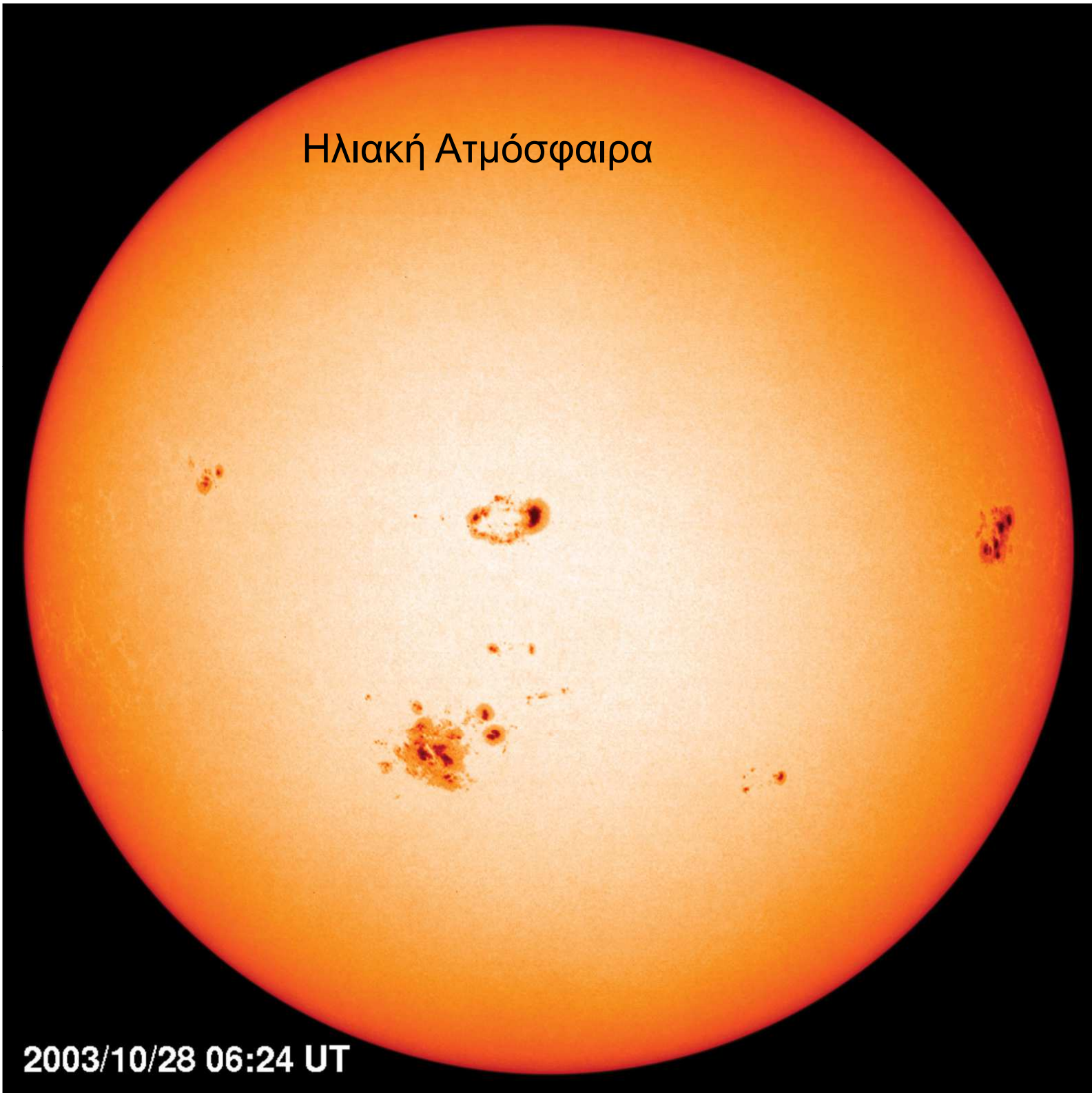


Ηλιακή Ατμόσφαιρα

2003/10/28 06:24 UT



Σαφή όρια της φωτόσφαιρας

$$\frac{dp}{dz} = -g_{\odot} \rho$$

Υπόθεση υδροστατικής
ισορροπίας

$$p = nkT = \frac{\rho}{\mu m_H} kT$$

Καταστατική εξίσωση αερίων

$$\mu \simeq 1$$

Στην φωτόσφαιρα το υδρογόνο είναι
ουδέτερο (σε μεγάλο ποσοστό)

Άρα $\mu=1$

$$\frac{dp}{dz} = -g_{\odot} \rho \Rightarrow \frac{kT}{\mu g_{\odot}} \frac{d\rho}{dz} = -\rho$$

Η επιτάχυνση βαρύτητας
 $g = 274 \text{ m/s}^2$

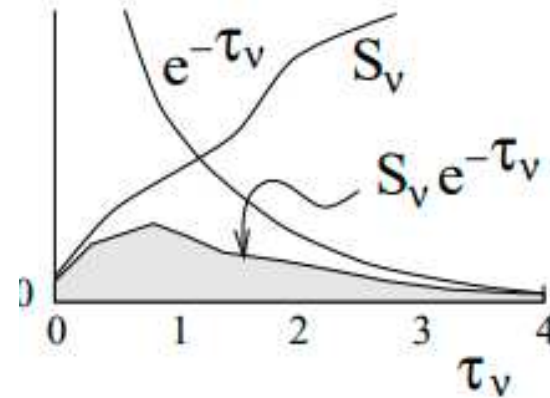
$$\frac{d\rho}{d(z/H)} = -\rho \Rightarrow \rho = \rho_0 e^{-z/H}$$

$$H = \frac{kT}{\mu g_{\odot} m_H} \Rightarrow H = 300 = 0.0003 R_{\odot}$$

Λύση για ημιάπειρη ατμόσφαιρα

$$I_\nu(\tau_\nu = 0, \mu) = \int_0^\infty S_\nu e^{-t_\nu/\mu} dt_\nu/\mu$$

Συνεισφορά από τα κατώτερα στρώματα στην ειδική ένταση στην επιφάνεια.



B. Rutten

Γραμμική συνάρτηση Πηγής

$$S_\nu(t) \approx a + bt$$

$$I_\nu(0, \mu) = a \int_0^\infty e^{-t/\mu} dt/\mu + b \int_0^\infty te^{-t/\mu} dt/\mu = a + b\mu$$

Η ένταση στη επιφάνεια είναι ίση με την συνάρτηση πηγής όπου $\tau_\nu = \mu$
Συσκότιση χείλους

Στην φωτόσφαιρα, $b > 0$

Κέντρο του δίσκου $\theta = 0$, $\mu = 1$ $I(0, 1) = a + b$

Χείλος, $\theta = \pi/2$ $\mu = 0$ $I(0, 0) = a$

Συσκότιση χείλους

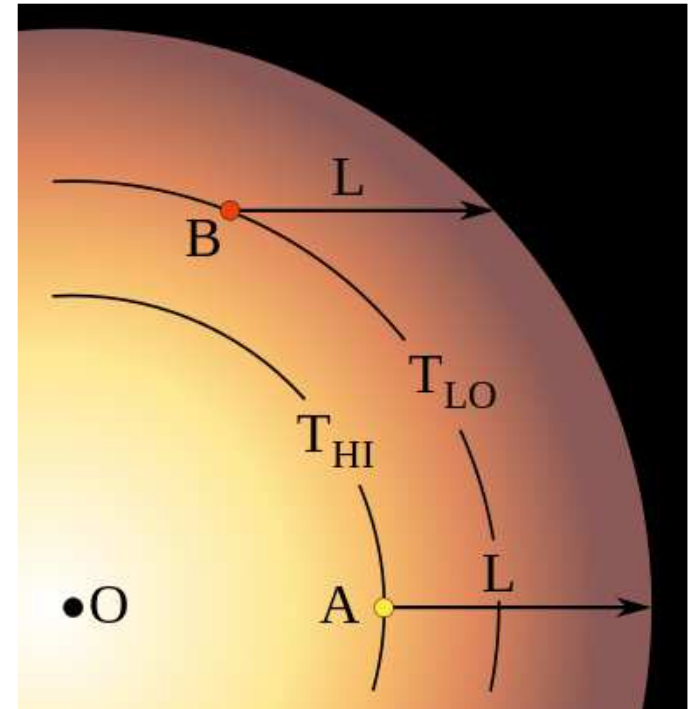
Στο κέντρο του ηλιακού δίσκου παρατηρούμε πιο βαθιά μέσα στον Ήλιο, πλάσμα μεγαλύτερης θερμοκρασίας (πιο λαμπρό)

Προς το χείλος βλέπουμε πιο επιφανειακά ψυχρά στρώματα.

Σχέση ελεύθερης διαδρομής με οπτικό βάθος τ_v :

$$\tau_v = \alpha_v n L = 1 // (\text{μέση ελεύθερη διαδρομή}) L =$$

μέσος αριθμός σκεδάσεων φωτονίου.



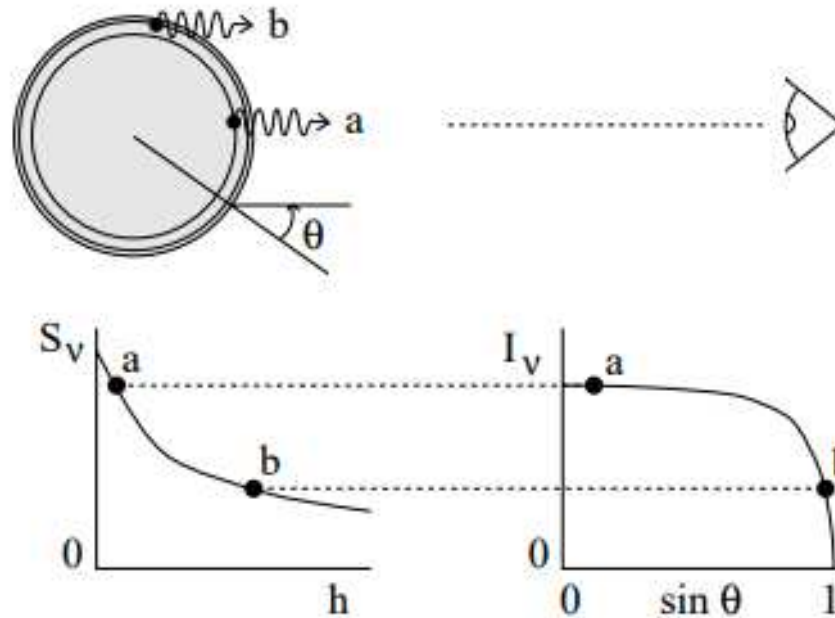


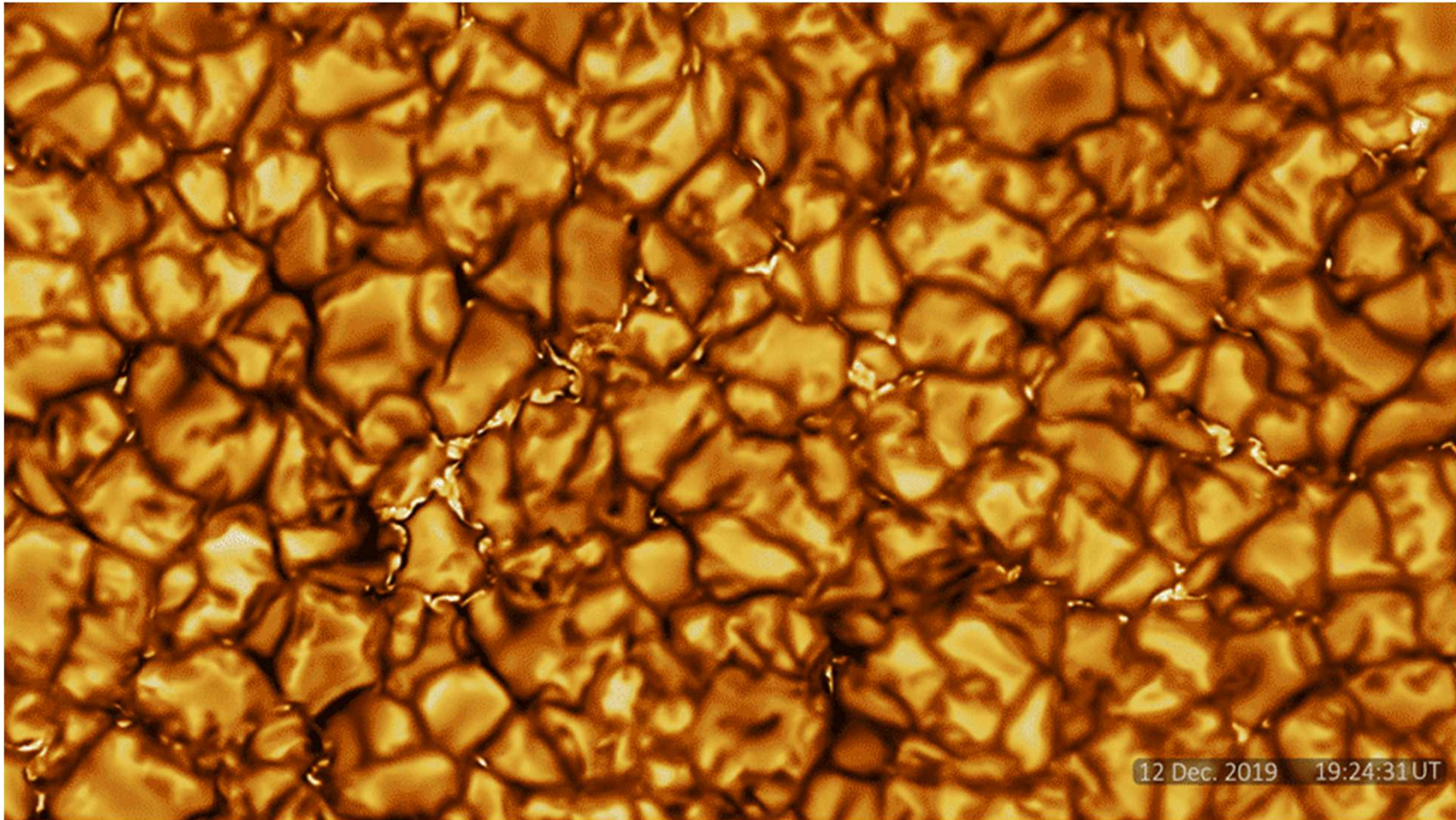
Figure 2.4: Solar limb darkening. The viewing angle θ increases with the fractional radius $r/R_{\odot} = \sin \theta$ of the apparent solar disk. The emergent intensity samples shallower layers towards the limb, with smaller source function. The final drop at $r/R_{\odot} = 1$ marks the viewing angle at which the sun becomes optically thin. Note that substantial decrease of $\mu = \cos \theta$ is reached only close to the limb, for $r/R_{\odot} = \sin \theta = (1 - \mu^2)^{1/2}$ close to unity (Table 7.2 on page 159). The off-limb extension to this sketch is given in Figure 7.2 on page 148.

