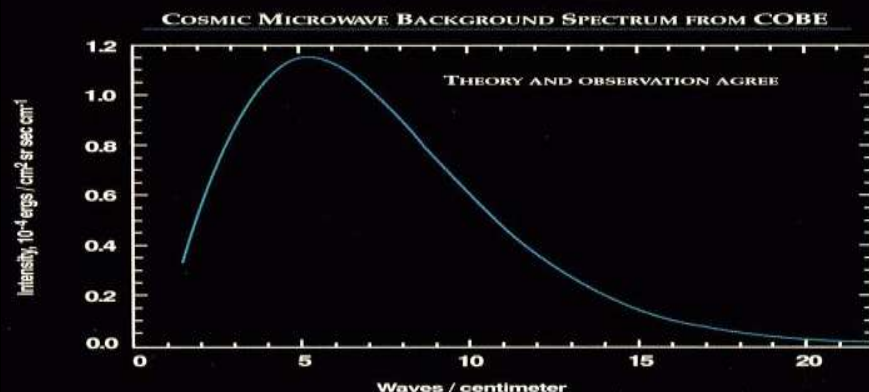
Ένα σώμα βρίσκεται σε **Θερμοδυναμική ισορροπία** εάν δηλαδή η θερμοκρασία έχει την ίδια τιμή σε κάθε σημείο του σώματος



Max Planck



Η κατανομή της ροής της ακτινοβολίας (ενέργειας) ενός μέλανος σώματος σε όλα τα μήκη κύματος, αποτελεί αυτό που ονομάζουμε «**συνεχές φάσμα εκπομπής του**», φαινόμενο που μελετήθηκε από τον *Max Planck* και περιγράφεται από τη σχέση:



$$B_{\nu}(T) = \frac{\frac{2 h \nu^3}{c^2}}{e^{h \nu / kT} - 1}$$

Όπου η ένταση της ακτινοβολίας $B_{\nu}(T)$ μετριέται σε $\text{erg sec}^{-1} \text{cm}^{-2} \text{sterad}^{-1} \text{Hz}^{-1}$ και αυτή είναι η ενέργεια που εκπέμπει ένα **μέλαν σώμα** στη μονάδα του χρόνου (ανά Hz) από κάθε μονάδα της επιφάνειάς του και μέσα στη μονάδα στερεάς γωνίας, όταν βρίσκεται σε θερμοδυναμική ισορροπία και έχει θερμοκρασία T.

λ είναι το μήκος κύματος μετρούμενο σε cm,

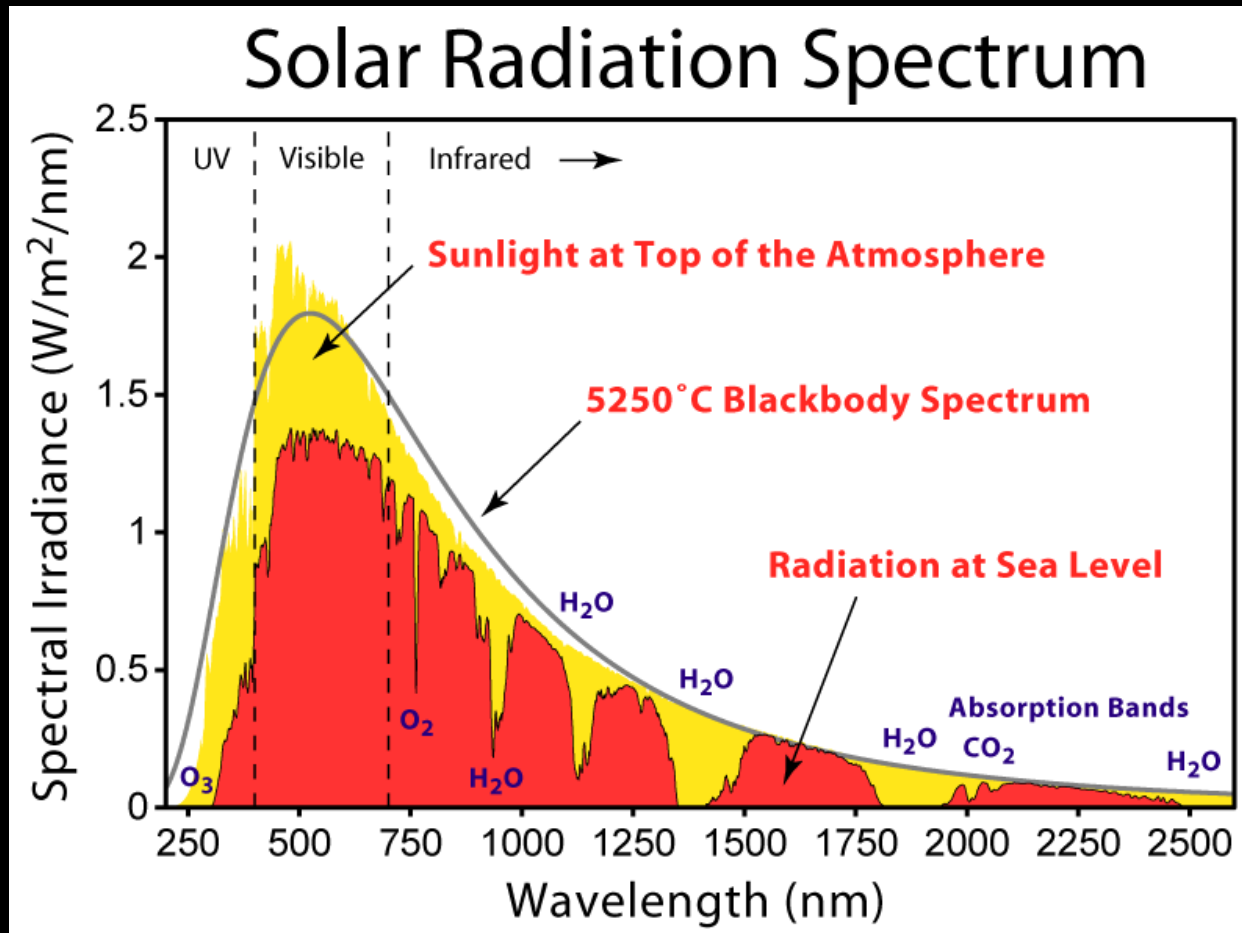
$h=6,624 \times 10^{-27} \text{ erg.sec}$ αποτελεί τη **σταθερά δράσεως του Planck**,

$c=2,998 \times 10^{10} \text{ cm.sec}^{-1}$ είναι η **ταχύτητα του φωτός** και τέλος,

$K=1,38 \times 10^{-16} \text{ erg.deg}^{-1}$ είναι η **σταθερά του Boltzmann**

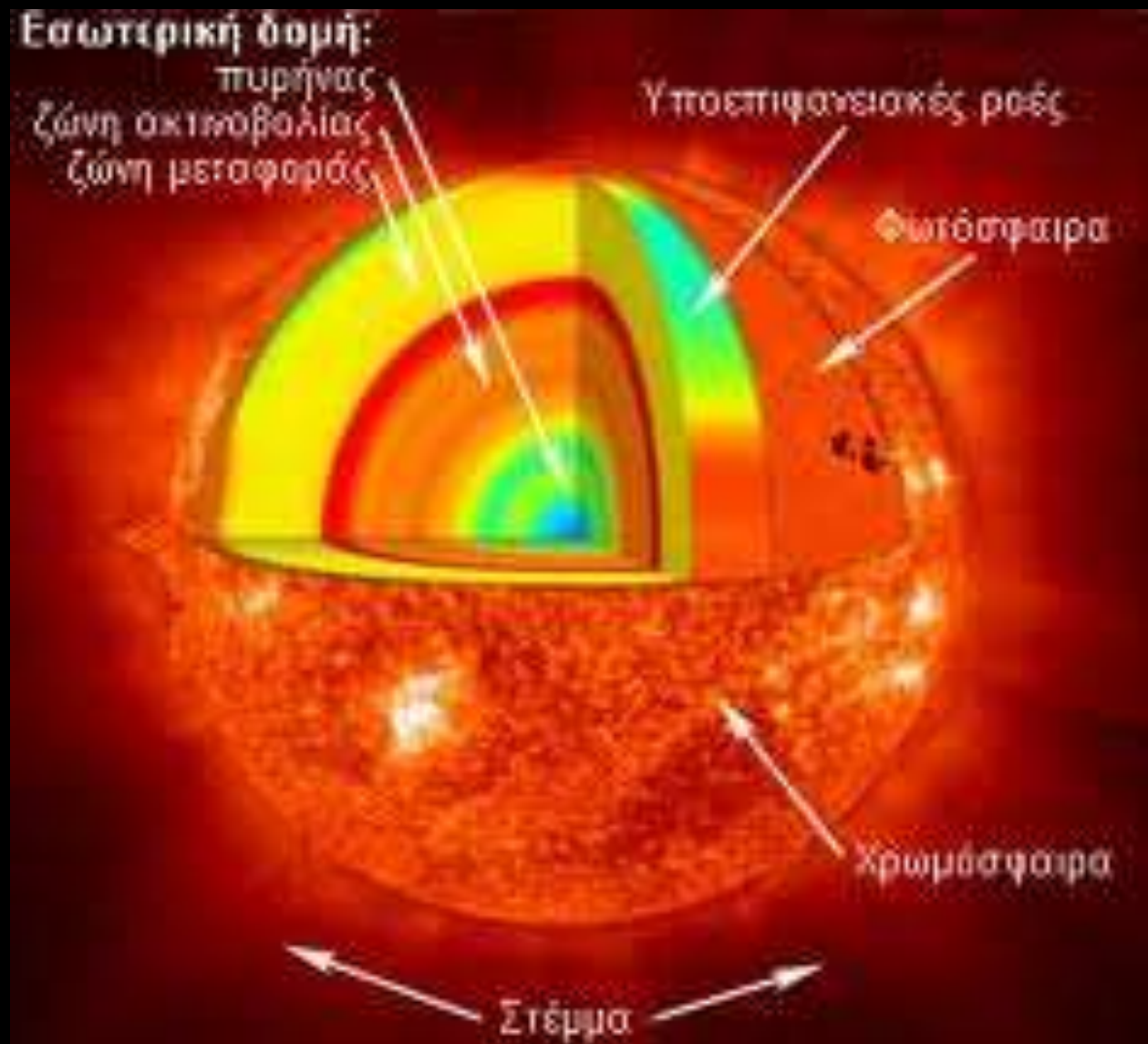
Τα μέλανα σώματα των αστεριών

Τα αστέρια με μια πάρα πολύ καλή προσέγγιση συμπεριφέρονται σαν μέλανα σώματα διαφόρων θερμοκρασιών



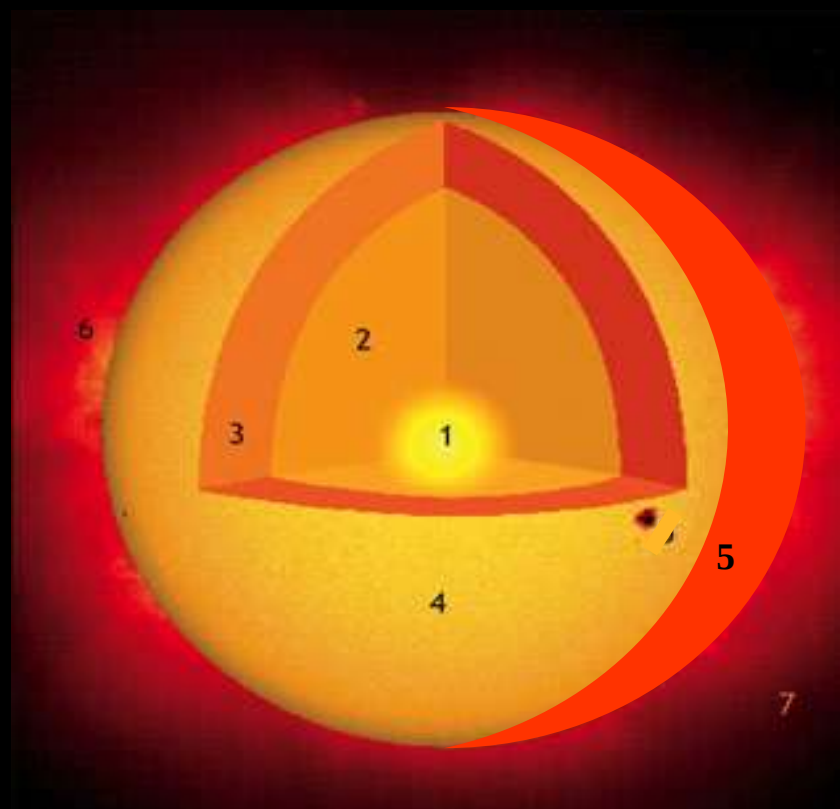
Η κατανομή μέλανος σώματος του Ήλιου

Δομή αστέρων



Ο Ήλιος μπορούμε να πούμε ότι από-τελείται από διάφορα στρώματα, τα οποία τον περιβάλλουν από μέσα προς τα έξω όπως οι φλοιοί ενός κρεμμυδιού. Αυτά, ξεκινώντας από το κέντρο είναι:

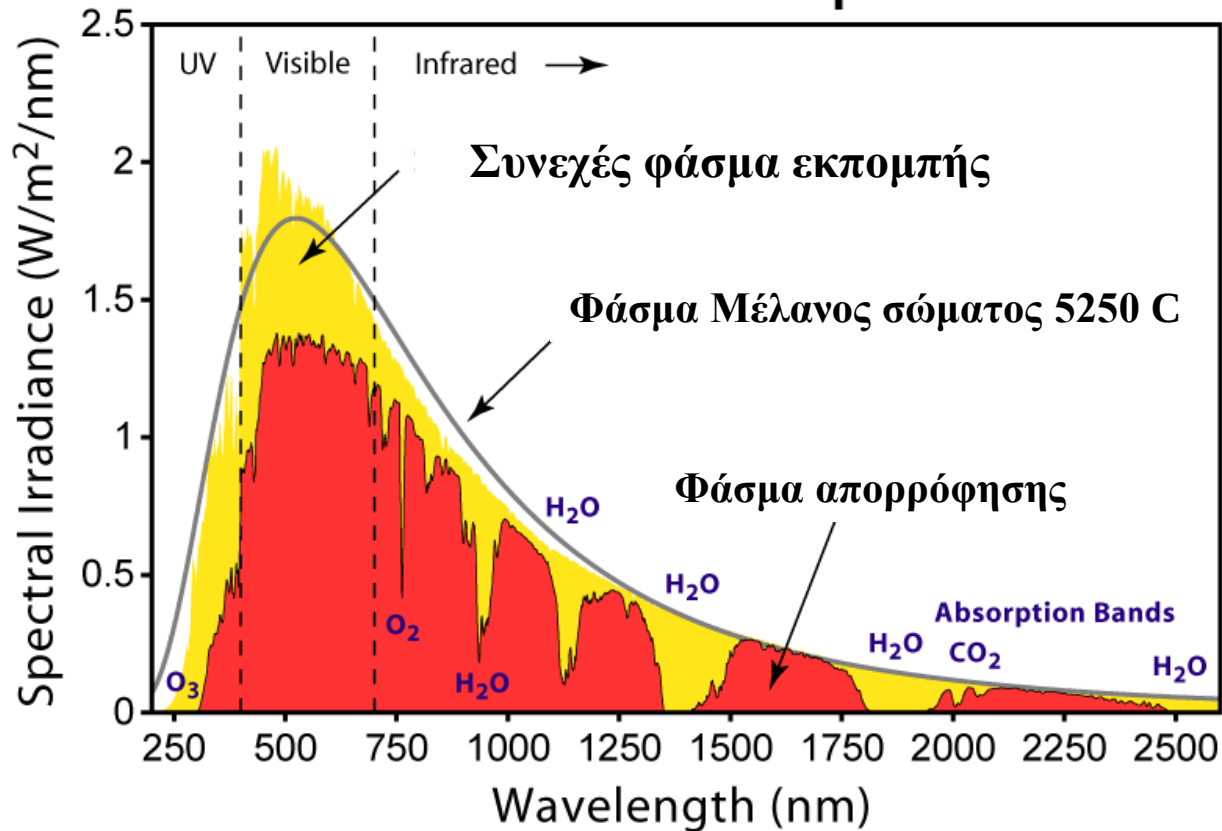
1. Ο πυρήνας (Core),
2. Η ζώνη ακτινοβολίας (Radiative zone) ή περίβλημα,
3. Η ζώνη μεταφοράς (Convective zone),
4. Η φωτόσφαιρα (Photosphere),
5. Η χρωμόσφαιρα (Chromosphere) και
6. Η μεταβατική ζώνη (Transition zone),
7. το στέμμα (Corona).

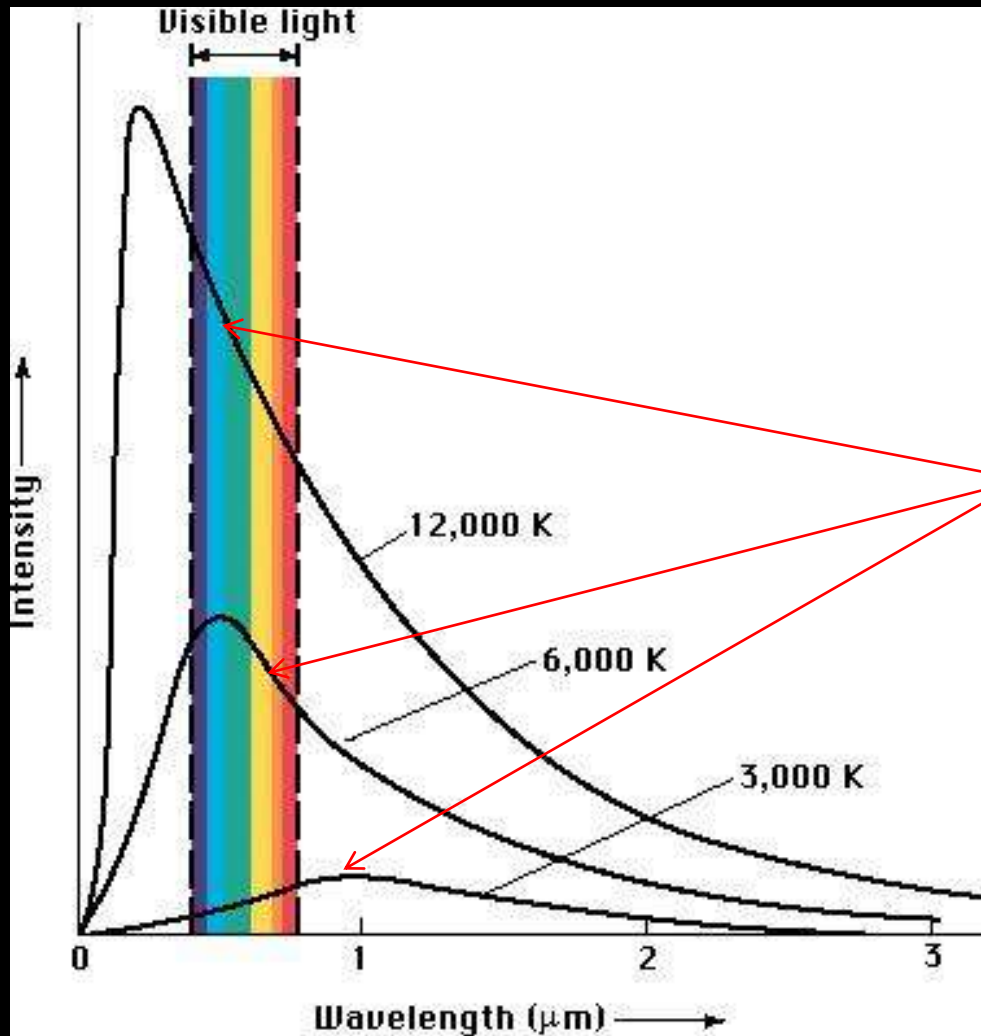


Οι 3 τελευταίοι φλοιοί και τμήμα της φωτόσφαιρας αποτελούν την ατμόσφαιρα του Ήλιου, ενώ τα 3 πρώτα και το υπόλοιπο τμήμα της φωτόσφαιρας αποτελούν το εσωτερικό του.

Ο διαχωρισμός σε ζώνες γίνεται για πρακτικούς λόγους.

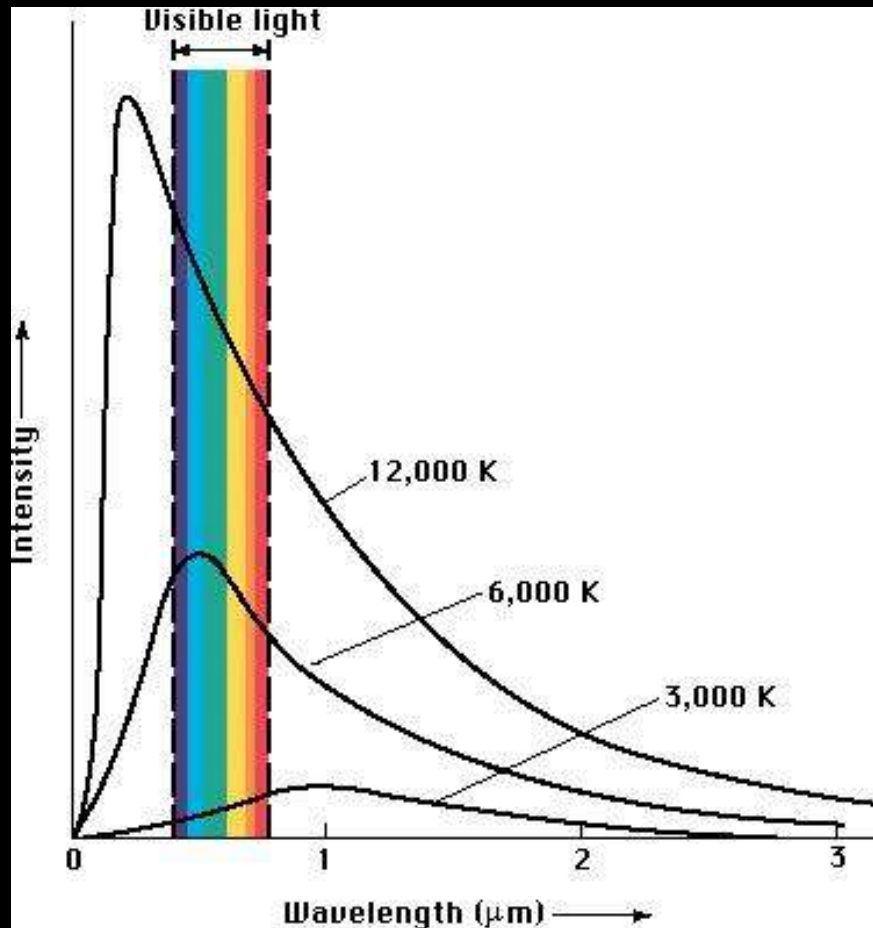
Solar Radiation Spectrum





Κατανομή ακτινοβολίας αστεριών

Όπως παρατηρούμε η ορατή ακτινοβολία ενός αστεριού αποτελεί ένα μικρό κομμάτι της συνολικής ακτινοβολίας του



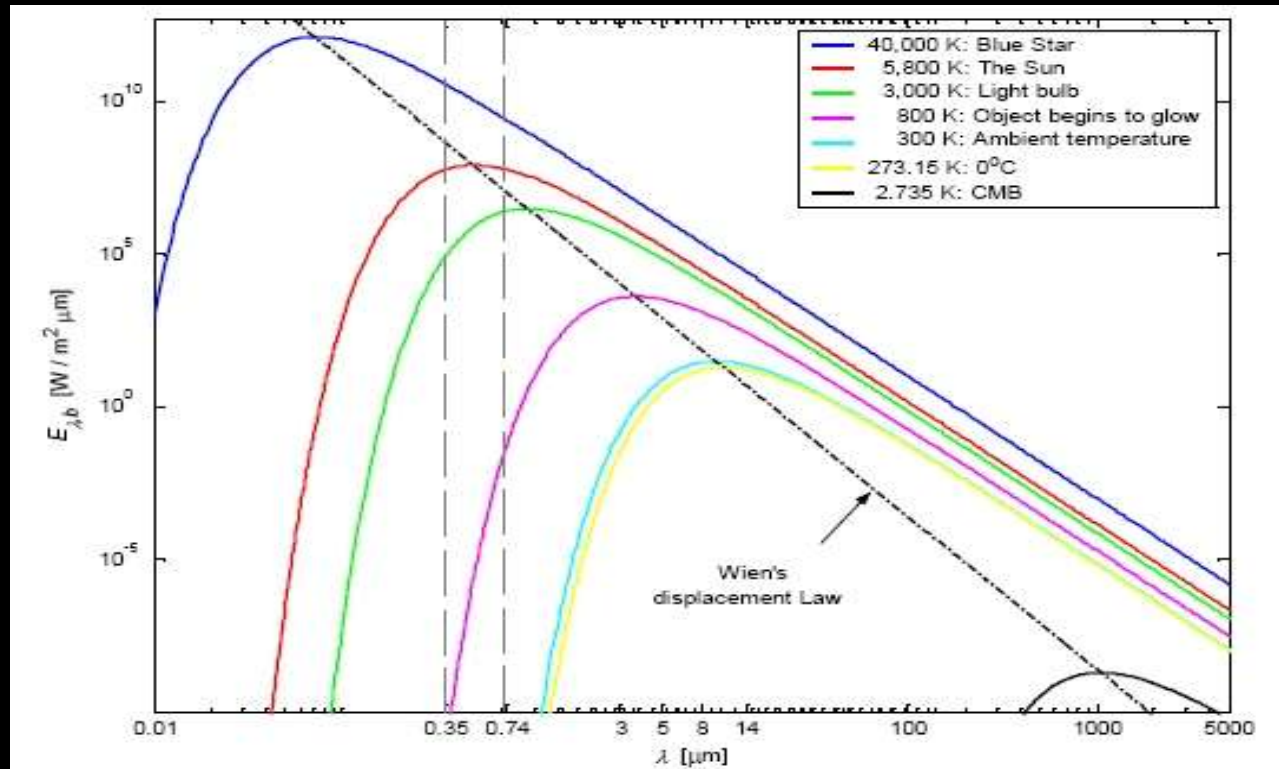
Προσοχή: Αν ένα αστέρι εκπέμπει το μέγιστο της ακτινοβολίας του στην περιοχή του ορατού φάσματος θα το αντιλαμβανόμαστε ως λαμπρό. Αν το μέγιστο εκπέμπεται σε μη ορατά μήκη κύματος θα το βλέπουμε ως αμυδρό .



**Παρατηρούμε το Σύμπαν όπως μας
επιτρέπει η ανθρώπινη βιολογία. Αν
είχαμε άλλη δομή του εγκεφάλου θα το
βλέπαμε εντελώς διαφορετικό**

Νόμος του Wien

Όταν αυξηθεί η θερμοκρασία ενός μέλανος σώματος που εκπέμπει θερμική ενέργεια, **το μέγιστο της κατανομής Planck** μετατοπίζεται προς τα μικρότερα μήκη κύματος (υψηλότερες ενέργειες).



$$\lambda_{\max} \cdot T = 0,28973 \text{ cm.grad}$$

λ μετράται σε cm και η θερμοκρασία **T** σε βαθμούς Kelvin

Νόμος των Stefan-Boltzmann



Boltzmann.



Stefan

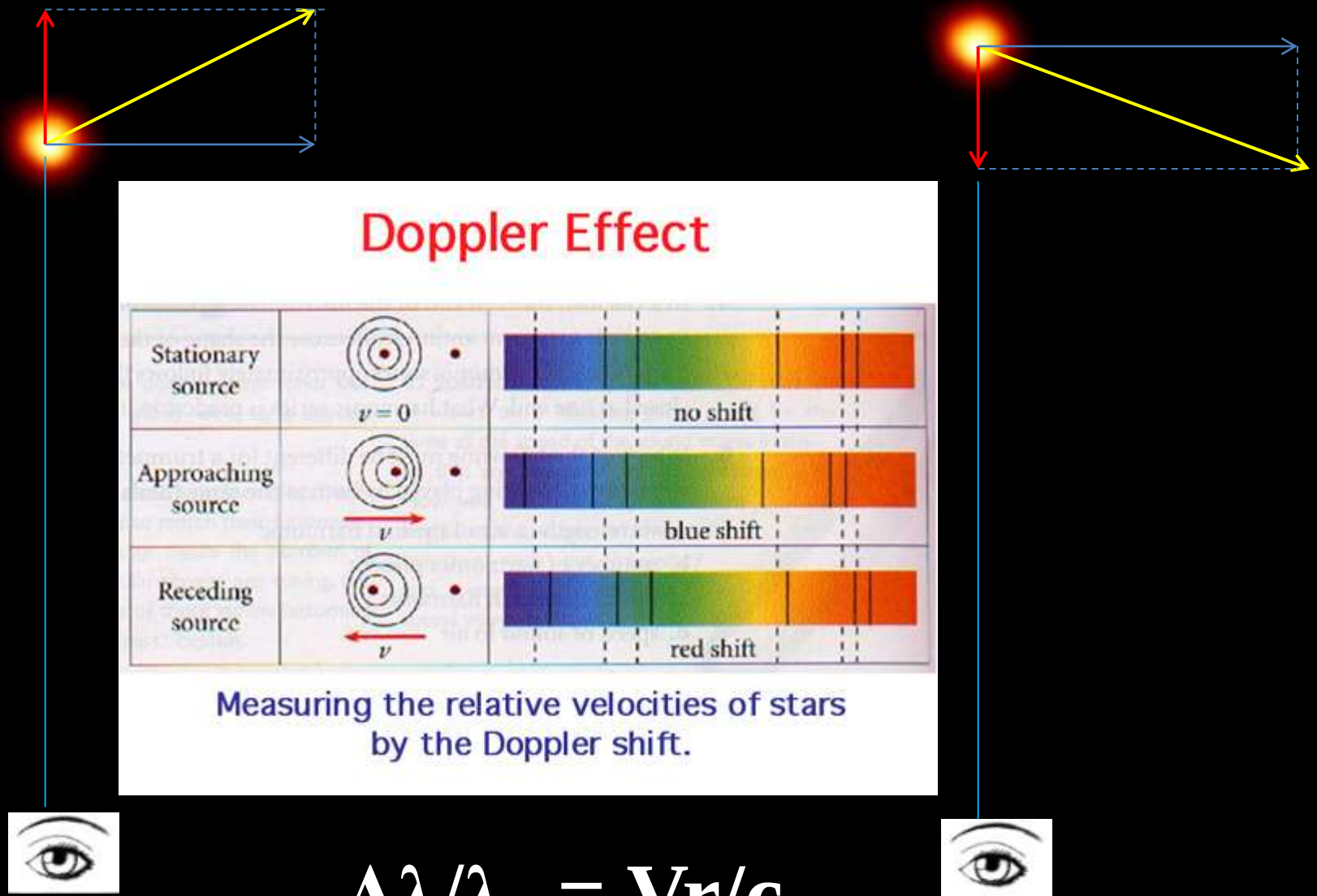
Ο νόμος των Stefan-Boltzmann

$$F = \sigma T_{\text{eff}}^4,$$

εκφράζει το γεγονός ότι από την επιφάνεια ενός μέλανος σώματος θερμοκρασίας T , ο ρυθμός εκπομπής της ακτινοβολίας ανά μονάδα επιφανείας (cm^2) και χρόνου (sec) —δηλαδή η ροή της ακτινοβολίας— είναι ανάλογος της τετάρτης δυνάμεως της θερμοκρασίας.

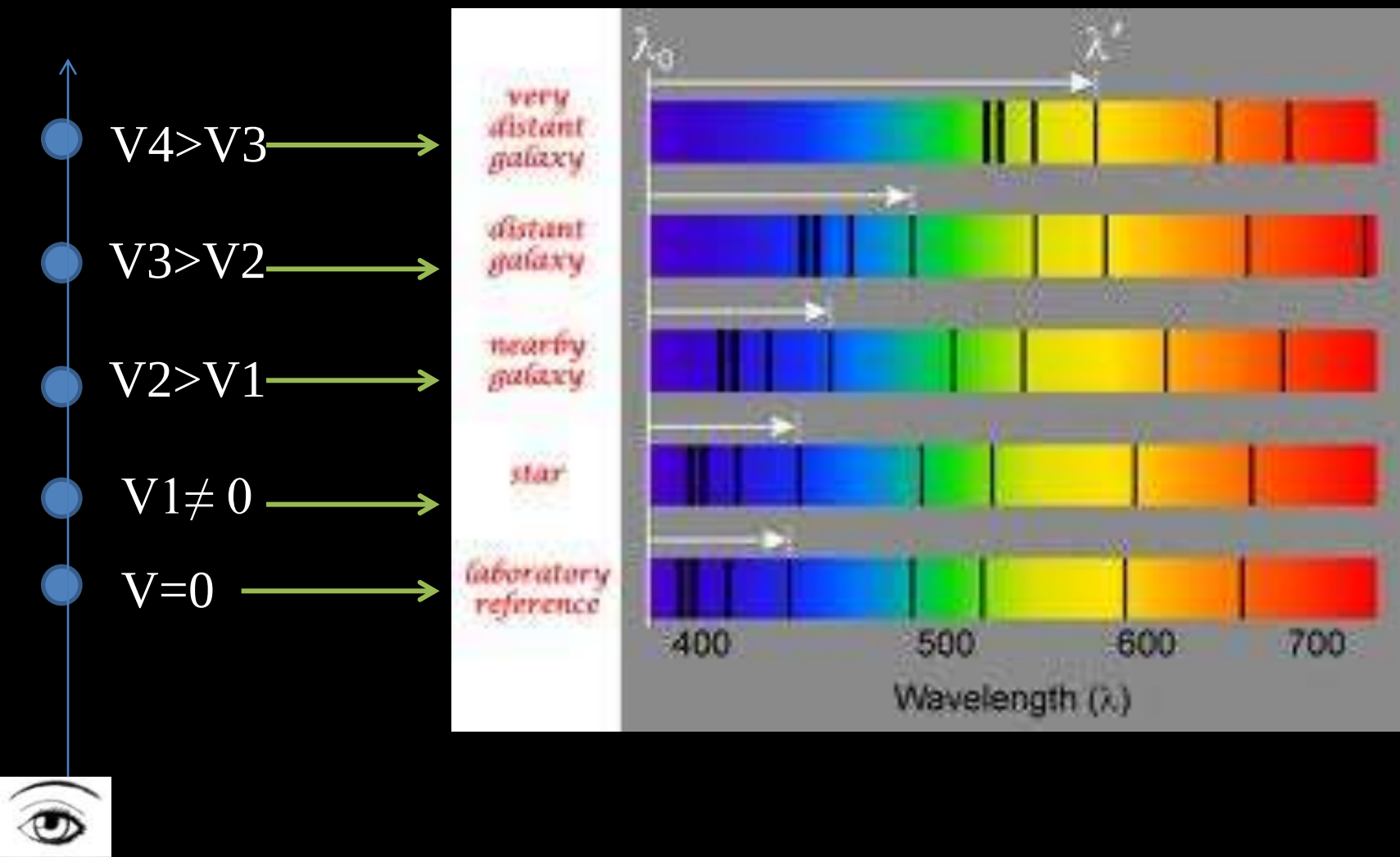
$\sigma = 5,6697 \times 10^{-5} \text{ erg cm}^{-2} \text{ sec}^{-1} \text{ grad}^{-4}$ είναι η σταθερά Stefan-Boltzmann.

Ο Νόμος Doppler Fizeau



$$\Delta\lambda/\lambda_0 = Vr/c$$

Ο Νόμος Doppler Fizeau



Η Ενεργός Θερμοκρασία ενός άστρου

Ενεργός θερμοκρασία T_{eff}
του άστρου είναι η
θερμοκρασία μέλανος
σώματος, της ίδιας ακτίνας με
το αστέρι, που εκπέμπει ανά
μονάδα επιφάνειας (cm^2) και
χρόνου (sec), το ίδιο συνολικό
ποσόν ενέργειας με το
παρατηρούμενο από το
αστέρι.



Η Ενεργός Θερμοκρασία ενός άστρου

Συνεπώς η ενεργός θερμοκρασία (T_{eff}) μετράει έμμεσα την ολική ακτινοβολία F , που εκπέμπεται από τη μονάδα επιφάνειας ενός άστρου στη μονάδα του χρόνου σε σχέση με τον νόμο Stefan-Boltzmann. Ως γνωστόν για ένα μέλαν σώμα η F συνδέεται με τη θερμοκρασία μέσω της σχέσεως:

$$F = \sigma T_{\text{eff}}^4$$

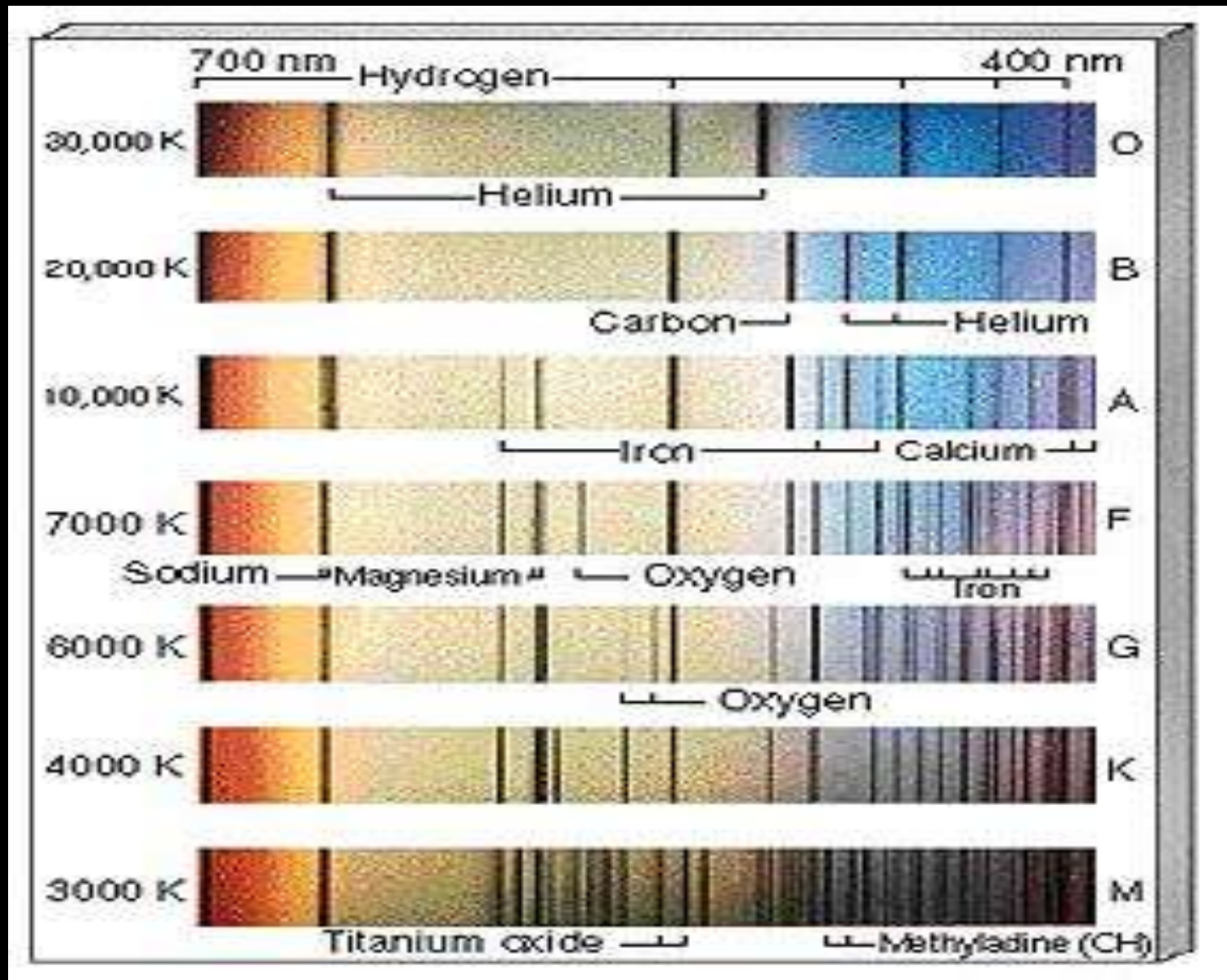
Φασματική Ταξινόμηση του Harvard

Σύμφωνα με την ταξινόμηση του **Harvard**, όπως ονομάστηκε, τα αστρικά φάσματα χωρίστηκαν σε επτά κύριες κατηγορίες, με βάση τη συνεχή μεταβολή των γραμμών απορρόφησης, που ονομάστηκαν με τα ακόλουθα επτά κεφαλαία γράμματα του λατινικού αλφαβήτου:

O, B, A, F, G, K, M

Η ακολουθία αυτή συμπληρώθηκε αργότερα με μερικούς πλευρικούς φασματικούς τύπους, που αντιστοιχούσαν σε αστέρια με κάποιες χαρακτηριστικές γραμμές μετάλλων. Έτσι η σειρά των φασματικών τύπων πήρε τη μορφή

O- B- A- F- G- K- M { **C(R,N)**
} **S**



Αστέρια διαφορετικών φασματικών τύπων εμφανίζουν διαφορετικές φασματικές γραμμές

Τα φάσματα των άστρων φασματικών τύπων **O, B** χαρακτηρίζονται ως φάσματα των **θερμών μπλε προγενέστερων τύπων**.