Δυναμική της ήρεμης Φωτόσφαιρας

Επιφανειακή θερμοκρασία: 5700K, κοντράστ 7%- 20%

Κοκκίαση : ~1000 km (5 εκ. κόκκοι) επιφανειακή ζώνη μεταφοράς

Χρόνος ~ 10-20 λεπτά ταχύτητες ~2 km/s

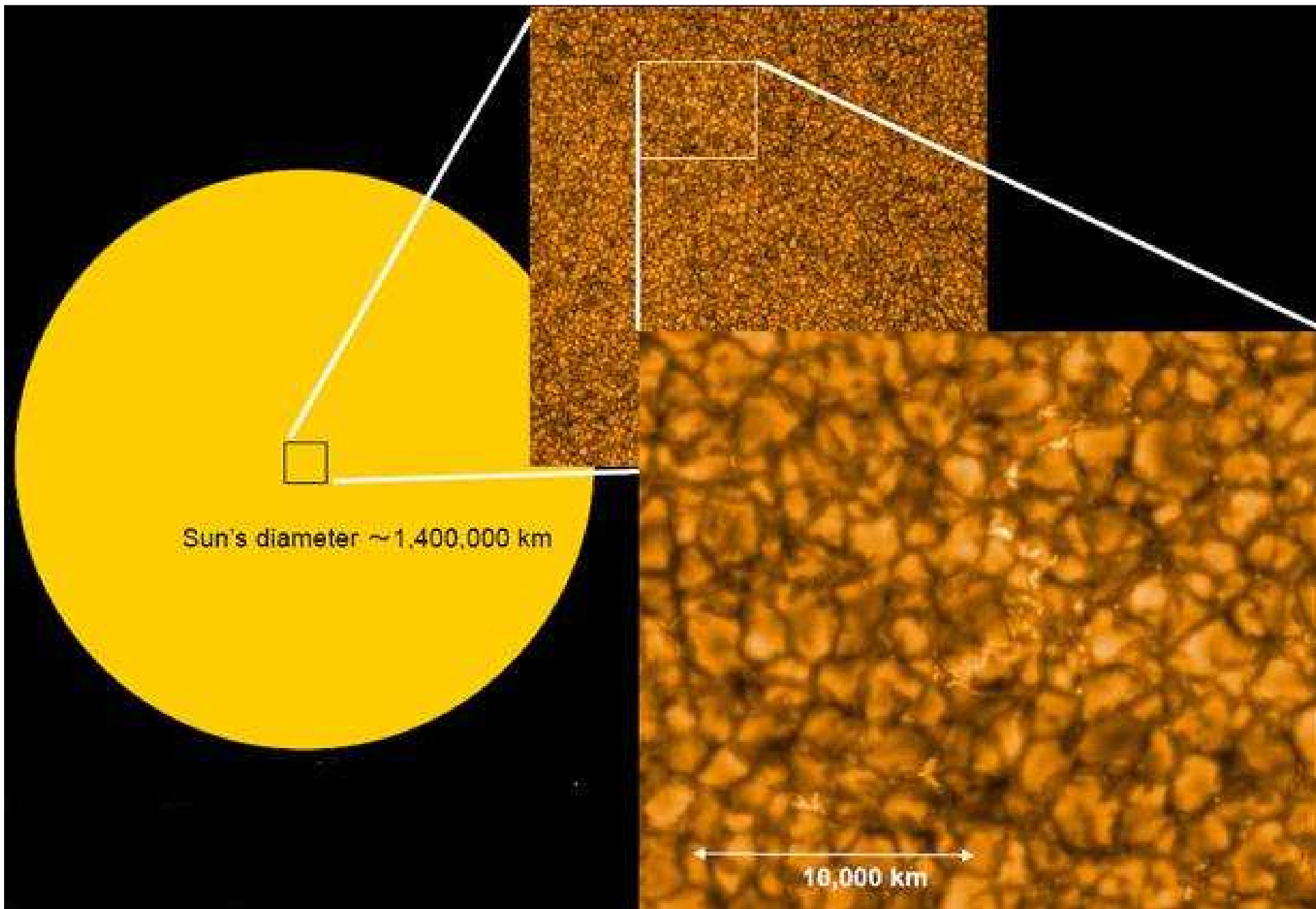


Daniel K. Inouye Solar Telescope (DIST) Χαβάη, διάμετρος 4 μέτρων

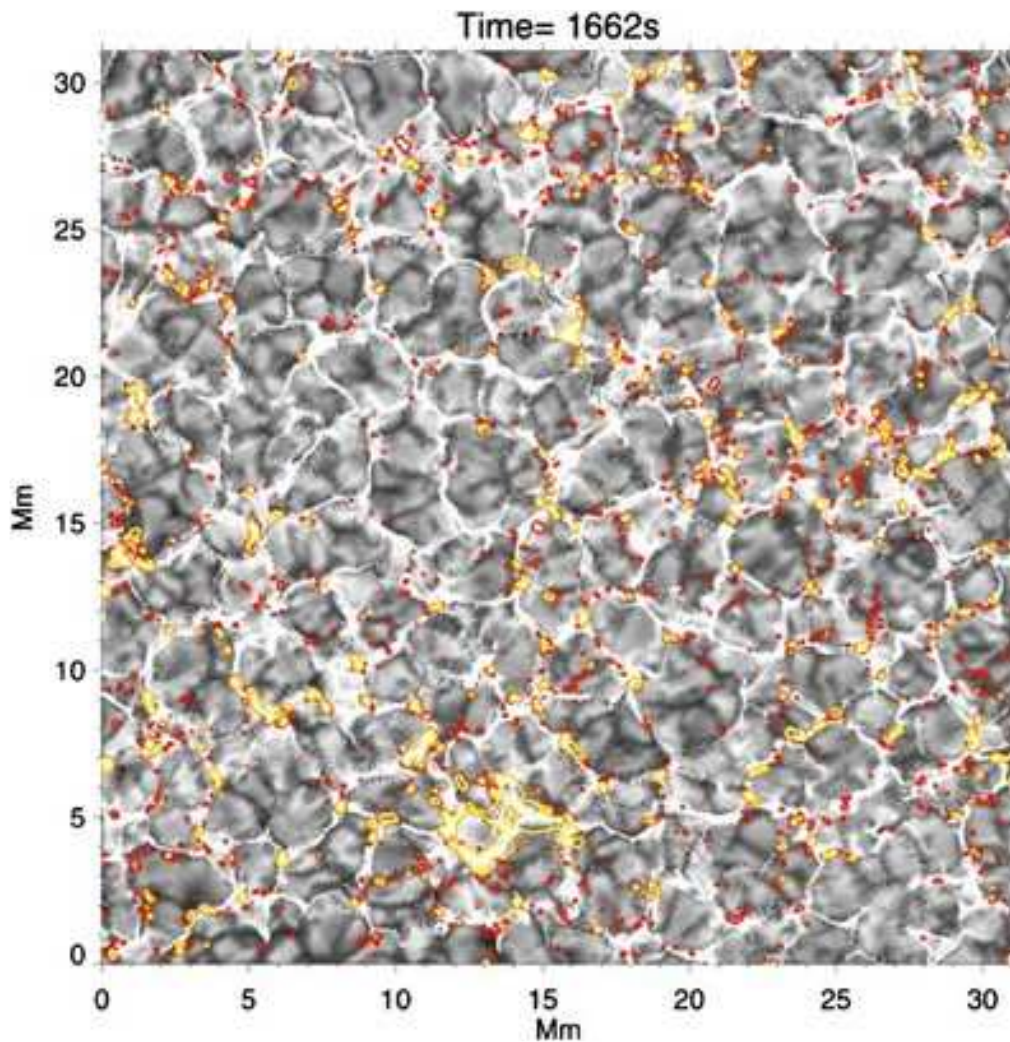
Διακριτική ικανότητα 20km

<https://currentkids.in/science-technology/is-this-an-image-of-tiny-gold-nuggets-or-popcorn-kernels>

Λαμπρές=θερμές δομές σκοτεινές=ψυχρές $\delta I/I = 4\delta T/T$ (νόμος Stefan Boltzmann)



Εικόνα της κοκκίασης από το Hinode



Chaouche, Moreno-Insertis et al, 2011, ApJ

Μεσοκοκκίαση

Κλίμακα 5-10", χρονική διάρκεια 2 ώρες, ταχύτητα ~ 60 m/s

**Δεν έχει μετρηθεί κόντραστ της έντασης ανάμεσα στους μεσοκόκκους.,
Παρατηρήθηκε από την στατιστική μελέτη της κίνησης των κόκκων.**

SOHO MDI/SOI
1996 May 26
00:00 UT

Υπερκοκκίαση

**Μορφολογία χάρτη
ταχυτήτων**

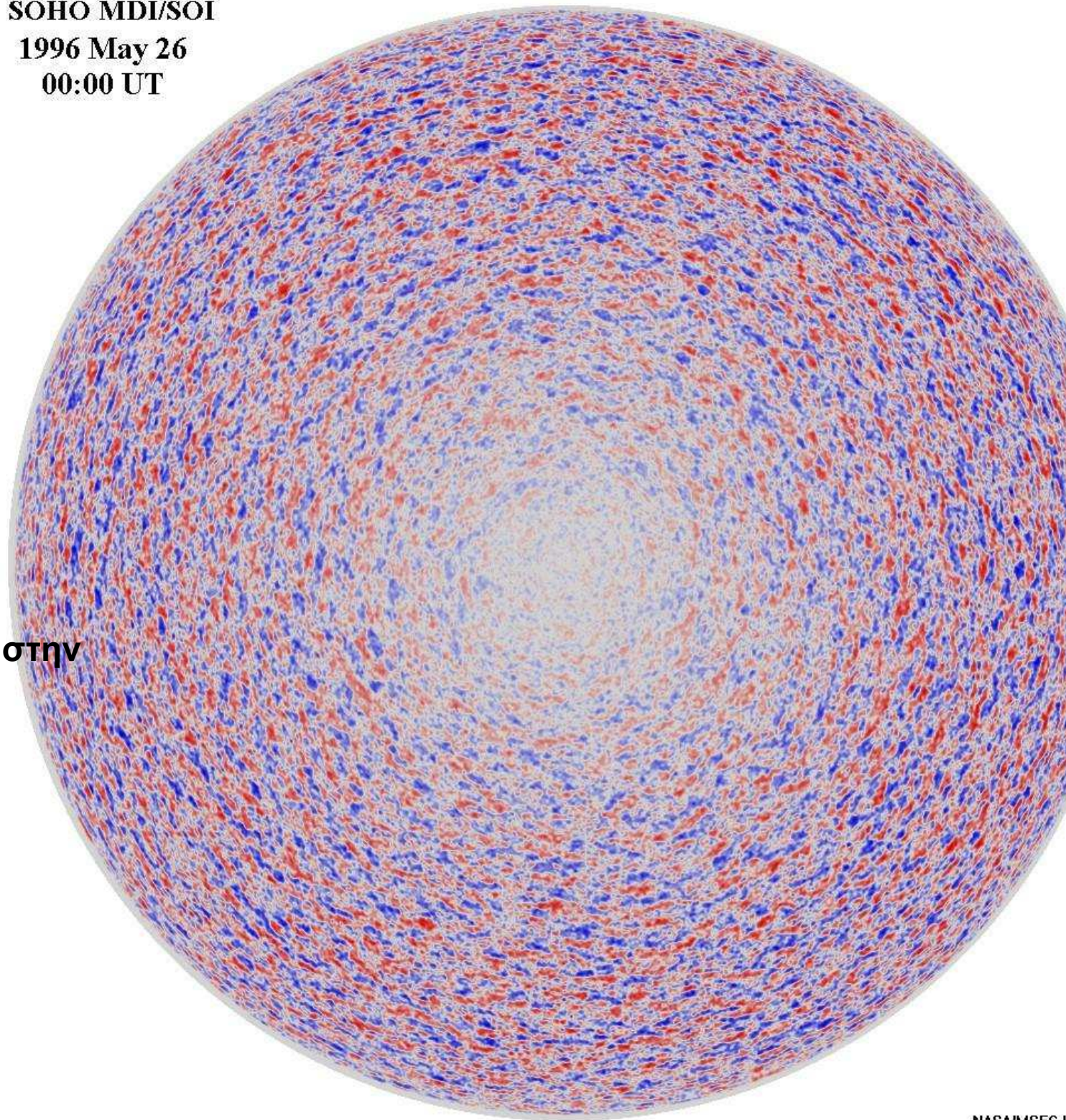
Διάσταση 35000km

Διάρκεια 1 με 2 μέρες

Ταχύτητα ~ 0.5km/s

Κοντράστ <0.1%

**Θα το συναντήσουμε και στην
Χρωμόσφαιρα.**



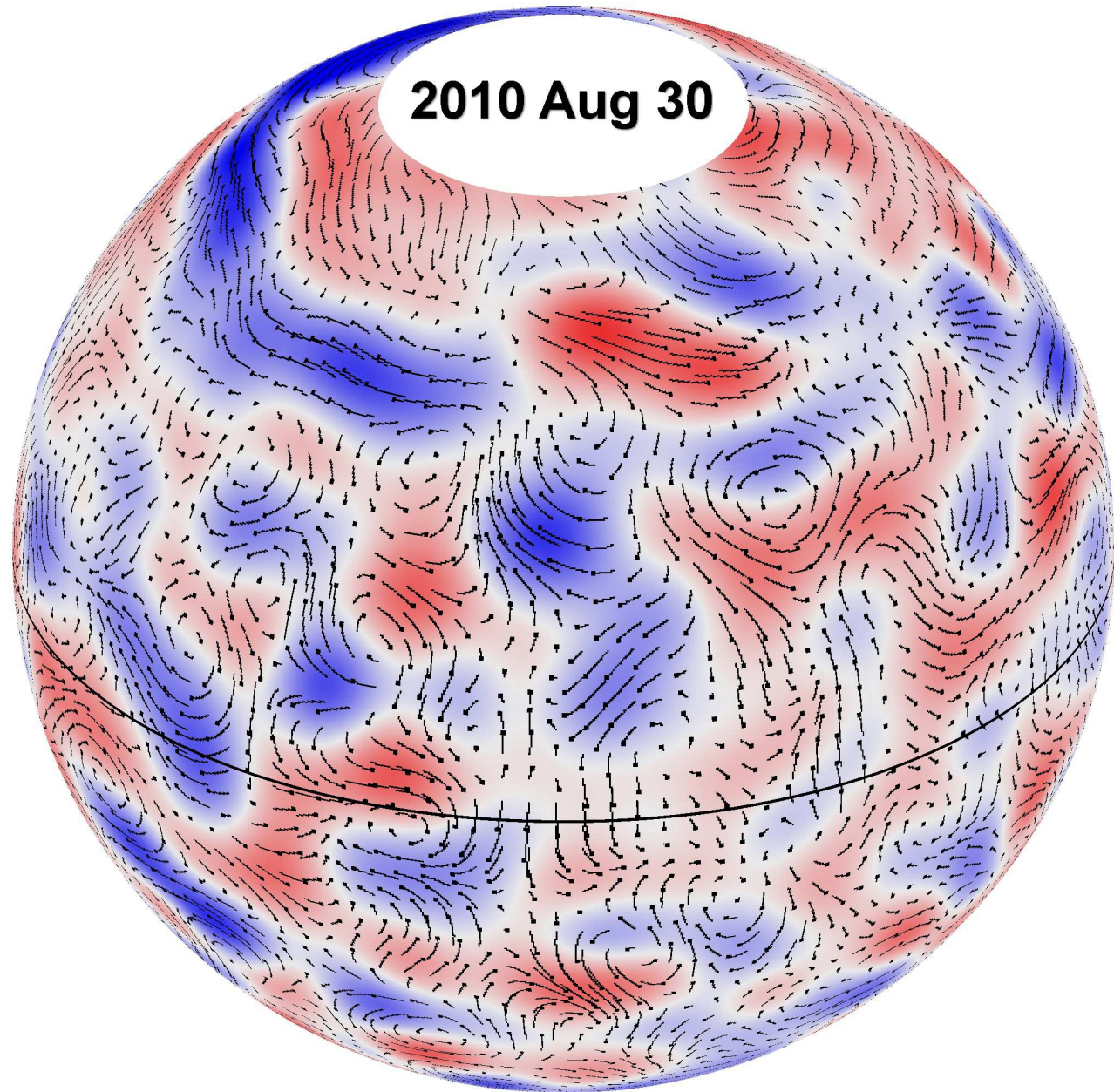
**Γιγάντιες
Κυψέλες**

Διαστάσεις ~200 000km

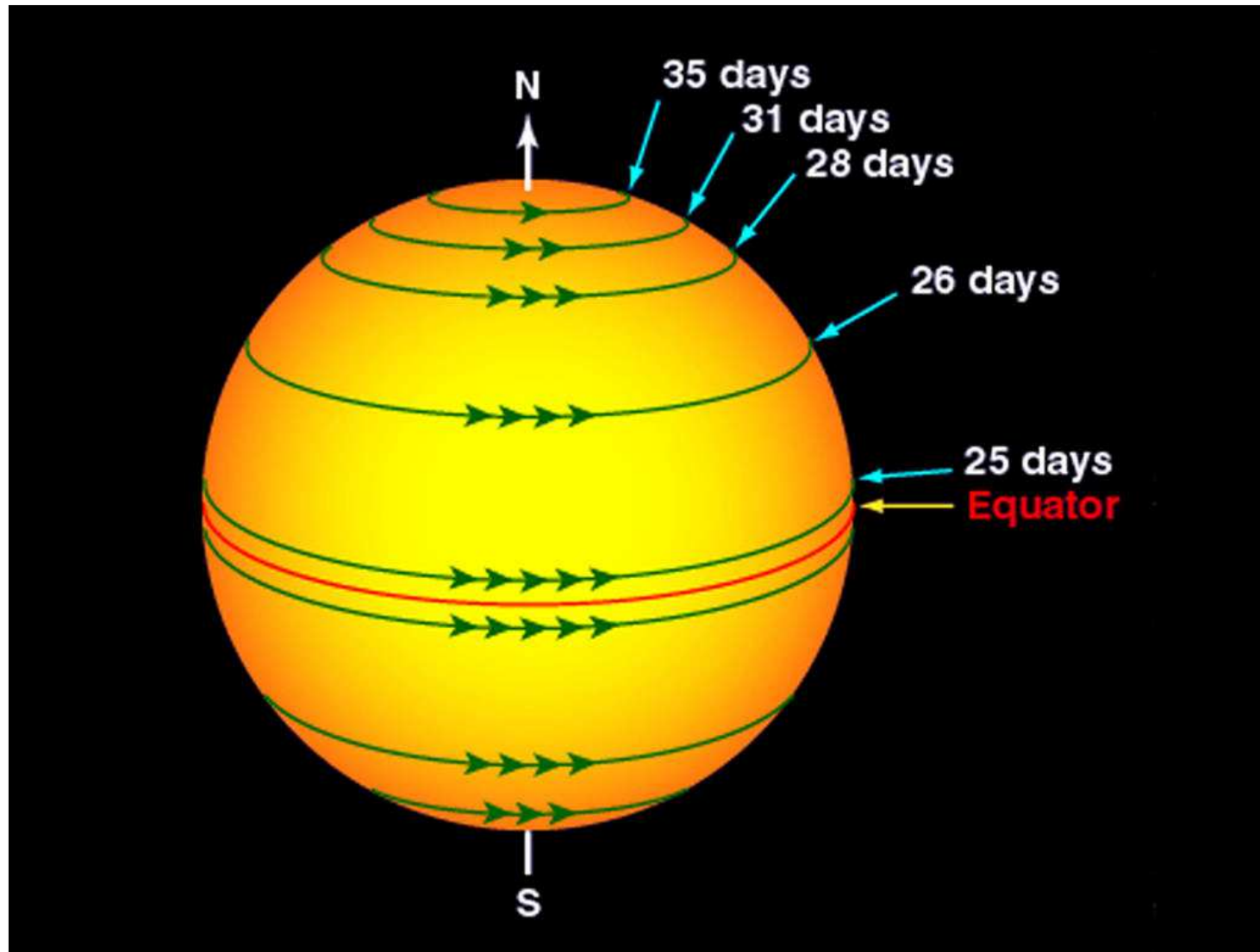
Διάρκεια 1 – 2 μήνες

Ταχύτητα ~ 4 m/s

Πρώτη μέτρηση 2010



Διαφορική περιστροφή



$$\omega = A + B \sin^2\varphi + C \sin^4\varphi$$

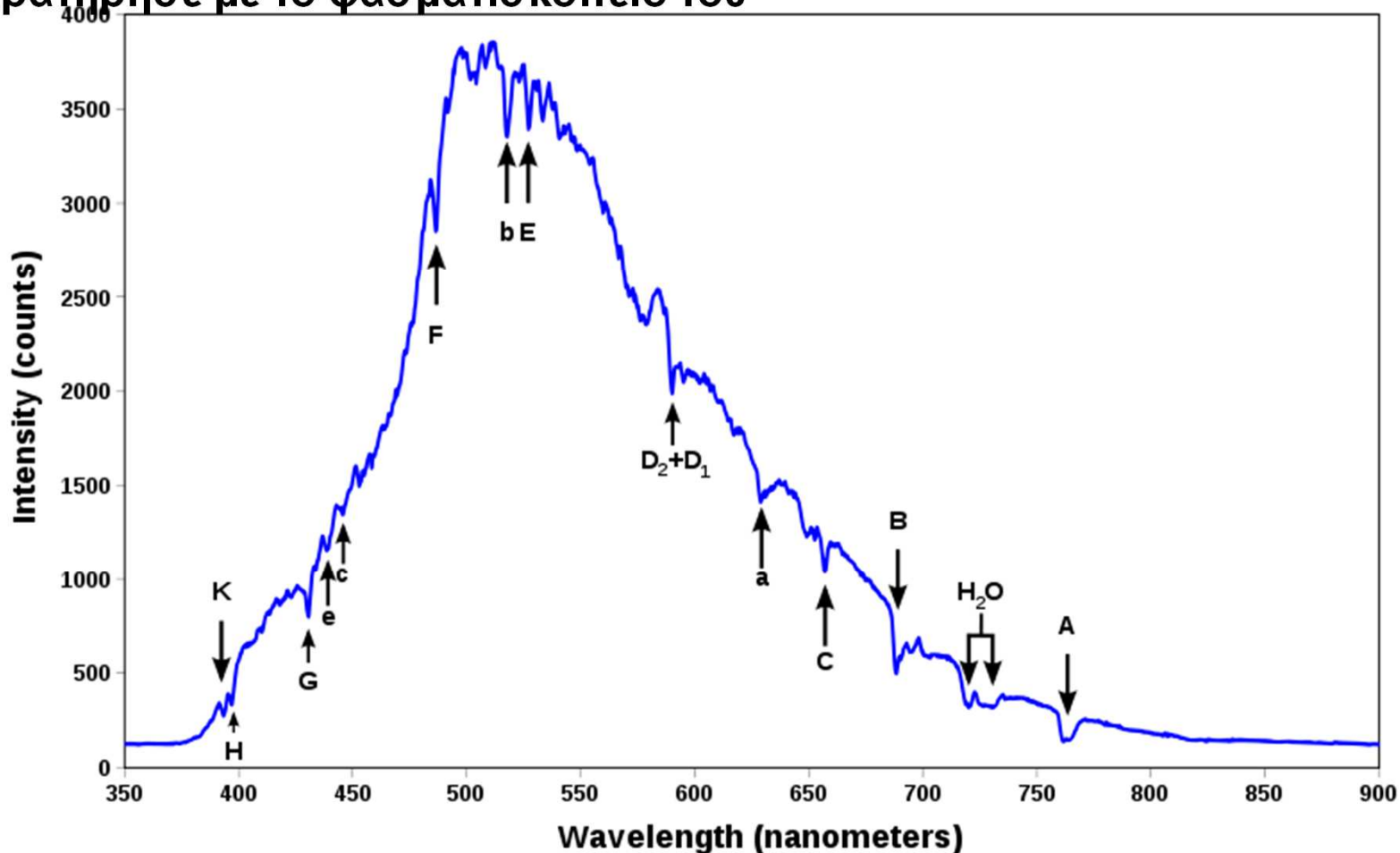
$$A = 14.7 \text{ μοίρες/μέρα}$$

$$B = -2.3 \text{ μοίρες/μέρα}$$

$$C = -1.7 \text{ μοίρες/μέρα}$$

φ ηλιογραφικό πλάτος (ισημερινός: $0^\circ \rightarrow$ πόλοι: $\pm 90^\circ$)

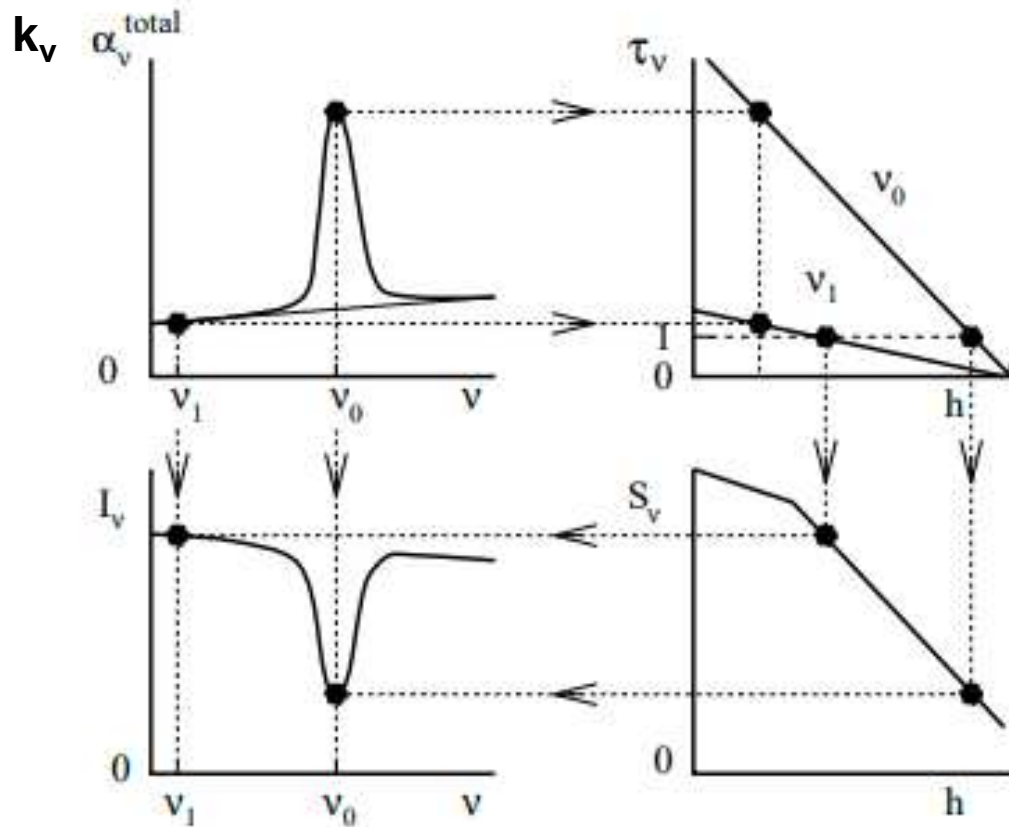
Φάσμα του Fraunhofer (1814), το παρατήρησε με το φασματισκόπιό του



Wikipedia

C	H α	656.3	nm
D1, D2	Na	588., 589	nm
B	O2	686.	nm
H, K	Ca II	393.3, 396.8	nm

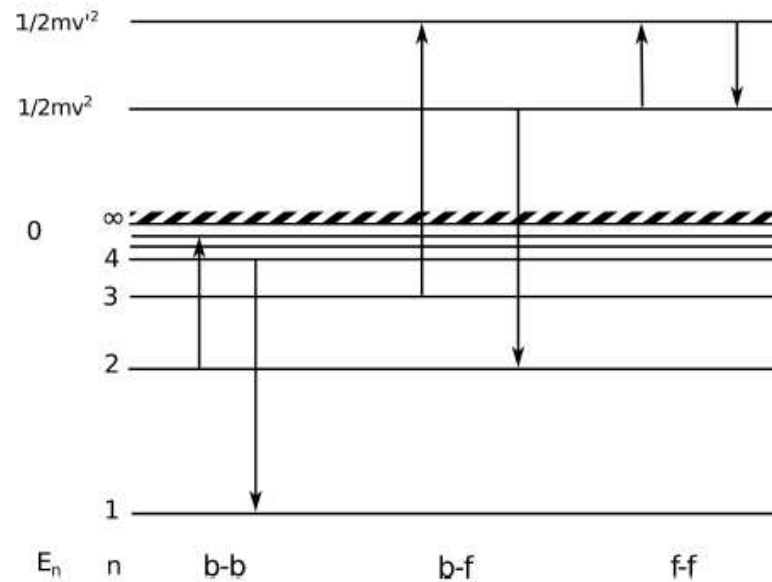
Οι Kirchhoff, Bunsen (1859) ανακάλυψαν πως οι γραμμές αντιστοιχούν στην εκπομπή από αερίων από το εργαστήριο (π.χ. Υδρογόνο, νάτριο....)
(B. Rutten)



Σχηματισμός του φάσματος απορρόφησης γραμμών στη φωτόσφαιρα.

(α_ν) ο συντελεστής απορρόφησης στην ν_1 : συνεχές, ν_0 : φασματική γραμμή
 τ_ν το οπτικό πάχος συναρτήσεως ύψους (h) στην ατμόσφαιρα για
 $S_\nu = B_\nu(T)$ συναρτήσεως του (h), και η ειδική ένταση (I_ν) περιέχει γραμμή
 απορρόφησης στο ν_0 . (B. Rutten)

Χαρακτηριστικές δομές του φάσματος



Σχήμα 2.7: Δέσιμες-δέσιμες ($b-b$), δέσιμες-ελεύθερες ($b-f$) και ελεύθερες-ελεύθερες ($f-f$) μεταπτώσεις.

Σε Τοπική Θερμοδυναμική Ισορροπία

Ισχύει ο νόμος του Boltzmann

N_i, N_j πληθυσμός σταθμών i, j

χ_i, χ_j ενέργειες των σταθμών i, j ,

g_i, g_j στατιστικά βάρη.

Οι μεταπτώσεις εξαρτώνται μόνο

από την θερμοκρασία και την ατομική δομή.

$$\frac{N_j}{N_i} = \frac{g_i}{g_j} e^{-(\chi_i - \chi_j)/kT}$$

Νόμος Saha για την σχέση του αριθμού

διαδοχικών ιόντων **ιονισμού** $s, s+1$.

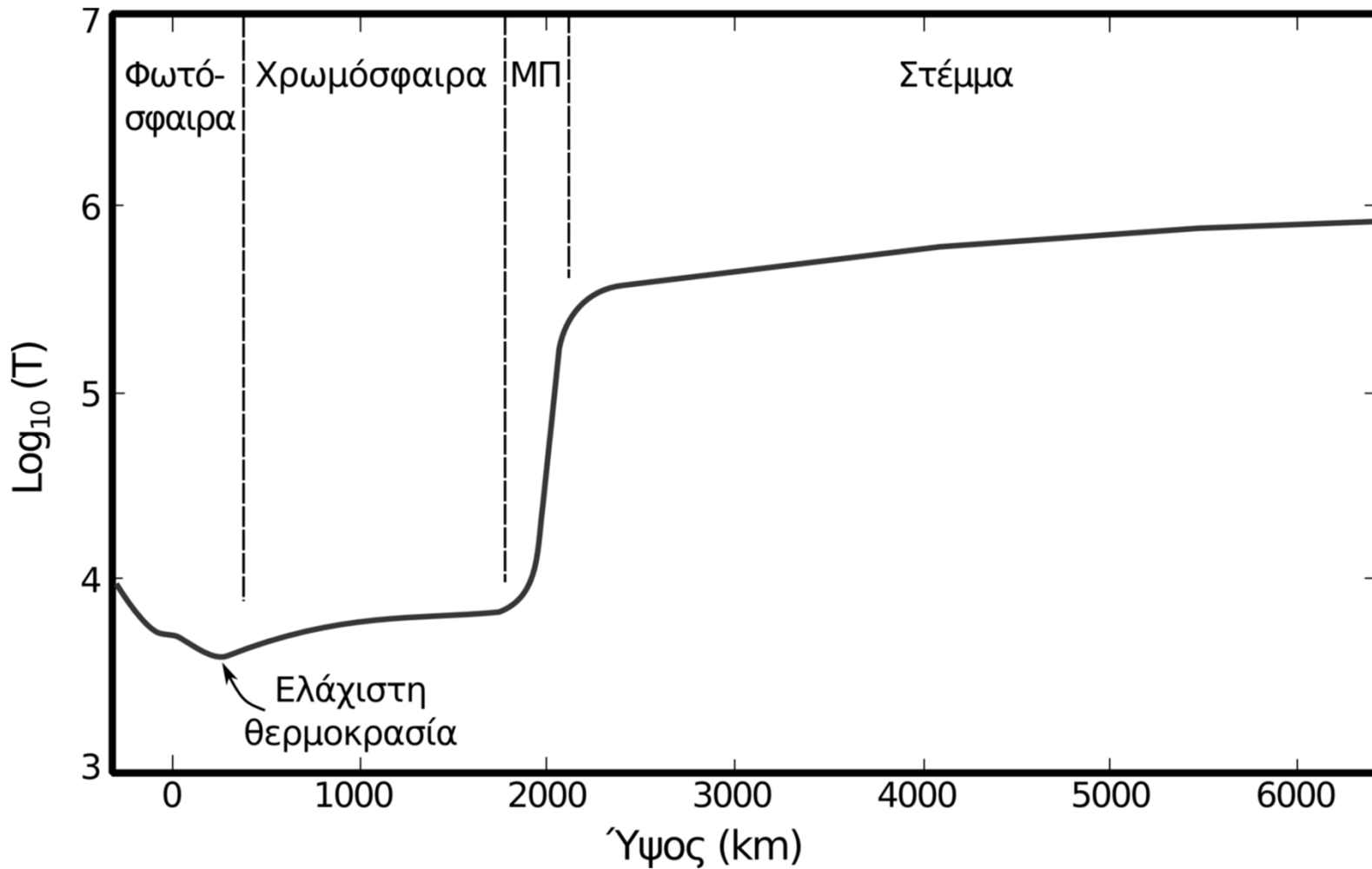
ΔE_I ενέργεια ιονισμού,

n_e πυκνότητα ηλεκτρονίων

οι όροι $(2\pi m_e kT)^{3/2}/h^3, g_{s+1}, g_s$ είναι τα στατιστικά βάρη για ηλεκτρόνια και ιόντα

$$N_{s+1} = \frac{2 N_s (2\pi m_e k T)^{3/2} g_{s+1}}{n_e h^3 g_s} e^{-\frac{\Delta E_I}{kT}}$$

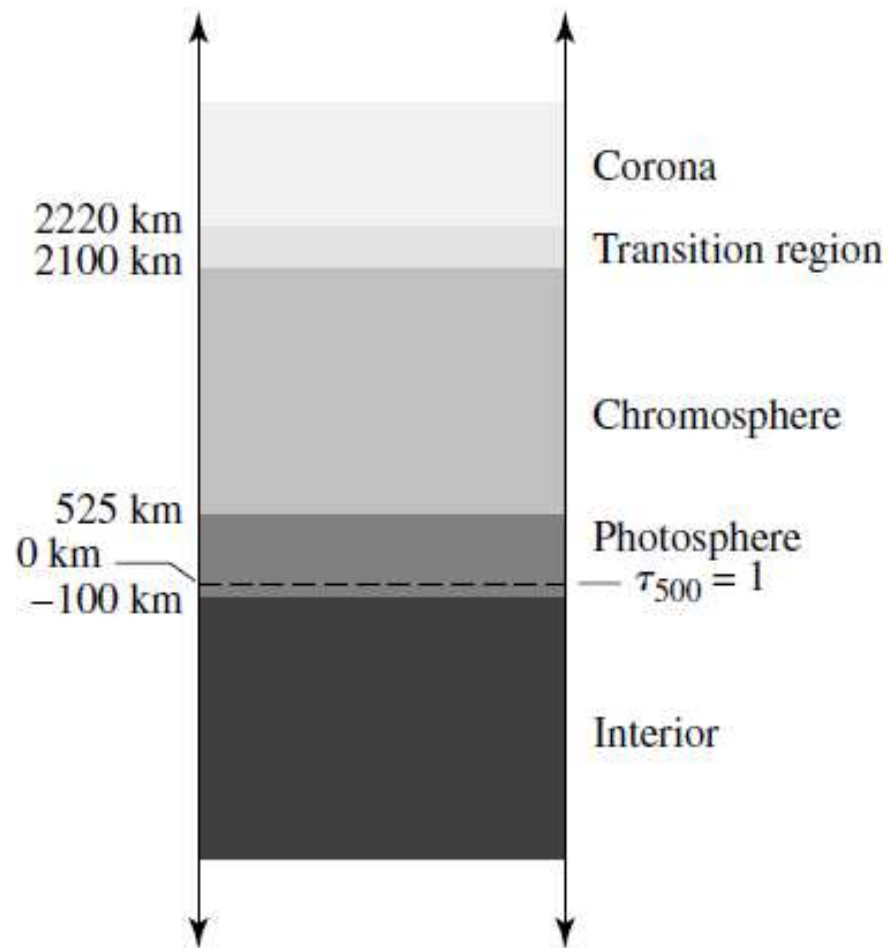
**Μονοδιάστατη περιγραφή ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας.
Αγνοούνται οι χρονικές μεταβολές και η γεωμετρία των ηλιακών δομών.**