Των **A, F G K** και **M** χαρακτηρίζονται ως φάσματα των **ψυχρών κόκκινων μεταγενέστερων τύπων**

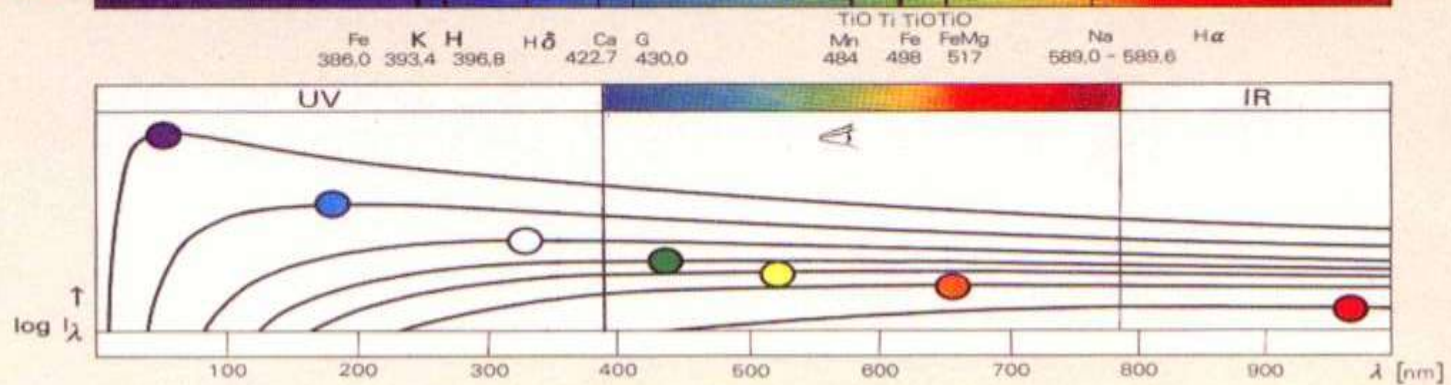
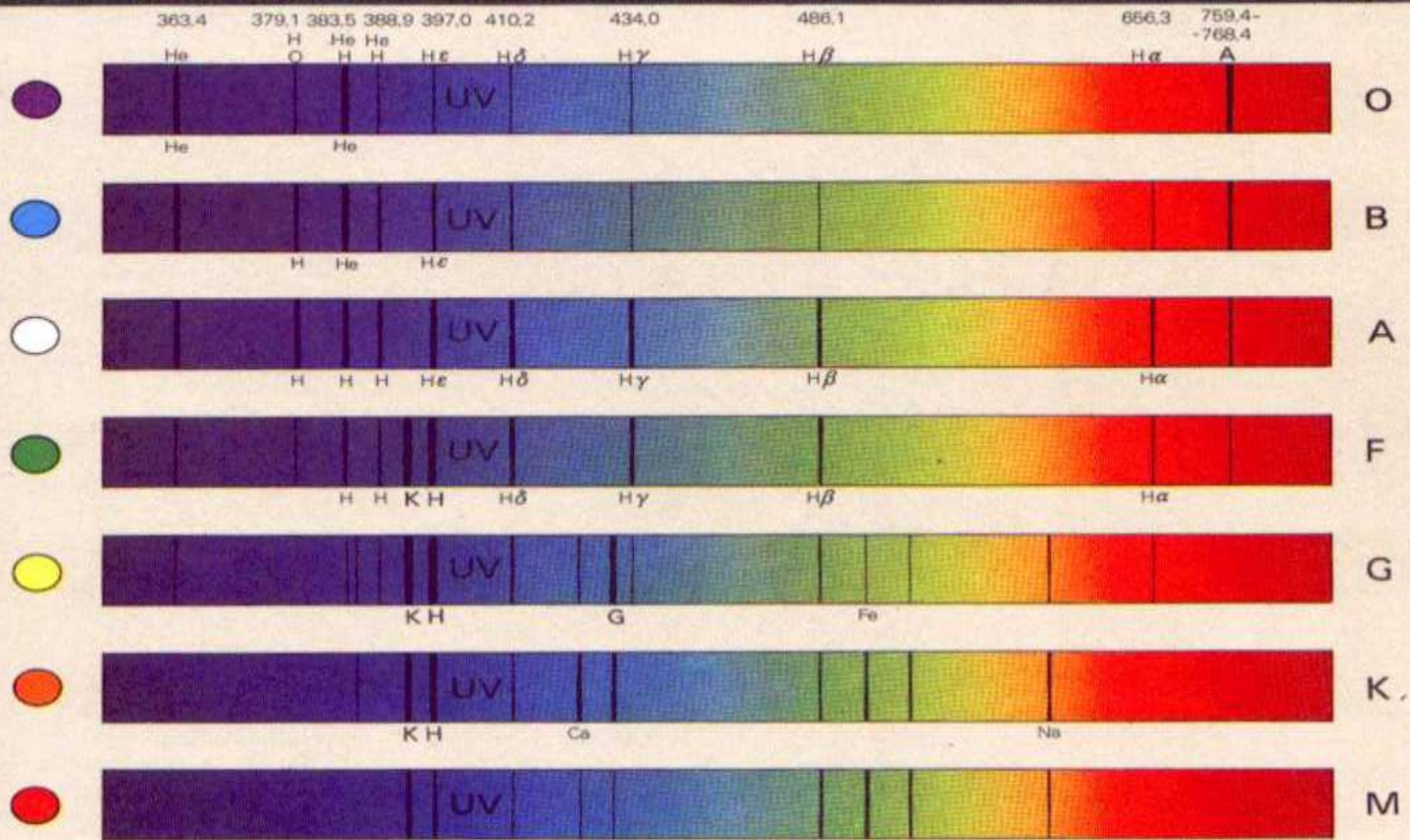
Η διάκριση αυτή, δηλώνει απλώς και μόνον τη σχετική θέση των φασμάτων των άστρων στην ταξινόμηση του Harvard.

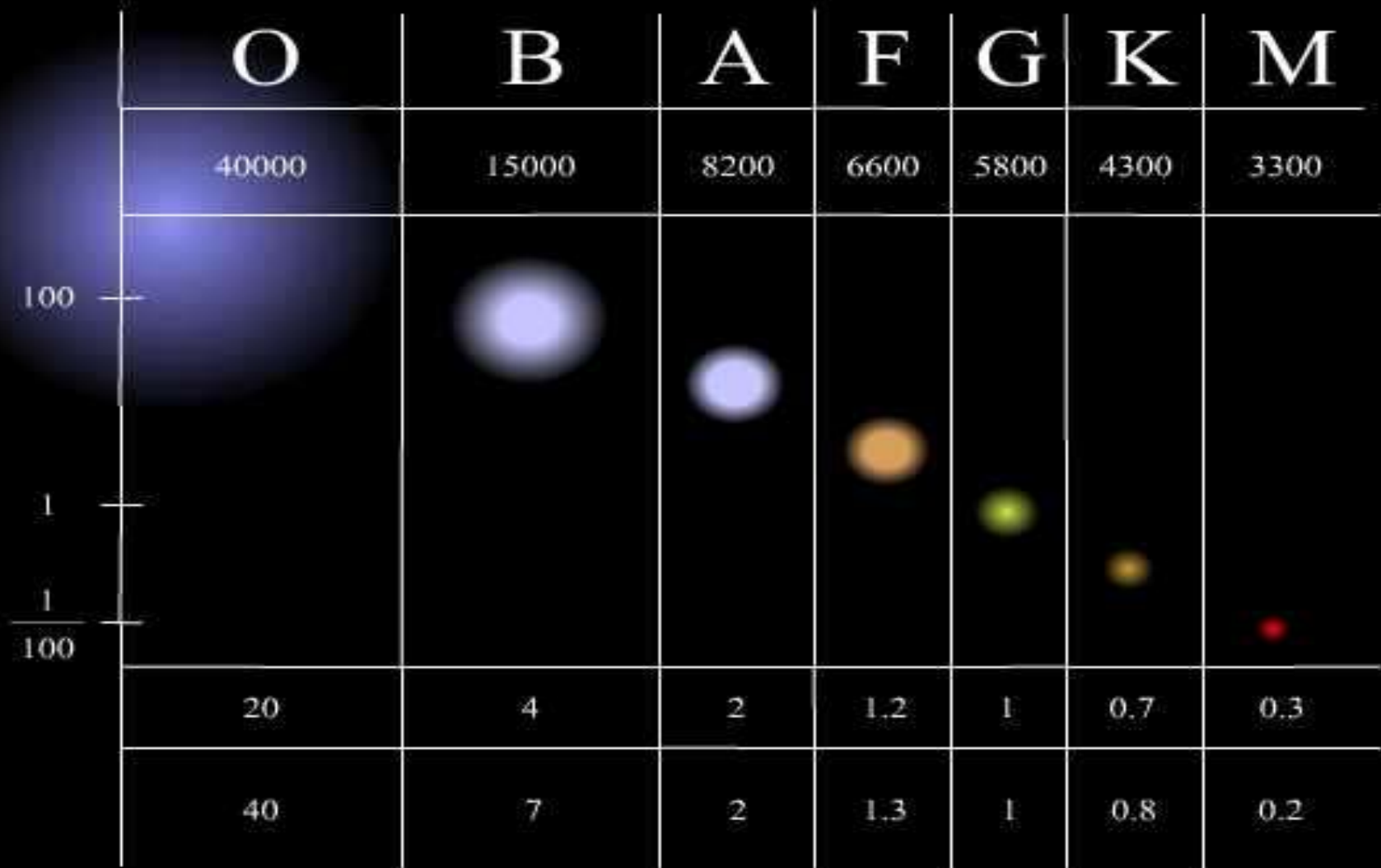
Οι αστέρες των τύπων **R** και **N** είναι γνωστοί ως αστέρες άνθρακα και σήμερα είναι ενσωματωμένοι στον φασματικό τύπο **C**.

Η ονομασία **προγενέστεροι** ή **μεταγενέστεροι** δεν έχει ούτε υπονοεί καμιά απολύτως σχέση με την ηλικία των άστρων.

Με λίγα λόγια πηγαίνοντας από τον φασματικό
τύπο **O** στον φασματικό τύπο **S** η
θερμοκρασία μειώνεται

Δηλαδή αν φτιάξουμε την **κατανομή του**
Planck το μέγιστό της θα μετατοπίζεται προς
τα μεγάλα μήκη κύματος πηγαίνοντας από
αστέρια φασματικού τύπου **O** σε αστέρια
φασματικού τύπου **S**

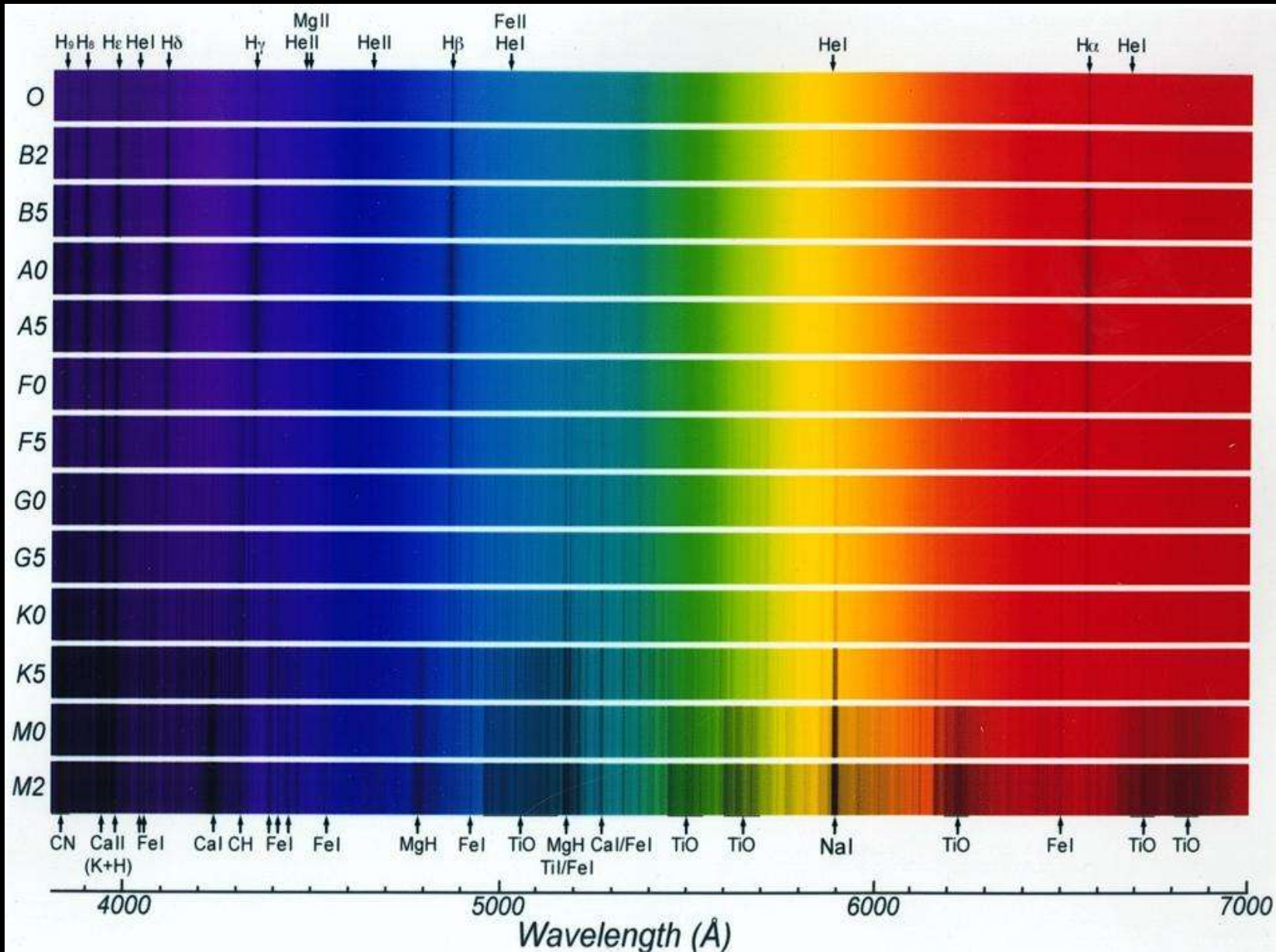




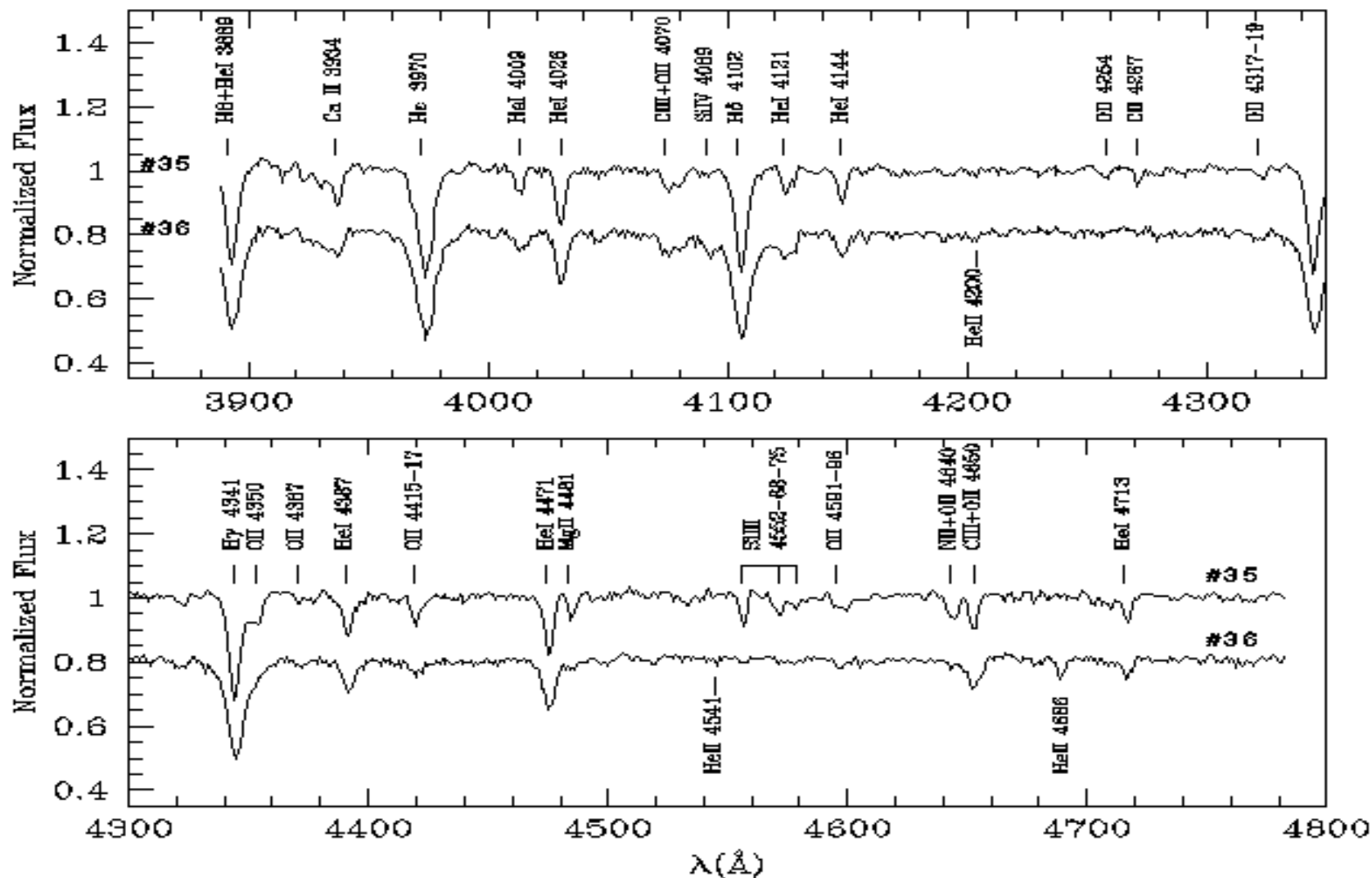
Αστέρια διαφορετικών φασματικών τύπων παρουσιάζουν διαφορετικές θερμοκρασίες

Μεταξύ δύο διαφορετικών φασματικών
τύπων διακρίνουμε 9 υποτύπους π.χ μεταξύ
των φασματικών τύπων B και A διακρίνουμε
τους υποτύπους...