(Αλυσσανδράκης, Νίντος, Πατσουράκος)

Χαρακτηριστικές ποσότητες Χρωμόσφαιρας σε 3 ύψη:

h [km]	T [K]	n_H [cm^{-3}]	n_e [cm^{-3}]
250	4755	2.3E16	2.6E12
2093	7830	4.9E10	2.6E10
2245	23000	1.3E10	1.4E10

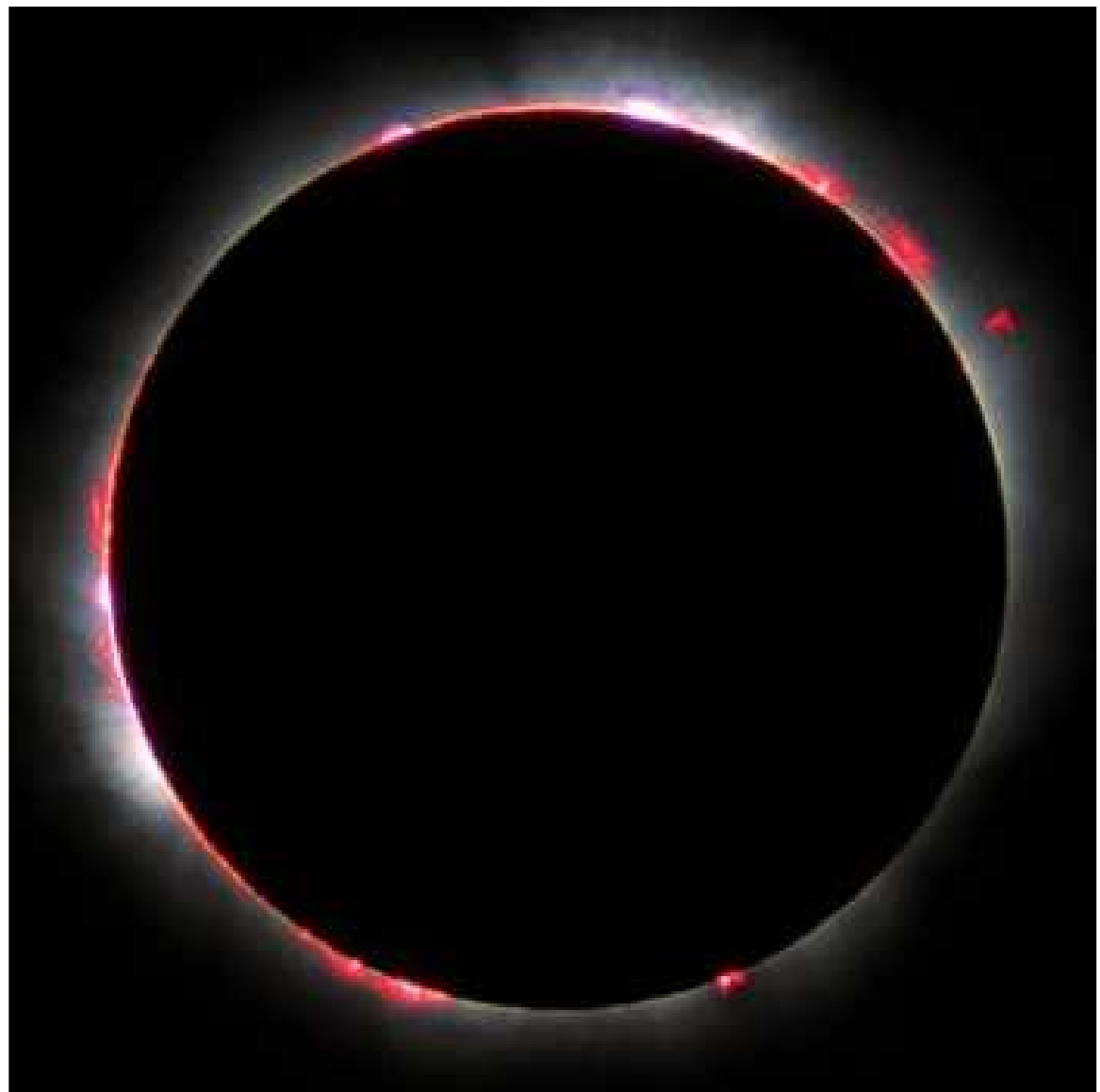


Αναπαράσταση του μέσου πάχους των κύριων στρωμάτων της ατμόσφαιρας. Το κάτω όριο της ατμόσφαιρας καθορίζεται όπου το οπτικό πάχος για $\lambda=5000\text{\AA}$. Η Φωτόσφαιρα εκτείνεται έως και $\sim 100\text{km}$ πιο βαθιά. Η Χρωμόσφαιρα έχει πάχος περί τα 1500km . Η μεταβατική περιοχή (Transition region) είναι έως και 100km λεπτή (ελάχιστη τιμή). Το στέμμα εκτείνεται σε ύψος μερικών ηλιακών ακτίνων.

Η Χρωμόσφαιρα κατά
την διάρκεια έκλειψης

Το κόκκινο χρώμα οφείλεται στην
Γραμμή Ηα. Balmer-α

Φαίνονται προεξοχές.

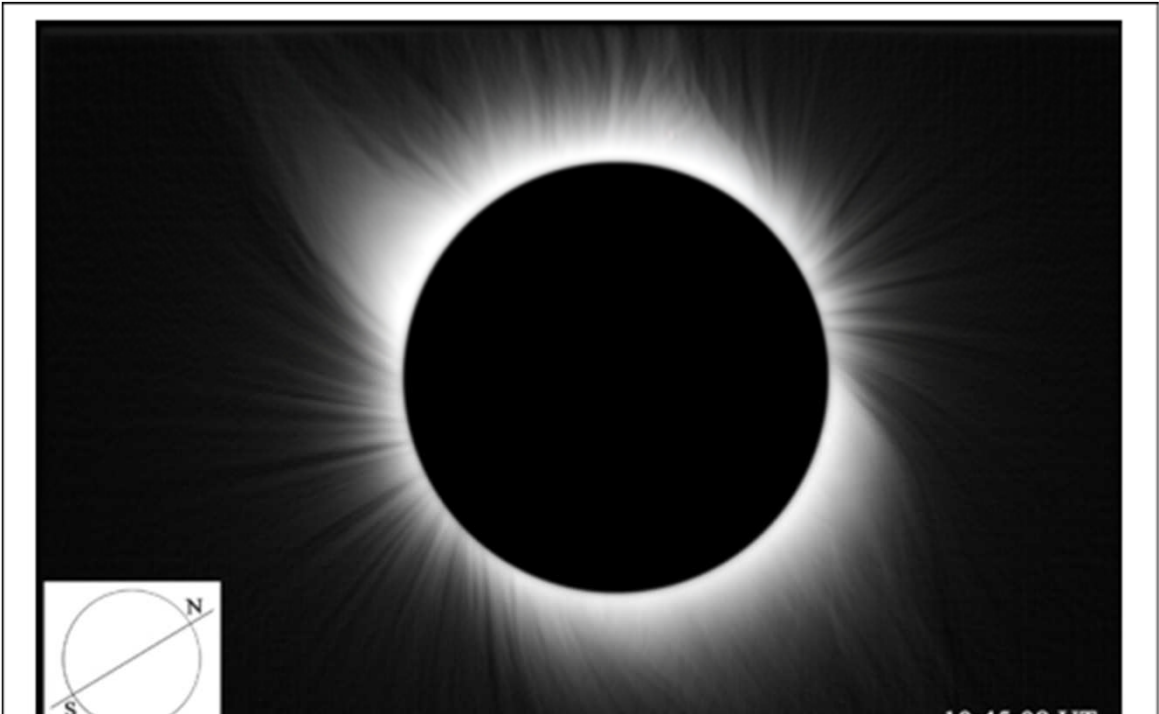
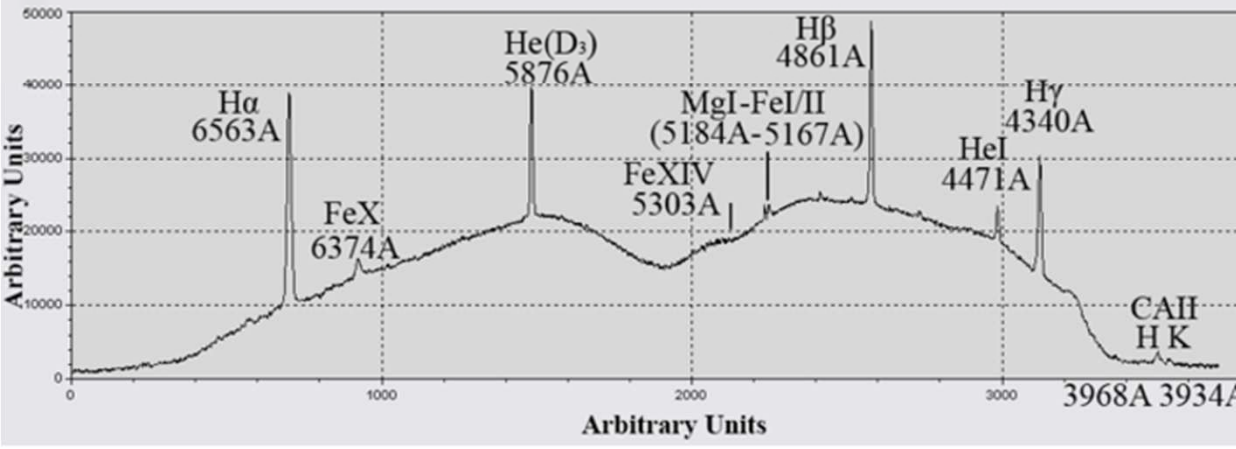
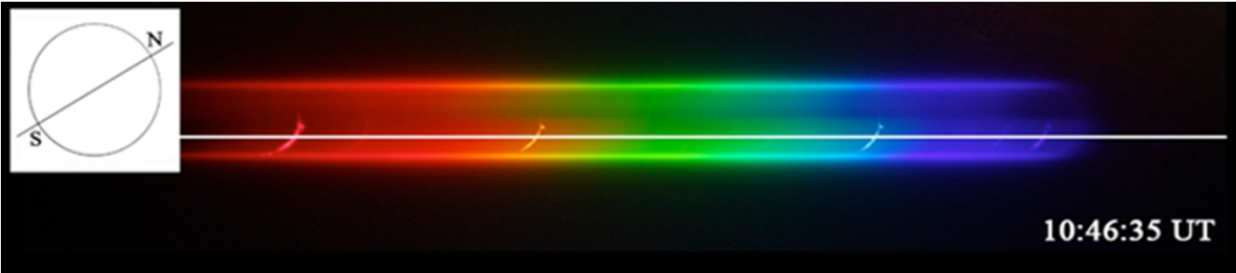


UCAR

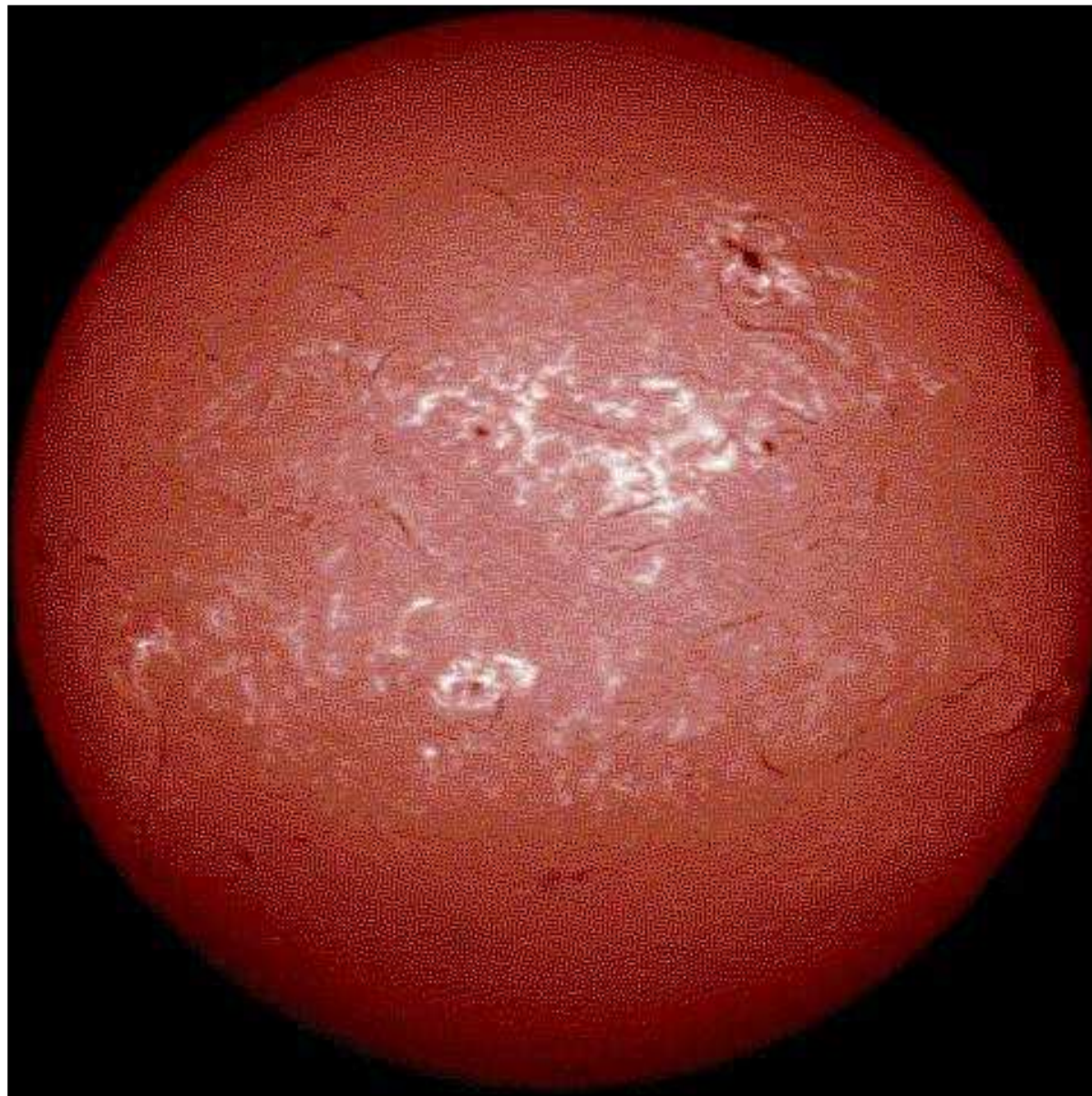
Αστραπιαίο φάσμα κατά την διάρκεια ηλιακής έκλειψης 1^η Αυγούστου 2008

Το στοιχείο ήλιο, βρέθηκε από παρατήρηση της χρωμόσφαιρας

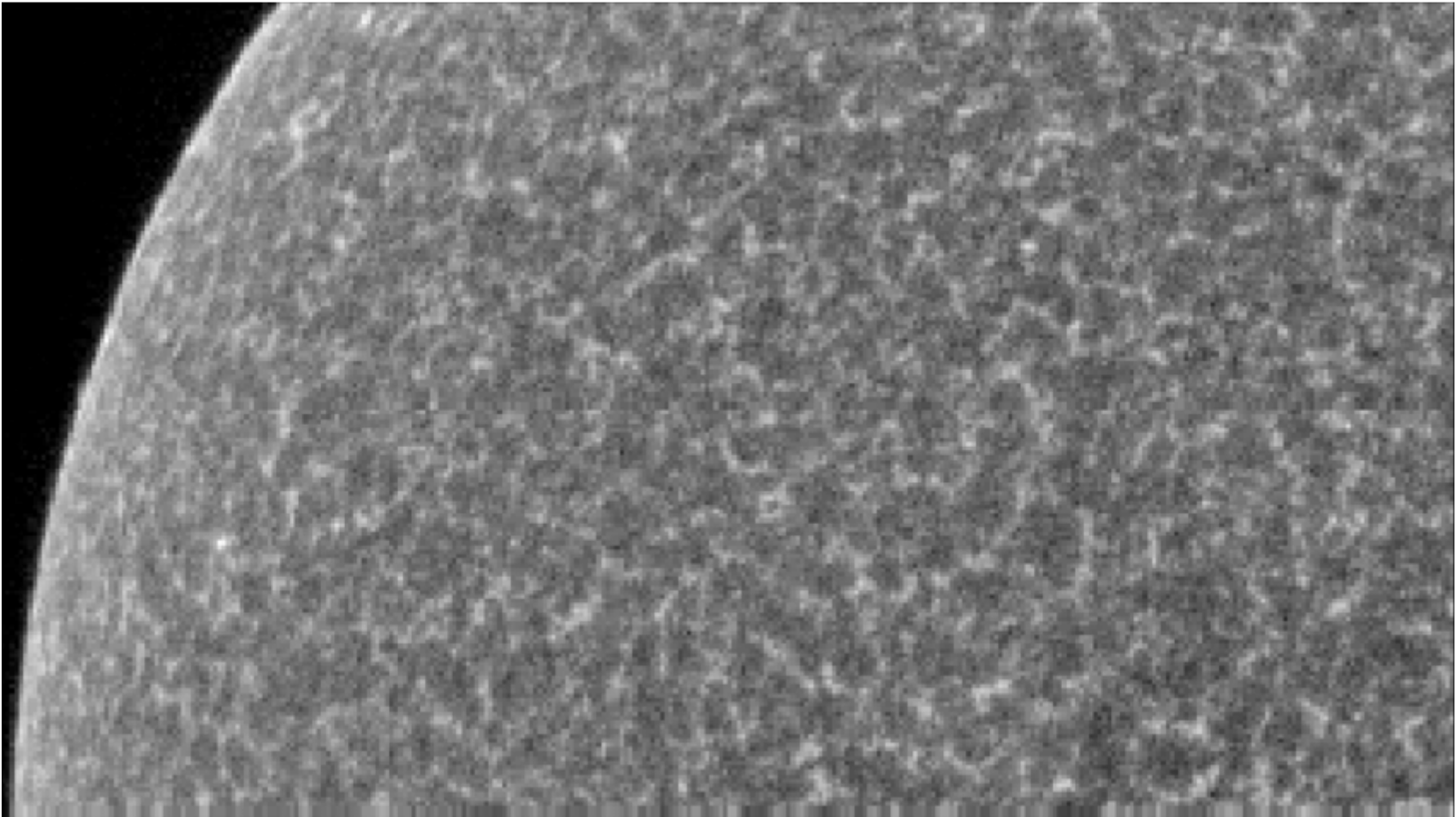
(βλέπε φασματική γραμμή)
J. Janssen, N. Lockyer έκλειψη του 1868



Βούλγαρης, Αθανασιάδης, Σειραδάκης, Pasachoff Sol. Phys. 2010



Η Χρωμόσφαιρα στην γραμμή H α 6563Å.
Δομές νήματα, κηλίδες, κέντρα δράσης



Το χρωμοσφαιρικό δίκτυο της υπερκοκκίασης όπως φαίνεται σε φασματική γραμμή του Si I 1256Å, και συνεχές. Παρατήρηση φασματογράφου SUMER 1996.

Δομές της χρωμόσφαιρας

Ηλιακές προεξοχές
(Solar prominences)

Χρωμοσφαιρικό πλάσμα αιωρείται στο ύψος του στέμματος. Φαίνονται σε εκπομπή στο χείλος, σε απορρόφηση στον δίσκο (τότε λέγονται νήματα filaments).

Ύψος: ~300000km

Πάχος~50000 km

T~5000 – 8000 K

Διάρκεια: μήνες

Ακίδες (Spicules)

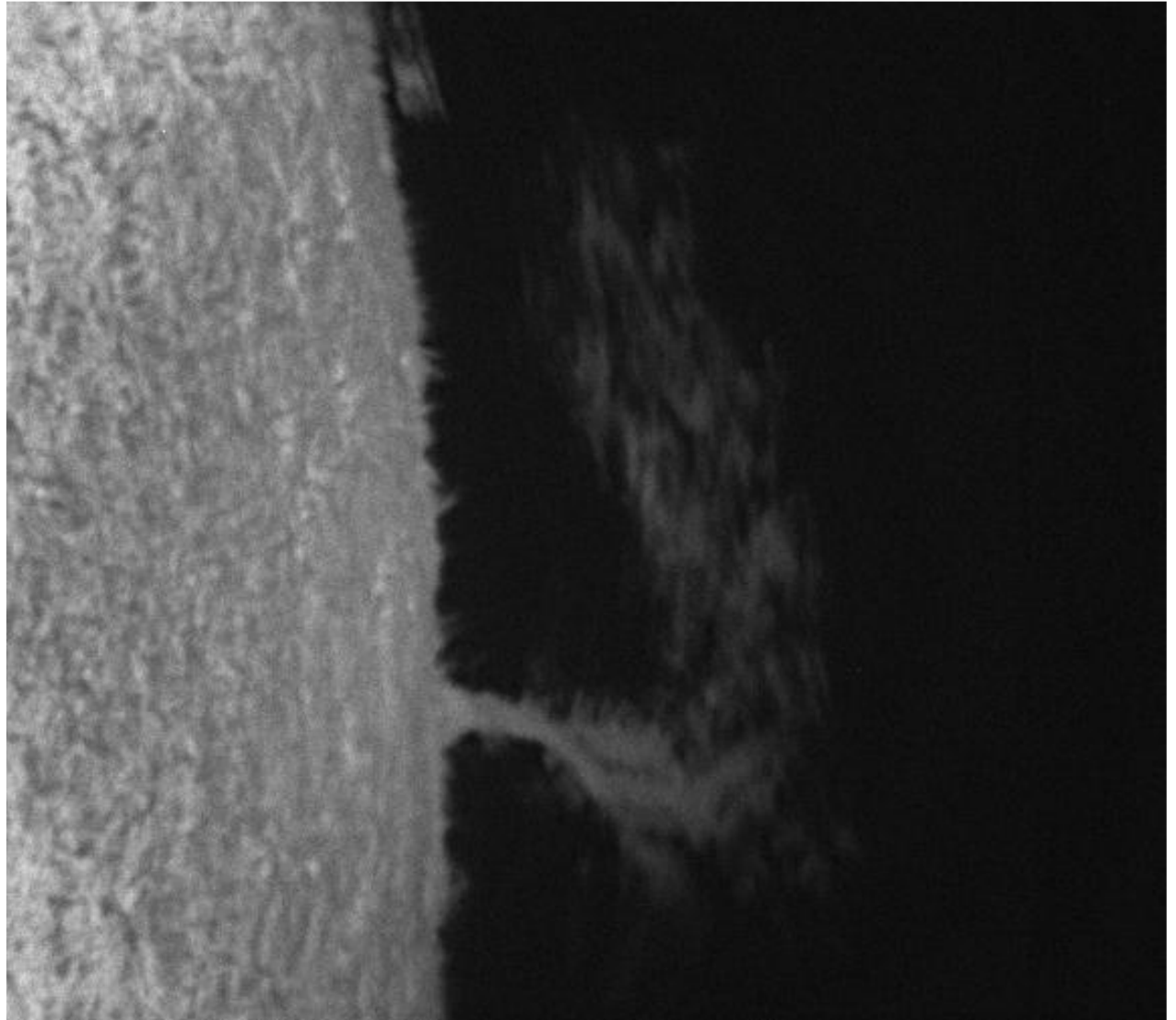
‘βελόνες’ στο χείλος

Στον δίσκο: στα όρια του χρωμοσφαιρικού δικτύου (mottles, rosettes)

Ύψος ~5000km,

πάχος ~ 1000km

Η γεωμετρία τους οφείλεται στο μαγνητικό πεδίο. Το ιονισμένο αέριο ακολουθεί το μαγνητικό πεδίο (δύναμη Lorentz).



Ηλιακή προεξοχή στην Ηα
Big Bear Solar Observatory, 3 Οκτ., 1996

Συντελεστές Einstein

Έστω ένα άτομο με δυο ενεργειακά επίπεδα, i, j . Υπάρχουν τρεις μικροσκοπικές διαδικασίες.

Απορρόφηση

$$N_i B_{ij} I_\nu$$

αυθόρμητη εκπομπή

$$N_j A_{ji}$$

εξαναγκασμένη εκπομπή

$$N_j B_{ji} I_\nu$$

ισορροπία

$$N_i B_{ij} I_\nu = N_j (A_{ji} + B_{ji} I_\nu)$$

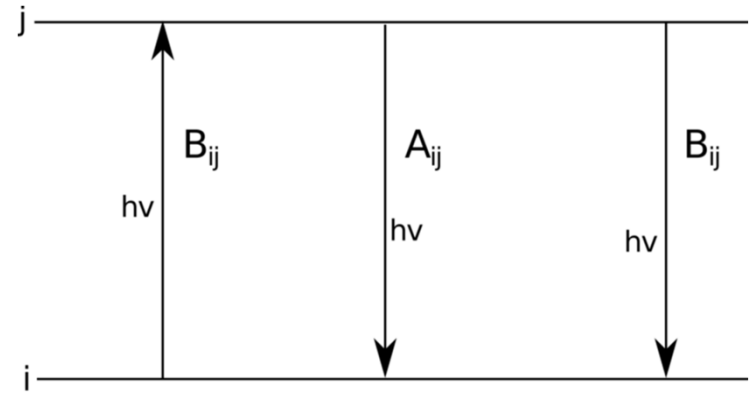
Νόμος Boltzmann και

ειδική ένταση ίση με Planck $\frac{N_j}{N_i} = \frac{g_i}{g_j} e^{-(\chi_i - \chi_j)/kT}$, $I_\nu = B_\nu(T)$

Οι σχέσεις αυτές ισχύουν και εκτός ΤΘΙ

$$A_{ji} = \frac{2h\nu^3}{c^2} B_{ji}$$

$$B_{ji} = \frac{g_i}{g_j} B_{ij}$$



Σχήμα και εύρος φασματικών γραμμών

Θερμικό εύρος και εύρος τύρβης

Κατανομή Maxwell ατομικών ταχυτήτων.

Η πιθανότητα df για ταχύτητες μεταξύ v , $v+dv$

$$df = \sqrt{\frac{m}{2\pi kT}} \exp\left(-\frac{mv^2}{2kT}\right) dv$$

Μετατόπιση Doppler λόγω θερμικής κίνησης του κάθε ατόμου.

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \frac{v \cos\theta}{c} = \frac{u}{c}$$

$$\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0$$

Μετατόπιση Doppler και κατανομή Maxwell δίνουν συνάρτηση Gauss έντασης γραμμής συναρτήσει του μήκους κύματος

$$I(\Delta\lambda) = \text{constant} \exp\left(-\frac{m}{2kT} \frac{c^2}{\lambda_0^2} \Delta\lambda^2\right)$$

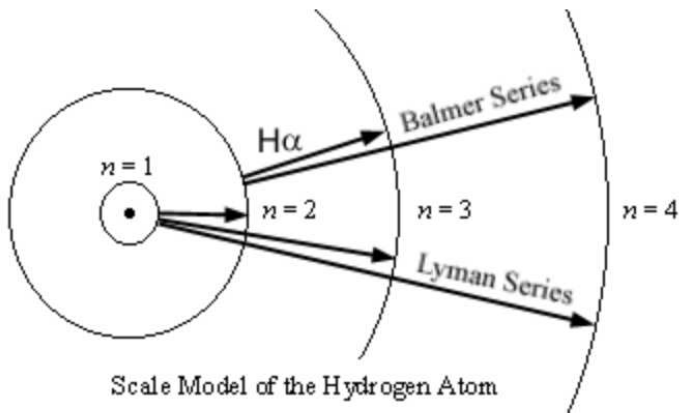
Μέσο εύρος της γραμμής λόγω θερμικής κίνησης

$$FWHM = 2\Delta\lambda_{1/2} = 1.67 \frac{\lambda_0}{c} \sqrt{\frac{2kT}{m}}$$

Και όταν υπάρχει και κίνηση τύρβης (turbulence) με

τυπική απόκλιση ταχύτητας V_{rms}

$$FWHM = 1.67 \frac{\lambda_0}{c} \sqrt{\frac{2kT}{m} + v_{rms}^2}$$



<https://web.njit.edu/~gary/321/Lecture5.html>

Φυσική διαπλάτωση:

Αρχή του Heisenberg

$$\Delta E \Delta t \sim h/2\pi$$

Στο άτομο υδρογονου, ένα δέσμιο ηλεκτρόνιο διεγείρεται: $n=1 \rightarrow n=2$

ο χρόνος ζωής είναι $\Delta t = 5 \cdot 10^{-8}$ s. Αποδιεγείρεται εκπέμποντας φωτόνιο $\lambda = 1216 \text{ \AA}$ (Lyman- α),

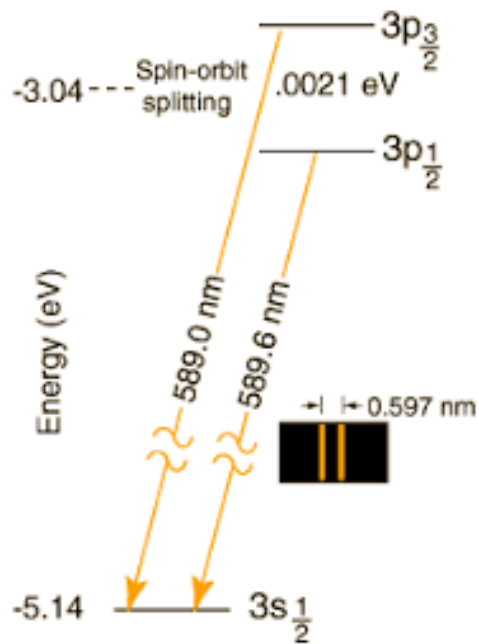
$$E = hc/\lambda = 10.18 \text{ eV} \quad \text{και} \quad \Delta E \sim h/(2\pi \Delta t)$$

$$\Delta \lambda \sim \lambda^2 \Delta t c / 2\pi = 0.0015 \text{ m \AA}$$

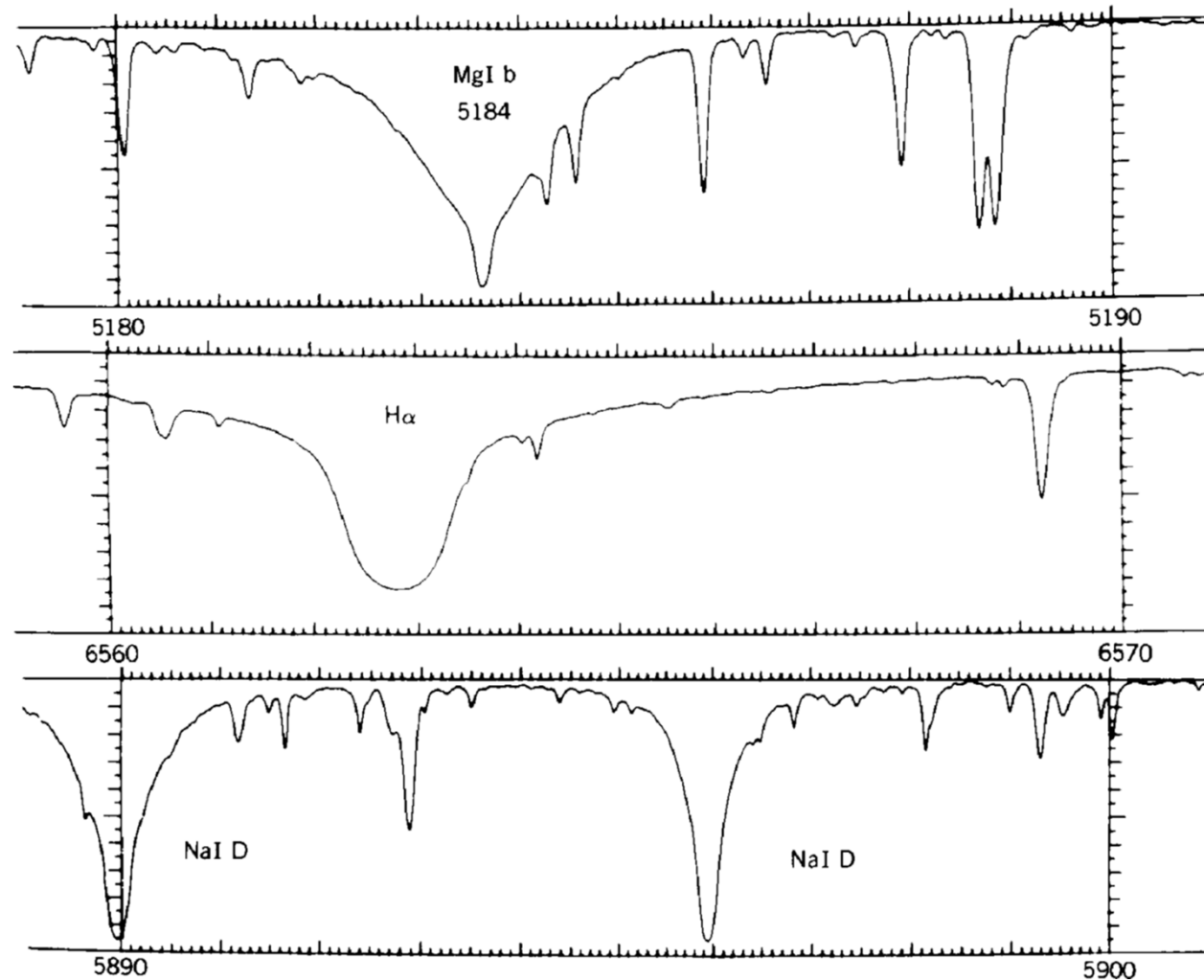
Η φασματική γραμμή συναρτήσει της συχνότητας υπό την φυσική διαπλάτωση είναι η συνάρτηση Lorentz

$$I(\nu) = \frac{\gamma/4\pi^2}{(\nu - \nu_0)^2 + (\gamma/4\pi)^2}$$

$$\gamma = \frac{1}{\Delta t}$$



Διπλή γραμμή Na I D1, D2
σύζευξη σπιν-τροχιάς



Αλυσσανδράκης, Νίντος, Πατσουράκος

Φασματικές γραμμές:

Αμυδρές γραμμές σχηματίζονται στην φωτόσφαιρα, έχουν μικρό τ_v και Γκαουσιανό σχήμα.