B0 B1 B2 B3 B4 B5 B6 B7 B8 B9 **A0**

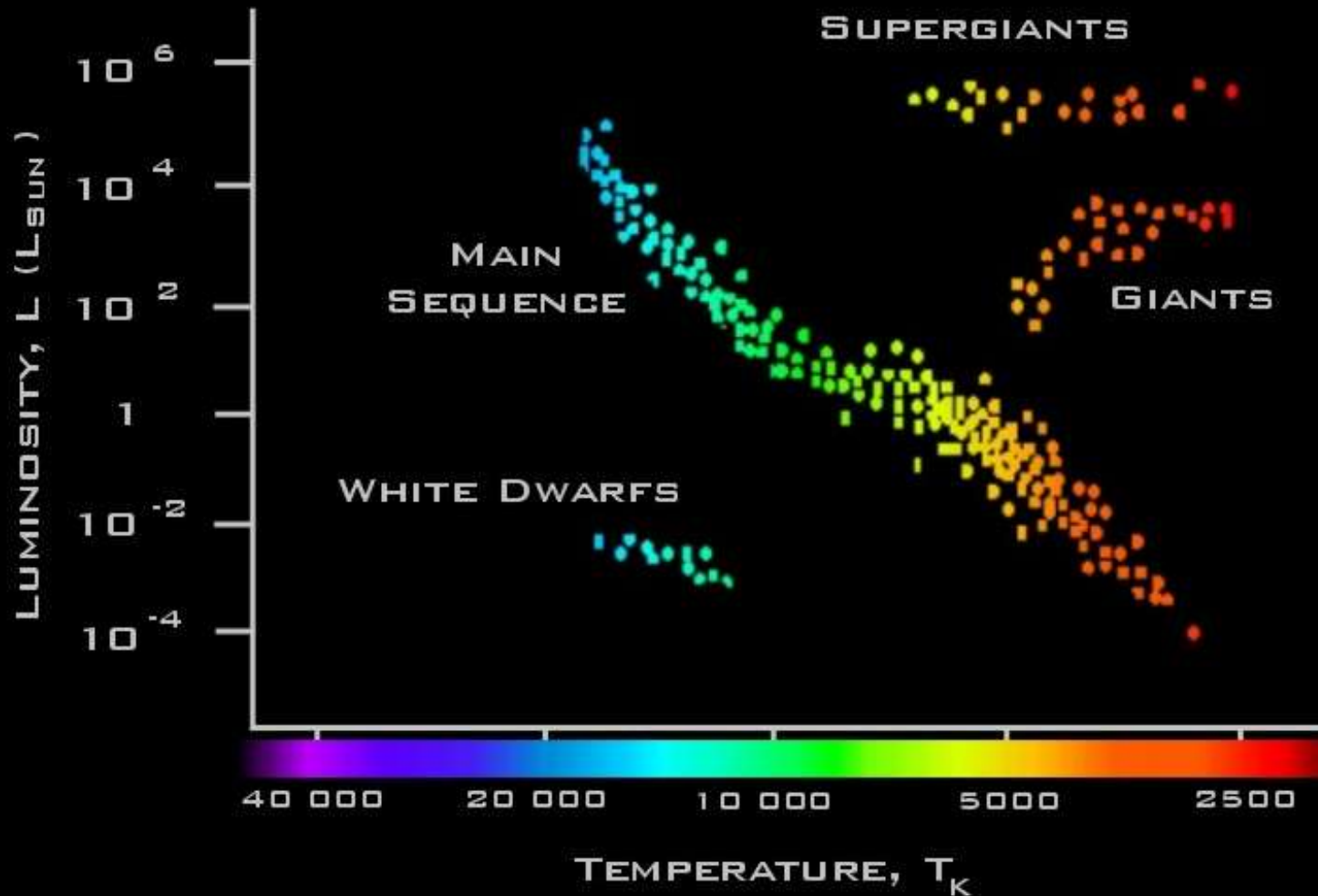


Φασματικοί τύποι και υποτύποι



Προσοχή: Αστέρια του ίδιου φασματικού υποτύπου παρουσιάζουν τις ίδιες ακριβώς φασματικές γραμμές

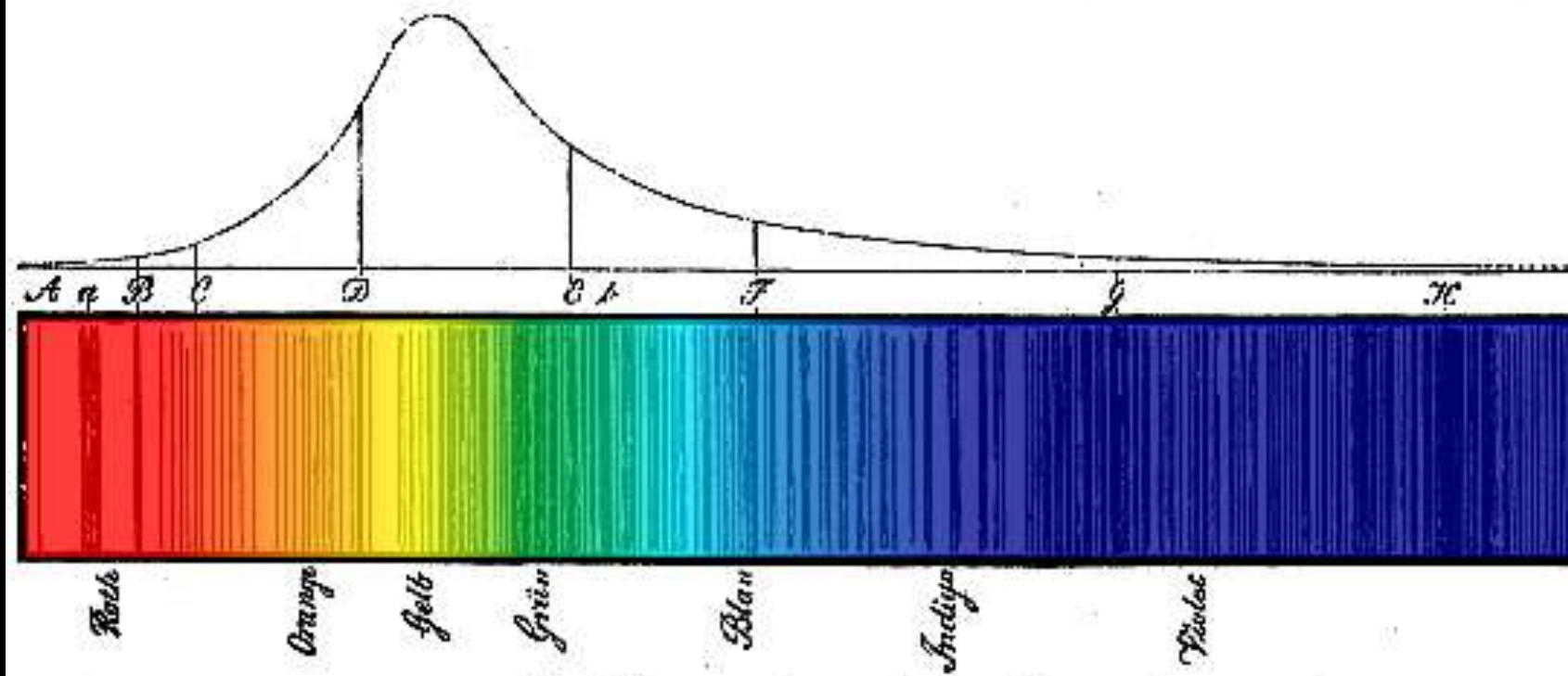
Το διάγραμμα HR



ΦΩΤΟΜΕΤΡΙΑ

Ενεργό μήκος κύματος

Το ενεργό μήκος κύματος είναι εκείνο στο οποίο ο εξειδικευμένος δέκτης —που μπορεί να καταγράψει τη συγκεκριμένη φασματική περιοχή— παρουσιάζει τη μεγαλύτερη ευαισθησία. Συνεπώς **για το μάτι μας**, που έχει τη μεγαλύτερη ευαισθησία του στην **κιτρινοπράσινη** περιοχή του φάσματος, **το $\lambda_{εν}=5.500 \text{ \AA}$** , ενώ για την **ορθοχρωματική** φωτογραφική πλάκα (μη ευαίσθητη στο κόκκινο φως) το **$\lambda_{εν}=4.300 \text{ \AA}$** .



Zu Fraunhofer's Abh. Denkschr. 1814-15.

α. τριχρωματικό σύστημα ή σύστημα U.B.V.

Στο σύστημα αυτό που είναι το πιο συνηθισμένο και ευρέως χρησιμοποιούμενο στην ορατή περιοχή του φάσματος, έχουν επιλεγεί τρία φίλτρα.

To U (Ultraviolet) που επιτρέπει να περνούν *υπεριώδη* μήκη κύματος από 3.300 έως 4.000 Å με $\lambda_{εν}=3.500 \text{ Å}$.

To B (Blue) που απομονώνει την μπλέ περιοχή του φάσματος μεταξύ 3.900 και 4.900 Å με $\lambda_{εν}=4.300 \text{ Å}$ και τέλος,

To V (Visual) που απορροφά όλες τις ακτινοβολίες, εκτός εκείνων της ορατής περιοχής μεταξύ 5.050 και 5.950 Å με $\lambda_{εν}=5.500 \text{ Å}$.

Τα αντίστοιχα φαινόμενα μεγέθη του κάθε αστεριού στις προηγούμενες περιοχές συμβολίζονται μ , m_B , m_V .

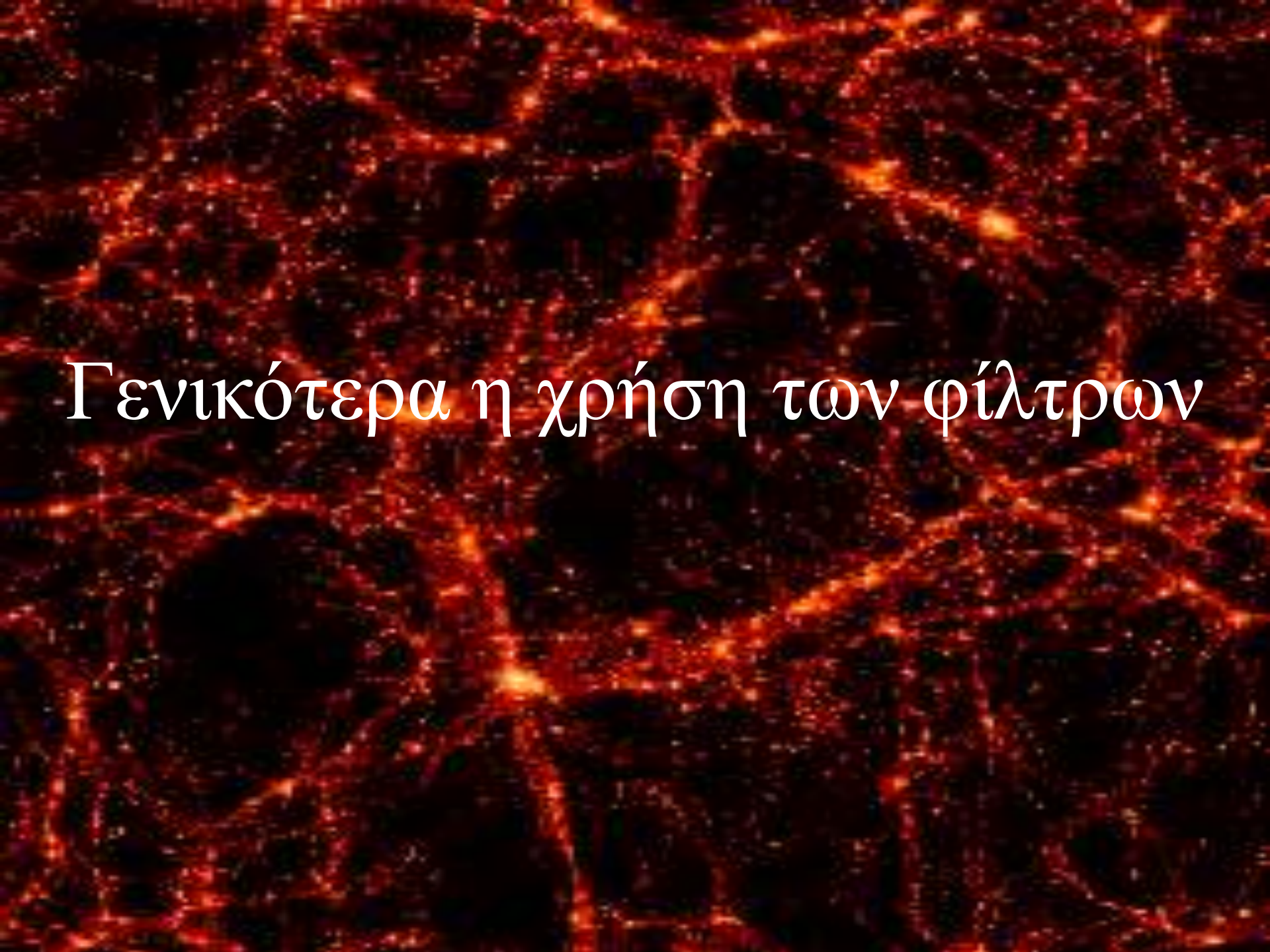
β. σύστημα 6 χρωμάτων

Το σύστημα αυτό περιλαμβάνει έξι φίλτρα τα οποία ονομάζουμε **U, B, V, G, R, I**, και τα οποία αντίστοιχα απομονώνουν φασματικές περιοχές με τα επόμενα ενεργά μήκη κύματος:

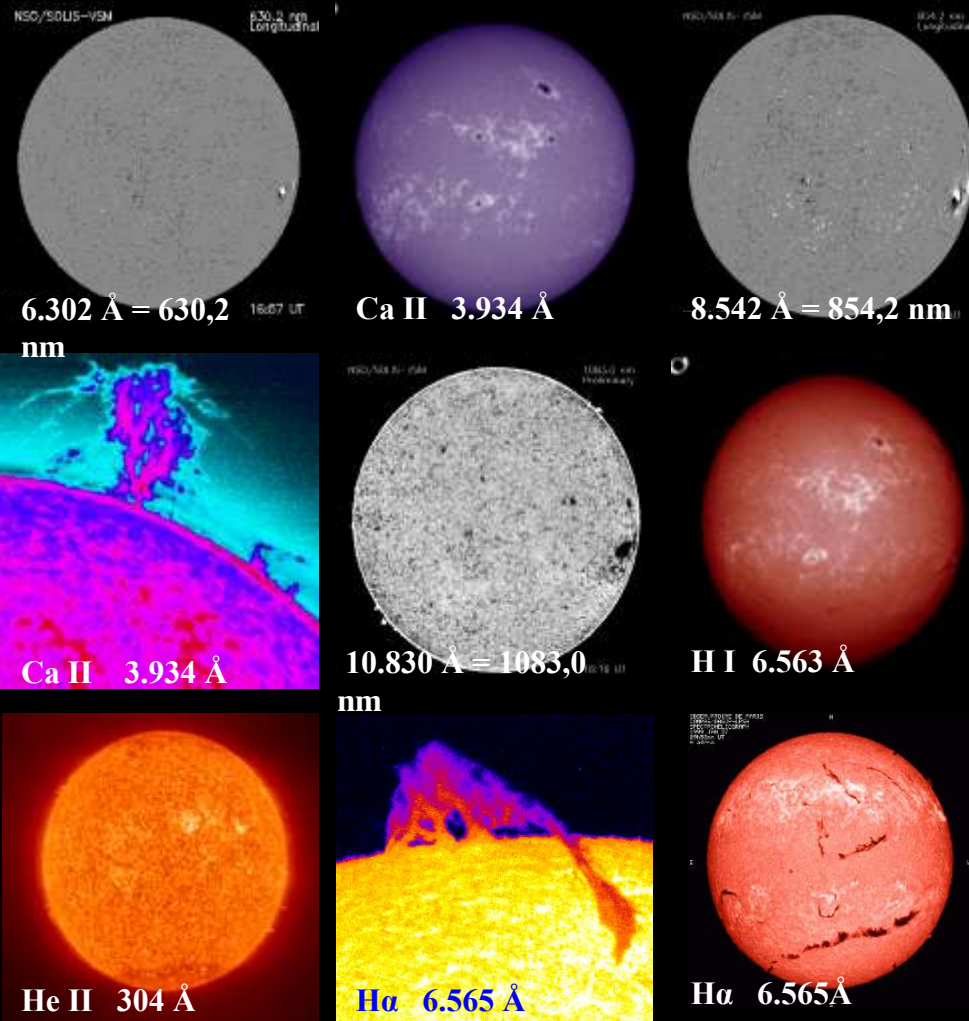
Φίλτρο U, $\lambda_{εν}=3.500 \text{ \AA}$ Φίλτρο G, $\lambda_{εν}=5.700 \text{ \AA}$

Φίλτρο B, $\lambda_{εν}=4.200 \text{ \AA}$ Φίλτρο R, $\lambda_{εν}=7.200 \text{ \AA}$

Φίλτρο V, $\lambda_{εν}=4.900 \text{ \AA}$ Φίλτρο I, $\lambda_{εν}=10.300 \text{ \AA}$

The background of the slide is a Cosmic Microwave Background (CMB) fluctuation map. It shows a complex pattern of red and orange filaments and spots against a dark background, representing the distribution of matter and energy in the early universe.

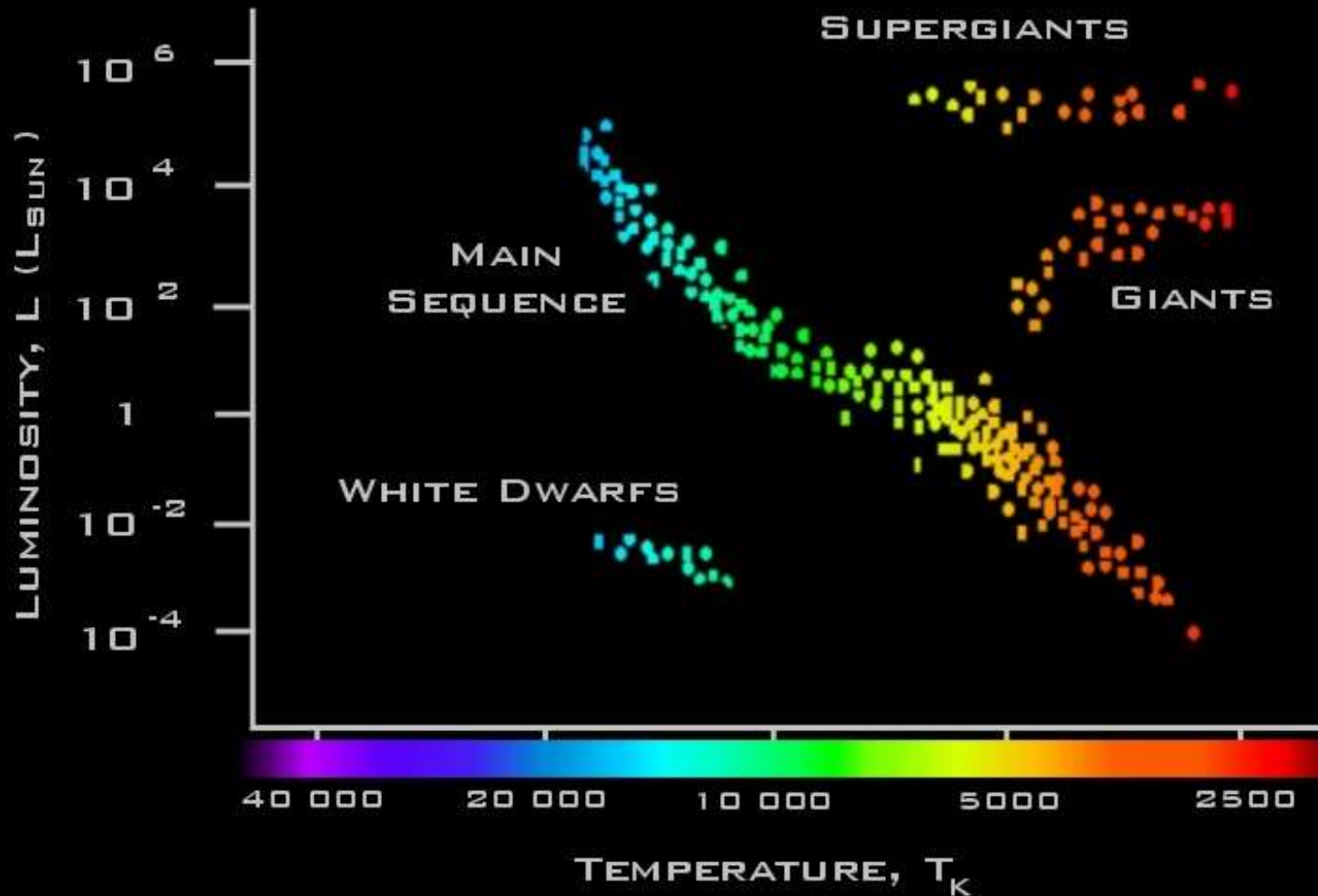
Γενικότερα η χρήση των φίλτρων



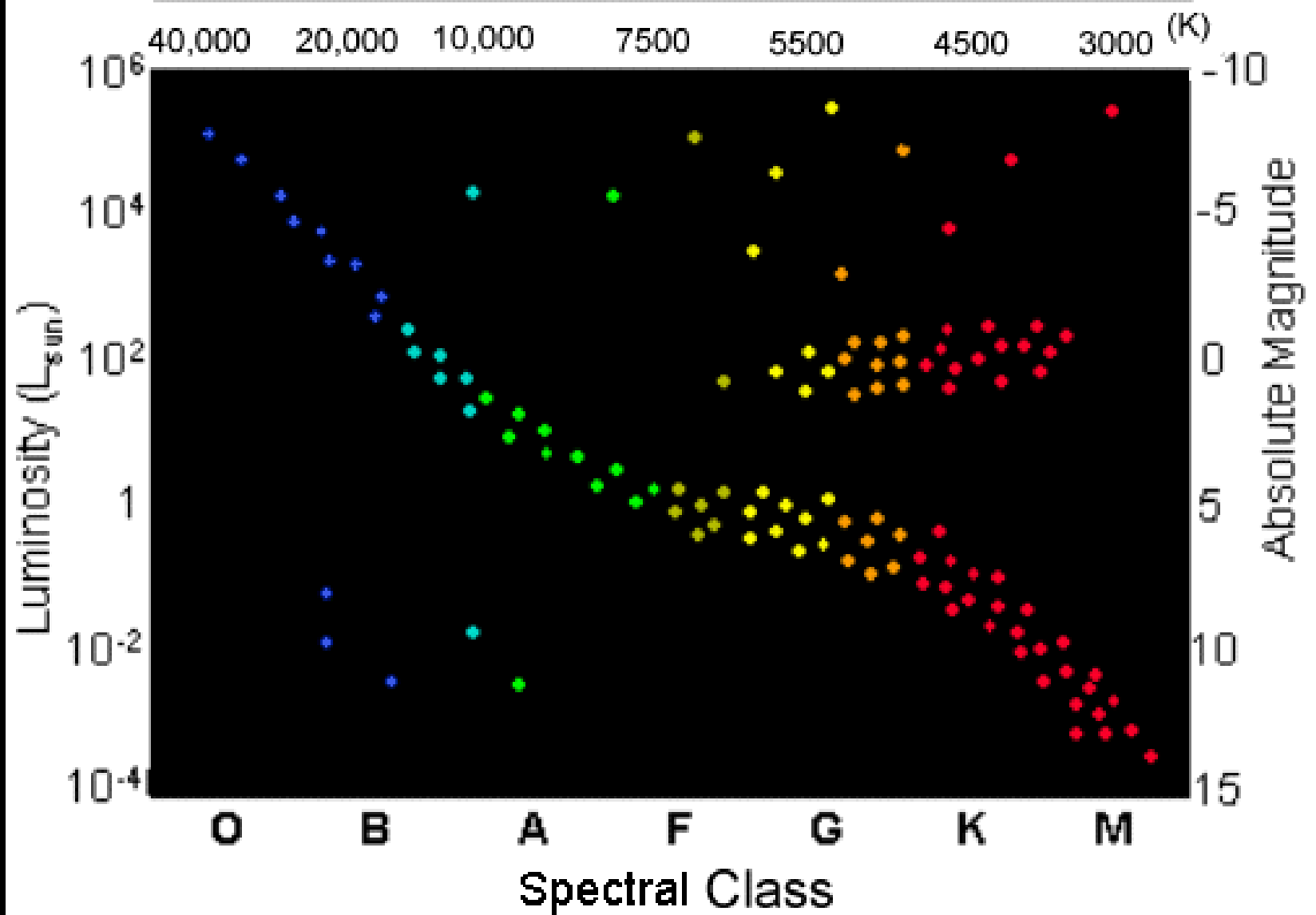
Γενικότερα τα φίλτρα
 χρησιμοποιούνται
 προκειμένου να μελετάμε
 φωτογραφικά, φαινόμενα
 περιοχών που εκπέμπουν
 σε διαφορετικά μήκη
 κύματος από τα ορατά

Πχ στην περίπτωση του Ήλιου μπορούμε να μελετήσουμε
 τους σχηματισμούς στην χρωμόσφαιρα και το στέμμα

Το διάγραμμα HR



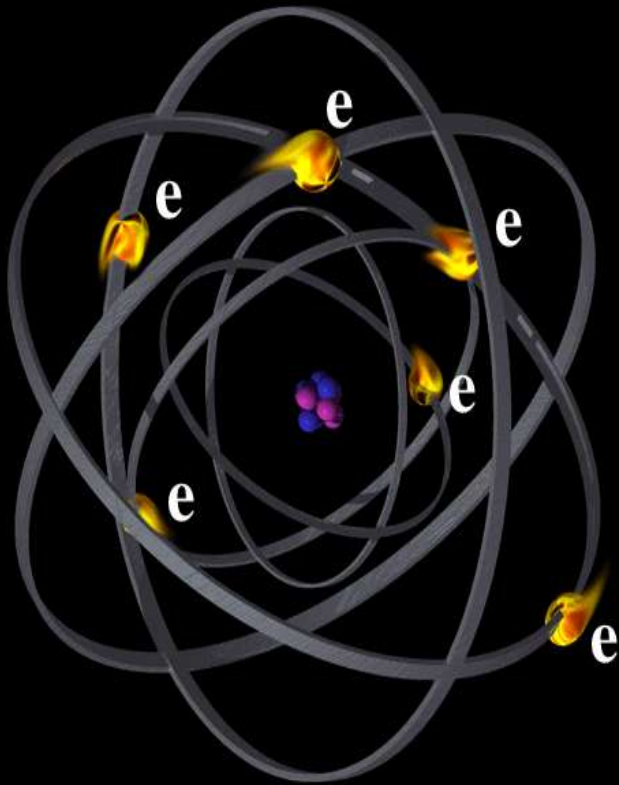
Schematic Hertzsprung-Russell Diagram





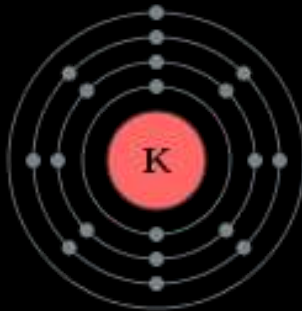
Ατομική Φυσική και Φασματοσκοπία

Το άτομο του Rutherford



Σύμφωνα με τον Άγγλο φυσικό Ernest Rutherford βραβείο Νόμπελ Χημείας το 1908, ο χώρος του ατόμου είναι σχεδόν άδειος και στο κέντρο του βρίσκεται ο **μαζικός —θετικά φορτισμένος— πυρήνας** αποτελούμενος από **νετρόνια και πρωτόνια**. Κάθε πρωτόνιο φέρει ένα στοιχειώδες θετικό ηλεκτρικό φορτίο, ενώ το νετρόνιο είναι ηλεκτρικά ουδέτερο. Γύρω από τον πυρήνα περιστρέφονται **τα —αρνητικώς φορτισμένα— ηλεκτρόνια** και εφ' όσον δεν έχουν σχεδόν βάρος, όλη η μάζα του ατόμου είναι συγκεντρωμένη στον πυρήνα του. Το ηλεκτρόνιο φέρει φορτίο ίσο με το πρωτόνιο, αλλά αρνητικό (e^-).

Κατανομή ηλεκτρονίων



Γύρω από τον πυρήνα και σε σχετικά τεράστιες αποστάσεις, **κινούνται σε καθορισμένες ελλειπτικές τροχιές ηλεκτρόνια** ίσα σε αριθμό με τα πρωτόνια του πυρήνα. Τα ηλεκτρόνια δεν περιστρέφονται γύρω από τον πυρήνα άτακτα, αλλά φαίνονται σαν να **βρίσκονται κατανεμημένα σε επάλληλες ηλεκτρονικές τροχιές, που λέγονται στιβάδες ή φλοιοί**. Οι φλοιοί αυτοί έχουν ως κέντρο τους τον πυρήνα και διαδοχικά αυξανόμενη ακτίνα. Συμβολίζονται με τα κεφαλαία γράμματα του λατινικού αλφάβητου K, L, M, N, O, P και Q, αρχίζοντας από τον φλοιό που βρίσκεται πιο κοντά στον πυρήνα. Ειδικότερα η πλησιέστερη προς τον πυρήνα ηλεκτρονική τροχιά **καλείται βασική ή θεμελιώδης στάθμη**.

1ον αίτημα του Bury:

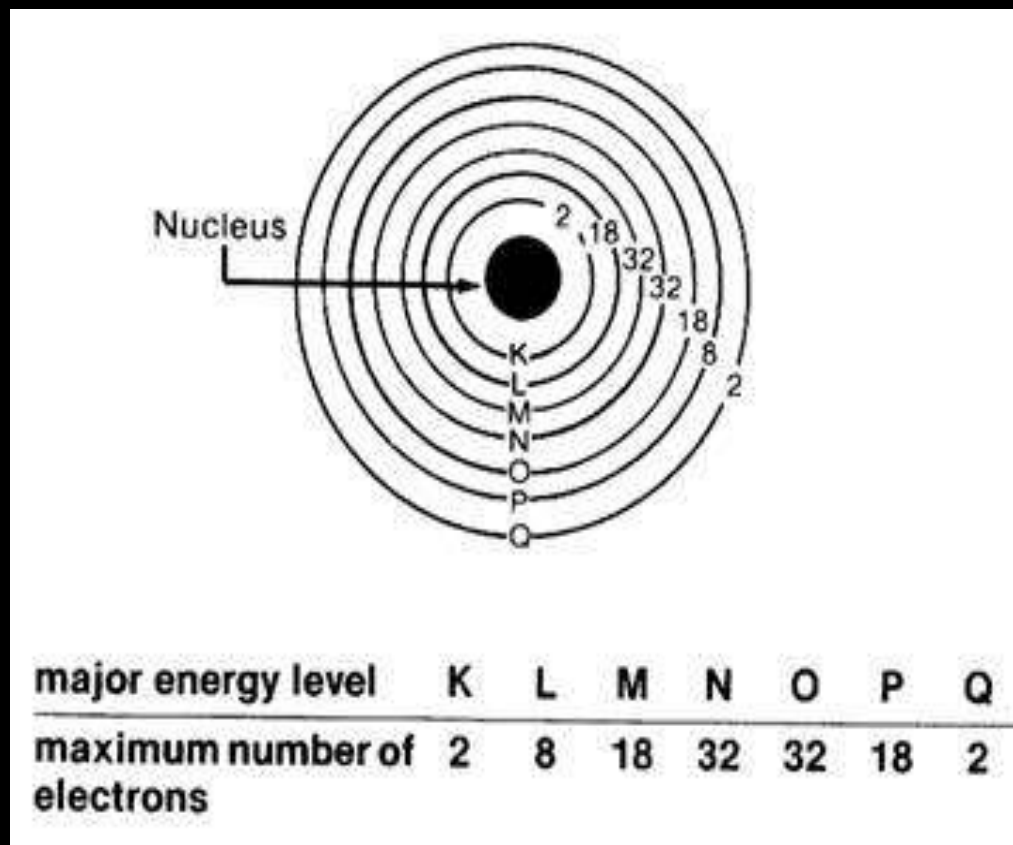
Ο μέγιστος αριθμός ηλεκτρονίων που μπορεί να περιλάβει κάθε στιβάδα καθορίζεται από τον τύπο: $2n^2$. Ο αριθμός n καλείται κύριος ή πρώτος κβαντικός αριθμός και παίρνει τιμές από 1 έως 7

2ον αίτημα του Bury:

Η εξώτατη ηλεκτρονική τροχιά του ατόμου δεν μπορεί να περιέχει πάνω από 8 ηλεκτρόνια.

3ον αίτημα του Bury:

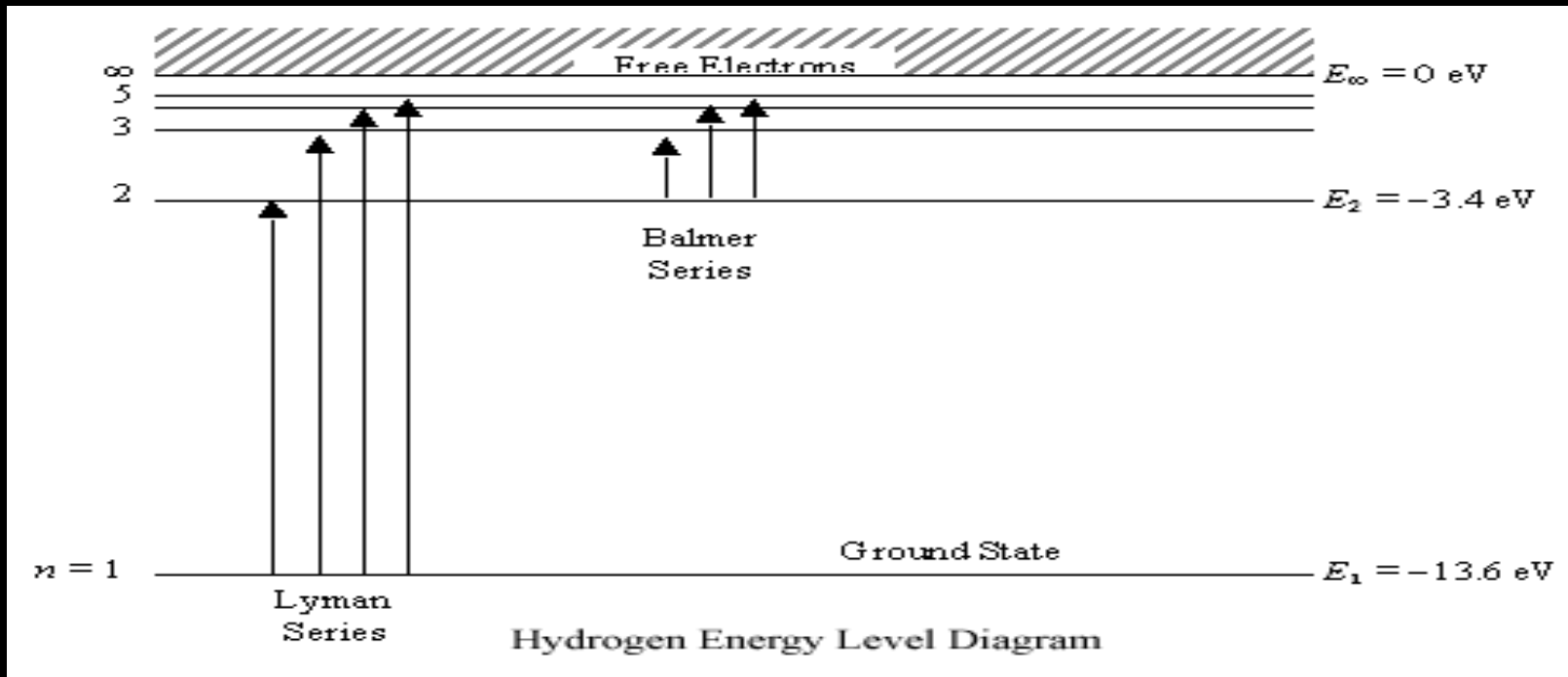
Η εκάστοτε προτελευταία στιβάδα δεν μπορεί να περιέχει πάνω από 18 ηλεκτρόνια.



Ενεργειακές στάθμες

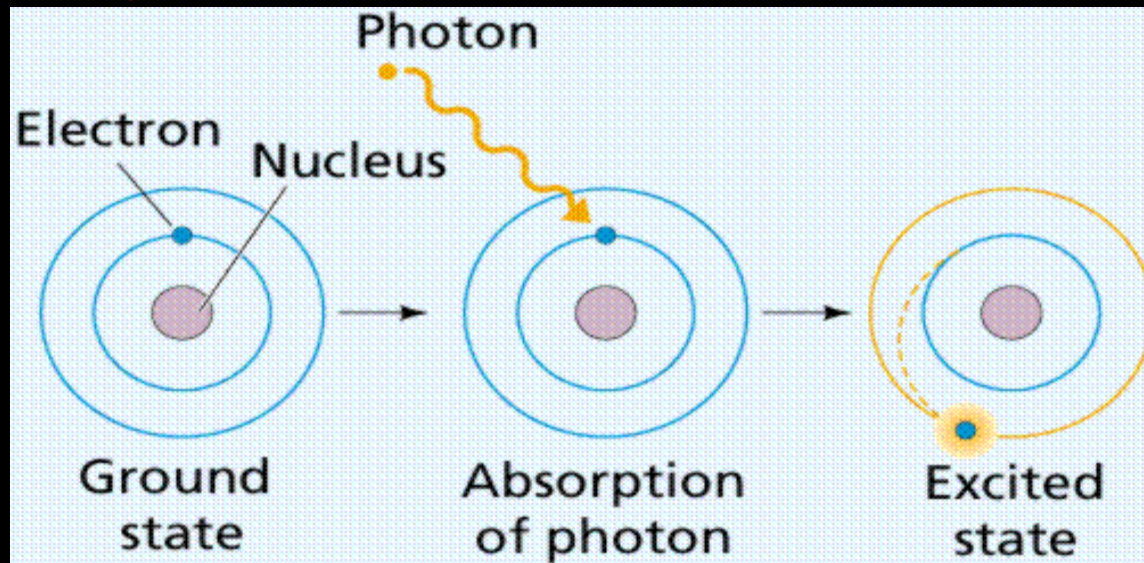
Ευρισκόμενο το ηλεκτρόνιο σε μια συγκεκριμένη στοιβάδα έχει και **μια δυναμική ενέργεια** η οποία μεγαλώνει όσο πιο απομακρυσμένη είναι η στοιβάδα από τον πυρήνα

Για το λόγο αυτό ονομάζουμε τις ηλεκτρονικές στοιβάδες, **ενεργειακές στάθμες**. «Η κίνηση των ηλεκτρονίων στις διάφορες τροχιές δεν συνοδεύεται από αντίστοιχη εκπομπή ακτινοβολίας. Ακτινοβολία εκπέμπεται μόνον όταν το ηλεκτρόνιο μεταπίπτει από μια συγκεκριμένη τροχιά σε μια άλλη μικρότερης ενέργειας».



Διέγερση του ατόμου

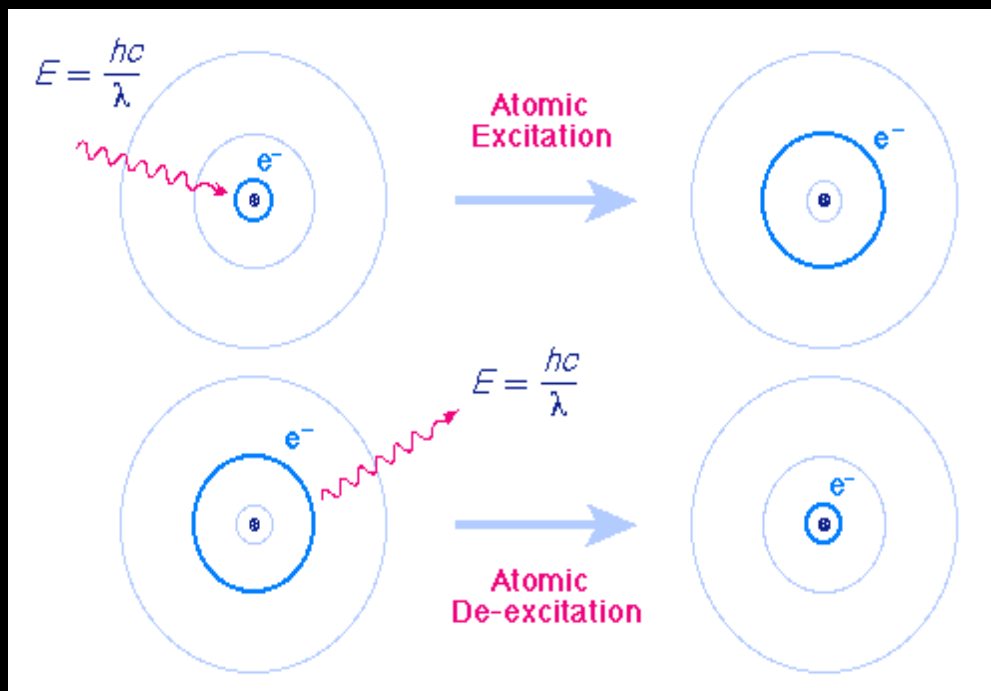
Αν ένα άτομο, που βρίσκεται στη θεμελιώδη κατάσταση, **συγκρουστεί** με άλλο σωματίδιο μεγάλης ταχύτητας **ή απορροφήσει την ενέργεια ενός φωτονίου** τότε παίρνει ενέργεια από έξω και είναι δυνατόν ένα ή περισσότερα ηλεκτρόνιά του να μεταπηδήσουν από τη θεμελιώδη τροχιά σε άλλη με μεγαλύτερη ολική ενέργεια. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται **διέγερση του ατόμου**.