Πτέρυγες γραμμών με $\tau_v > 1$ είναι Lorentz.

Mg I b, H α χρωμόσφαιρικές γραμμές.

Na I D γραμμή της φωτόσφαιρας (Το Na I ιονίζεται πιο εύκολα από το υδρογόνο)

Σχηματισμός χρωμοσφαιρικών γραμμών

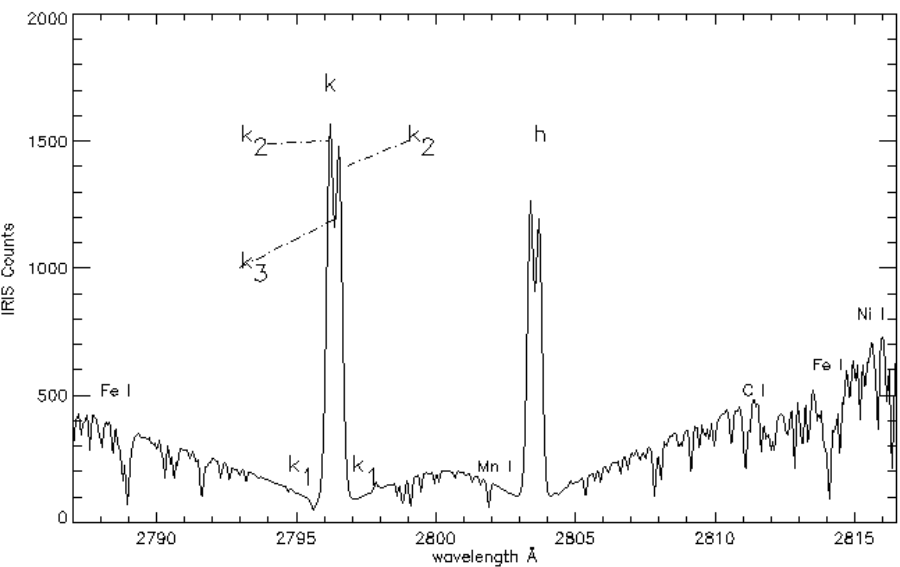
H-α δεν σχηματίζεται στο T_{min} (πληθυσμός n=2 αμεληταίος)

H Lyman α n=1 ->2 σε T>6000K, πτέρυγες σε 4000K< T<6000K

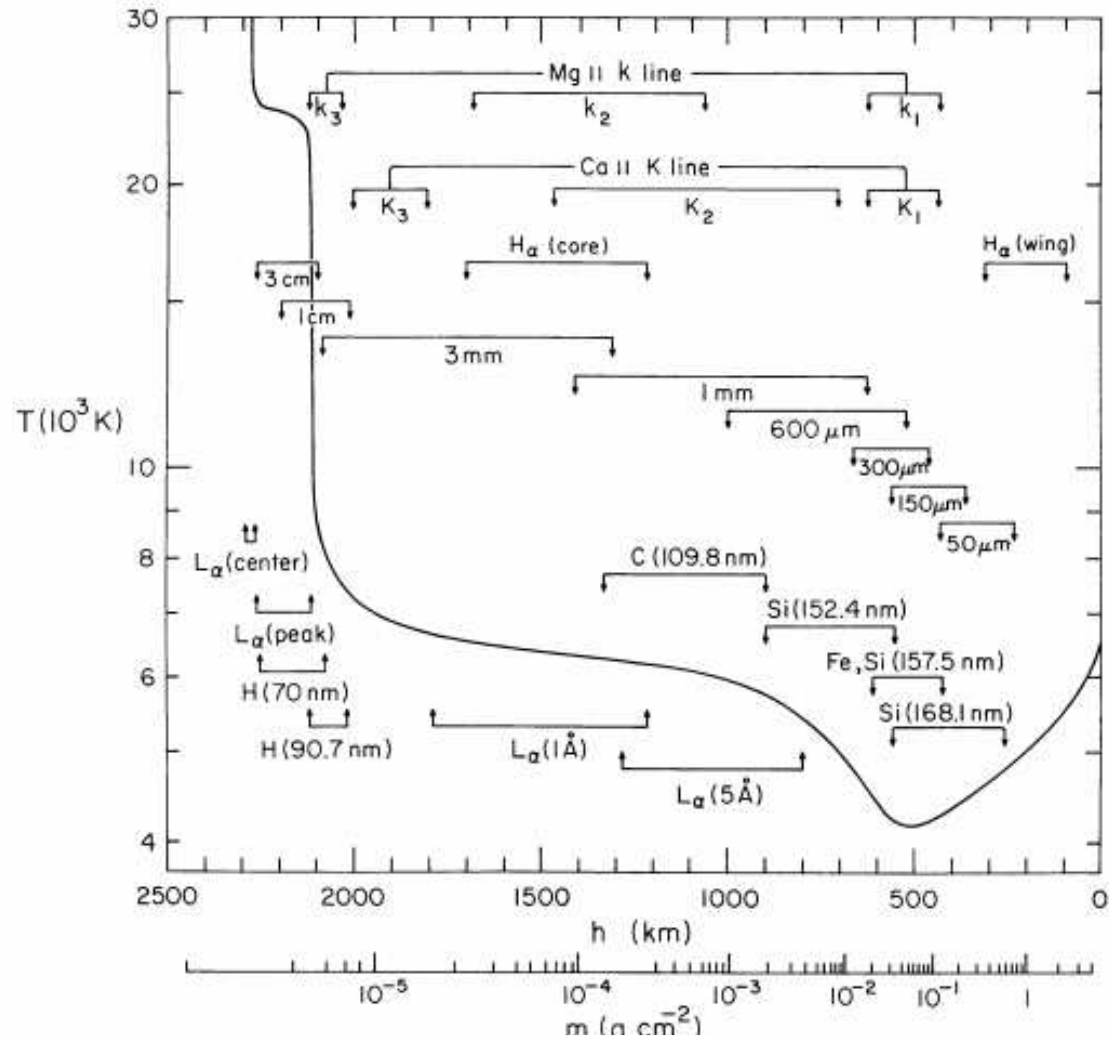
Ραδιοφωνικά κύματα (λ από m έως mm)

Απορρόφηση από μηχανισμό πέδης

(bremsstrahlung ή free-free) $a_{ff}(\lambda) \sim \lambda^3$



QUIET SUN EUV BRIGHTNESS COMPONENTS

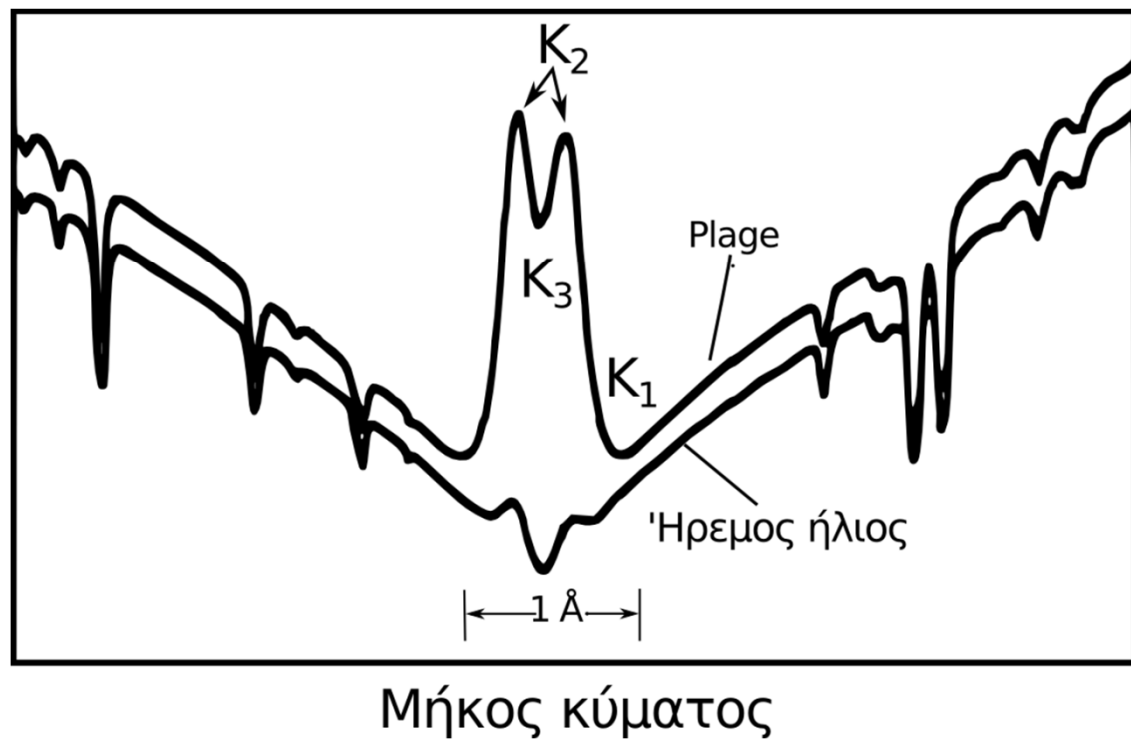
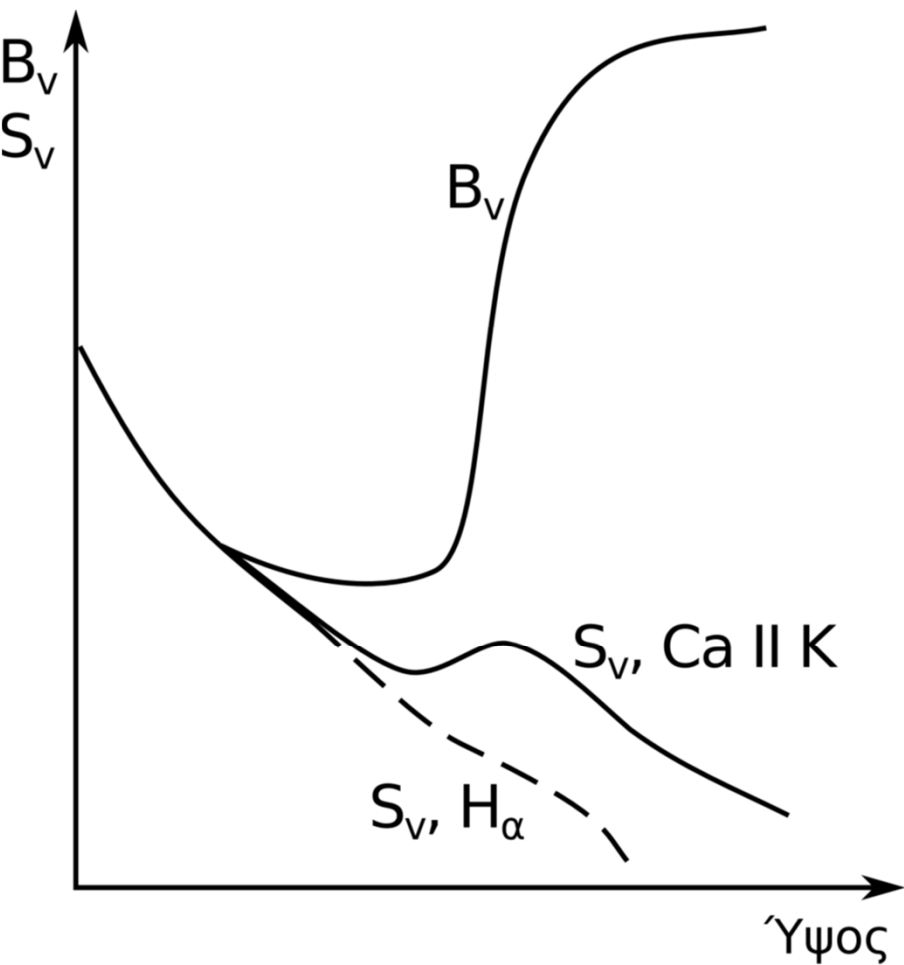


Γραμμές Mg II k,h στο υπεριώδες.

Παρουσιάζουν εκπομπή στο κέντρο και

απορρόφηση στις πτέρυγες.

Vernazza, Avrett, Loeser, 1981, ApJS



Οι γραμμές της χρωμόσφαιρας είναι σε απορρόφηση αν και η θερμοκρασία ανεβαίνει. Το πλάσμα δεν είναι σε ΤΘΙ και η συνάρτηση πηγής S_V είναι μικρότερη του $B_V(T)$ επειδή η πυκνότητα είναι μικρότερη, δεν έχουμε ισορροπία ακτινοβολίας και πλάσματος. Υπάρχουν διαφορές στα προφίλ των γραμμών ανάλογα με την δομή που παρατηρούμε.

Διάγνωση της Χρωμόσφαιρας στην γραμμή
H α του υδρογόνου (γραμμή Balmer $n=2 \rightarrow n=3$)

Στην πτέρυγα φαίνεται η φωτόσφαιρα (κοκκίαση)
Στο κέντρο η χρωμόσφαιρα. Εικόνες τηλεσκοπίου
SST Κανάρια νησιά, όργανο CRISP 25/06/2010

Elisabeth Jordahl Master thesis 2013, University of Oslo,
<https://www.duo.uio.no/bitstream/handle/10852/40911/Masteroppg.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

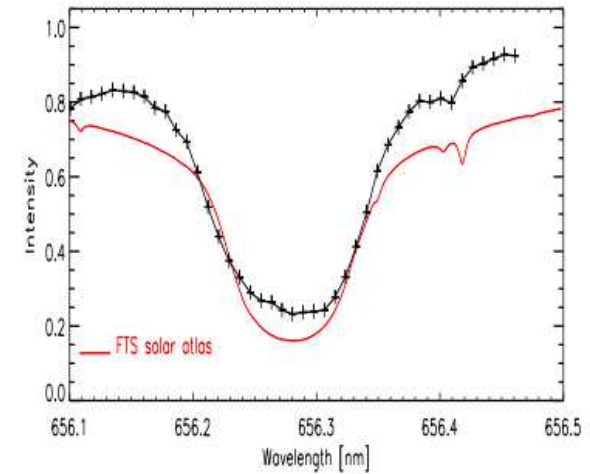
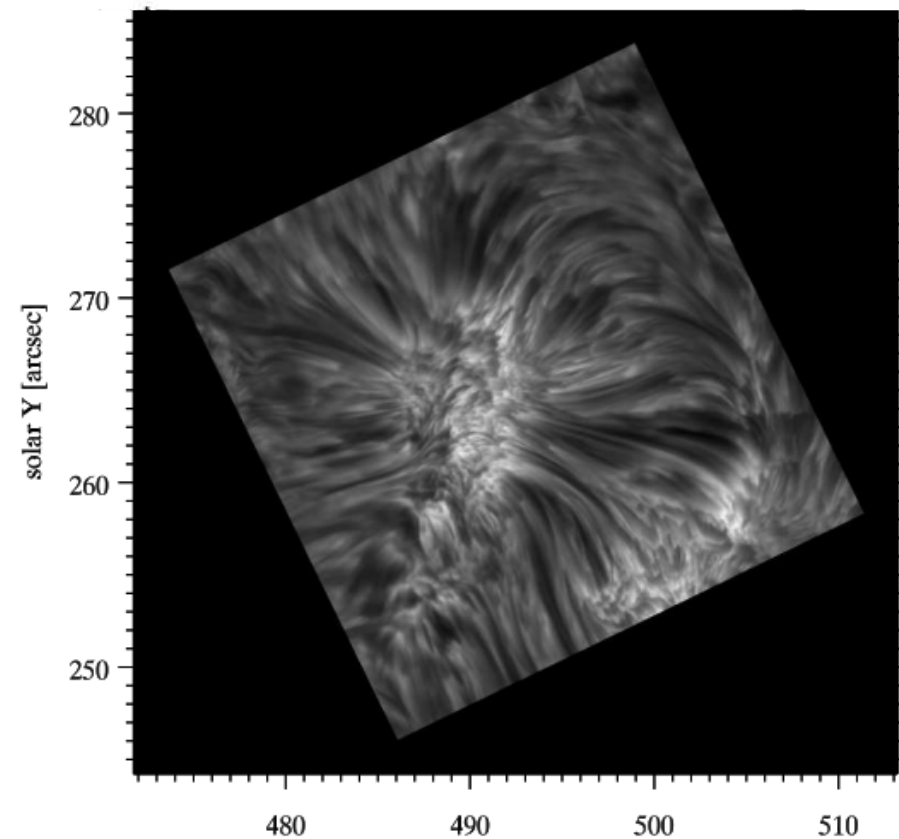
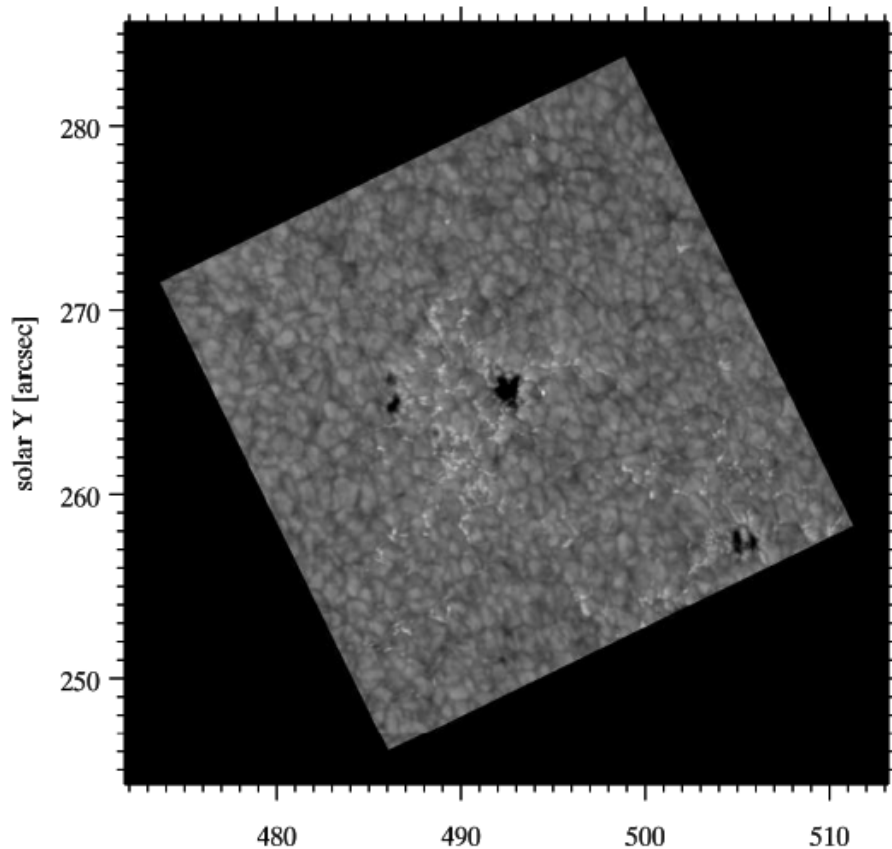