Κατά τη διέγερση, το ηλεκτρόνιο που μεταπήδησε στη νέα τροχιά έχει ολική ενέργεια E_b μεγαλύτερη από την αρχική ενέργεια E_a που αντίστοιχα είχε στη θεμελιώδη τροχιά. Τη διαφορά E_a που λέγεται **ενέργεια ή δυναμικό διέγερσης**, την παρέχει στο άτομο το αίτιο που προκάλεσε τη διέγερση.

Αποδιέγερση

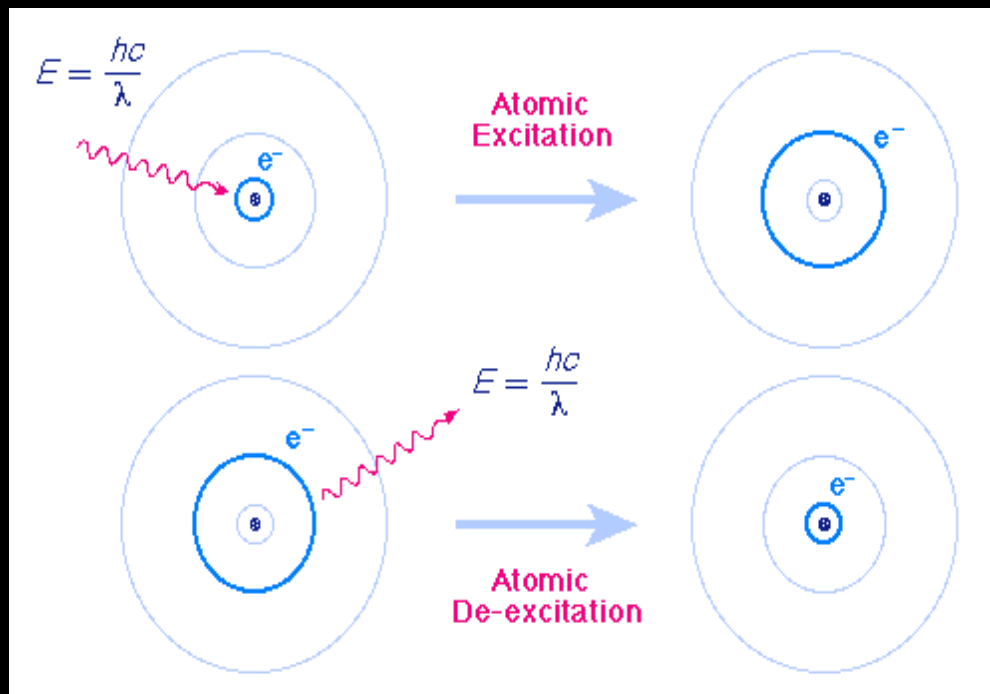
Η κίνηση του ηλεκτρονίου στην τροχιά μεγαλύτερης ακτίνας δεν διατηρείται επ' αόριστον. Έτσι μετά από σύντομο χρόνο επανέρχεται στη θεμελιώδη τροχιά του. Στην περίπτωση αυτή συμβαίνει **αποδιέγερση** του ηλεκτρονίου, που δημιουργεί γραμμές εκπομπής, αφού εκλύεται αντίστοιχη ενέργεια $E_{ab} = E_b - E_a$ του δυναμικού διέγερσης που εκ νέου απελευθερώνεται, και αποβάλλεται ως ακτινοβολία.



Διέγερση και αποδιέγερση με απορρόφηση και εκπομπή φωτονίου

Αποδιέγερση, λοιπόν, είναι η αντίστροφη της διέγερσης φυσική διεργασία. Στην περίπτωση αυτή το ηλεκτρόνιο χάνει ένα ποσόν ενέργειας και έτσι μεταπίπτει από μια ενεργειακή στάθμη σε άλλη, ενεργειακά χαμηλότερη.

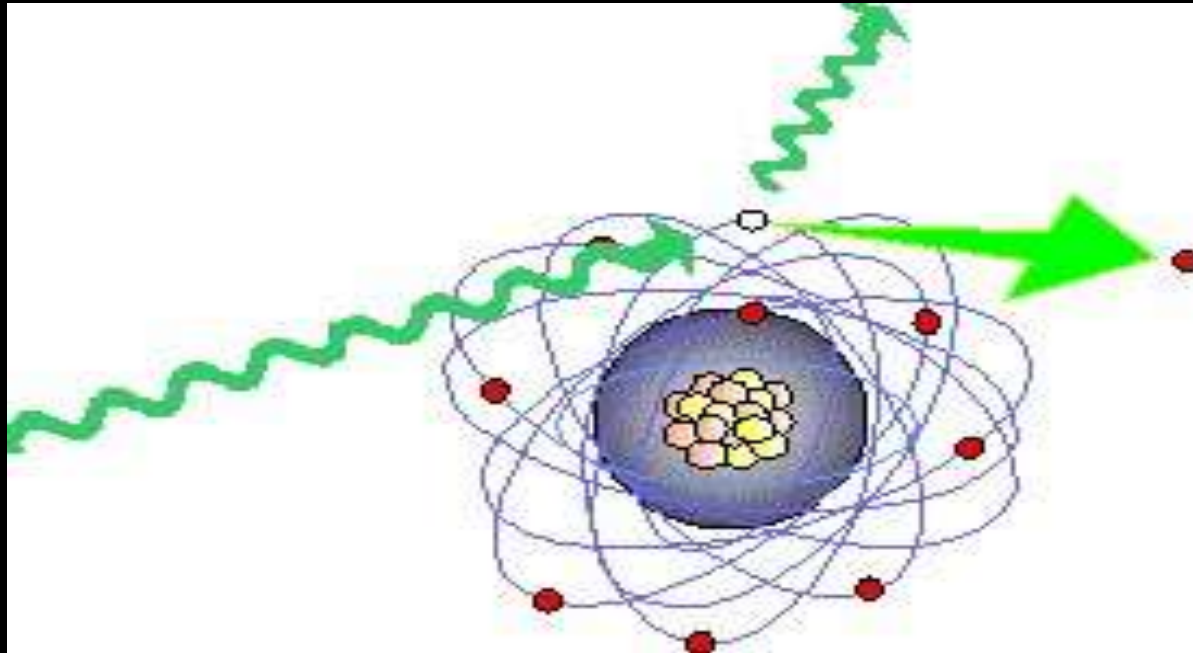
Η μεταπήδηση ηλεκτρονίων από εξωτερικές σε εσωτερικές τροχιές **δημιουργεί γραμμές εκπομπής** και η εκλυόμενη ενέργεια λέγεται **ενέργεια εκπομπής**



Διέγερση και αποδιέγερση με απορρόφηση και εκπομπή φωτονίου

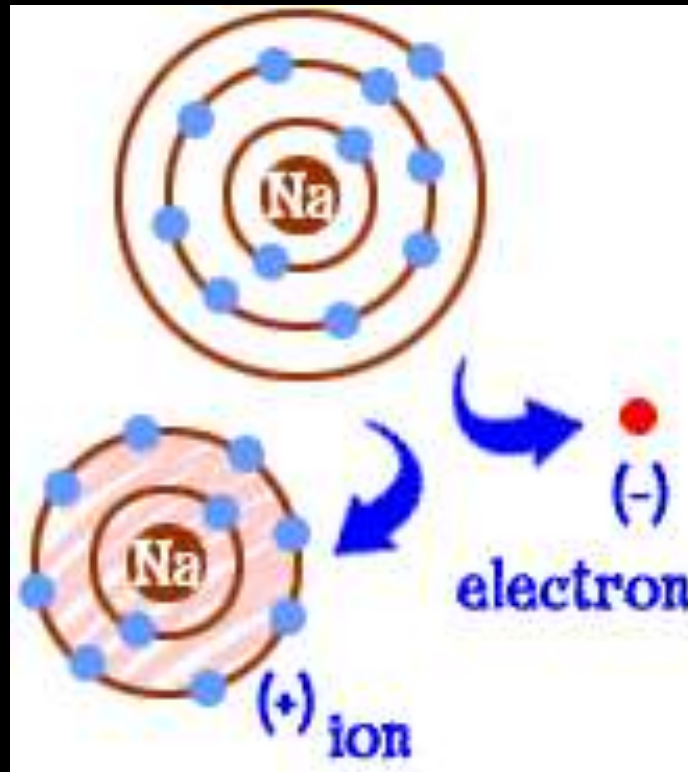
Ιονισμός του ατόμου

Αν η ενέργεια που δίνεται σ' ένα ηλεκτρόνιο ενός ατόμου είναι σχετικά μεγάλη, τότε το ηλεκτρόνιο της εξώτατης στιβάδας μπορεί να απομακρυνθεί τόσο πολύ από τον πυρήνα, ώστε να φύγει τελείως από την έλξη του και να απομακρυνθεί από το άτομο στο οποίο ανήκε κινούμενο θεωρητικά σε άπειρη τροχιά. Το φαινόμενο λέγεται **ιονισμός** και το άτομο ή το μόριο από το οποίο έφυγε το ηλεκτρόνιο λέγεται **ιόν**.



Το παραμένον θετικό φορτισμένο άτομο καλείται **Κατιόν**. Αντίθετα, η εξώτατη στιβάδα κάποιες φορές προσλαμβάνει ηλεκτρόνια από το περιβάλλον, οπότε το άτομο φορτίζεται αρνητικά και καλείται **Ανιόν**.

Η ελάχιστη ενέργεια που απαιτείται για τον ιονισμό ενός ατόμου λέγεται **ενέργεια ή δυναμικό ιονισμού**



Οι συνθήκες του Bohr

1^η Συνθήκη

Τα ηλεκτρόνια μπορούν να περιφέρονται μόνο σε τροχιές των οποίων η στροφορμή του ηλεκτρονίου είναι ακέραιο πολλαπλάσιο του $h/2\pi$ δηλαδή:

$$\mathbf{m.v.r = n.h/2\pi}$$

Όπου **m, v, r** είναι αντίστοιχα η μάζα, η ταχύτητα και η ακτίνα της τροχιάς του ηλεκτρονίου και **h** η σταθερά του Planck. Ο ακέραιος αριθμός **n** ονομάζεται **κβαντικός αριθμός** και παίρνει τιμές από ένα (1) έως άπειρο (∞)

2^η Συνθήκη:

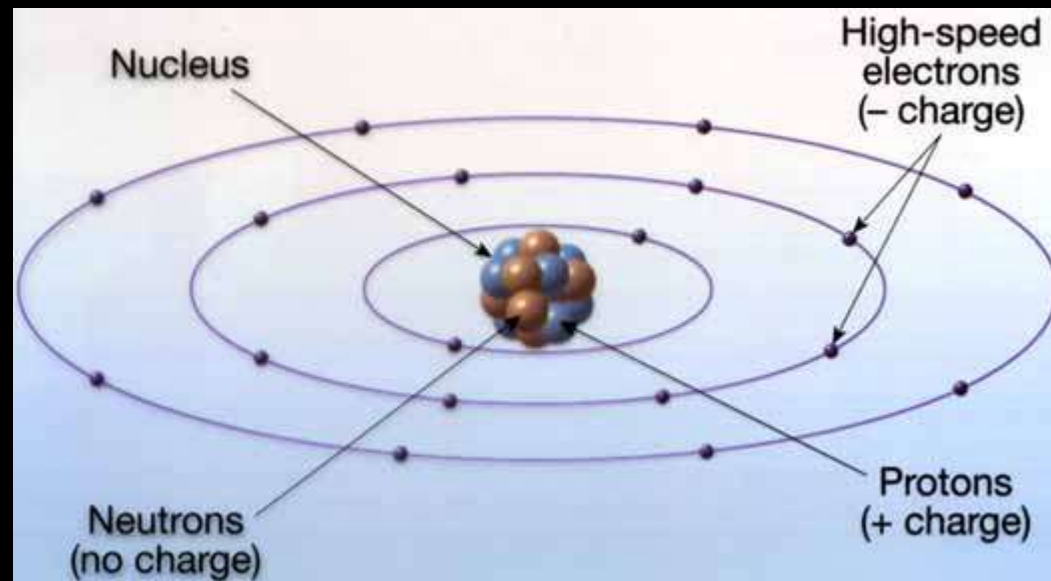
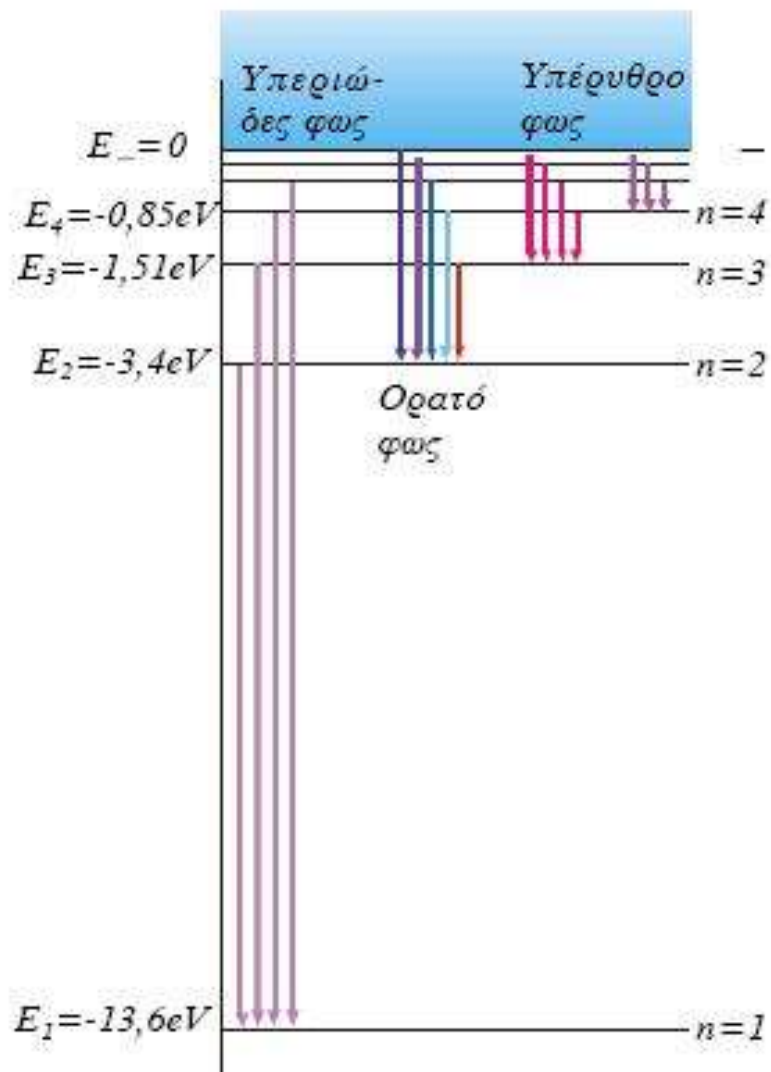
Τα ηλεκτρόνια περιφέρονται στις τροχιές τους χωρίς να εκπέμπουν ενέργεια.

Ακτινοβολία εκπέμπεται μόνο όταν ένα ηλεκτρόνιο μεταπηδά από τροχιά μεγαλύτερης ενέργειας ($E_{\text{αρχ}}$) προς τροχιά μικρότερης ενέργειας ($E_{\text{τελ}}$).

Η ενέργεια που εκπέμπεται είναι

$$E = E_{\text{αρχ}} - E_{\text{τελ}} = h\nu$$

Οι τροχιές των ηλεκτρονίων ενός ατόμου ταυτίζονται με τις στάθμες ενέργειας και παρίστανται με ομόκεντρους κύκλους ή με παράλληλες ευθείες



Η ενέργεια ιονισμού μπορεί να προέρχεται

α) Από σύγκρουση με μόρια ή άτομα που κινούνται ταχέως ή ακόμα και με φορτισμένα σωμάτια (ηλεκτρόνια, σωμάτια άλφα κ.ά). Σ' αυτήν την περίπτωση έχουμε **ιονισμό κρούσης**.

β) Είτε από απορρόφηση φωτονίων (υπεριώδους ακτινοβολίας, ακτινοβολίας ακτίνων X, ακτίνων γόμμα κ.ά).

Σχηματισμός φασματικών γραμμών απορρόφησης και εκπομπής

α. Για να μεταπηδήσει ένα εξωτερικό ηλεκτρόνιο ενός ατόμου σε κάποια στάθμη μεγαλύτερης ενέργειας πρέπει να απορροφήσει ενέργεια, την οποία ονομάζουμε **δέσμια-δέσμια απορρόφηση**. Με τον τρόπο αυτόν **σχηματίζονται οι γραμμές απορρόφησης**.

β. Αν ένα ηλεκτρόνιο μεταπηδήσει από μια στάθμη μεγαλύτερης ενέργειας σε μια στάθμη μικρότερης ενέργειας, εκπέμπει ακτινοβολία, που ονομάζεται **δέσμια-δέσμια εκπομπή**, **σχηματίζοντας μια γραμμή εκπομπής**.

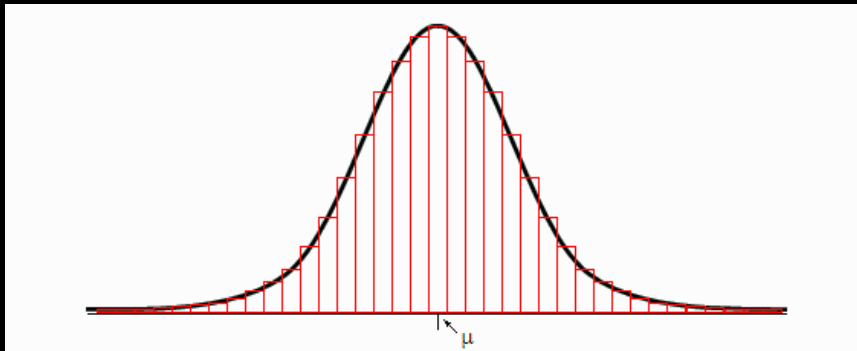
γ. Εκτός όμως της προηγούμενης περίπτωσης είναι δυνατόν ένα άτομο απορροφώντας ενέργεια μεγαλύτερη από την ενέργεια ιονισμού του, να ιονισθεί, ενώ η επιπλέον ενέργεια να αποδοθεί σαν κινητική ενέργεια του ηλεκτρονίου. Η απορρόφηση αυτή ονομάζεται **δέσμια-ελεύθερη** και αντιστοιχεί **στο συνεχές φάσμα απορρόφησης** του ατόμου.

δ. Στην αντίθετη περίπτωση, όταν δηλαδή συλλαμβάνεται ένα ελεύθερο ηλεκτρόνιο από ένα άτομο, εκπέμπεται ακτινοβολία που χαρακτηρίζεται σαν **ελεύθερη-δέσμια** και αντιστοιχεί στο **συνεχές φάσμα εκπομπής** του ατόμου.

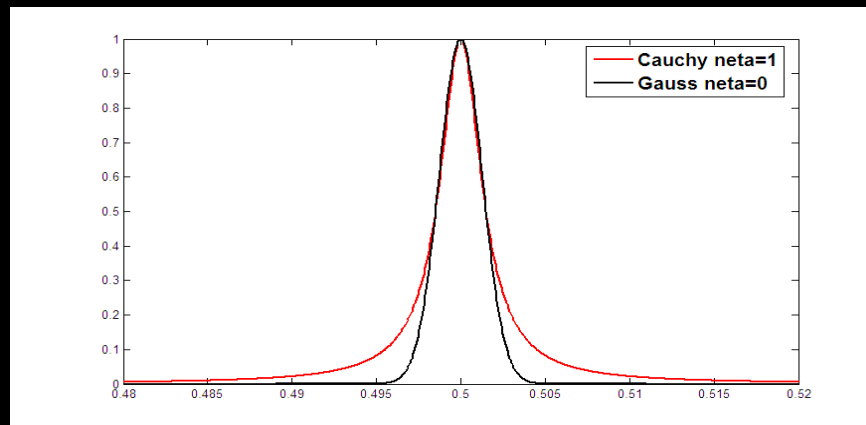
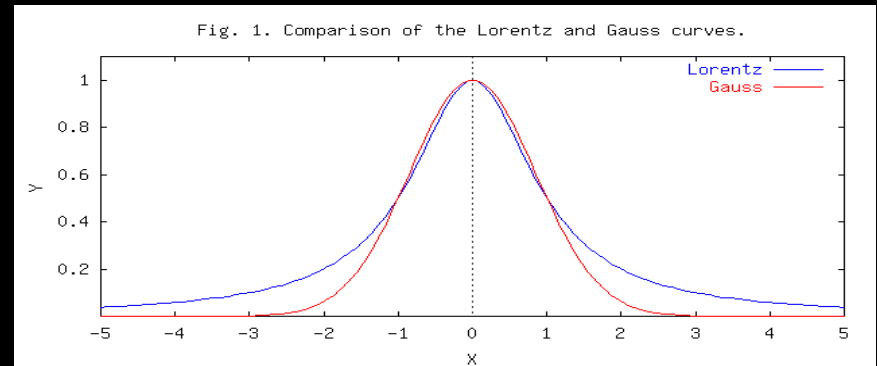
Εκτός των προηγούμενων είναι δυνατόν ένα ελεύθερο ηλεκτρόνιο να αυξήσει ή να ελαττώσει την ενέργειά του λόγω κάποιων ελαστικών κρούσεων με κάποια ιόντα.

Στην περίπτωση αυτή απορροφάται ή εκπέμπεται, αντίστοιχα, ακτινοβολία, η οποία χαρακτηρίζεται σαν **ελεύθερη-ελεύθερη απορρόφηση ή εκπομπή** και αντιστοιχεί **στο συνεχές φάσμα του ατόμου**. Η ακτινοβολία **που εκπέμπεται ονομάζεται ακτινοβολία πεδήσεως**.

Οι μορφές των κλασικών φασματικών γραμμών απορρόφησης ή εκπομπής **ακολουθούν γνωστές μαθηματικές κατανομές ανάλογα με το ποιο είναι το κυρίαρχο φυσικό φαινόμενο που επικρατεί στην περιοχή που δημιουργεί την φασματική γραμμή**



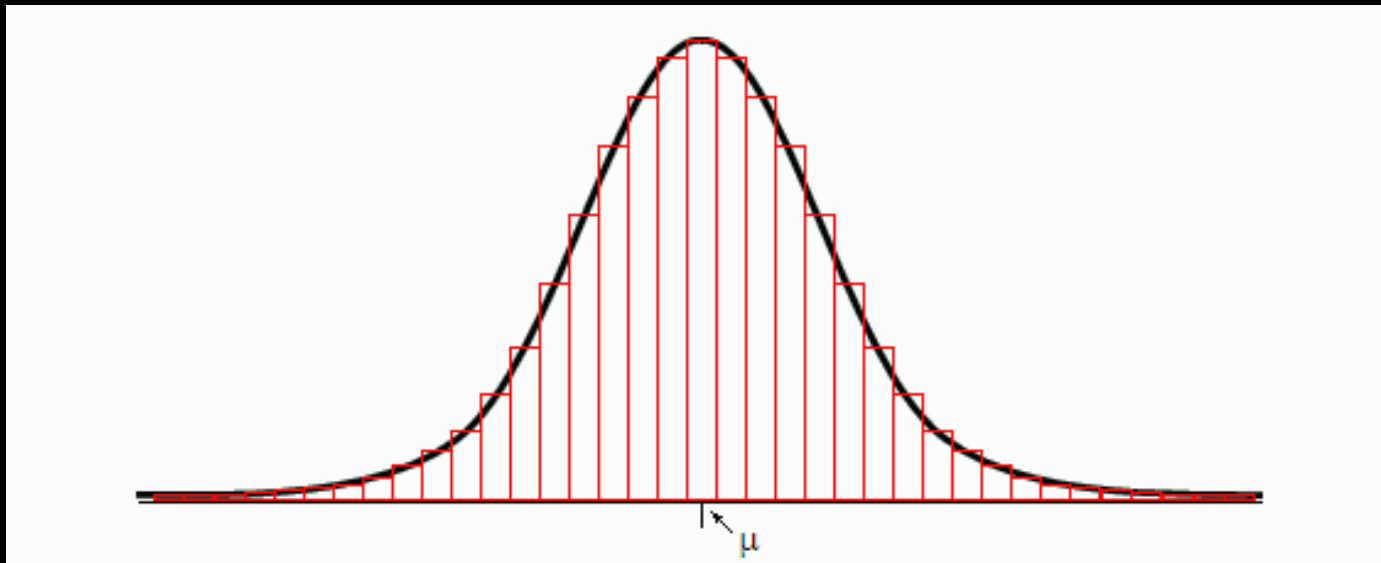
Κατανομή Gauss



Κατανομή Voigt.

Κατανομή Lorentz

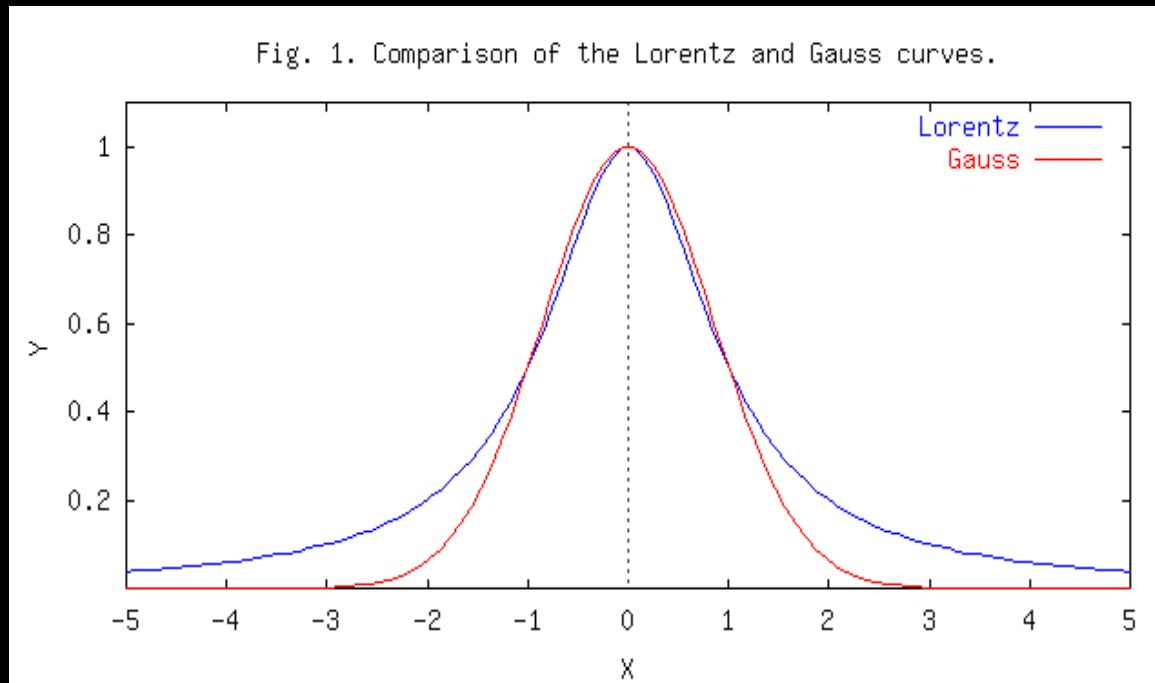
Αν στην περιοχή που γεννιέται μια φασματική γραμμή κυρίαρχο φαινόμενο είναι οι τυχαίες θερμικές κινήσεις των ιόντων ενός αερίου, τότε η μορφή της φασματικής γραμμής θα ακολουθεί την **κατανομή Gauss**



κατανομή Gauss

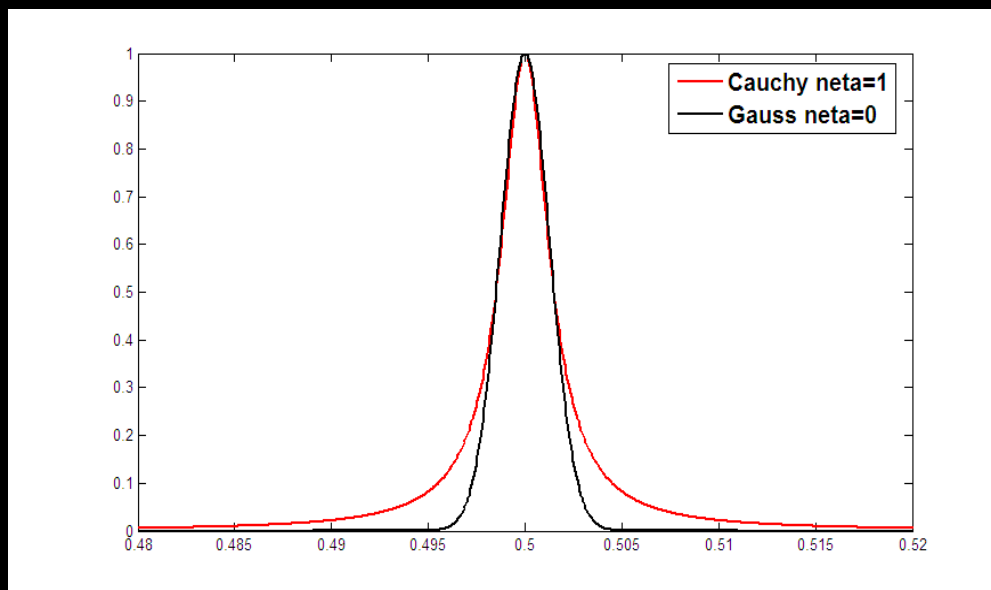
$$f_G = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-x_0)^2}{2\sigma^2}}$$

Αν στην περιοχή που γεννιέται μια φασματική γραμμή κυρίαρχο φαινόμενο είναι οι συγκρούσεις των ιόντων και κατ επέκταση η πίεση του αερίου, τότε η μορφή της φασματικής γραμμής θα ακολουθεί την κατανομή Lorentz



$$f_L = \frac{\xi}{1 + \left(\frac{\lambda - \lambda_0}{\gamma} \right)^2}$$

Αν στην περιοχή που γεννιέται μια φασματική γραμμή κυρίαρχο φαινόμενο είναι οι συγκρούσεις των ιόντων αλλά συγχρόνως και οι τυχαίες θερμικές κινήσεις των ιόντων ενός αερίου, τότε η μορφή της φασματικής γραμμής θα ακολουθεί την κατανομή Voigt.



Κατανομή Voigt.

$$L_V = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{e^{-\frac{(\lambda' - \lambda_0)^2}{2\sigma^2}}}{1 + \frac{(\lambda - \lambda')^2}{\gamma^2}} d\lambda'$$

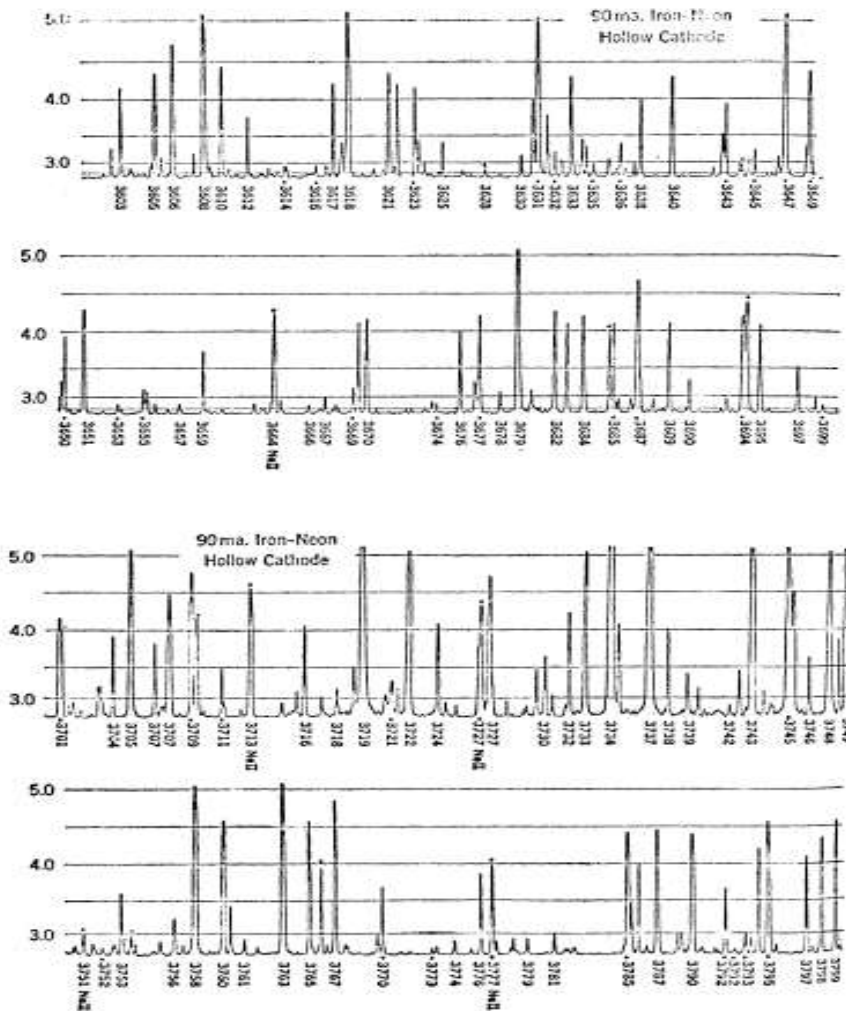
Η πλάτυνση των φασματικών γραμμών

Το εύρος μιας φασματικής γραμμής επηρεάζεται από τους επόμενους πέντε φυσικούς μηχανισμούς :

- α) Φυσική πλάτυνση.**
- β) Πλάτυνση Doppler.**
- γ) Πλάτυνση λόγω συγκρούσεων.**
- δ) Φαινόμενο Zeeman.**
- ε) Φαινόμενο Stark.**

Οι φυσικοί αυτοί μηχανισμοί, βέβαια, ισχύουν τόσο στην περίπτωση των φασματικών γραμμών απορρόφησης, όσο και των φασματικών γραμμών εκπομπής.

α) Φυσική πλάτυνση

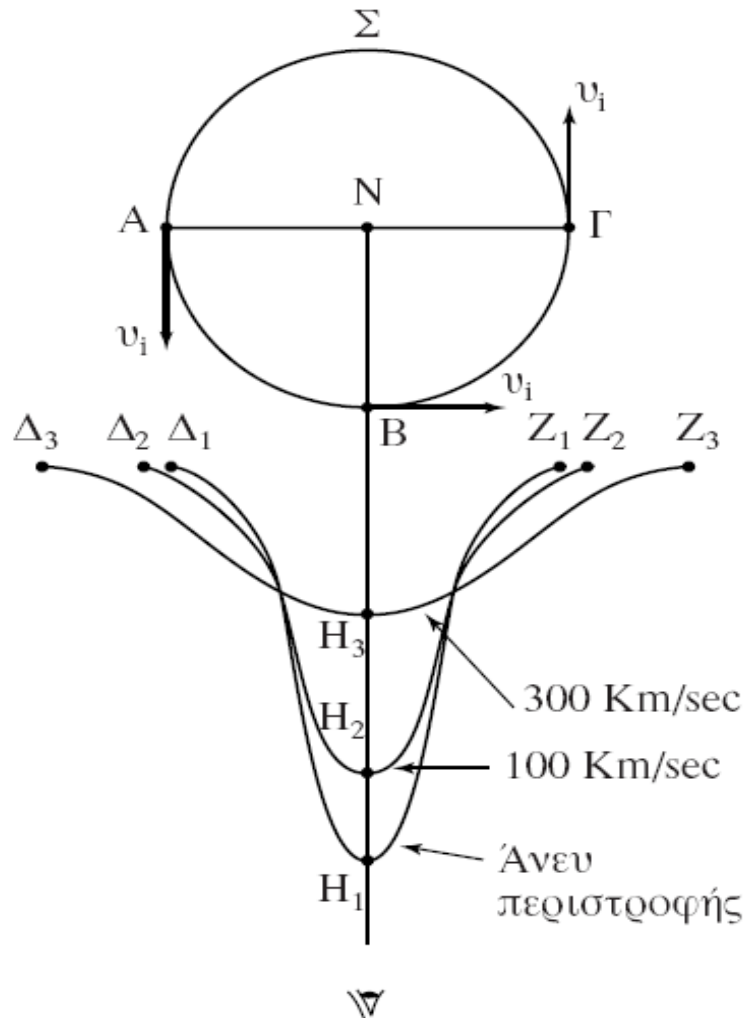


Ένας αριθμός φασματικών γραμμών FeII που παρουσιάζουν μόνο φυσική πλάτυνση.

Κάθε φασματική γραμμή, όπως ήδη γνωρίζουμε, έχει κάποιο φυσικό εύρος λόγω του ότι κάθε ενεργειακή στάθμη στα άτομα δεν έχει βέβαια μηδενικό πλάτος. Αυτό σημαίνει ότι και οι φασματικές γραμμές δεν έχουν μηδενικό πλάτος

β) Πλάτυνση Doppler

1. Περιστροφή απορροφούσας ή εκπέμπουσας περιοχής

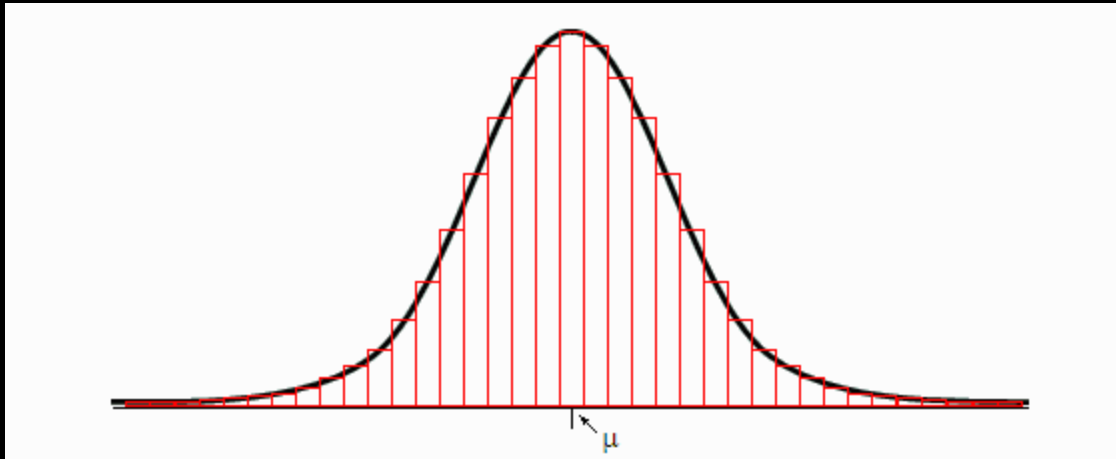


Έστω ένας περιστρεφόμενος αστέρας Σ , v_i η γραμμική ταχύτητα περιστροφής του και N ο βόρειος πόλος του.

Ο παρατηρητής παρατηρεί το απορροφούν υλικό των περιοχών A και Γ να τον προσεγγίζει ακτινικά ή να απομακρύνεται αντίστοιχα από αυτόν με ταχύτητα v_i . Αντίθετα το απορροφούν υλικό της περιοχής B παρουσιάζει μηδενική ακτινική ταχύτητα. Έτσι τα φωτόνια, έστω μήκους κύματος λ τα οποία σχηματίζουν μια συγκεκριμένη φασματική γραμμή και παράγονται στις περιοχές A, Γ λόγω φαινομένου D-F, θα «γράφονται» πάνω στο φάσμα σε περιοχές όλο και πιο απομακρυσμένες ($\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3$ και Z_1, Z_2, Z_3) από το σημείο που «γράφονται» τα φωτόνια που προέρχονται από την περιοχή B (H_1, H_2, H_3). Αυτό σημαίνει ότι αυξανόμενης της ταχύτητας v_i θα αυξάνεται το εύρος $\Delta_i Z_i$ της δημιουργουμένης φασματικής γραμμής, διατηρουμένου σταθερού του εμβαδού του φασματικού κώδωνος και μειούμενου του βάθους της αντίστοιχης φασματικής γραμμής.