Figure 1.9: Atlas of H- α 's line profile (red), along with a actual line profile from the H- α X-T plot (black) in Fig. 2.7. Plus signs mark CRISP wavelength sampling points. The atlas uses normalized intensity. For more on the FTS solar atlas, see Brault and Neckel (1987).



Συνιστώσες Ηλιακού Στέμματος

F-corona

Σκόνη που συσσωρεύεται γύρω από τον Ήλιο. Ανακλά το φως της φωτόσφαιρας
Καθώς και τις γραμμές Fraunhofer (από όπου έγινε κατανοητό πως το στέμμα είναι ηλιακό και όχι ...σεληνιακό, Jules Janssen 1871)

K-corona

Ελεύθερα ηλεκτρόνια του ιονισμένου αερίου σκεδάζουν (σκέδαση Thompson) το φως της φωτόσφαιρας.

E-corona

Εκπομπή φασματικών γραμμών ιονισμένων ιόντων.

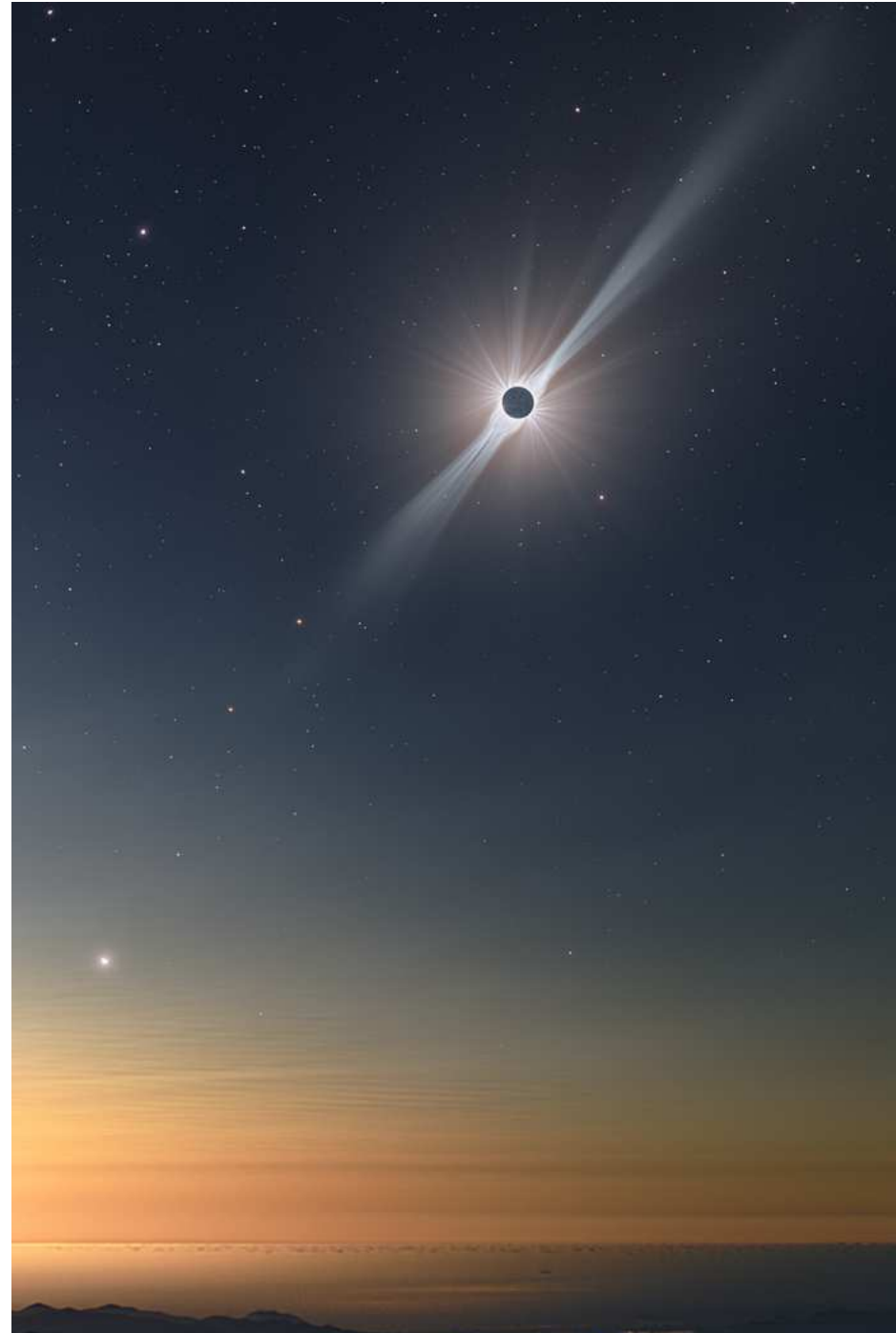
Γραμμές

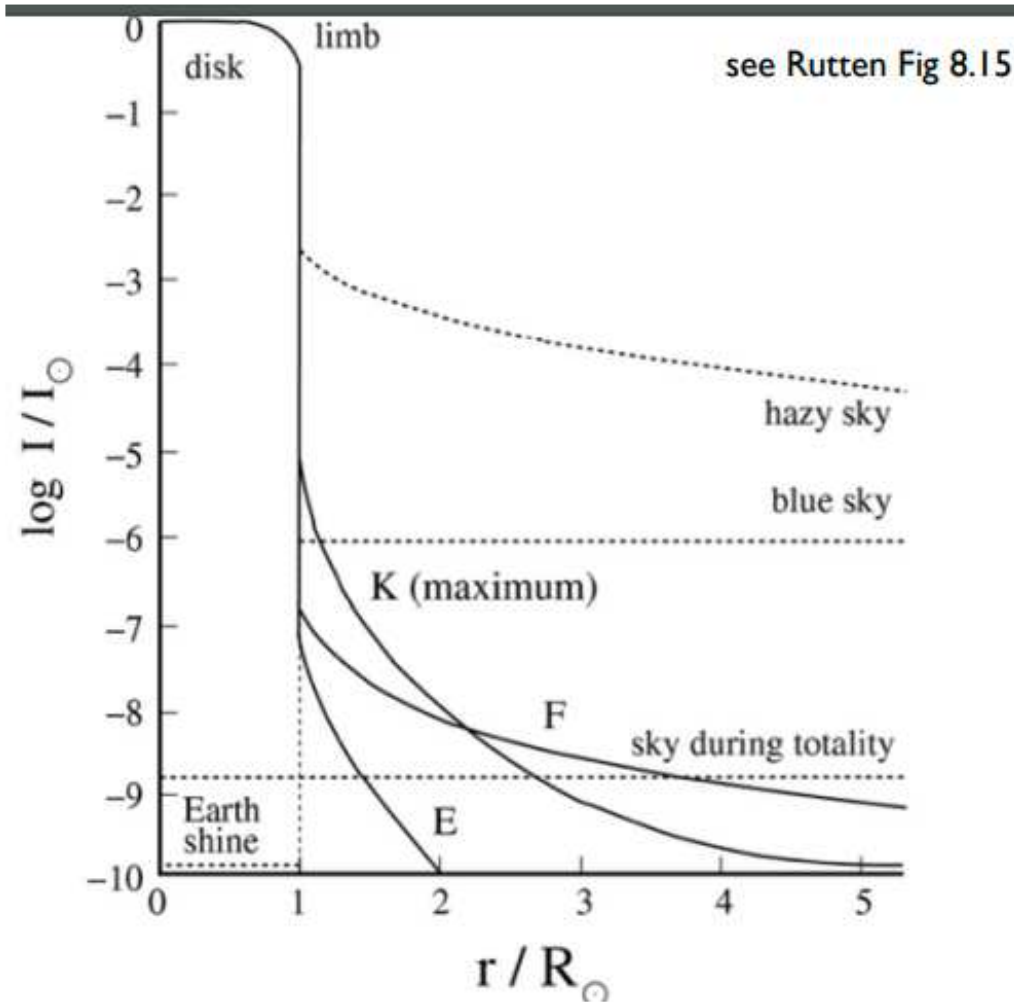
Fe XIV 5303Å, πράσινη γραμμή

Fe X 6317Å κόκκινη γραμμή

Φωτογραφία Nicolas Lefauveux (Χιλή)

<https://hdr-astrophotography.com/2019-eclipse-large-field-of-view/>





Μέση ένταση των συνιστωσών του στέμματος συναρτήσει της ακτίνας. 6 τάξεις μεγέθους μικρότερη ένταση από το δίσκο. Η K συνιστώσα πιο λαμπρή από καθαρό ουρανό (απαραίτητο για επίγειο στεμματογράφο).

Υπολογίστε την κλίμακα ύψους του στέμματος για $\mu=0.5$ (στο στέμμα το υδρογόνο είναι πλήρως ιονισμένο) και $T=1000000\text{K}$ και για την επιφανειακή επιτάχυνση της βαρύτητας.

Έκλειψη του 1869 :

(Harkness & Young) **Πράσινη γραμμή 5303 Å.**

Έκλειψη του 1871 :

J. Janssen παρατηρεί γραμμές Fraunhofer στο φάσμα του στέμματος (F-corona).

Το στέμμα τμήμα του Ήλιου

Lockyer : στεμματικές δομές σε ύψος 500 000 km
(ένδειξη της θερμοκρασίας που αγνοήθηκε)

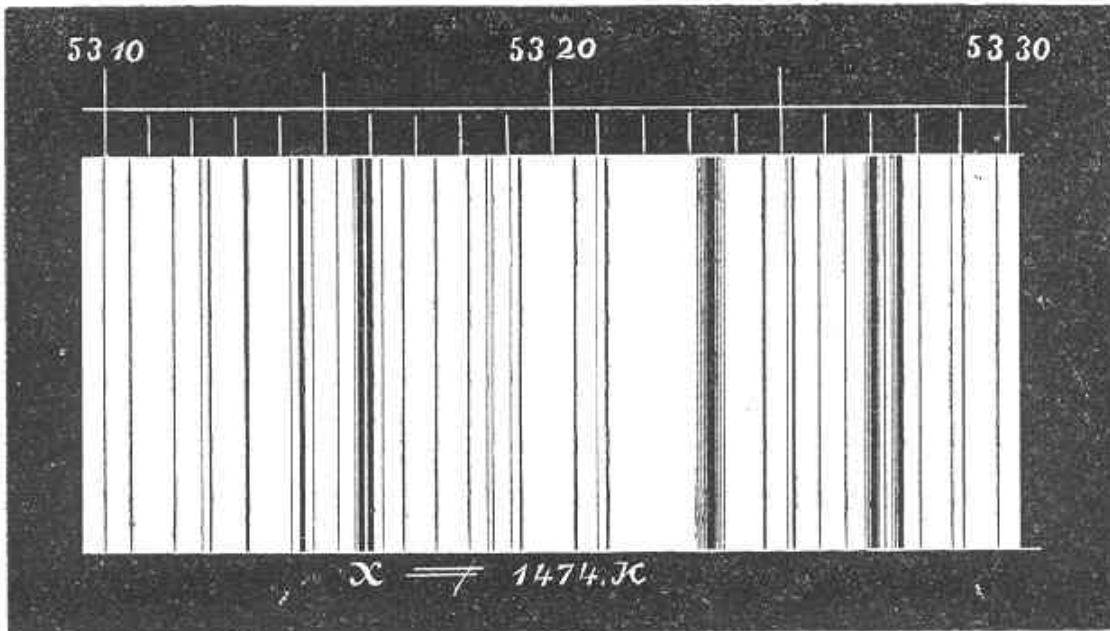
κλίμακα ύψους

$$h = kT/\mu m_H g$$

.



12th December 1871
(From Lord LINDSAY'S Photographs)



Έκλειψη 1869
 (Harkness & Young)
Πράσινη γραμμή
5303 Å.

Lyot (1930) με στεμματογράφο, εύρος γραμμής 5303Å αντιστοιχεί σε 600 000 Kelvins

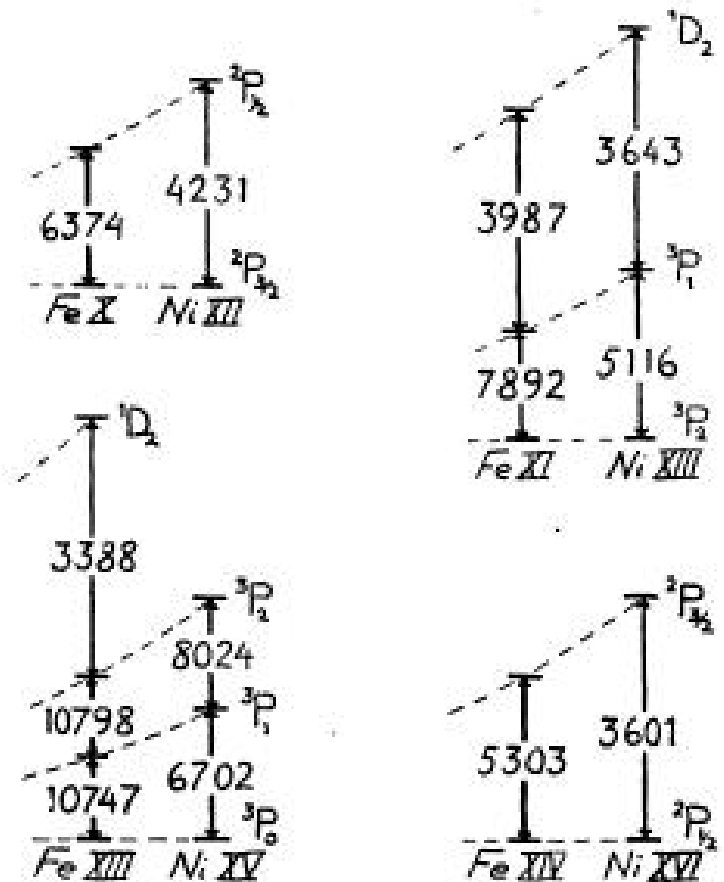
B. Edlén 1943

W. Grotrian 1939 (Fe X 6374 Å κόκκινη)

Alfven 1941

Από το Great moments in the History of Solar Physics Paul Charbonneau

Δυναμικό ιονισμού Fe XIII = 335 eV
 Και η αντίστοιχη θερμοκρασία...



Μεταβατική περιοχή

Περιοχή επαφής μεταξύ χρωμόσφαιρας στέμματος.

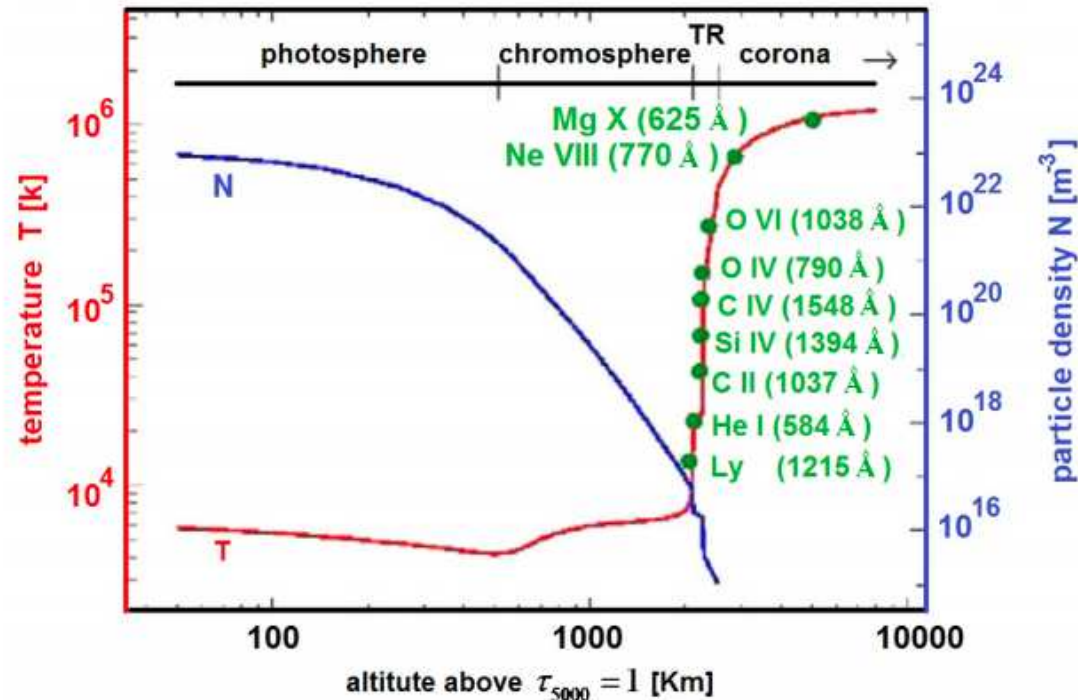
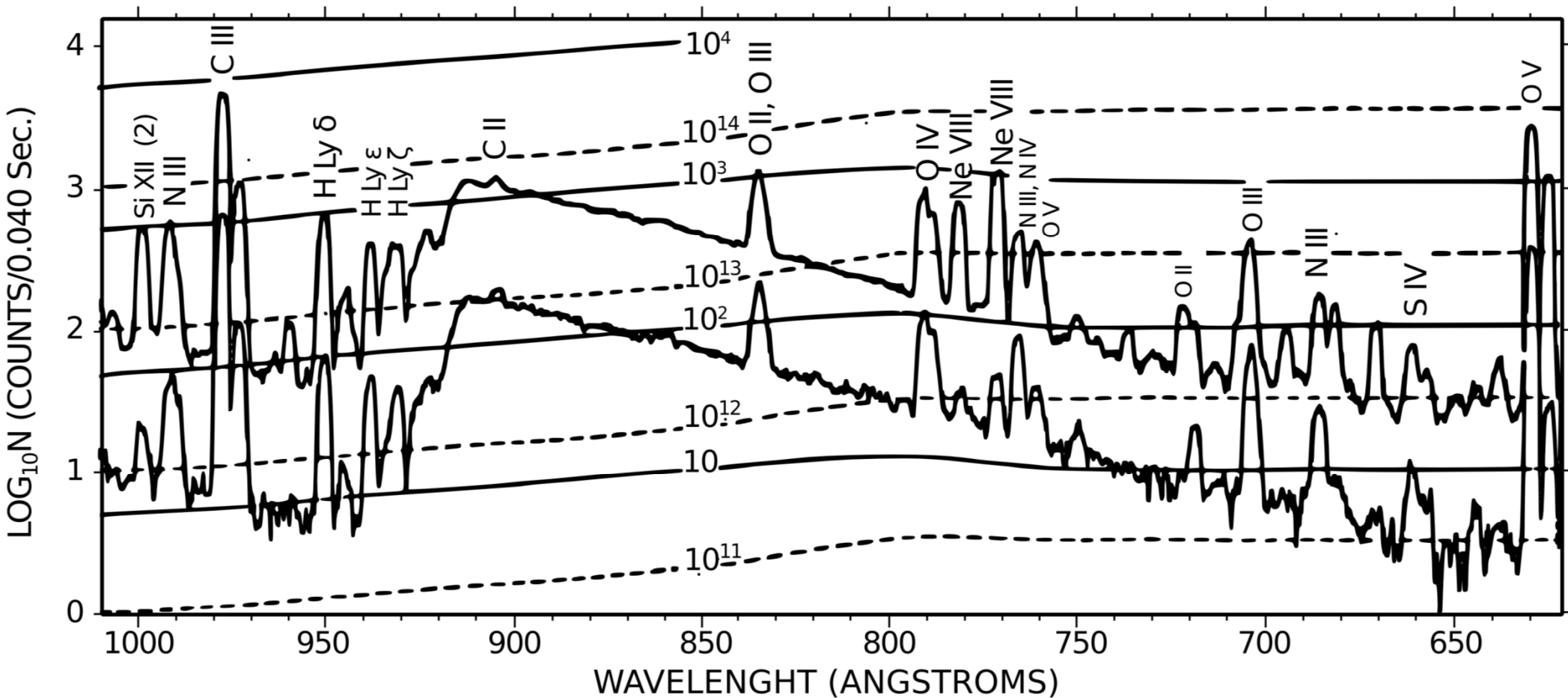


Figure 1.2: Temperature and density structure of the Sun's atmosphere with respect to height in a 1-D model. The density decreases and the temperature increases with increasing distance from the surface of the Sun ($\tau_{5000} = 1$). At the top of the chromosphere temperature reaches 20000 K. Passing through a very thin layer called transition region (TR), the temperature rises by a factor of 100 and keeps increasing afterward in the corona. Some of the ions that are forming at transition region temperatures are shown in the figure (from Peter 2004, Tian et al. 2010).

Μεταβατική περιοχή

Φάσμα της μεταβατικής περιοχής:

Γραμμές εκπομπής στο υπεριώδες από ιόντα (O III,IV,V, C II,III, N κλπ)



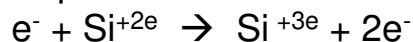
Μεταβατική περιοχή (και στέμμα)

Σχηματισμός φασματικών γραμμών μεταβατικής ζώνης και στέμματος (οπτικό - έως υπεριώδεις-ακτίνες X)

Οπτικά λεπτό πλάσμα ($\tau_v < 1$)

Σχηματισμός ιόντων σε στενή περιοχή θερμοκρασίας

Παράδειγμα τα ιόντα πυριτίου:

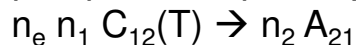


Χρόνοι ιονισμού και επανασύνδεσης της τάξης των 100 s.

Εκπομπή φωτονίων σε ιόν δυο

ενεργειακών επιπέδων 1, 2 (έστω πως η 1 είναι η βασική, γραμμές συντονισμού resonance). Διέγερση $1 \rightarrow 2$ με κρούσεις ηλεκτρονίων-ιόντων και αυθόρμηση εκπομπή φωτονίων.

Οι μικροσκοπικές διεργασίες σε ισορροπία (όταν δεν μεταβάλλονται με τον χρόνο:



n_e : πυκνότητα ηλεκτρονίων,

n_1, n_2 : οι πυκνότητες των δυο ενεργειακών επιπέδων

$A_{21} \sim 1 \cdot 10^{-8} \text{ s}$ ο συντελεστής αυθόρμητης εκπομπής, χρόνοι κρούσεις της τάξης των $1 \cdot 10^{-3} \text{ s}$:

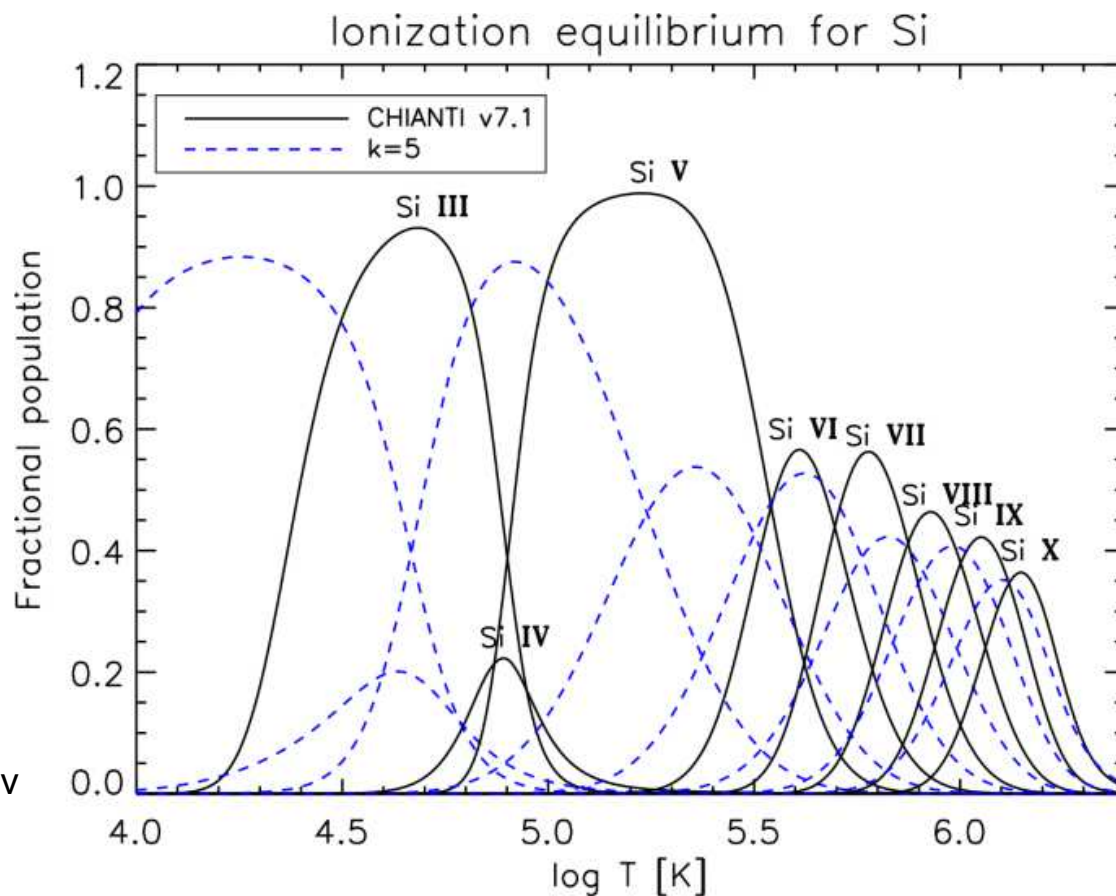
$$C_{12}(T) = 9.6 \cdot 10^{-6} T^{(-0.5)} (\Omega_{12}/g_1) \exp(-\Delta E_{12}/kT) \text{ [cm}^{-3} \text{ s}^{-1}]$$

συντελεστής κρούσεων ηλέκ. ιόντων προκύπτει από ολοκλήρωση της διατομής σκέδασης στην κατανομή ταχυτήτων Maxwell. $\Omega_{12} \sim 1$ ισχύς κρούσεων, g_1 στατ. Βάρος.

Εκπομπή $j_{1,2} = n_e n_1 C_{12}(T)$ και ειδική ένταση $I_{1,2} = \int j_{1,2} dl$ όπου dl πάχος ατμόσφαιρας στο μήκος της γραμμής παρατήρησης. Στην ανώτερη ατμόσφαιρα, για κάθε ιόν ισχύει πως $n_1 \sim n_e$ έτσι $I_{1,2} \sim \langle n_e^2 \rangle L$.

Το μέγεθος Μέτρηση εκπομπής (Emission Measure) $EM = n_e^2 L$

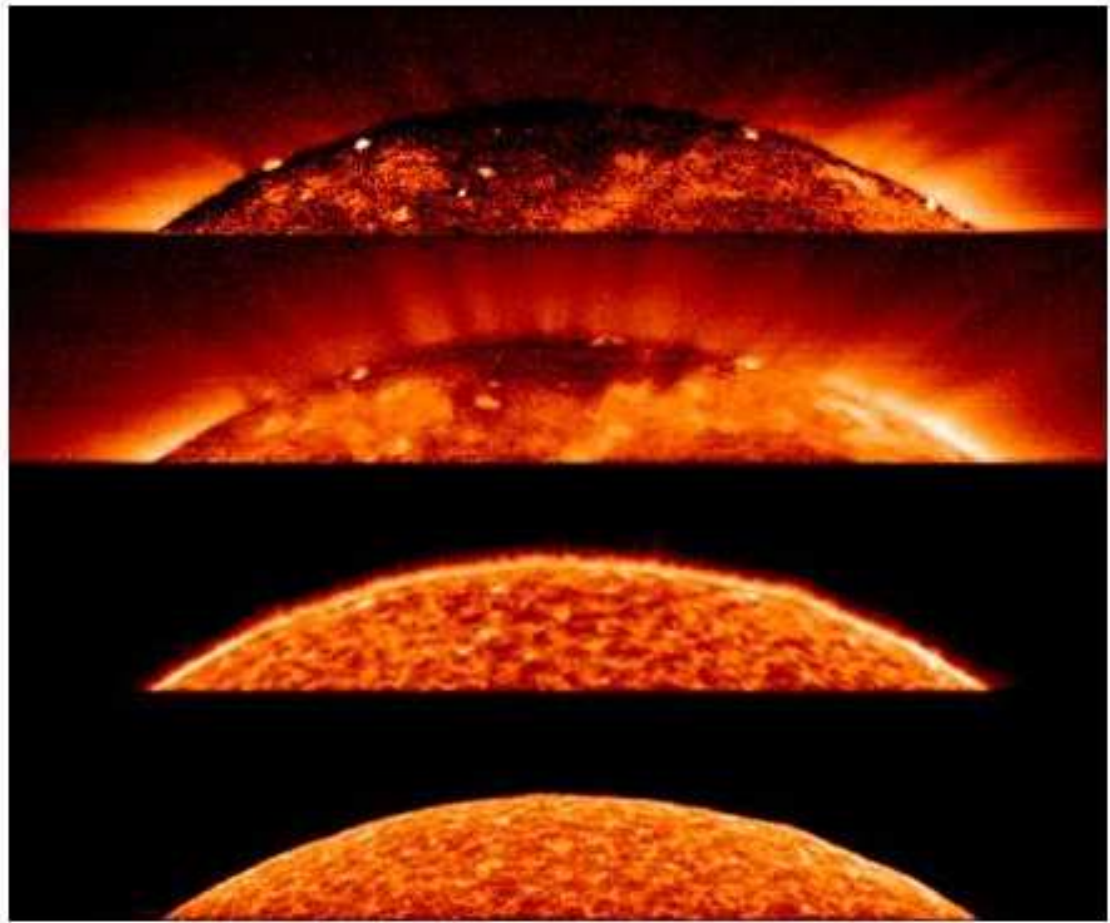
Αποτέλεσμα: Φαινόμενο λάμπρυνσης χείλους και αναλογία έντασης με πυκνότητα επί L .



del Zanna, Mason, 2018 Living Reviews in Sol. Phys

Ηλιακή ατμόσφαιρα, στον βόρειο ηλιακό πόλο σε φασματικές γραμμές του μακρινού υπεριώδους. Από κάτω προς τα πάνω φαίνεται η χρωμόσφαιρα (C I 1249.4Å, θερμοκρασία σχηματισμού $T < 1.5 \times 10^4$ K) μεταβατική περιοχή (N V 1238.8Å $T = 1.5 \times 10^5$ K) και στέμμα (Mg X 624.9Å, $T = 1.1 \times 10^6$ K, Fe XII 1241.9Å, $T = 1.5 \times 10^6$ K). Η λάμπρυνση χείλους φαίνεται στις εικόνες της M.Π και του στέμματος. Στις στεμματικές εικόνες φαίνεται η βόρεια στεμματική οπή σαν σκοτεινή περιοχή. Το χρωμοσφαιρικό δίκτυο εμφανίζεται στις γραμμές των C I και N V. Στην γραμμή N V φαίνονται στο χείλος ακίδες (spicules). Στις στεμματικές γραμμές φαίνονται πολικά φτερά (plumes) ακτινικές δομές που ξεκινούν από την στεμματική οπή.

Παρατήρηση του φασματογράφου SUMER του δορυφόρου SOHO (Τεχνικά στοιχεία: η παρατήρηση γίνεται με σάρωση του Ήλιου σε άξονα παράλληλο με τον ηλιακό ισημερινό, με την σχισμή του SUMER, κάθετη στον άξονα σάρωσης, να καταγράφει ταυτόχρονα μια μεγάλη φασματική περιοχή περίπου 1235Å-1245Å, η γραμμή του Mg X παρατηρείται στην δεύτερη τάξη του φάσματος, στο $\lambda = 2 \times 624.9\text{Å}$).



Anatomy of a coronal hole - Radiance maps in different emission lines (top to bottom):
The Fe XII (1241.990 Å) exposure outlines the coronal hole boundaries.
The Mg X (624.965 Å) image highlights the polar plumes and coronal bright points.
Spicules and a pronounced limb brightening can be seen in N V (1238.821 Å).
The C I (1249.405 Å) image shows the chromospheric network (ESA SP-1274, 2003).