Πλάτυνση Doppler

2. Τυχαίες θερμικές κινήσεις των ιόντων ενός αερίου

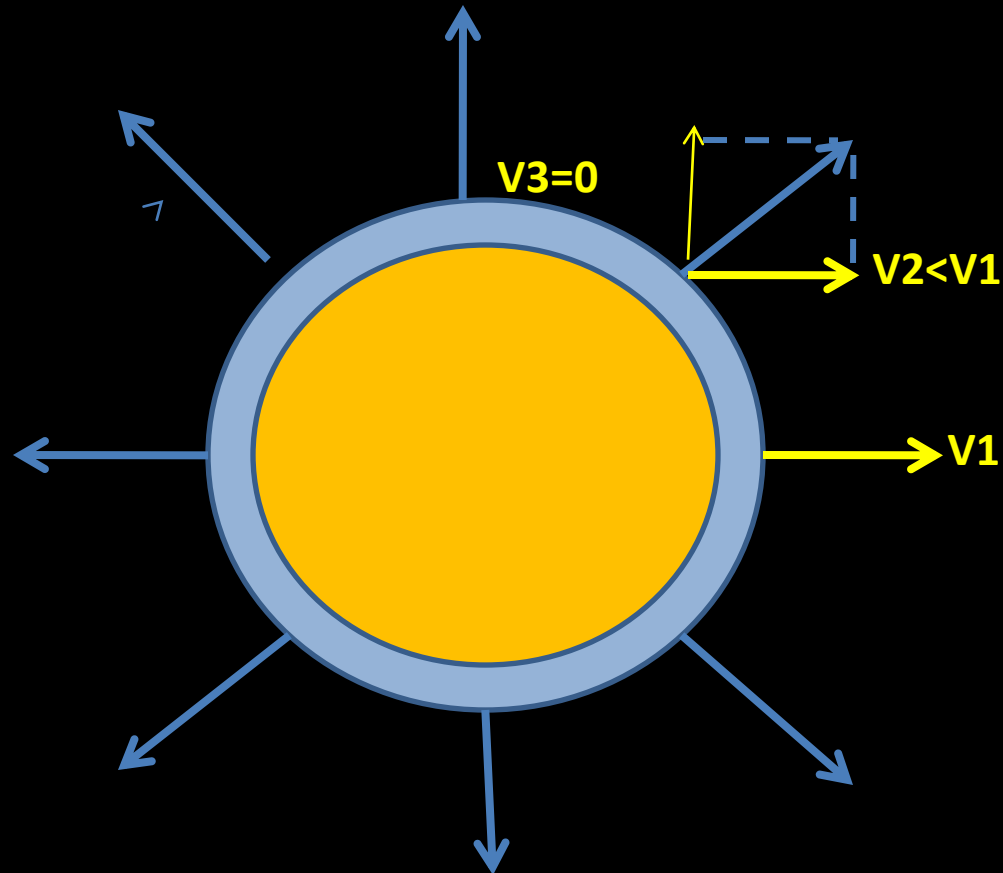


Η κατανομή θερμικών ταχυτήτων κάποιου ιόντος ενός στοιχείου ακολουθεί την κατανομή Gauss. Αυτό σημαίνει ότι το προφίλ της φασματικής γραμμής ακολουθεί την αυτή κατανομή

Λόγω του φαινομένου D-F τα άκρα της κατανομή είναι τόσο απομακρυσμένα από το κέντρο της, όσο μεγαλώνει ή θερμοκρασία του αερίου, άρα και η μέγιστη δυνατή θερμική ταχύτητα

β2) Πλάτυνση Doppler

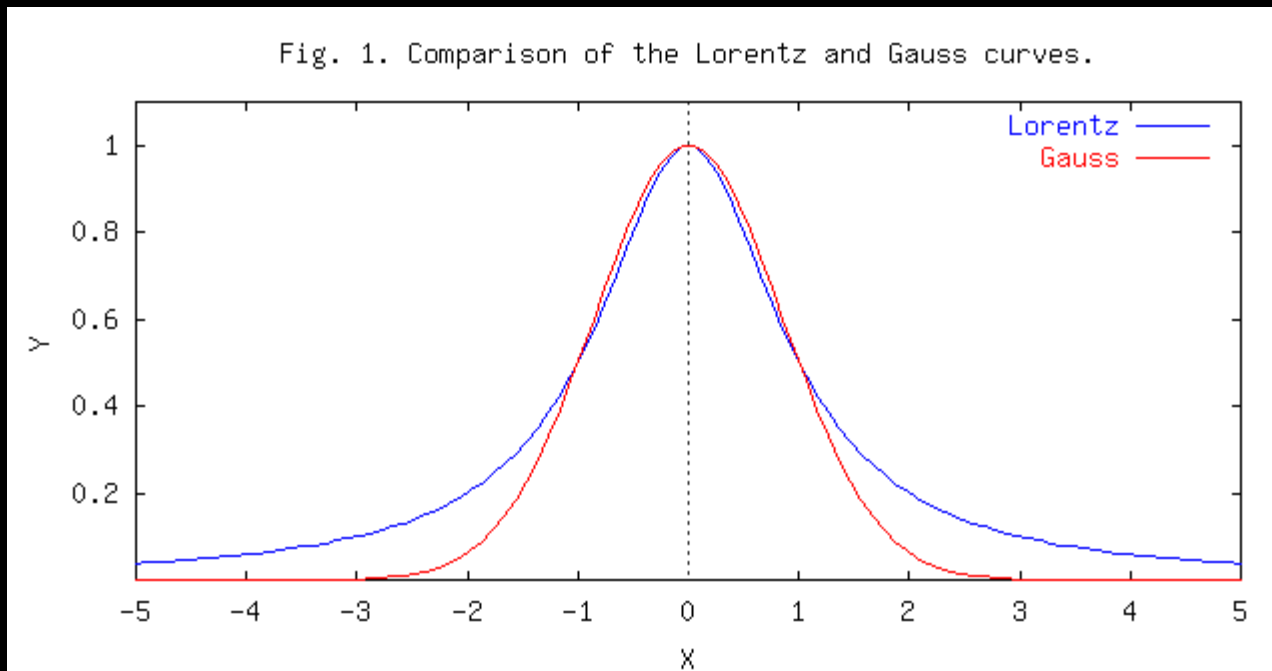
3. Πλάτυνση λόγω διαστολής



γ) Πλάτυνση λόγω συγκρούσεων.

Οι συγκρούσεις των ατόμων μέσα στο απορροφούν ή στο εκπέμπουν υλικό είναι ένα ακόμα αίτιο διεύρυνσης των φασματικών γραμμών. Ο αριθμός των συγκρούσεων αυξάνεται όσο αυξάνει η πίεση και ως εκ τούτου είναι φανερό ότι η διεύρυνση λόγω αυτού του αιτίου είναι συνάρτηση της πίεσης.

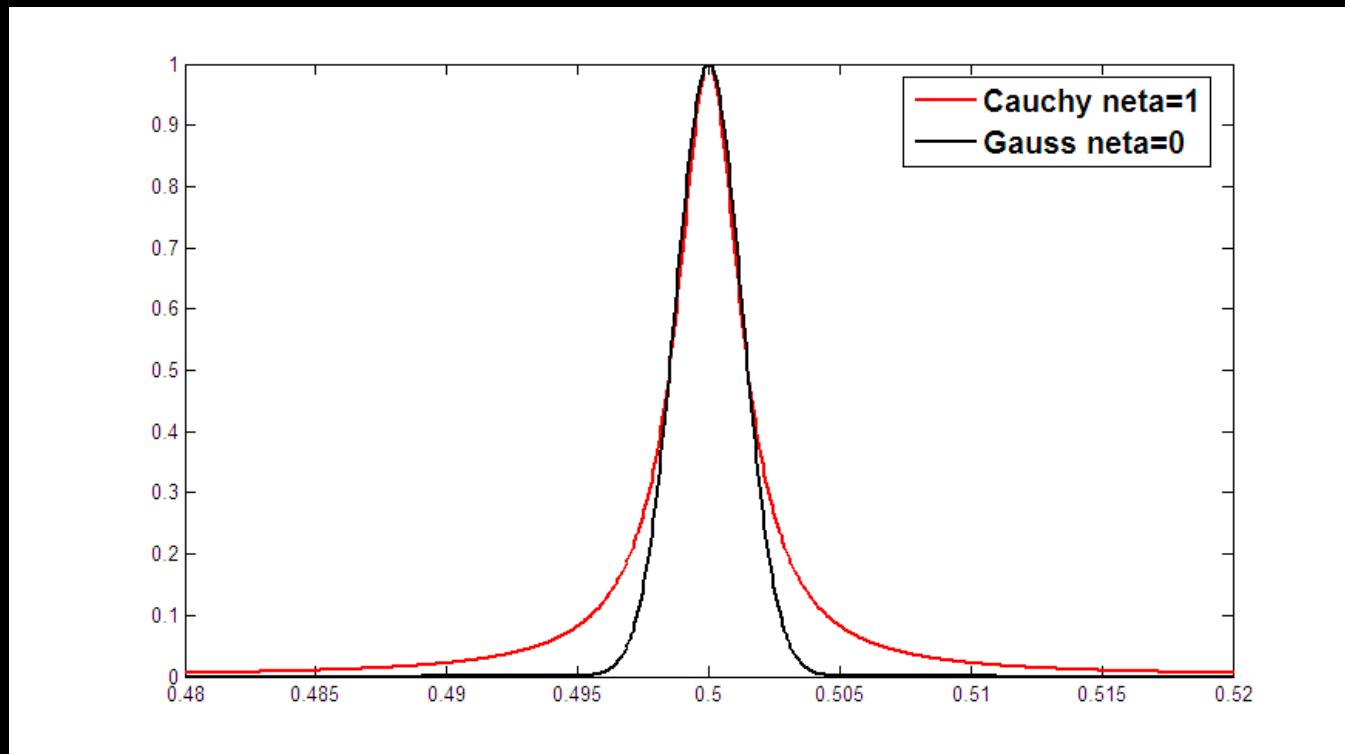
Η κατανομή ταχυτήτων άρα και του προφίλ της φασματικής γραμμής στην περίπτωση αυτή είναι η Lorentz



Η διεύρυνση αυτή δημιουργείται συνήθως λόγω των επόμενων δύο βασικών αιτίων:

- α.** Όταν το άτομο τη στιγμή που εκπέμπει συγκρούσται ελαστικά με κάποιο άλλο άτομο, η φάση και το εύρος της έντασης της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας υφίσταται απότομες και μεγάλες μεταβολές.
- β.** Κατά τη στιγμή της σύγκρουσης δημιουργείται μια αλλαγή της συχνότητας της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας, εφ' όσον το άτομο που προσεγγίζει, δημιουργεί παρέλξεις στο άτομο που εκπέμπει και ως εκ τούτου συντελείται μια αλλαγή στο εύρος της έντασης της ακτινοβολίας.

Το φυσικό εύρος, το εύρος Doppler και το εύρος λόγω πίεσης, αποτελούν τους κυριότερους λόγους διεύρυνσης μιας φασματικής γραμμής. Οι τρεις αυτές διευρύνσεις δίνονται από κοινού από τη συνάρτηση Voigt.

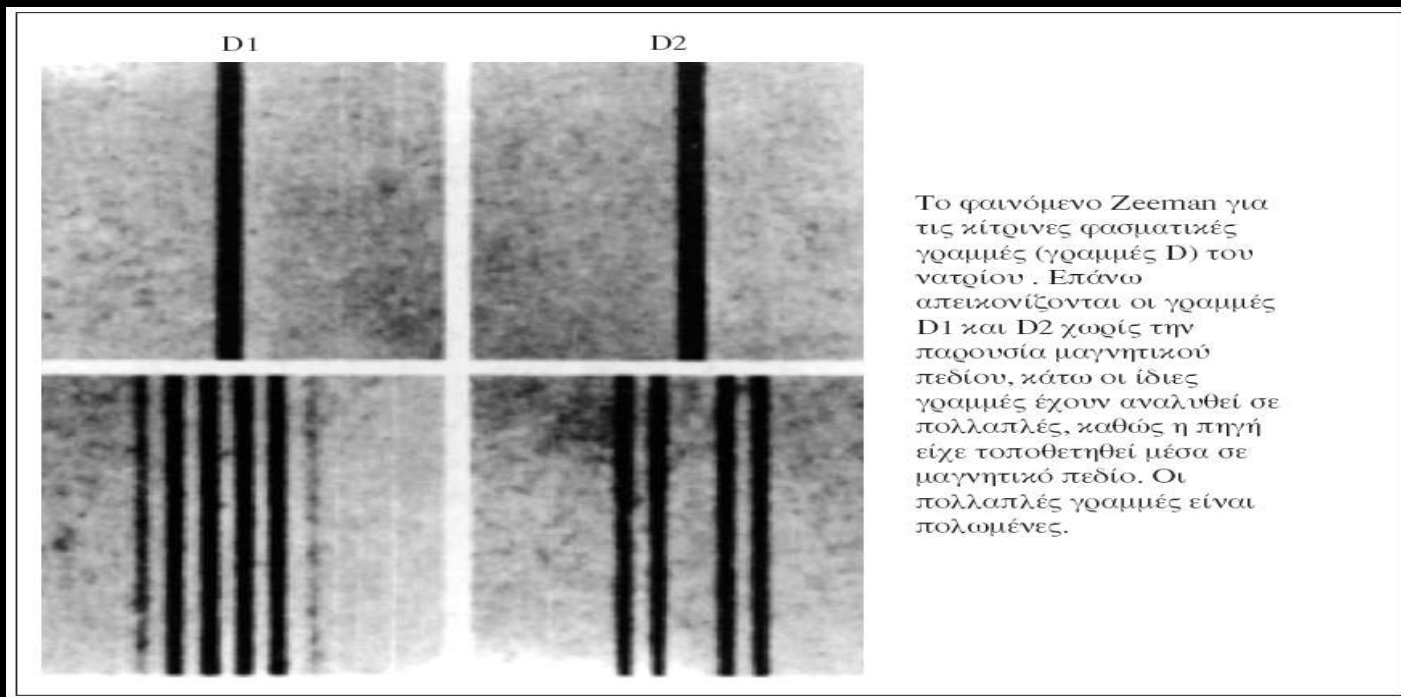


Η κατανομή Voigt ονομάζεται και κατανομή Cauchy

Πλάτυνση Zeeman



Ο Ολλανδός φυσικός **Πιέτερ Ζέεμαν** (Pieter Zeeman, 1865-1943), βραβείο Νόμπελ Φυσικής το 1902, κατά τη διάρκεια πειραμάτων του το 1892 διαπίστωσε ότι όταν μια φωτεινή πηγή βρισκόταν **εντός μαγνητικού πεδίου**, οι φασματικές γραμμές των ακτινοβολιών που παρατηρούσε, **είχαν αναλυθεί σε αρκετές άλλες γραμμές**, ανάλογα με τη σχετική θέση μεταξύ διεύθυνσης παρατήρησης και του μαγνητικού πεδίου.

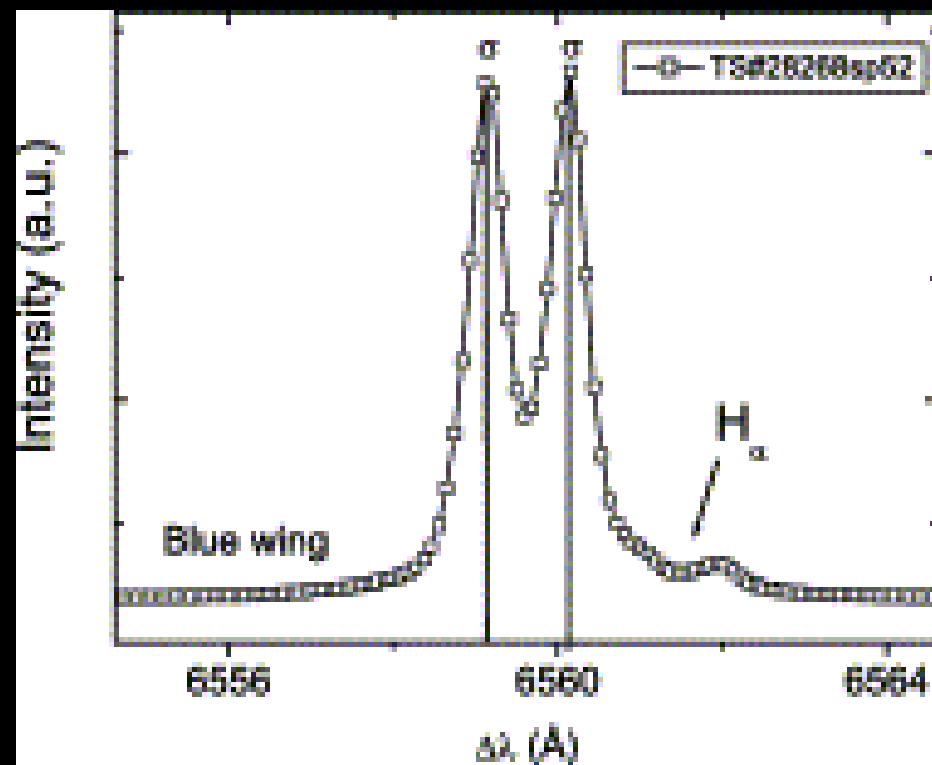
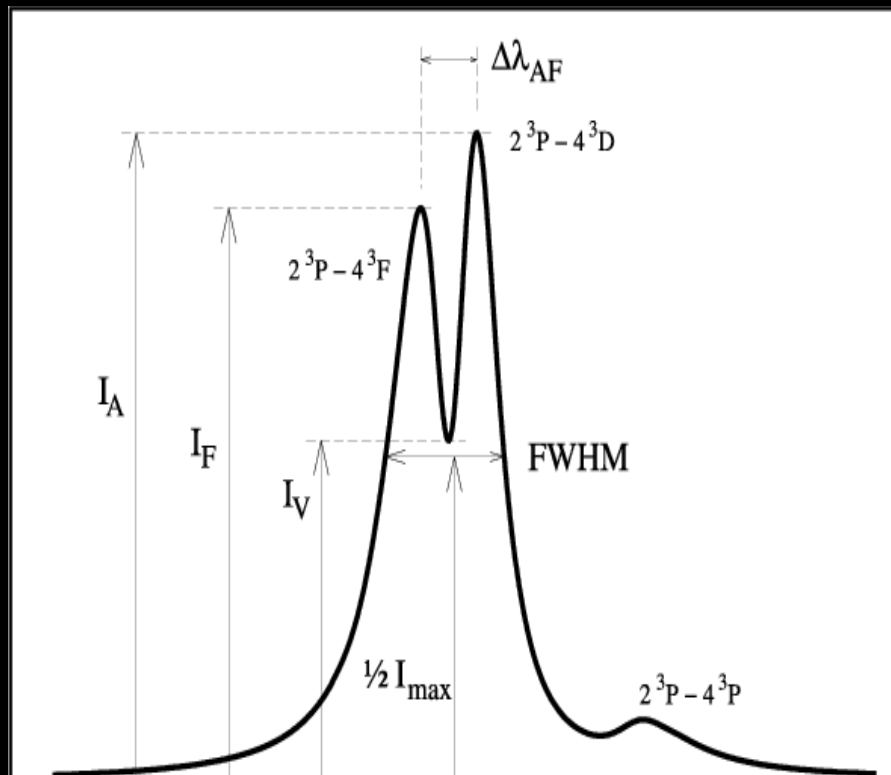


Αν υποθέσουμε ότι το εκπέμπον αέριο βρίσκεται μέσα σ' ένα μαγνητικό πεδίο και η παρατήρηση γίνεται κατά μήκος μιας διεύθυνσης κάθετης προς το μαγνητικό πεδίο, η φασματική γραμμή αναλύεται σε τρεις βασικές συνιστώσες. Η κεντρική γραμμή βρίσκεται στο αναμενόμενο εργαστηριακά μήκος κύματος και είναι γραμμικά πολωμένη, ενώ οι άλλες δύο συνιστώσες (οι οποίες μπορούν και αυτές να αναλυθούν περαιτέρω) βρίσκονται αριστερά και δεξιά της σε ίσες αποστάσεις. Αν η παρατήρηση του εκπέμποντος αερίου γίνει παράλληλα προς τον άξονα του μαγνητικού πεδίου, η κεντρική συνιστώσα εξαφανίζεται

Διεύρυνση Stark



Μέσα σε μια αστρική ατμόσφαιρα, καθώς τα φορτισμένα σωματίδια εκτελούν τις θερμικές κινήσεις τους, δημιουργούν **μεταβαλλόμενα ηλεκτρικά πεδία**, τα οποία έχουν ένα σαφές στατιστικό αποτέλεσμα πάνω στις φασματικές γραμμές. Η ύπαρξη όμως ενός στατιστικά ομογενούς ηλεκτρικού πεδίου έχει ως αποτέλεσμα **τη διάσπαση των φασματικών γραμμών σε συνιστώσες**, των οποίων η ένταση εξαρτάται από την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου.



Το φαινόμενο Stark, επηρεάζει το εύρος μιας φασματικής γραμμής. Η ένταση των δημιουργούμενων συνιστωσών, μικρότερου εύρους, μεταβάλλεται ανάλογα με την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου.