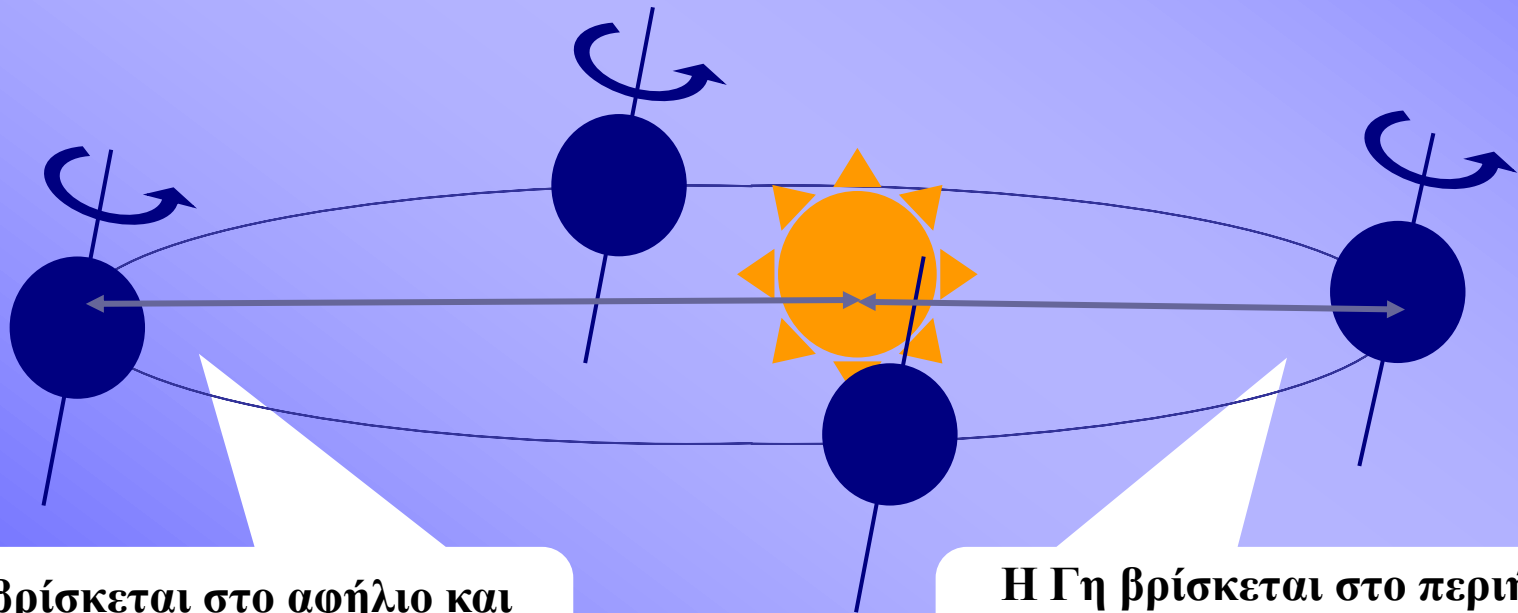


ΣΤΑ ΜΟΝΟΠΑΤΙΑ ΤΟΥ ΗΛΙΟΥ



Ο Ήλιος είναι ένα κοινό αστέρι της Κυρίας Ακολουθίας, (νάνος αστέρας) **φασματικού τύπου G2V** και **ενεργού θερμο-κρασίας 5780 K**. Η απόστασή του από τη Γη κυμαίνεται μεταξύ 147.000.000 - 152.000.000 Km. Η μέση τιμή της απόστασης αυτής, δηλαδή **η μέση απόσταση Γης-Ήλιου** μας παρέχει μία άλλη μονάδα μέτρησης των διαπλανητικών αποστάσεων, που ονομάζεται **αστρονομική μονάδα**:

Αστρονομική Μονάδα (1A.U) = $149,6 \times 10^6 \text{ Km}$



Η Γη βρίσκεται στο αφήλιο και
απέχει από τον Ήλιο
152.000.000 Km

Η Γη βρίσκεται στο περιήλιο
και απέχει από τον Ήλιο
147.000.000 Km

Η ΗΛΙΚΙΑ ΤΟΥ ΗΛΙΟΥ

Θεωρώντας ότι η χημική σύσταση του πριν από τις θερμοπυρηνικές αντιδράσεις ήταν:

72% H,

26% He,

2% ΜΕΤΑΛΛΑ

ενώ έχοντας υπολογίσει ότι η σημερινή περιεκτικότητα του πυρήνα του σε υδρογόνο H είναι

36% H,

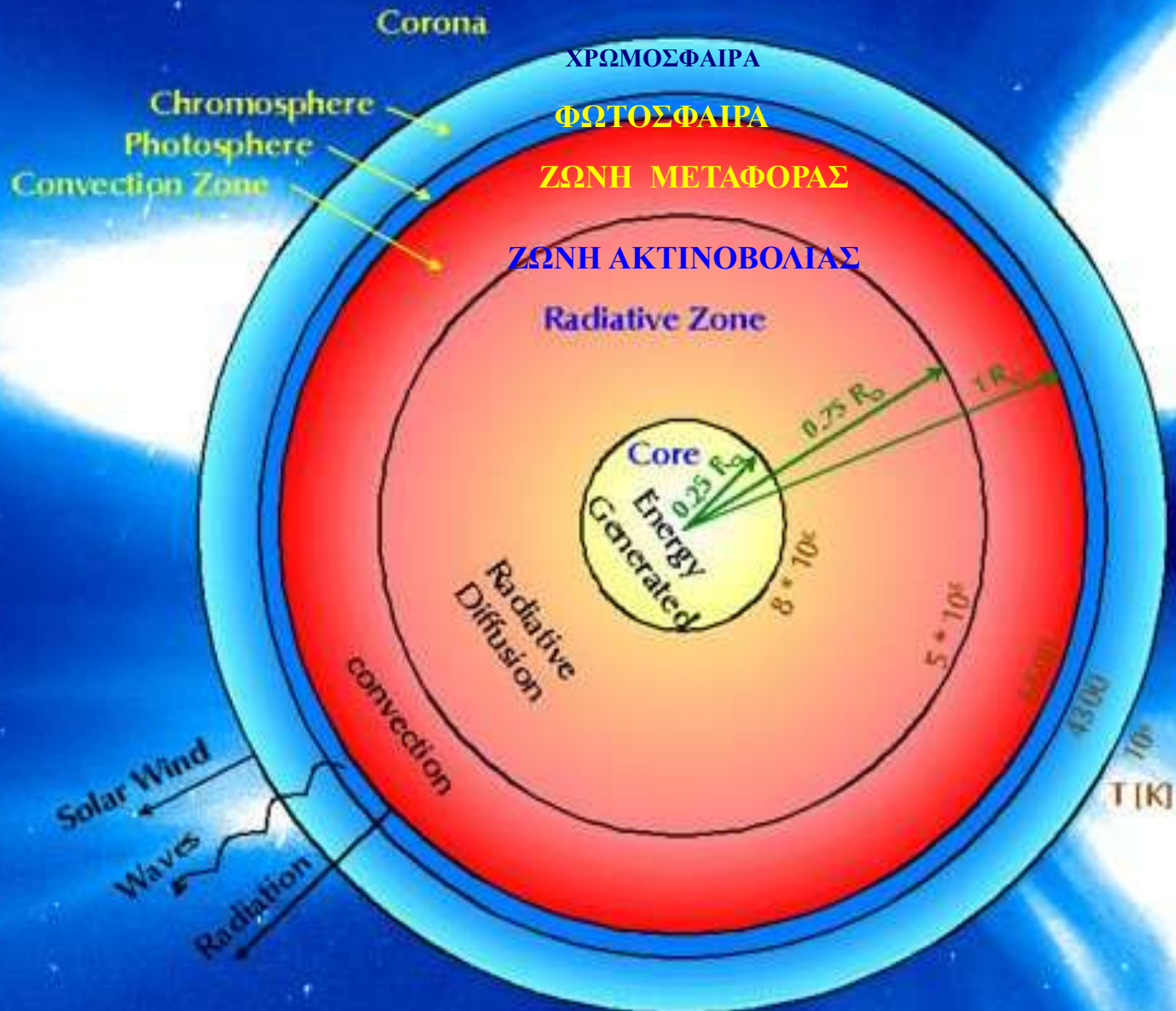
και γνωρίζοντας επιπλέον τους ρυθμούς καύσης του υδρογόνου H, συμπεραίνουμε ότι η ηλικία του Ήλιου είναι

$$t = 4,5 \times 10^9 \text{ years}$$

Η **χρόνος παραμονής του Ήλιου στην κυρία ακολουθία** μπορεί να προκύψει από την περιεκτικότητά του σε υδρογόνο σε συνδυασμό με τις αλλαγές που υφίστανται στη δομή ενός αστέρα κατά την καύση του στοιχείου αυτού, και είναι:

$$t_{KA} = 9 \times 10^9 \text{ years}$$

ΣΤΕΜΜΑ





Διάμετρος = $1,392 \cdot 10^6$ Km,
Επιφάνεια $S = 6,087 \times 10^{12}$ km²
Όγκος $V = 1,412 \times 10^{18}$ Km³



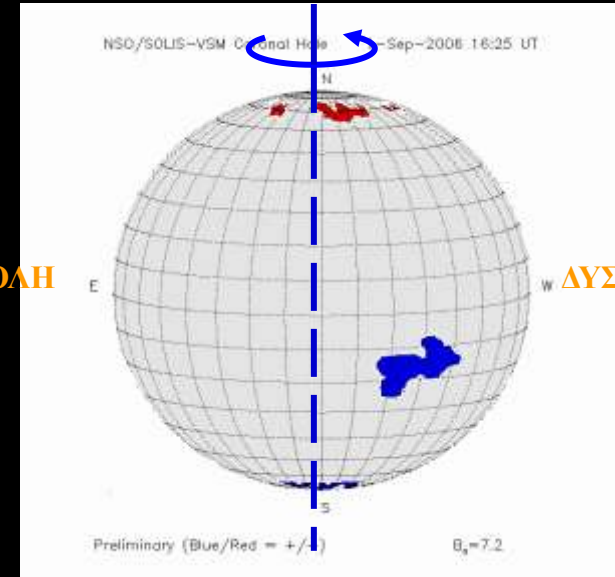
Η βαρύτητα στην επιφάνεια του άστρου είναι πολύ μεγάλη, ως αποτέλεσμα της μεγάλης μάζας του, και ισούται με **27,9 φορές τη γήινη βαρύτητα.**

Το φαινόμενο οπτικό μέγεθος του Ήλιου είναι **$m_v = -26,8$,**

δηλαδή ο Ήλιος αποτελεί το πιο λαμπρό αστέρι για τη Γη (αλλά και για όλους τους πλανήτες του πλανητικού μας συστήματος) και η **φαινόμενη διάμετρος** του είναι **$\varphi = 32'$.**

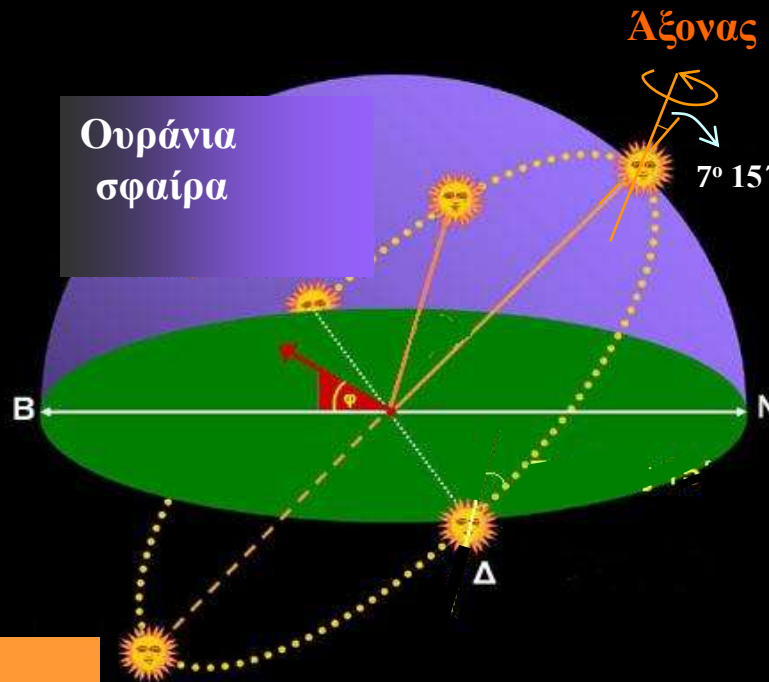
Οι δείκτες χρώματος του είναι **$B-V = 0,7$ και $U-V = 0,8$.**

Η περιστροφή του Ήλιου γύρω από τον άξονα του αποτελεί επίσης ένα από τα φυσικά χαρακτηριστικά του. Ο Ήλιος περιστρέφεται κατά την ορθή φορά (αντίθετα δηλαδή προς την κίνηση των δεικτών του ρολογιού),



ΑΝΑΤΟΛΗ

ΔΥΣΗ



Άξονας περιστροφής

Ο άξονας περιστροφής του σχηματίζει γωνία ω με τον άξονα της εκλειπτικής

$$\omega = 7^\circ 15'$$

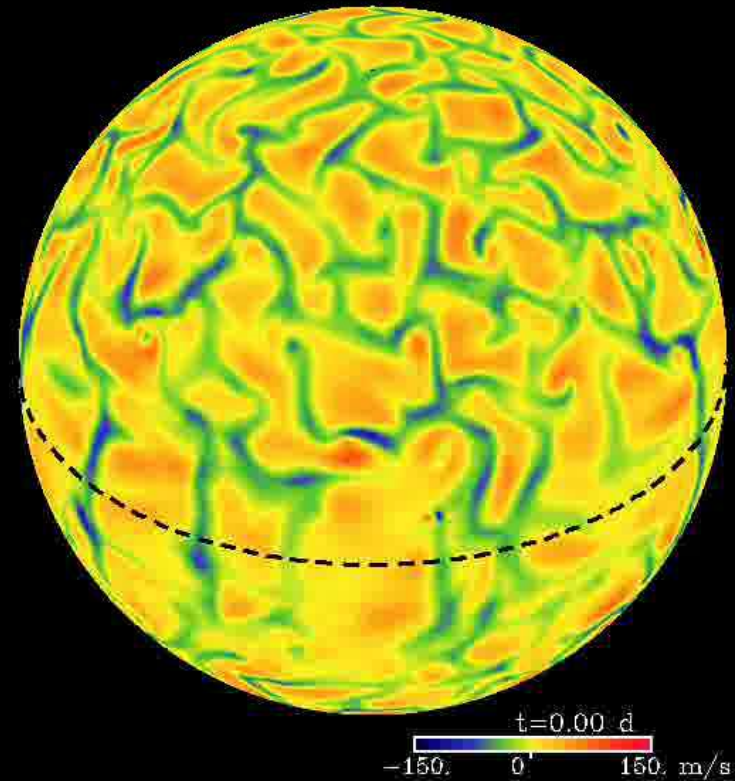
Εκλειπτική

Διαφορική περιστροφή

(Περιγραφή φαινομένου ανάλογα με το ηλιογραφικό πλάτος)

Από τις μέχρι σήμερα παρατηρήσεις, έχουμε διαπιστώσει πως η ταχύτητα περιστροφής του Ήλιου μεταβάλλεται ανάλογα με το ηλιογραφικό πλάτος. Έτσι οι ζώνες που βρίσκονται κοντά:

- στους ηλιακούς πόλους περιστρέφονται αργά
(ΜΕΓΑΛΑ ΗΛΙΟΓΡΑΦΙΚΑ ΠΛΑΤΗ) → 34 days
- στον ισημερινό περιστρέφονται γρήγορα
(ΜΙΚΡΑ ΗΛΙΟΓΡΑΦΙΚΑ ΠΛΑΤΗ) → 25 days



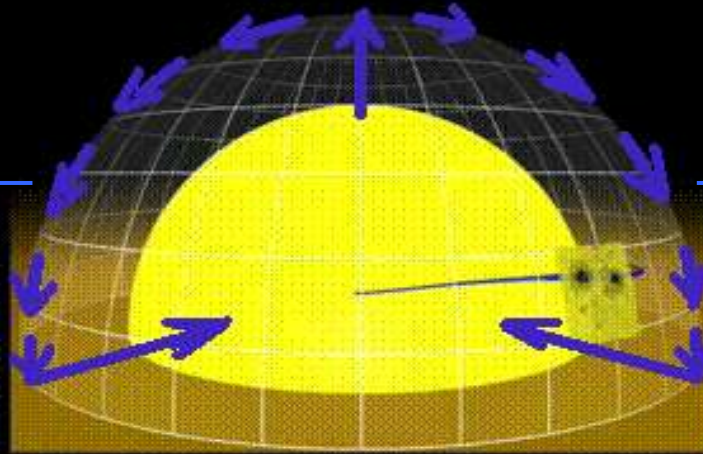
Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται **διαφορική περιστροφή του Ήλιου** και μαζί με το μαγνητικό πεδίο του Ήλιου είναι τα αίτια της δημιουργίας πολλών ηλιακών φαινομένων.

Όπως έχει αποδειχθεί, η **γωνιώδης ταχύτητα (Ω) του Ήλιου**, συναρτήσει του ηλιογραφικού πλάτους (ϕ), δίνεται από τη σχέση:

$$\Omega = 14,38^\circ - 2,77\phi$$

Το αίτιο της διαφορικής περιστροφής του Ήλιου δεν έχει διαπιστωθεί ακόμα, όμως, σύμφωνα με θεωρητικές απόψεις, αυτό συνίσταται στο ότι οι ηλιακές στιβάδες που βρίσκονται κάτω από τη φωτόσφαιρα είναι πιο θερμές στους πόλους απ' ότι στον ισημερινό. Έτσι, οι ηλιακές μάζες ανυψώνονται στην περιοχή των πόλων και στη συνέχεια κινούνται προς τον ισημερινό, όπου και βυθίζονται προς το εσωτερικό του Ήλιου.

ΚΙΝΗΣΗ ΡΕΥΜΑΤΩΝ
ΗΛΙΑΚΟΥ ΡΕΥΣΤΟΥ
ΑΠΟ ΤΟΥΣ ΠΟΛΟΥΣ
ΠΡΟΣ ΤΟΝ
ΙΣΗΜΕΡΙΝΟ
ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΩΝ
ΗΛΙΑΚΩΝ
ΜΕΣΗΜΒΡΙΝΩΝ



ΚΙΝΗΣΗ ΡΕΥΜΑΤΩΝ
ΗΛΙΑΚΟΥ ΡΕΥΣΤΟΥ
ΑΠΟ ΤΟΥΣ ΠΟΛΟΥΣ
ΠΡΟΣ ΤΟΝ
ΙΣΗΜΕΡΙΝΟ
ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΩΝ
ΗΛΙΑΚΩΝ
ΜΕΣΗΜΒΡΙΝΩΝ

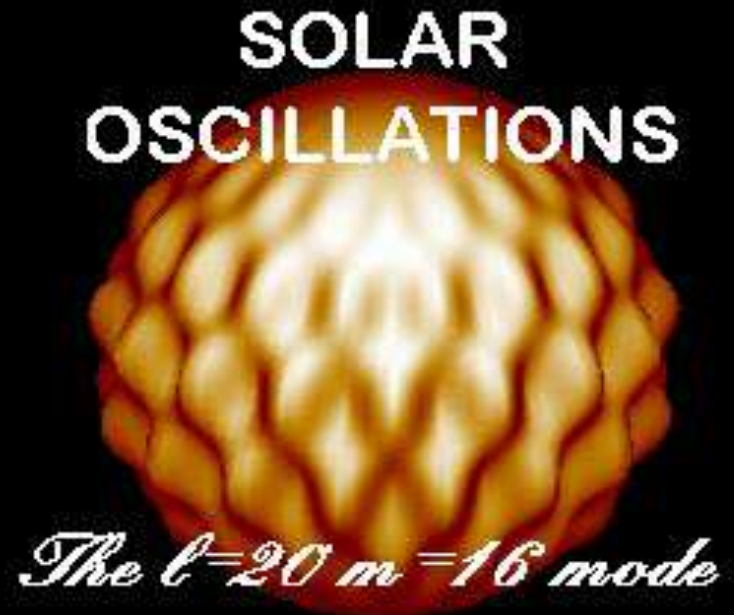
Σύμφωνα με τη θεωρία αυτή, η διαφορική περιστροφή του Ήλιου θα μπορούσε να θεωρηθεί ως ένα δευτερεύον αποτέλεσμα της δημιουργίας αυτών των μεσημβρινών ρευμάτων. (Ωστόσο στην πράξη, δεν έχουμε παρατηρήσει διαφορετικές θερμοκρασίες στους πόλους και στον ισημε-ρινό).

Ο αριθμός των νετρίνο που προέρχονται από τον Ήλιο, είναι πολύ πιο μικρός από τον θεωρητικά προβλεπόμενο. Έτσι ανακαλύψουμε ότι μία αρκετά εκτεταμένη κεντρική σφαιρική περιοχή του Ήλιου, περιστρέφεται γύρω από τον άξονα περιστροφής πολύ πιο γρήγορα απ' ό,τι τα εξωτερικά του στρώματα. Δηλαδή έχουμε μία **διαφορική περιστροφή** του Ήλιου που δεν μεταβάλλεται μόνο με το ηλιογραφικό πλάτος αλλά και **με το βάθος**.

Ακόμα έχουμε ανακαλύψει ότι, μία εξωτερική περιοχή της ηλιακής σφαίρας πάχους περίπου 10.000 km πάλλεται (**ανάπαλση**), με αποτέλεσμα το πάχος της ν' αυξομειώνεται κατά 25 km / 5 min.

Πιθανό αίτιο: τα περιοδικά κύματα πίεσης, που δημιουργούνται εξαιτίας του αναβρασμού της ζώνης μεταφοράς.

Στον Ήλιο παρατηρείται ακόμα μία **ταλάντωση με περίοδο $T=2\text{h } 40'$** , που πιθανότατα οφείλεται σε μία περιοδική μεταβολή του ρυθμού της αντίδρασης πρωτονίου - πρωτονίου στον πυρήνα του Ήλιου.



ΗΛΙΑΚΗ ΣΤΑΘΕΡΑ

ο Ήλιος παράγει στο εσωτερικό του ενέργεια η οποία διαδίδεται στον περιβάλλοντα χώρο του. Έτσι ένα μέρος της ακτινοβολίας του καταλήγει και στη Γη, ίσο με:

$$1.500.000 \text{ Hp} / \text{Km}^2$$

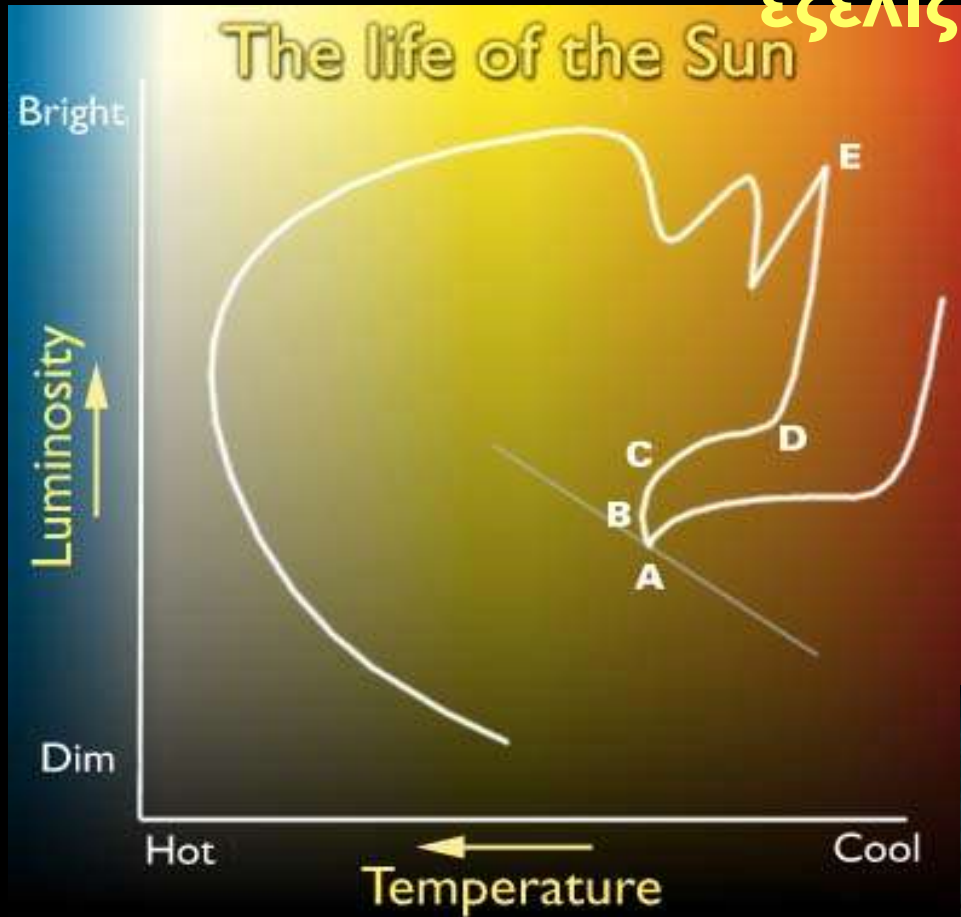
Υπολογίζουμε σήμερα, πως κάθε τετραγωνικό εκατοστό επιφάνειας τοποθετημένης κάθετα στις η-λιακές ακτίνες στα όρια της γήινης ατμόσφαιρας, δέχεται ανά sec, ροή ηλιακής ενέργειας:

$$S = \int_0^{\infty} F_{\lambda} d\lambda = 1,36 \times 10^6 \text{ erg} / \text{cm}^2 / \text{sec} = 1,3 \times 10^3 \text{ Watt/m}^2$$

Η ροή αυτή της ακτινοβολίας στη Γη ονομάζεται ηλιακή σταθερά και πρέπει να διατηρείται σταθερή. Αυτή, μπορεί να μετρηθεί επακριβώς με ειδικά όργανα και μας παρέχει με αυτό τον τρόπο έναν μέσο υπολογισμό της ηλιακής ενεργειας.

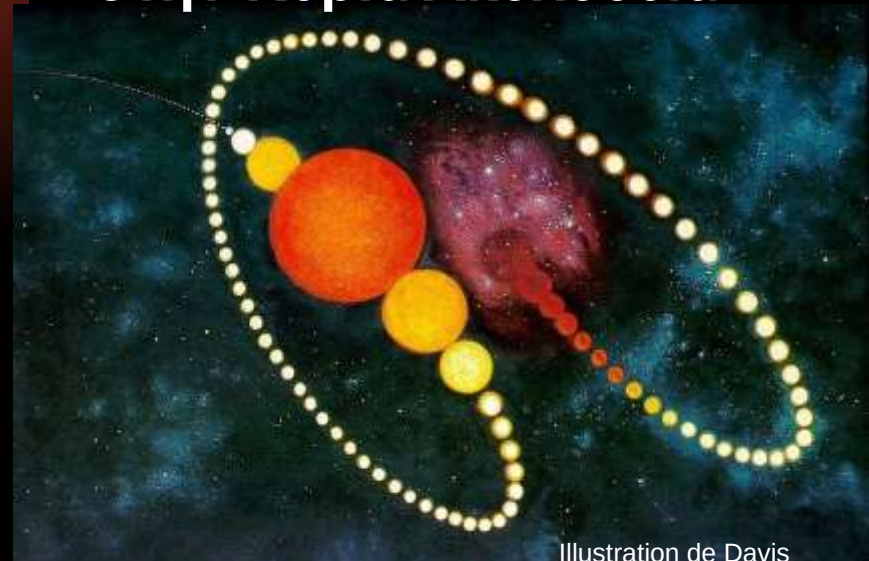
Ωστόσο, δεν είναι σταθερή αλλά υπόκειται σε περιοδικές διακυμάνσεις.

Θέση του Ήλιου στο διάγραμμα H-R και στάδια εξέλιξης

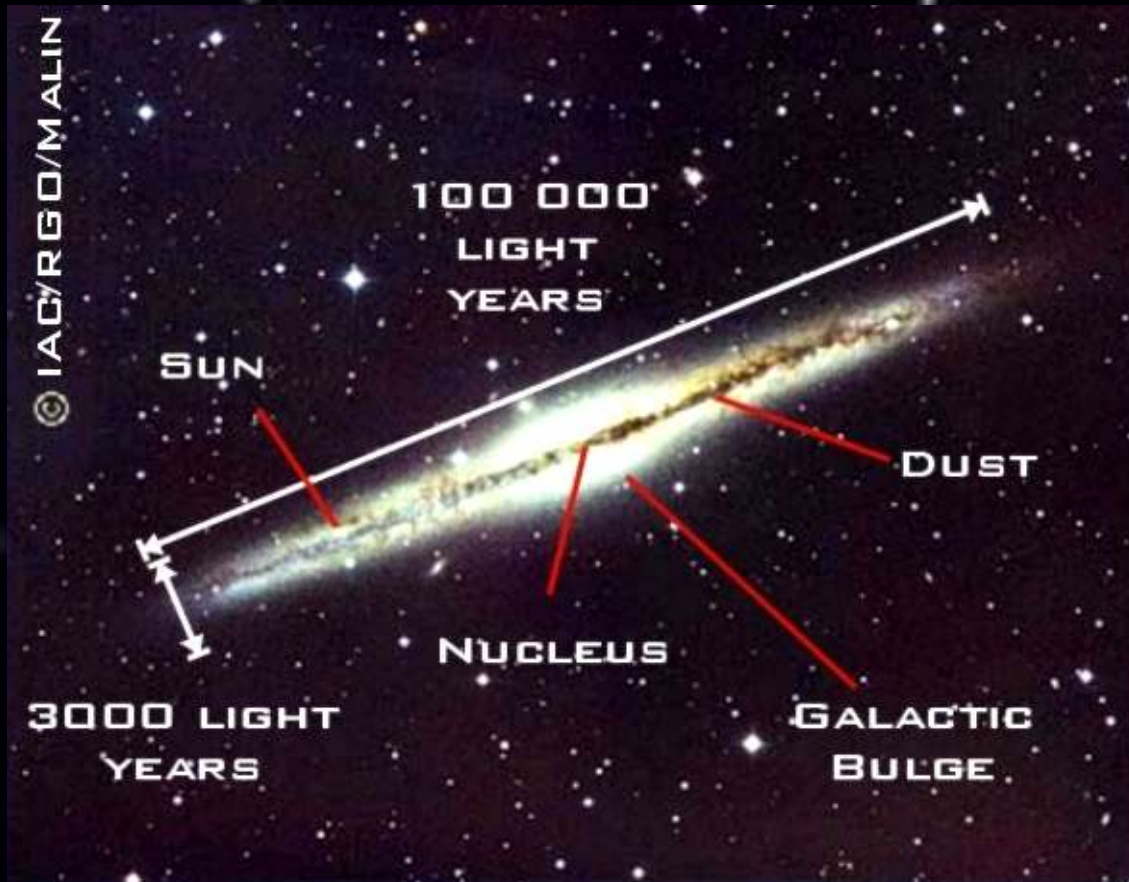
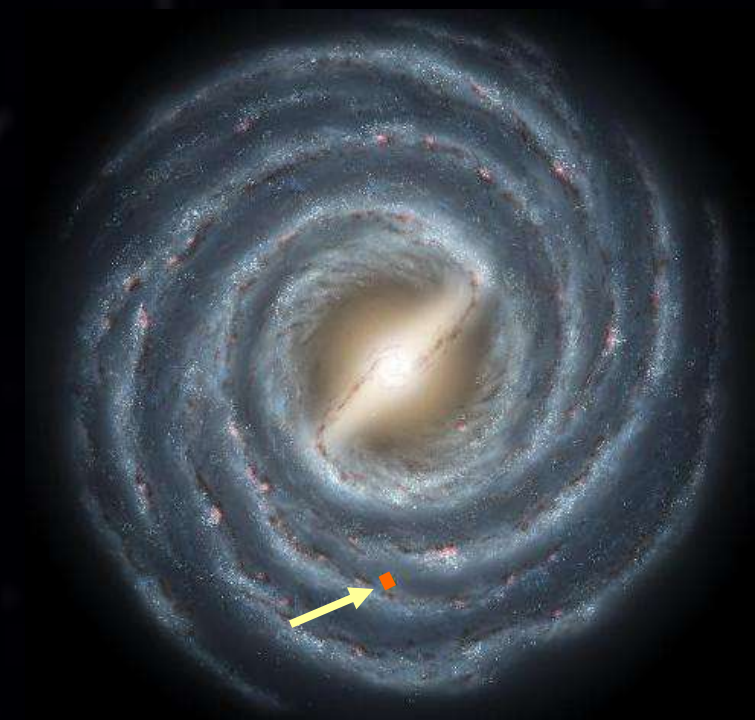


Η καμπύλη ΟΑ παριστάνει την παρελθοντική πορεία του Ήλιου και η ABCDE τη μελλοντική. Η σημερινή θέση του πάνω στο διάγραμμα H-R είναι η Α, δηλαδή ο Ήλιος βρίσκεται στην Κυρία Ακολουθία

(Στην κυρία ακολουθία θα παρα-μείνει όσο καίει το υδρογόνο του πυρήνα του)



Η ΘΕΣΗ ΤΟΥ ΗΛΙΟΥ ΣΤΟΝ ΓΑΛΑΞΙΑ ΜΑΣ

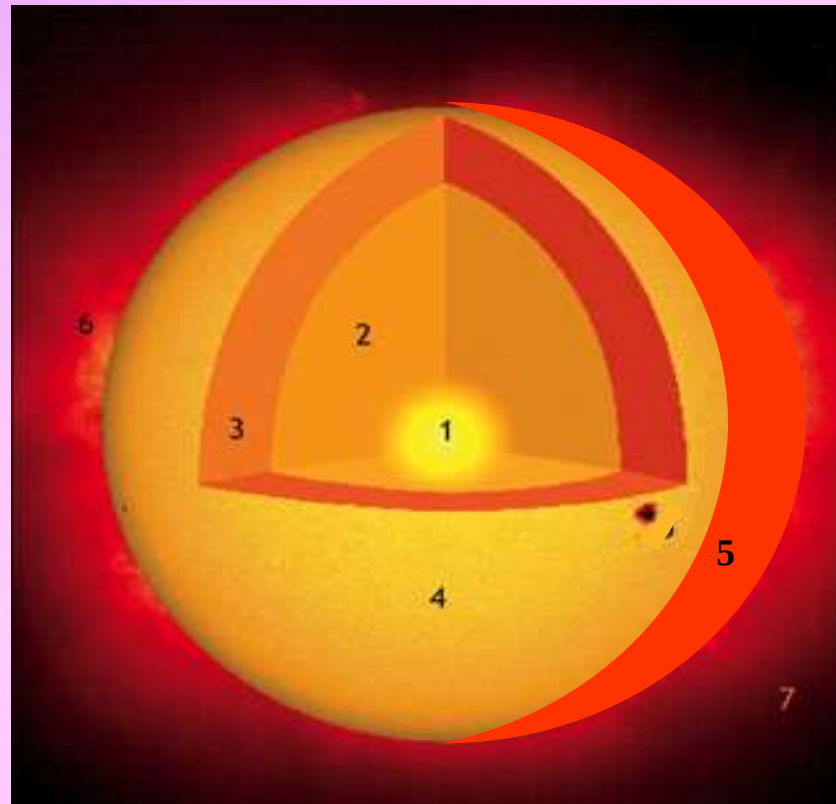


Ο Ήλιος βρίσκεται σε μία από τις σπείρες του Γαλαξία μας, στη σπείρα του Τοξότη και απ-έχει από το κέντρο του Γαλαξία 33.000 έτη φωτός.

ΤΑ ΣΤΡΩΜΑΤΑ ΤΟΥ ΗΛΙΟΥ

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

6. ΜΕΤΑΒΑΤΙΚΗ ΖΩΝΗ

Άνω στρώμα της χρωμόσφαιρας.

$T = 10.000 - 1.000.000 \text{ K}$

5. ΧΡΩΜΟΣΦΑΙΡΑ

Εκτείνεται έως 12.000 Km πάνω από τη Φωτόσφαιρα. Είναι πολύ αραιή, ελάχιστα λαμπρή και έχει πορτοκαλοκόκκινη λάμψη, που είναι ορατή μόνο στις ηλιακές εκλείψεις.

$T = 4.300 - 10.000 \text{ K}$

4. ΦΩΤΟΣΦΑΙΡΑ

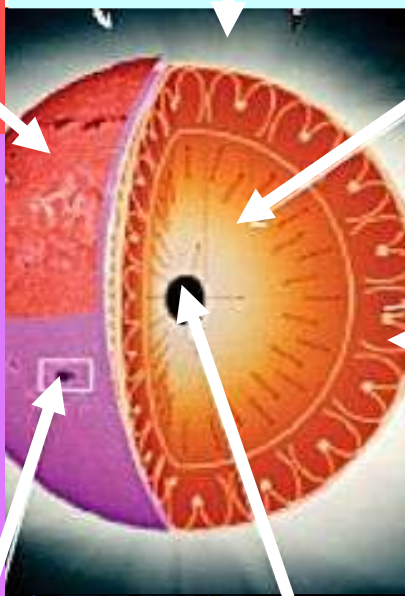
Επιφάνεια του ορατού Ήλιου. Εντοπίζε-ται στα τελευταία 500 Km ($\ll 0.1 R_{\odot}$), όπου **πέφτει πολύ γρήγορα η αδιαφάνεια** και η ενέργεια που φθάνει ως εκεί δε φρενάρει, αλλά διαχέεται στο περιβάλλον. Στη ζώνη αυτή όσο μετατοπιζό-μαστε προς τα έξω, έχουμε βαθμιαία μείωση της πυκνότητας.

Συμπεριφέρεται ως **ΜΕΛΑΝ ΣΩΜΑ** δίνοντας **ΣΥΝΕΧΕΣ ΦΑΣΜΑ ΕΚΠΟΜΠΗΣ θερμοκρασίας 5780K**. Στα τελευταία όμως χιλιόμετρα, όπου αυτή δε διαχωρί-ζεται από την ατμόσφαιρα, και όπου το υλικό είναι πολύ αραιό, θα έχουμε **ΓΡΑΜΜΕΣ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ**.

7. ΣΤΕΜΜΑ

Το Στέμμα αποτελεί το εξωτερικό τμήμα της ατμόσφαιρας του Ήλιου. Εκτείνεται έως αρκετές ηλιακές ακτίνες, $R_{\odot}$. Δεν είναι ορατό παρά μόνο στις ηλιακές εκλείψεις, ή με στεμματογράφους.

$T = 1 - 2.000.000 \text{ K}$



2. ΠΕΡΙΒΛΗΜΑ

Εκτείνεται έως $0.85 R_{\odot}$. Εδώ, η ενέργεια του πυρήνα μεταδίδεται **με ακτινοβολία** σε διάστημα 8.000 έως 80.000 ετών, καθώς αυτή απορροφάται από κάθε πυκνό στρώμα του περιβλήματος και επανεκπέμπεται στο επόμενο, ξανά και ξανά σε κάθε cm βάθους.

$T = 8.000.000 - 500.000 \text{ K}$

3. ΖΩΝΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ

Εκτείνεται από το Περίβλημα ως την επιφάνεια του ορατού Ήλιου. Η διάδοση της ενέργειας γίνεται **με μεταφορά** (με τα **ΔΙΝΟΡΕΥΜΑΤΑ**).

$T = 500.000 - 6.600 \text{ K}$

1. ΠΥΡΗΝΑΣ

Η ακτίνα του είναι περίπου ίση με το 25% της ηλιακής, $R_{\odot}$. Περιέχει το 10% της μάζας του Ήλιου. Η πίεση του ανέρχεται σε **$P = 1,3 \cdot 10^{15} \text{ dyn/cm} = 1,3 \cdot 10^9 \text{ atm}$** , ενώ η πυκνότητα του εκτιμάται γύρω στα **$\rho = 160 \text{ gr/cm}^3$** .

Από αυτόν ακτινοβολείται ενέργεια υπό μορφή φωτονίων, ακτίνων γ και ακτίνων X. καθώς και νετρίνο που απελευθερώνονται κατά την αντίδραση $p^+ - p^+$.

$T = 15.000.000 \text{ K}$

ΤΡΟΠΟΣ ΔΙΑΔΟΣΗΣ ΤΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΤΟΝ ΗΛΙΟΥ



Ακτινοβολία και
διάχυση

Μεταφορά
με τα
ανοδικά
ρεύματα

Ακτινοβολία



ΧΡΟΝΟΣ ΔΙΑΔΟΣΗΣ ΤΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΤΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΤΟΥ ΗΛΙΟΥ

(ποικίλει από στρώμα σε στρώμα)

Συνολικά για να φτάσει στη ζώνη μεταφοράς απαιτούνται 1.000.000 έτη.

Στη ζώνη μεταφοράς η ενέργεια από τα προηγούμενα στρώματα καθυστερεί μόνο κατά 2 μήνες προτού φτάσει την επιφάνεια του Ήλιου (φωτόσφαιρα), απ' όπου διαχέεται στα άλλα στρώματα της ατμόσφαιρας του.

Η ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ ΤΟΥ ΗΛΙΟΥ

Η ηλιακή ατμόσφαιρα αποτελείται από 3 στρώματα:

- το μεγαλύτερο μέρος της **φωτόσφαιρας**,
- τη **χρωμόσφαιρα** και τη **μεταβατική ζώνη** (που θεωρείται ως άνω τμήμα της χρωμόσφαιρας),
- το **στέμμα**.

Μόνο αυτά τα μέρη του άστρου που μπορούμε να παρατηρήσουμε με τηλεσκόπιο (αφού, το εσωτερικό του είναι αδιαφανές). Η **παρατήρηση όμως πραγματοποιείται σε διαφορετικές περιοχές του φάσματος**, γιατί σε κάθε στρώμα δημιουργούνται φαινόμενα και σχηματισμοί που απελευθερώνουν διαφορετικού τύπου ακτινοβολία, είτε **κυματική**, όπως ακτίνες-Χ, ακτίνες γ, ραδιοακτινοβολία, ορατή, υπεριώδη και υπέρυθρη ακτινοβολία (H/M φάσμα), είτε **σωματιδιακή** όπως ηλεκτρόνια, πρωτόνια και πυρήνες ηλίου.

ΟΡΑΤΗ
ΥΠΕΡΥΘΡΗ
ΥΠΕΡΙΩΔΗΣ

ΡΑΔΙΟΑΚΤΙ-
ΝΟΒΟΛΙΑ

ΡΑΔΙΟΑΚΤΙ-
ΝΟΒΟΛΙΑ

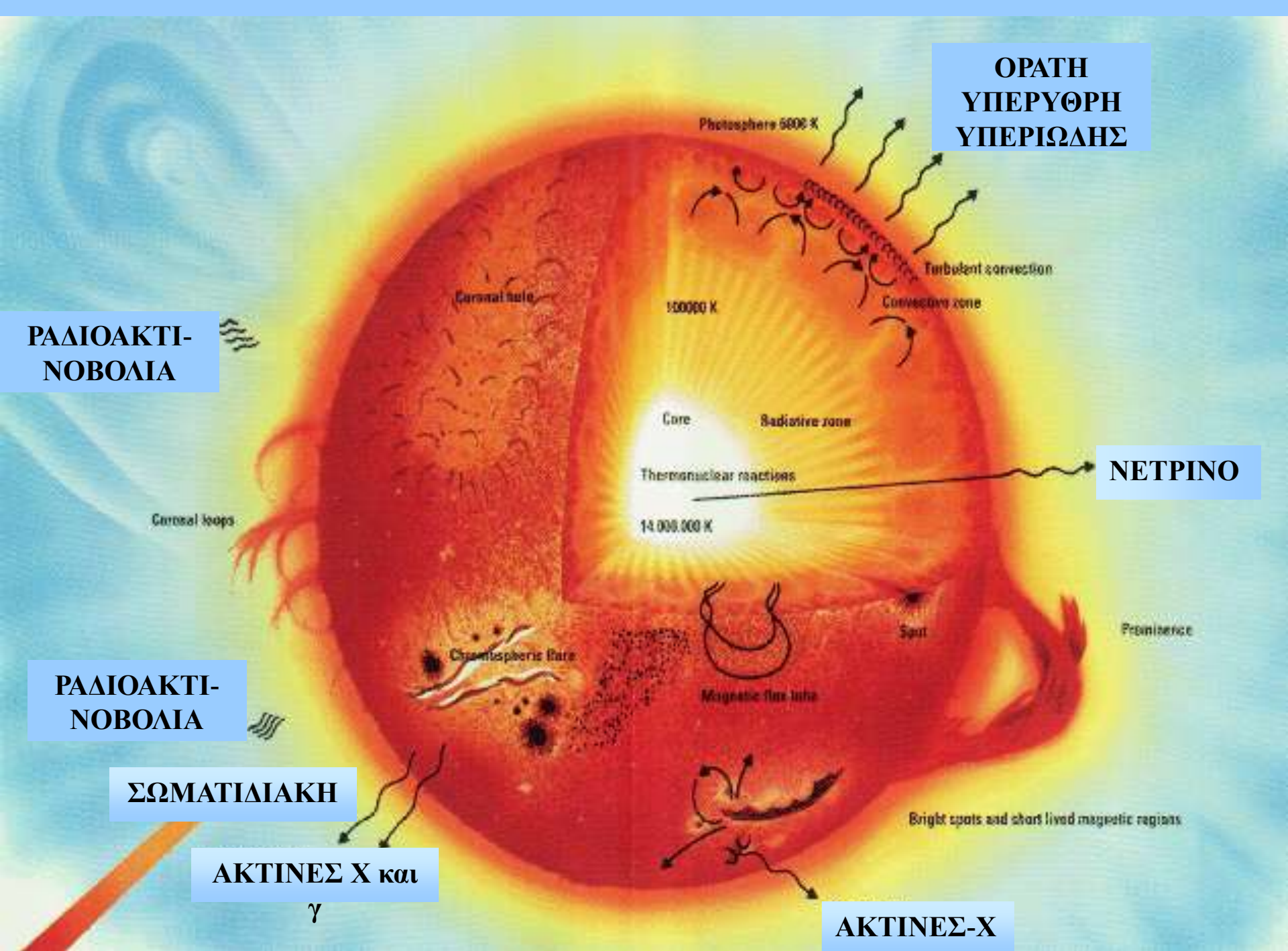
ΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΗ

ΑΚΤΙΝΕΣ X και

γ

ΑΚΤΙΝΕΣ-X

NETPINO



Όσον αφορά το H/M φάσμα, εξετάζουμε τον Ήλιο σε περιορισμένες περιοχές μηκών κύματος, εκτός από τη φωτόσφαιρα που παρατηρείται στο συνεχές· τόσο περιορισμένες, που θεωρούμε ότι είναι μονοχρωματικές. **Ανάλογα λοιπόν με το μήκος κύματος που μελετάμε, απεικονίζουμε και διαφορετική περιοχή της ατμόσφαιρας του αστέρα και μόνον αυτή.**

ΦΩΤΟΣΦΑΙΡΑ :
(έντονο πορτοκαλί)

Οπτική περιοχή του φάσματος
(συνεχές φάσμα)

ΧΡΩΜΟΣΦΑΙΡΑ:
(αμυδρό πορτοκαλί)

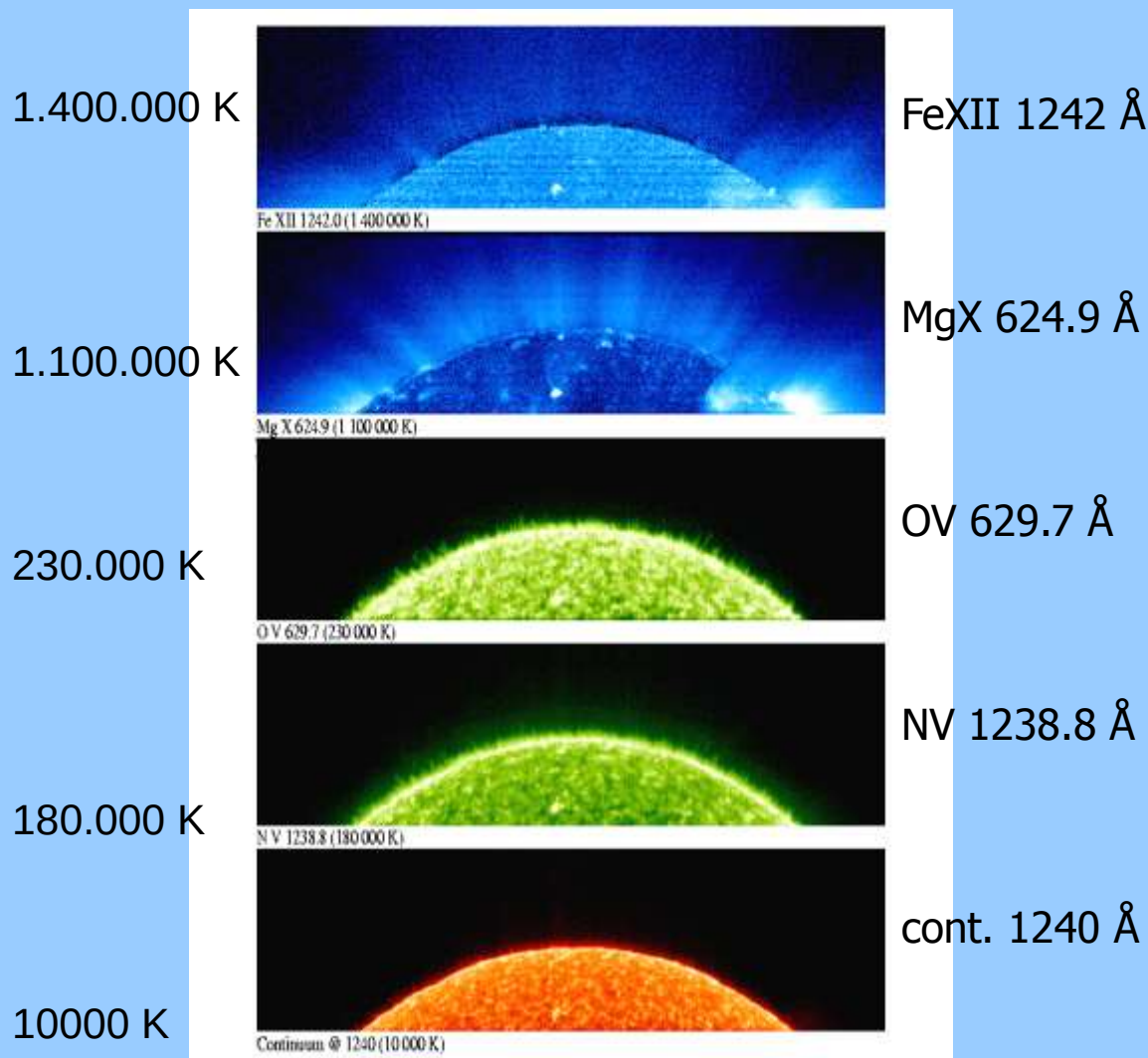
Γραμμές - H κυρίως στην H_{α} 6.565 Å
Γραμμές - C_a II, 3.934 Å 3.698 Å
(γραμμικό φάσμα)

ΣΤΕΜΜΑ :

Περιοχή ακτίνων X
Περιοχή ραδιοφωνικών μηκών κύματος RF
(γραμμικό και συνεχές φάσμα)

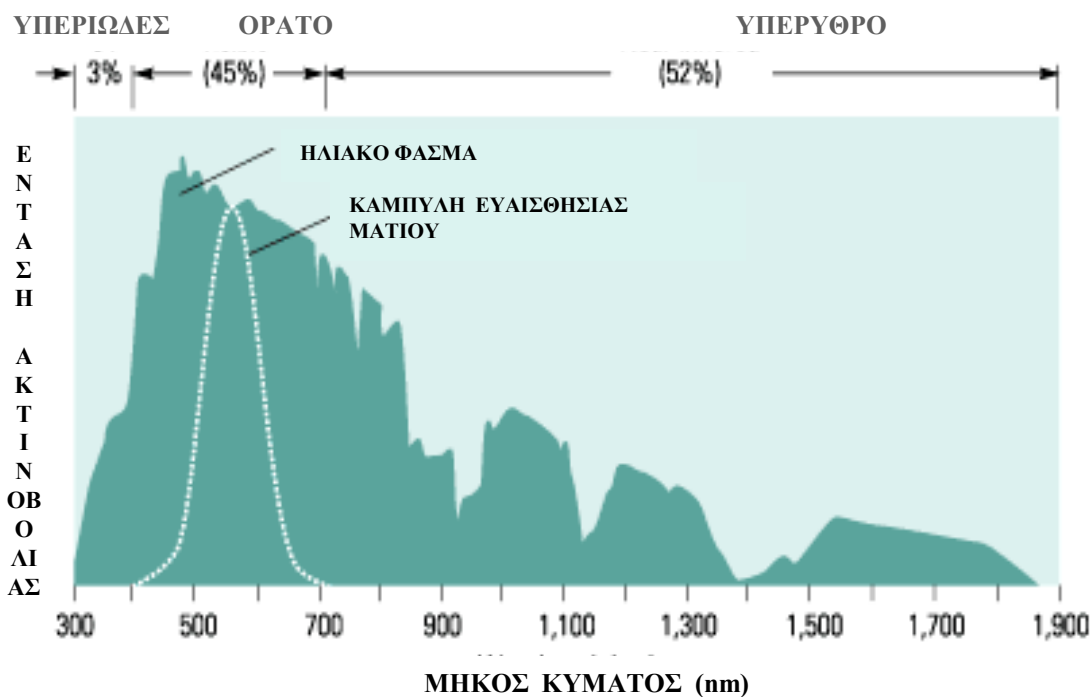
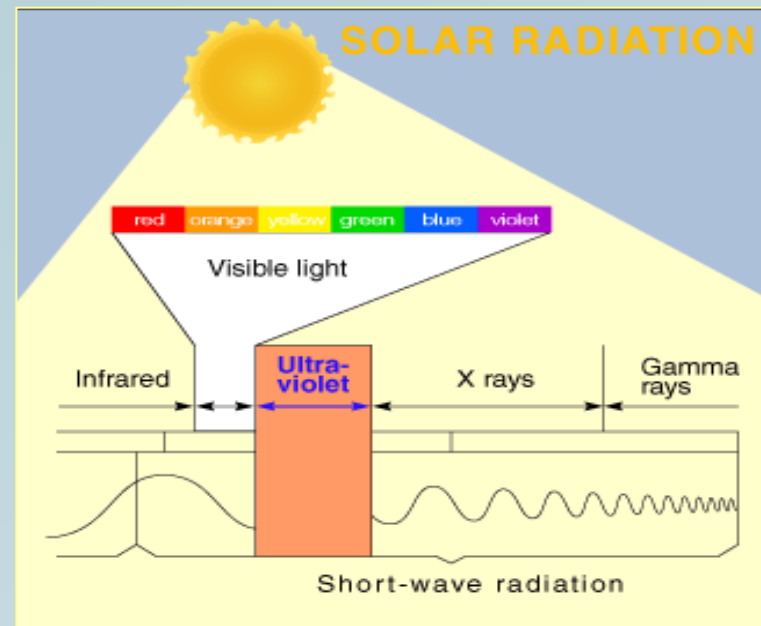
Όταν παρατηρούμε τον Ήλιο στο γραμμικό φάσμα, σε κάθε μήκος κύματος βλέπουμε διαφορετική περιοχή της ατμόσφαιρας του, και αφού κάθε μία από τις περιοχές αυτές εκτείνεται σε διαφορετική απόσταση από το κέντρο του, αυτό έχει ως αποτέλεσμα να

βλέπουμε σε κάθε περίπτωση τον Ήλιο με άλλες διαστάσεις (με μικρότερη αυτή της φωτόσφαιρας και μεγαλύτερη αυτή του στέμματος).



ΤΟ ΗΛΙΑΚΟ ΦΑΣΜΑ

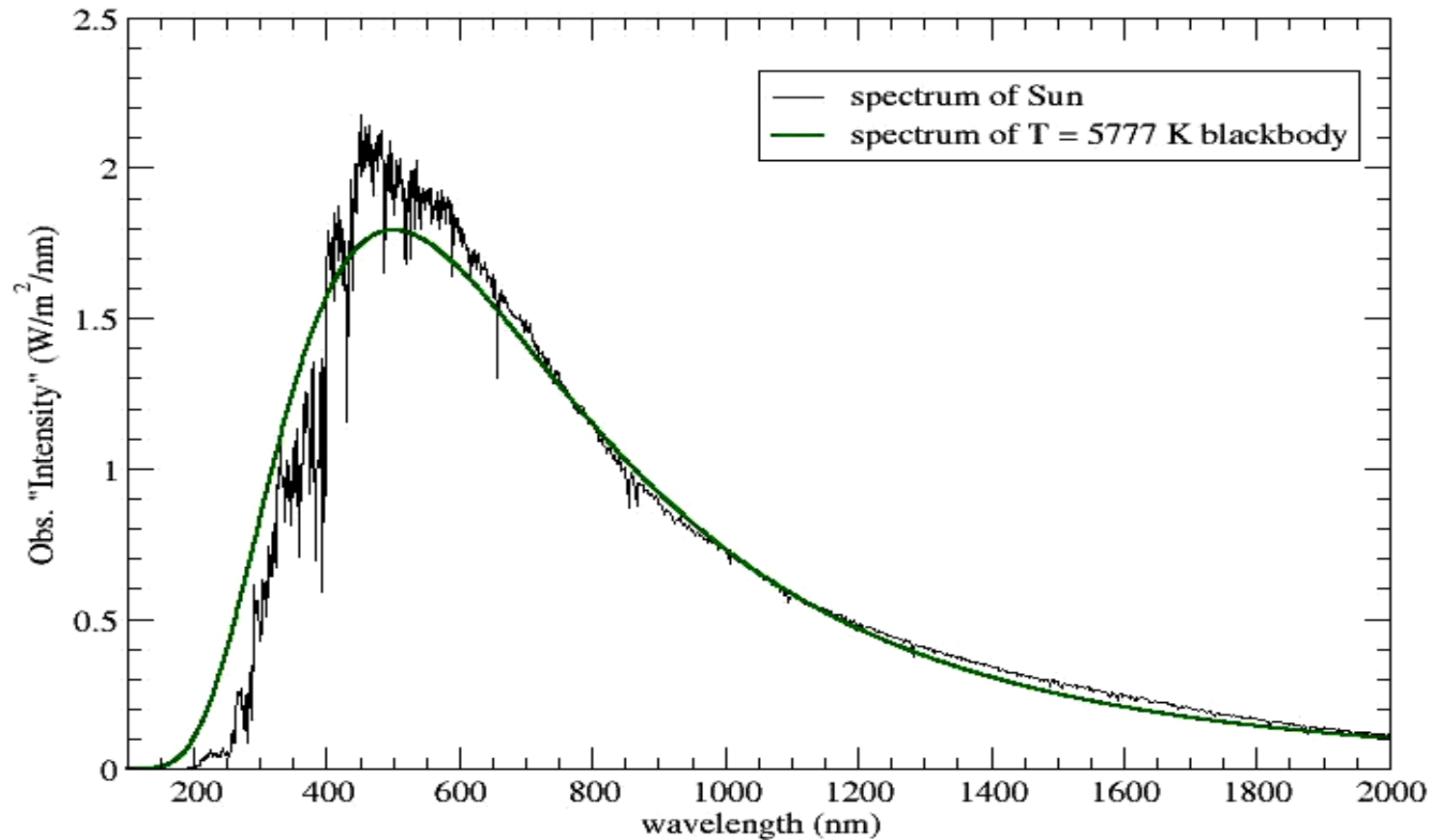
Η ακτινοβολία που εκπέμπεται από τον Ήλιο κατανέμεται σε όλη σχεδόν την περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, αφού κάθε στρώμα του εκπέμπει διαφορετικού τύπου ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (δηλαδή ενέργεια), αναλόγως της θερμοκρασίας του..



Το μεγαλύτερο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας ωστόσο, εκπέμπεται στην ορατή περιοχή του φάσματος

ΤΟ ΦΩΤΟΣΦΑΙΡΙΚΟ ΦΑΣΜΑ

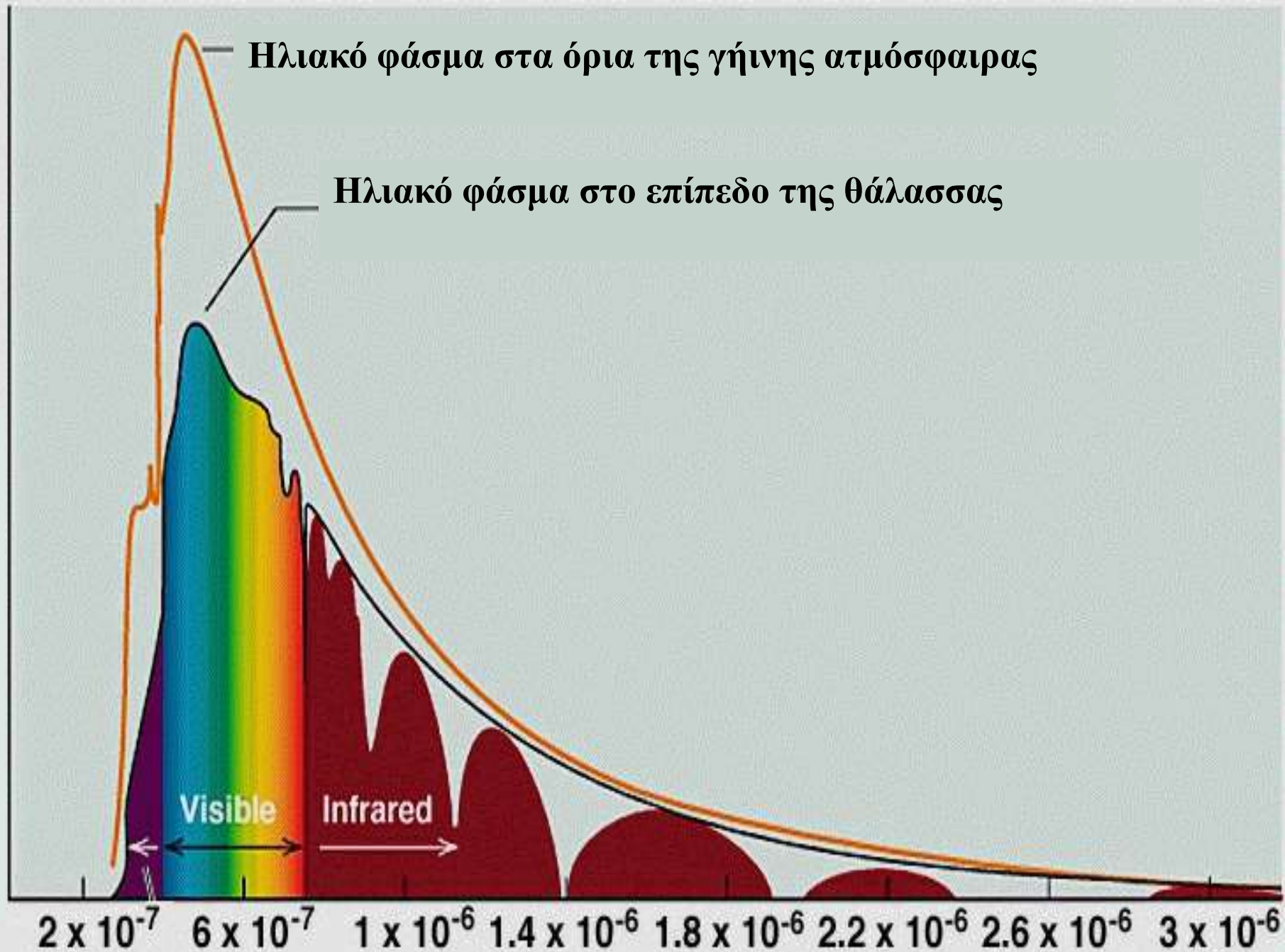
Sun's Spectrum vs. Thermal Radiator
of a single temperature $T = 5777 \text{ K}$



↑
ΡΟΗ
ΑΚΤΙ-
ΝΟΒΟ-
ΛΙΑΣ

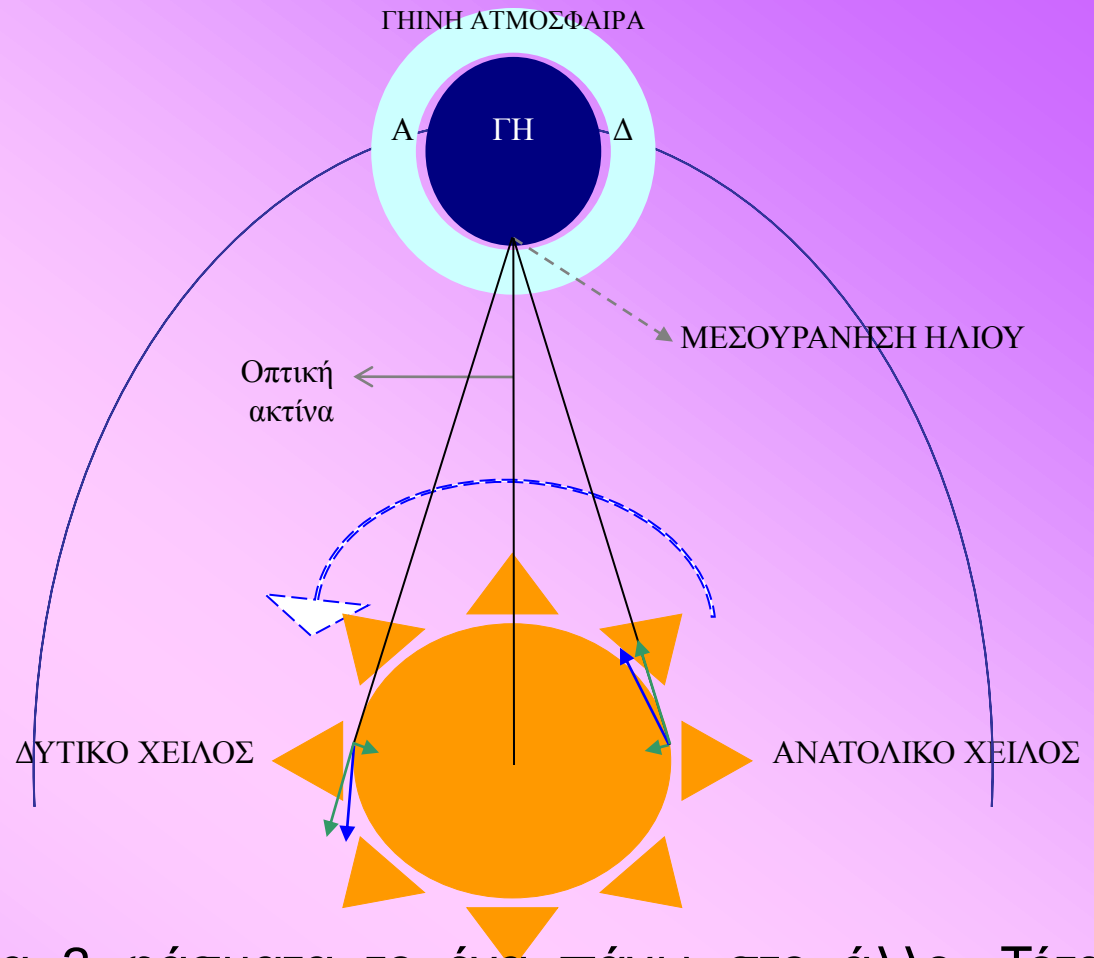
— Ηλιακό φάσμα στα όρια της γήινης ατμόσφαιρας

— Ηλιακό φάσμα στο επίπεδο της θάλασσας



Με εφαρμογή του φαινομέ-νου D-F κατά την περιστρο-φή του Ήλιου:

Θεωρούμε 2 αντιδιαμετρικά σημεία του Ήλιου (ανατολικό και δυτικό χείλος) κατά τη διάρκεια της μεσουράνησης του, όπου η σχετική ταχύτητα του τόπου απ' όπου γίνεται η παρατήρηση είναι κάθετη στην οπτική ακτίνα, και λαμβάνουμε το φάσμα τους.



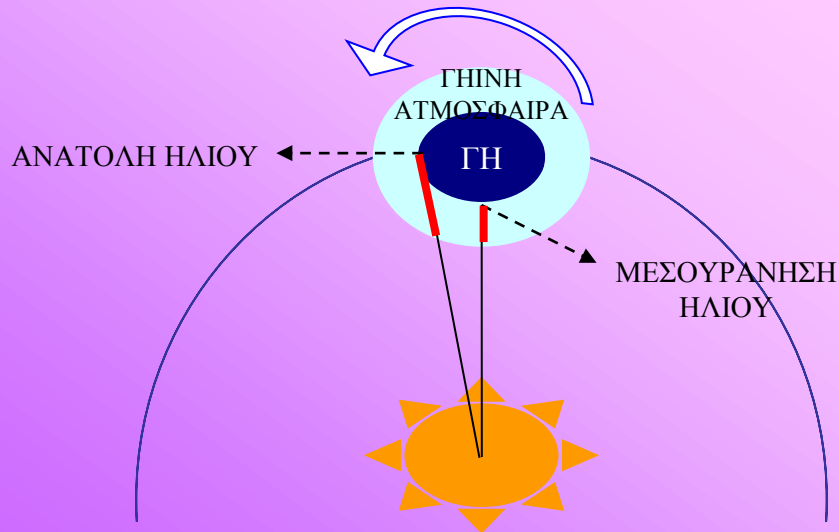
Στη συνέχεια τοποθετούμε τα 2 φάσματα το ένα πάνω στο άλλο. Τότε βλέπουμε πως οι φασματικές γραμμές του Ήλιου έχουν μετατοπισθεί λόγω του φαινομένου D-F, του ενός χείλους **προς το ιώδες** (αυτό που φαίνεται να προσεγγίζει ακτινικά τον παρατηρητή) και του άλλου **προς το ερυθρό** (αυτό που φαίνεται να απομακρύνεται ακτινικά από τον παρατηρητή).

Οι φασματικές γραμμές της Γης όμως δεν έχουν μετατοπισθεί και έτσι μπορούμε να τις διαχωρίσουμε.

Με άμεση σύγκριση του φάσματος Ήλιου, κατά την ανατολή και κατά τη μεσουράνηση του. Η διαφοροποίηση τότε των φασματικών γραμμών της Γης και του Ήλιου έγκειται στην ένταση τους.

- Όταν ο Ήλιος ανατέλλει το ηλιακό φως διανύει μεγαλύτερο πάχος ατμόσφαιρας με αποτέλεσμα να μειώνεται η ένταση των γραμμών του φάσματος του, ενώ
- κατά τη μεσουράνηση του Ήλιου το φως διανύει μικρότερη απόσταση με αποτέλεσμα οι ηλιακές γραμμές να είναι μεγάλης έντασης.

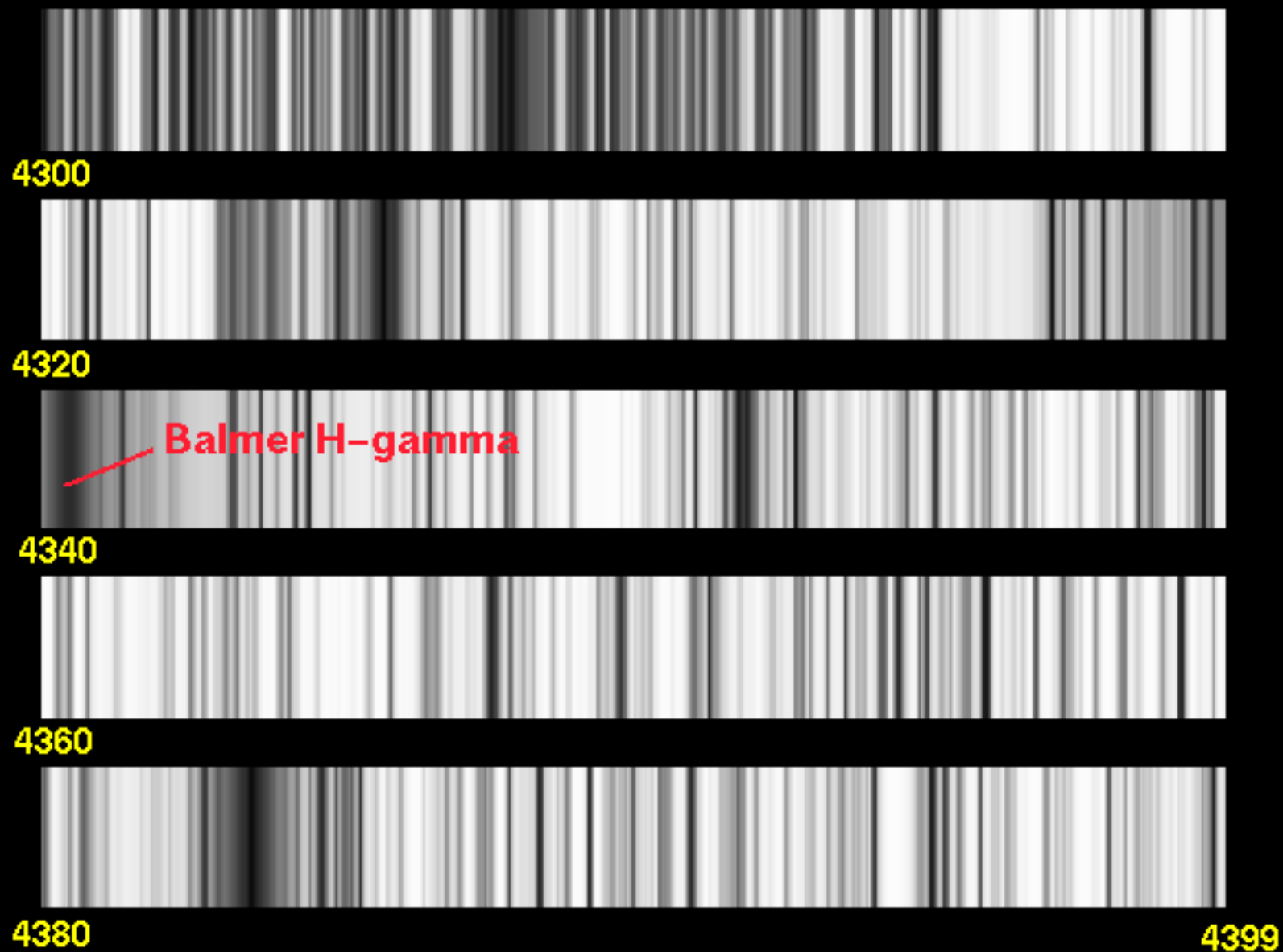
Οι φασματικές γραμμές της Γης έχουν πάντα την ίδια ένταση



Τότε στο φάσμα που λαμβάνεται κατά την ανατολή του Ήλιου οι γήινες φασματικές γραμμές θα είναι **μεγαλύτερης έντασης** σε σχέση με αυτές του Ήλιου, ενώ στο φάσμα που λαμβάνεται κατά τη μεσουράνηση οι γήινες φασματικές γραμμές θα είναι **μικρότερης έντασης** σε σχέση με αυτές του Ήλιου.

Από τη σύγκριση των 2 φασμάτων μπορούμε να διαχωρίσουμε τις γήινες φασματικές γραμμές.

Solar Spectrum 4300 – 4400 Angstroms



Η Ηλιακή ατμόσφαιρα

ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΗΡΕΜΟΥ ΗΛΙΟΥ

Σε κάθε στιβάδα της ατμόσφαιρας του Ήλιου, δημιουργείται κάτω από τις συνήθεις συνθήκες πλήθος διαφορετικών σχη-ματισμών που παρουσιάζουν **μόνιμο χαρακτήρα**, τους οποίους χαρακτηρίζουμε στο σύνολό τους ως **φαινόμενα ήρεμου Ήλιου**. Τα φαινόμενα αυτά, τα οποία διακρίνονται ανάλογα με το στρώμα της ατμόσφαιρας στο οποίο παρουσιάζονται, εξε-τάζουμε στη συνέχεια.

ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΗΡΕΜΟΥ ΗΛΙΟΥ

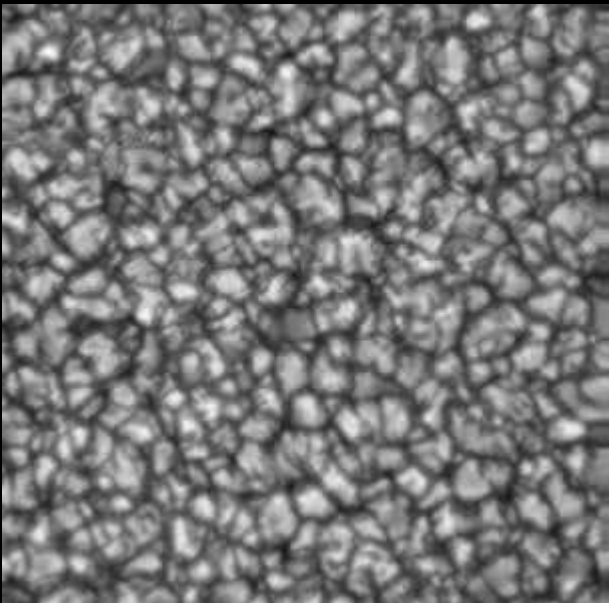
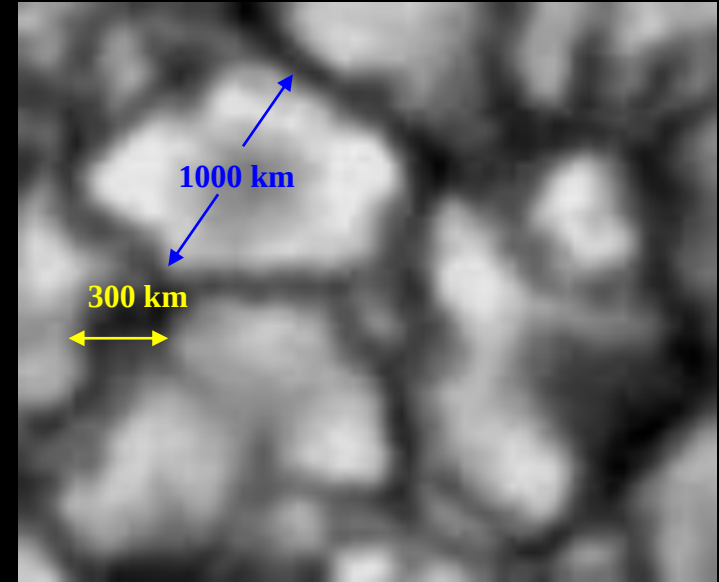
<i>Ηλιακή ζώνη</i>	Σχηματισμός
ΦΩΤΟΣΦΑΙΡΑ	Κοκκίαση
	Υπερκοκκίαση
	Αμαύρωση χείλους
ΧΡΩΜΟΣΦΑΙΡΑ	Χρωμοσφαιρικό δίκτυο
	Ακίδες ή πίδακες
ΣΤΕΜΜΑ	Θέρμανση Στέμματος
	Αμαύρωση κέντρου
	Ηλιακός άνεμος

ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΗΡΕΜΟΥ ΗΛΙΟΥ

1. Φωτόσφαιρα

ΚΟΚΚΙΑΣΗ

Το στρώμα του Ήλιου που καλείται φωτόσφαιρα, καλύπτεται κατά το ήμισυ από φωτεινούς σχηματισμούς που ονομάζονται **κόκκοι (granules)** και έχουν μέση έκταση **1.000 Km**, που διαχωρίζονται από **σκοτεινές ζώνες** πλάτους έως περίπου **300 Km**.



Το φαινόμενο αυτό που είναι γνωστό ως **κοκκίαση (granulation)**, δεν είναι στατικό. Οι κόκκοι έχουν τα εξής χαρακτηριστικά:

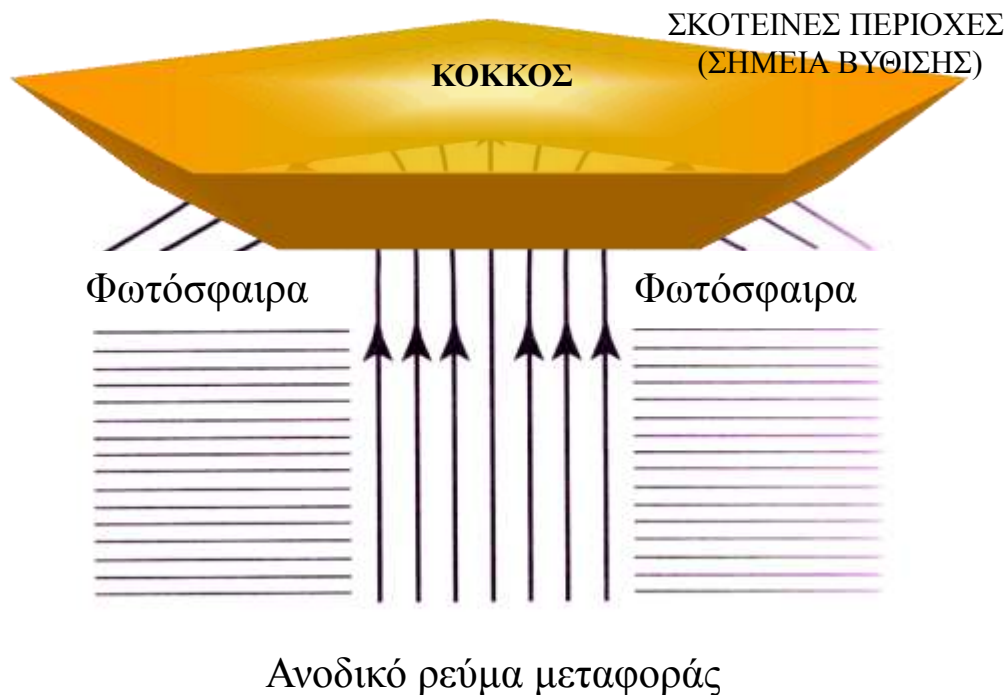
ΧΡΟΝΟΣ ΖΩΗΣ : $t = 8\text{min}$

ΜΕΣΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ: **1.000 Km**

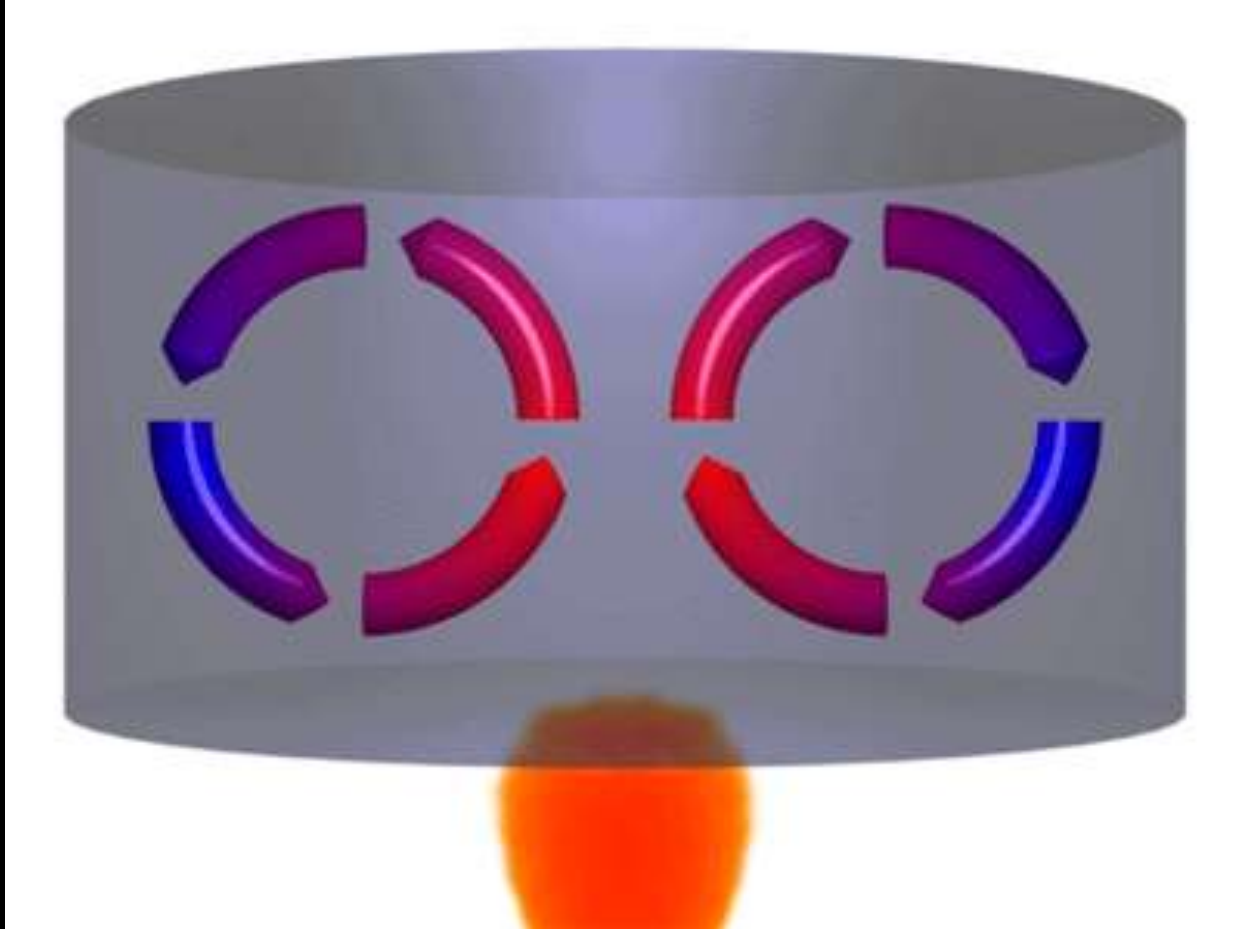
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ : **200°C** μεγαλύτερη από αυτή των γύρω περιοχών.

Οι κόκκοι αποτελούν τα **ανώτατα σημεία πιδάκων** που εξορμούνται από τη ζώνη μεταφοράς διοχετεύοντας προς τα πάνω υλικό **θερμότερο κατά 200 °C**, άρα και λαμπρότερο από αυτό των γύρω περιοχών. Αυτά τα ρεύματα μεταφοράς αφού αποβάλλουν την ενέργεια τους βυθίζονται και πάλι στο εσωτερικό του Ήλιου.

Τα σημεία βύθισης φαίνονται πιο σκοτεινά λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας, με αποτέλεσμα οι κόκκοι να περιβάλλονται και να διαχωρίζονται από τις σκοτεινές ζώνες, πλάτους έως 300 Km.



Ο θερμός πάτος της κατσαρόλας



Το «ηλιακό» ανάλογο



Αριθμητική προσομοίωση των ανοδικών ρευμάτων

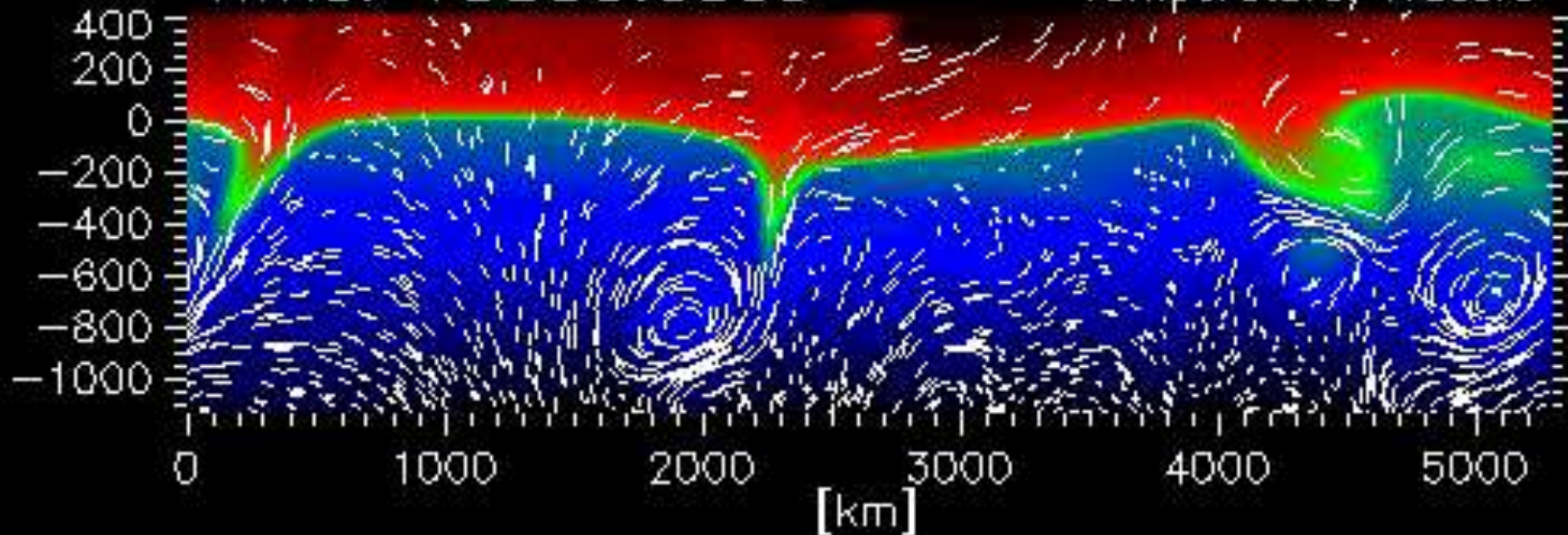
Sun (L71D09), $T_{\text{eff}}=5770$ K, $\log g=4.44$

212 x 106 grid points, 11540 s ($\Delta t=20$ s)

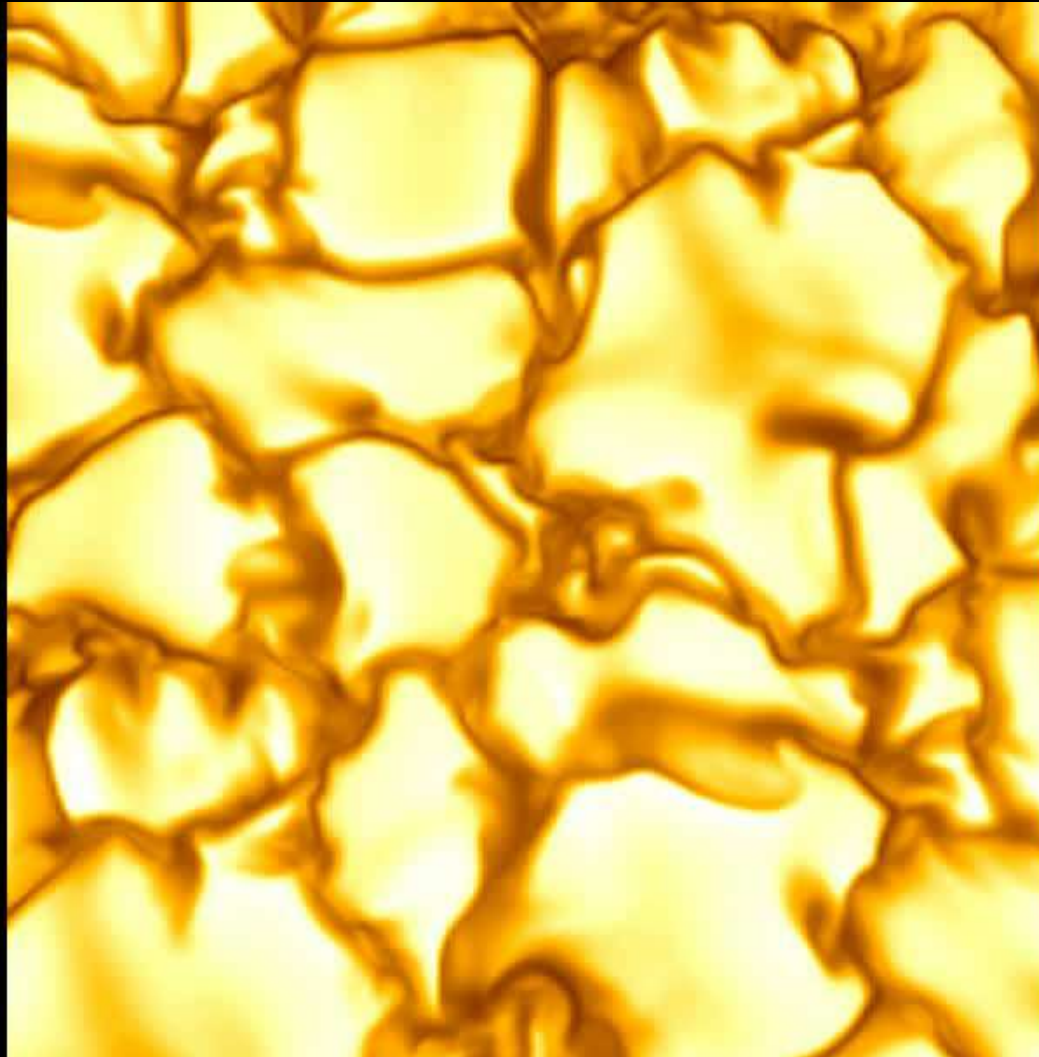
Matthias Steffen, Bernd Freytag

Time: 18880.0sec

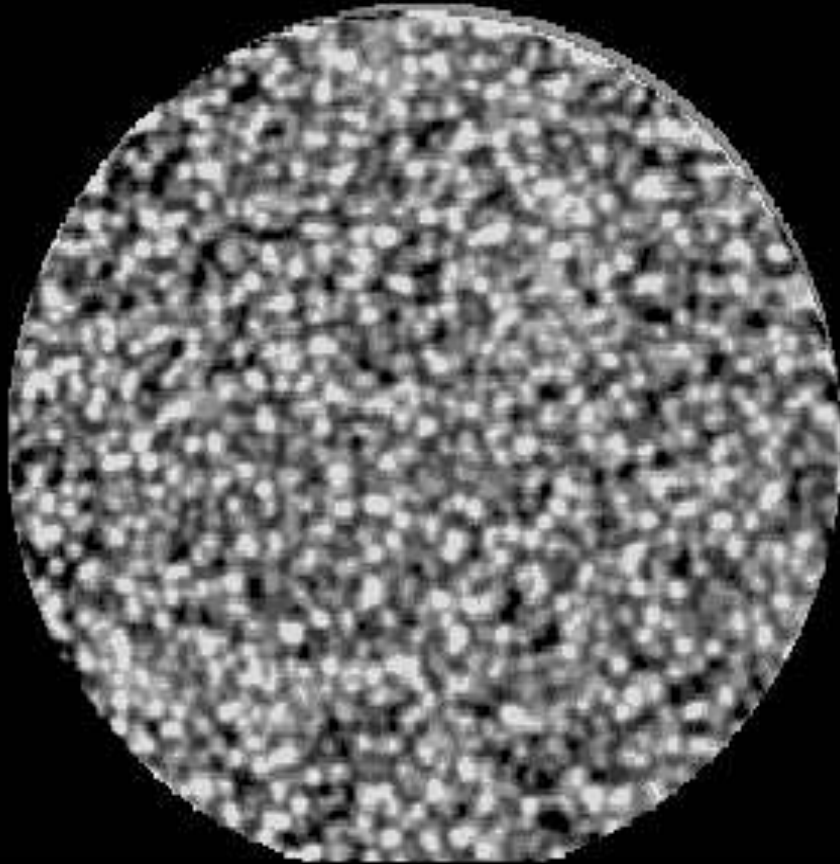
Temperature, Tracers



Τρισδιάστατη απεικόνιση της επιφάνειας του Ήλιου (φωτόσφαιρα)



ΥΠΕΡΚΟΚΚΙΑΣΗ



Η **υπερκοκκίαση** (supergranulation) είναι ένα φαινόμενο αντίστοιχο με αυτό της κοκκίασης, μόνο που αναφέρεται σε πίδακες που προέρχονται από βαθύτερα στρώματα του Ήλιου. Αυτό σημαίνει πως το υλικό που αναβλύζει είναι θερμότερο από το αντίστοιχο της κοκκίασης, άρα και λαμπρότερο, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα να σχηματίζονται πάνω στη φωτόσφαιρα **περιοχές πολύ πλατιές και πολύ λαμπρές**. Αυτές έχουν

- **ΜΕΣΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟ** : **$d = 10.000 - 30.000 \text{ Km}$**
- **ΜΕΣΟ ΧΡΟΝΟ ΖΩΗΣ** : **$t = 1-2 \text{ days}$**
- **ΤΑΧΥΤΗΤΑ** : **$u = 0.5 \text{ km/sec.}$**

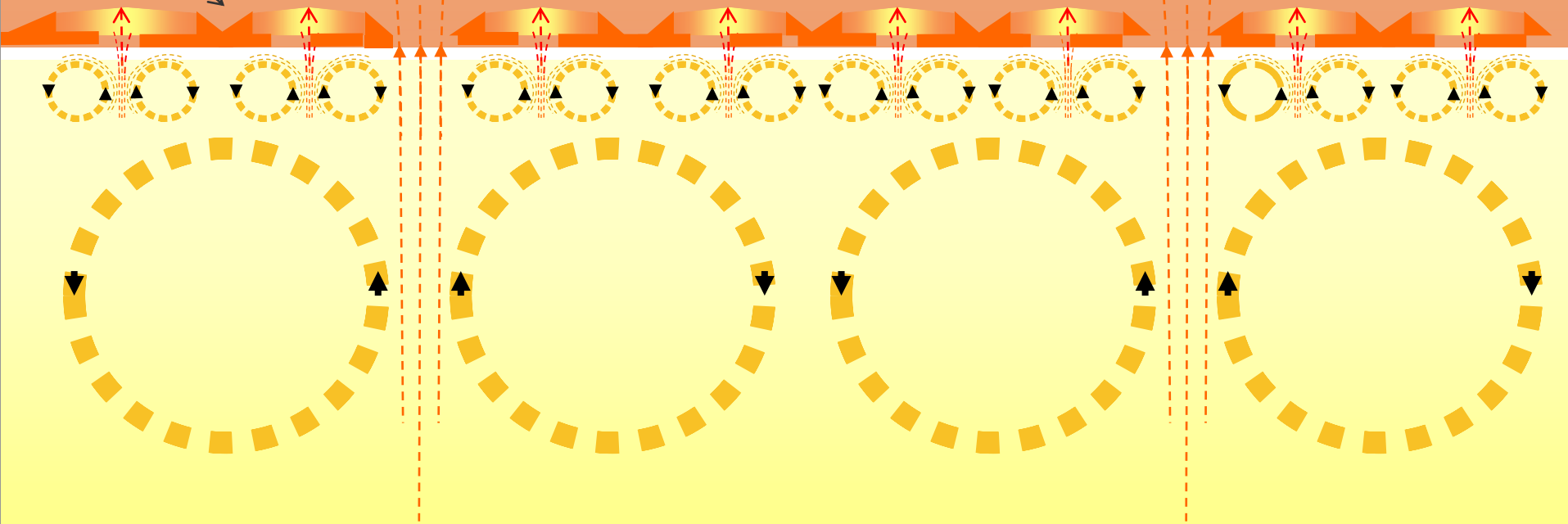
Καθώς οι πίδακες ανέρχονται σε μεγαλύτερα ύψη, διανύουν και μεγαλύτερη οριζόντια απόσταση πάνω στην φωτόσφαιρα πριν βυθιστούν και πάλι στο εσωτερικό του Ήλιου, με την παραπάνω ταχύτητα.

ΧΡΩΜΟΣΦΑΙΡΑ

υπερκοκκίαση

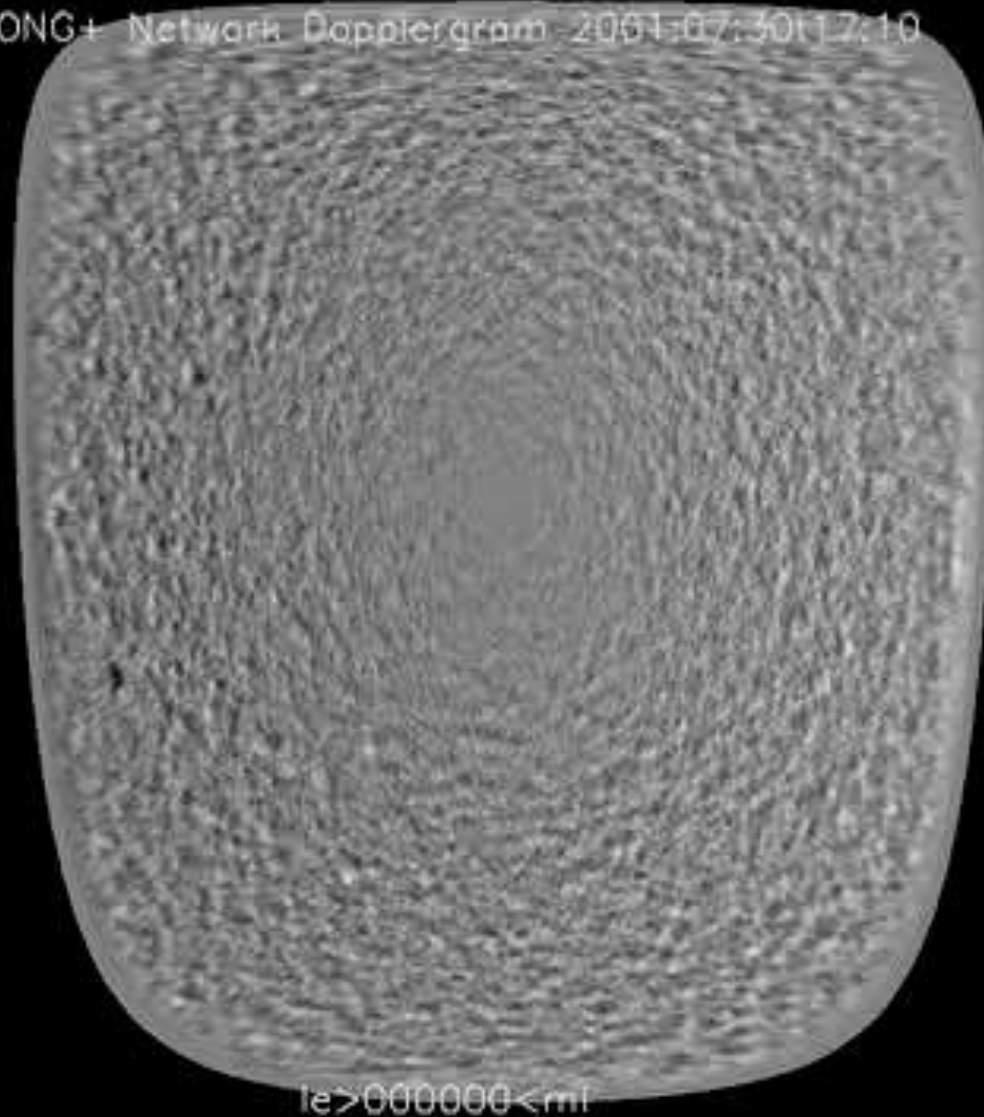
κοκκίαση

ΦΩΤΟΣΦΑΙΡΑ



ΖΩΝΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ

GONG+ Network Dopplergram 2001-07:30:17:10



le>000000<ml

Dopplergram

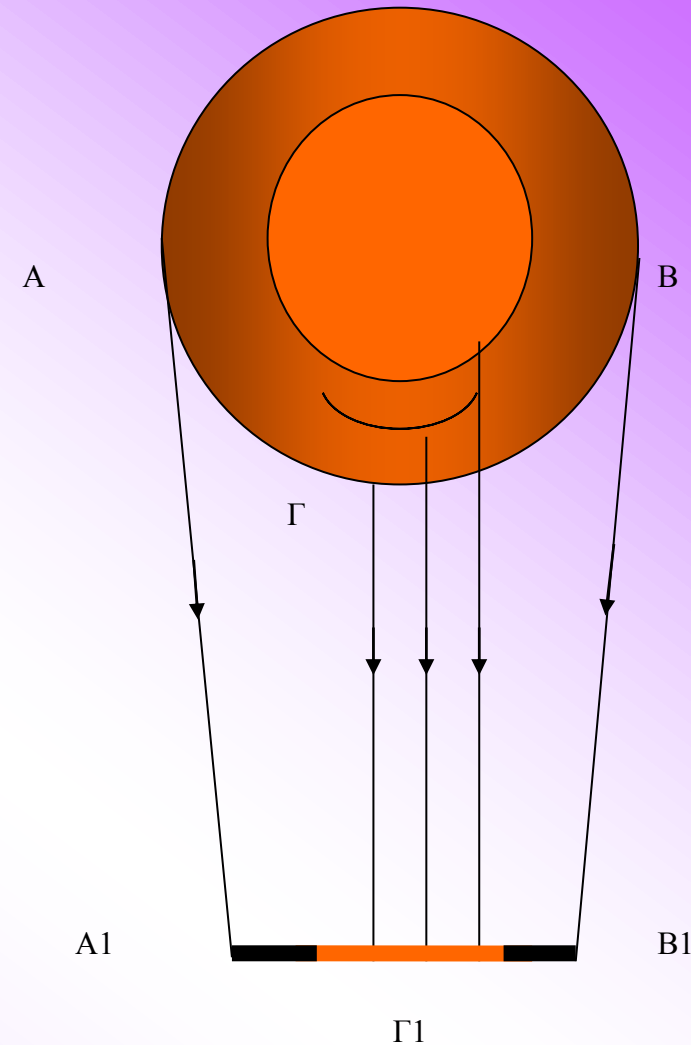
ΑΜΑΥΡΩΣΗ ΧΕΙΛΟΥΣ

Όταν παρατηρούμε τον Ήλιο **στο οπτικό παράθυρο** θα δούμε τον ηλιακό δίσκο ν' απεικονίζεται:

- **στο κέντρο** → **λαμπρός**
- **στο χείλος** → **λιγότερο λαμπρός**

Το φαινόμενο αυτό, γνωστό και ως **αμαύρωση χείλους**, οφείλεται στο γεγονός ότι το φως στο κέντρο του ηλιακού δίσκου προέρχεται και από βαθύτερα στρώματα που έχουν υψηλότερη θερμοκρασία (8.000K), ενώ το φως στο χείλος προέρχεται μόνο από τα επιφανειακά στρώματα, τα οποία έχουν χαμηλότερη θερμοκρασία (4.300K), άρα και μειωμένη λαμπρότητα.

Όλα αυτά, που δημιουργούνται λόγω **γεωμετρικών φαινομένων** και εξαιτίας **της ευθύγραμμης διάδοσης του φωτός**.



ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΗΡΕΜΟΥ ΗΛΙΟΥ

2. Χρωμόσφαιρα

Η **χρωμόσφαιρα** είναι στιβάδα της ατμόσφαιρας του Ήλιου που δε μπορεί να θεαθεί κάτω από κανονικές συνθήκες, παρά μόνο κατά τη διάρκεια των ηλιακών εκλείψεων (τεχνητών και μη). Αυτό συμβαίνει γιατί ένα μεγάλο μέρος της ακτινοβολίας της δεν εκπέμπεται στην ορατή περιοχή του φάσματος.



Όταν έχουμε έκλειψη του Ήλιου δε βλέπουμε το φως της φωτόσφαιρας (**έντονο πορτοκαλί**), αλλά το φως της χρωμόσφαιρας (**αμυδρό πορτοκαλί**), καθώς η φωτόσφαιρα καλύπτεται εξ' ολοκλήρου και μπορούμε έτσι να παρατηρήσουμε τις πολύ αραιές και ελάχιστες λαμπρές περιοχές που τη διαδέχονται.

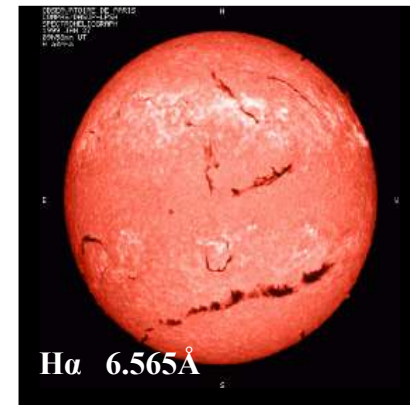
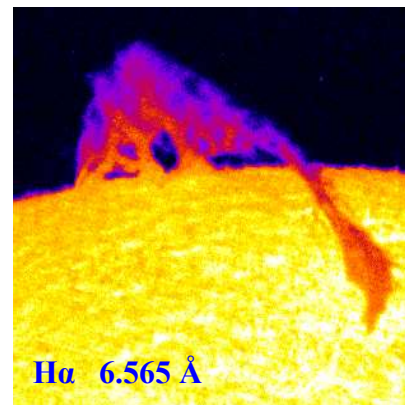
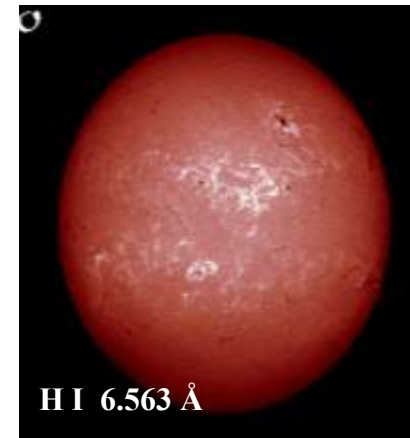
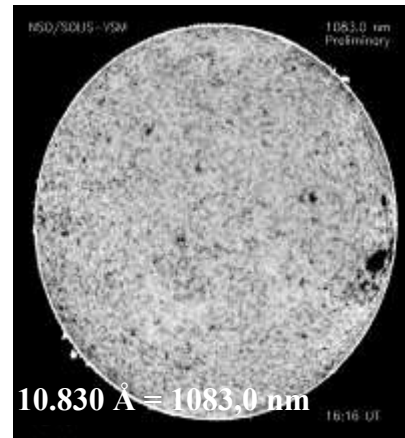
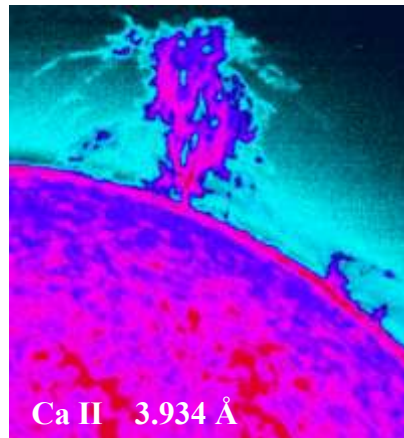
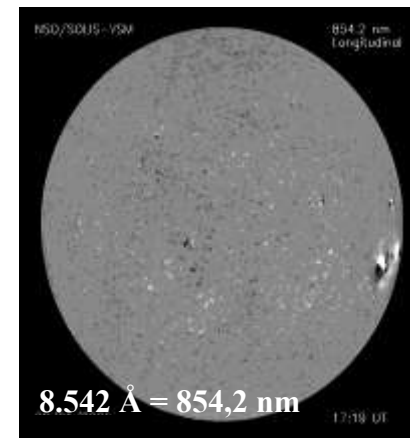
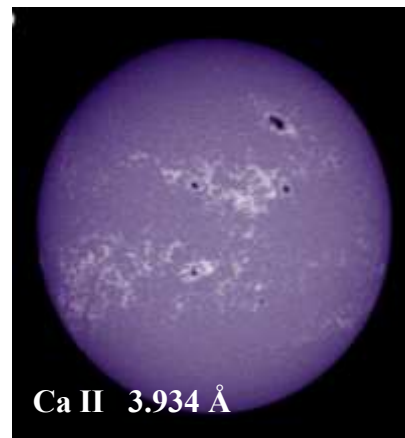
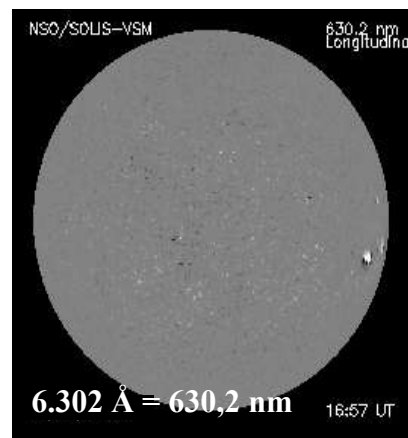
Όταν όμως έχουμε έκλειψη, καθίσταται δυνατό να παρατηρήσουμε το μικρό εκείνο τμήμα της ακτινοβολίας που εκπέμπεται στο οπτικό παράθυρο, καθώς ακόμη και ακτινοβολία που προέρχεται από ένα άλλο φαινόμενο, αυτό του αστραπιαίου φάσματος (**Flash spectrum**).

Το αστραπιαίο φάσμα (Flash spectrum)

Το φαινόμενο του **αστραπιαίου φάσματος** αφορά την περίπτωση εκείνη όπου το φάσμα απορρόφησης γίνεται φάσμα εκπομπής. Πρόκειται για ένα στιγμιαίο φαινόμενο που επιβεβαιώνει το νόμο αναστροφής των φασματικών γραμμών και αναγκάζει τη χρωμόσφαιρα να εκπέμψει στα μήκη κύματος που απορροφά (οι γραμμές απορρόφησης του ηλιακού φάσματος οφείλονται στο κατώτερο τμήμα της χρωμόσφαιρας γνωστό ως **ανατρεπτική ή απορροφητική στιβάδα**: $H\alpha$ $\lambda=6.565\text{\AA}$ και $CaII$ $\lambda=3.934\text{\AA}$ και $\lambda=3.968\text{\AA}$).

Όταν παρατηρούμε τον ηλιακό δίσκο με ηθμό βλέπουμε τον Ήλιο με ελαφρώς μεγαλύτερες διαστάσεις, εφόσον μπορούμε να δούμε και την περιοχή της χρωμόσφαιρας που εκτείνεται πέρα από αυτή της φωτόσφαιρας.

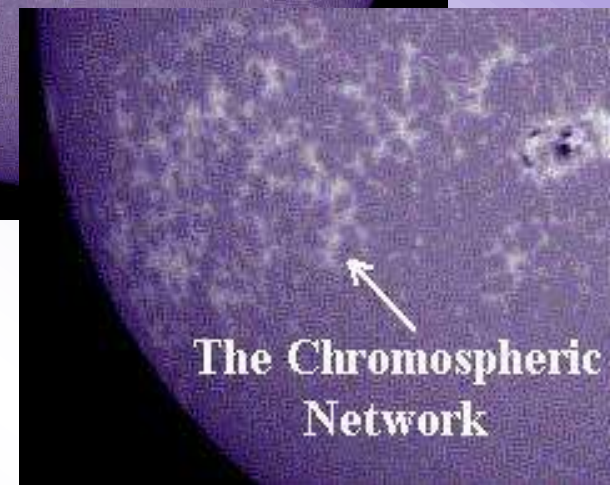
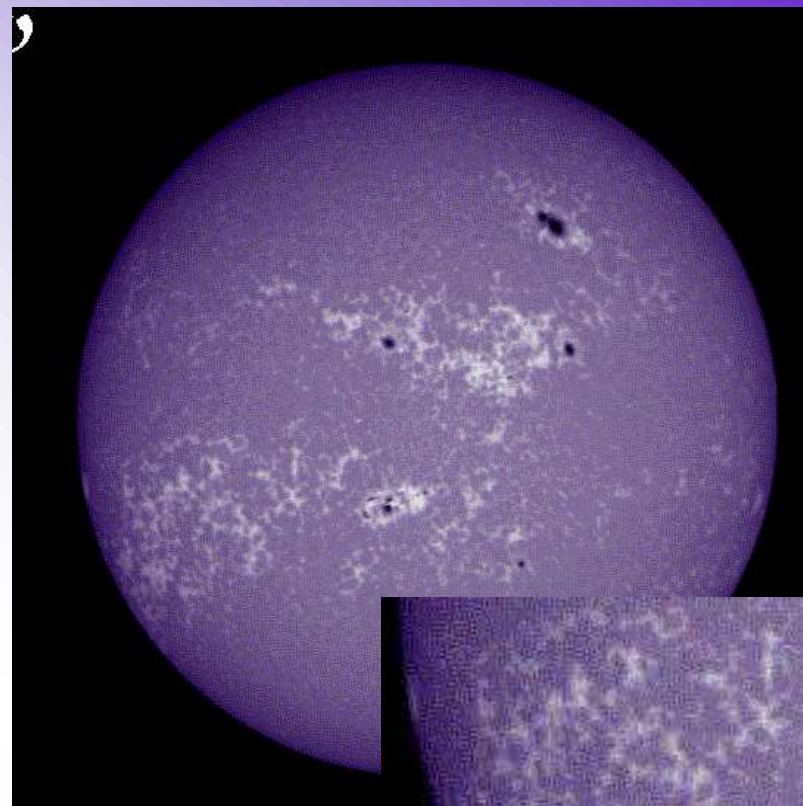
Πρέπει ακόμη να σημειώσουμε πως ανάλογα με τον ηθμό που χρησιμοποιούμε μελετάμε κάθε φορά συγκεκριμένο βάθος της χρωμόσφαιρας, αφού, κάθε περιοχή της αναλόγως του βάθους εμφανίζει και άλλη τιμή θερμοκρασίας, άρα εκπέμπει και απορροφά σε άλλα μήκη κύματος.



ΧΡΩΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ (Chromospheric Network)

Αποτελείται από **σχηματισμούς που πιθανώς είναι προέκταση της υπερκοκκίασης** (η οποία παρατηρείται στη φωτόσφαιρα). Πρόκειται για φωτεινές περιοχές που αγκαλιάζονται από ασύμμετρους δακτυλίους, οι οποίοι συνιστούν ένα σκοτεινό περίγραμμα.

Οι διαστάσεις τους είναι ελαφρώς μεγαλύτερες από αυτές των σχηματισμών της υπερκοκκίασης, αφού όταν τα ανοδικά ρεύματα φθάνουν στο υψηλότερο σημείο τους μέσα στη χρωμόσφαιρα, ανοίγουν με αποτέλεσμα να μεγαλώνει το εύρος τους. Έτσι τα χαρακτηριστικά τους είναι:



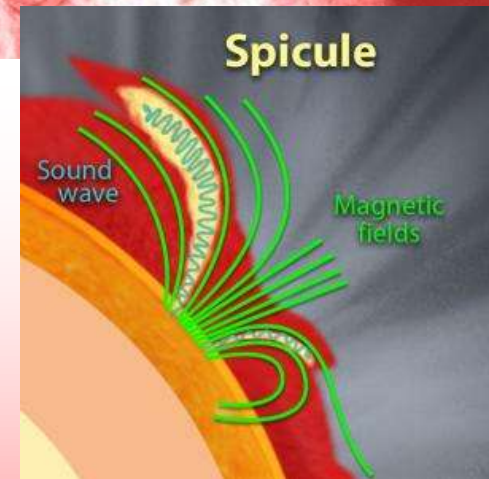
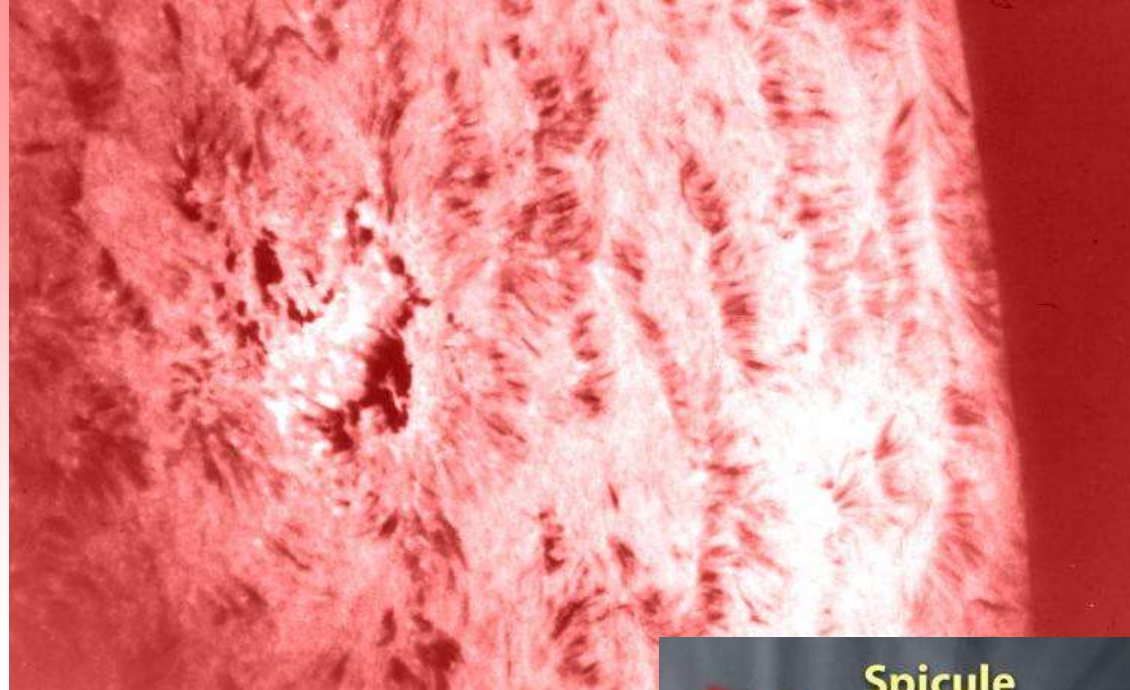
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ : $d \leq 35.000 \text{ Km}$

ΧΡΟΝΟΣ ΖΩΗΣ : $t = 17 \text{ hours}$

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ : μέσω φασματοηλιογραφήματος στην περιοχή της **H α**

ΑΚΙΔΕΣ Η ΠΙΔΑΚΕΣ

Είναι **φωτεινοί** σχηματισμοί με **ινώδη** μορφή. Βρίσκονται μόνο στα **όρια των φωτεινών σχηματισμών του χρωμοσφαιρικού δικτύου**. Πιθανότατα, αποτελούν τις κορυφές των **ανοδικών ρευμάτων της υπερκοκκίασης**. Τα χαρακτηριστικά τους είναι:



ΜΕΣΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ : $d = 1.000 \text{ Km}$

ΧΡΟΝΟΣ ΖΩΗΣ : $t = 8 \text{ min}$

ΥΨΟΣ : $h = 4.000 - 9.000 \text{ km}$

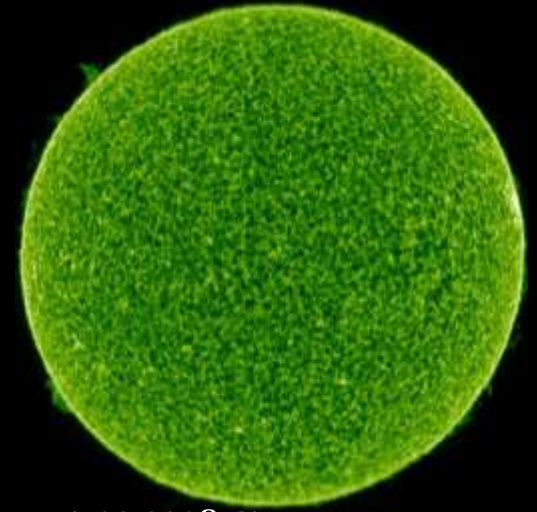
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ : $T = 15.000 \text{ K}$

ΤΑΧΥΤΗΤΑ: $v = 25 \text{ km/sec}$ (Ταχύτατα και σχεδόν κατακόρυφα ανοδικά ρεύματα υλικού, εκτοξεύονται από χαμηλά της χρωμόσφαιρας προς τον διαπλανητικό χώρο.)

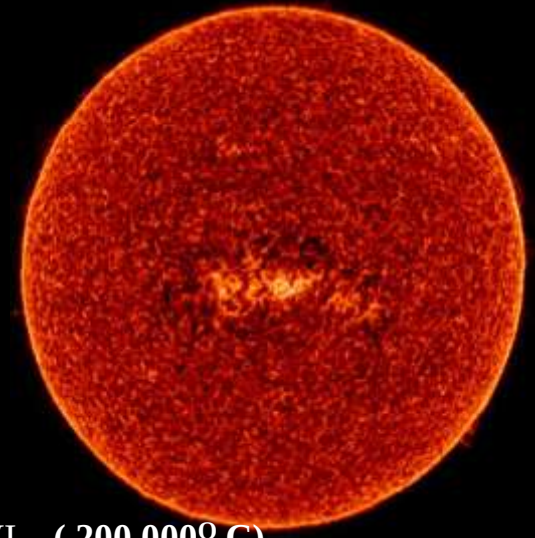
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ : Στις φασματικές περιοχές των γραμμών H (σειρά Balmer – κυρίως στην H_{α}),

Μεταβατική ζώνη

Τη ζώνη της χρωμόσφαιρας διαδέχεται μία άλλη ζώνη 1000 Km, που καλείται μεταβατική ζώνη (transition zone) και θεωρείται ως άνω στρώμα της χρωμόσφαιρας. Αυτή έχει ως χαρακτηριστικό γνώρισμα την **απότομη αύξηση της θερμοκρασίας** (έτσι ώστε αυτή να ανέρχεται τελικά στην τάξη των 10^6 K). Καθώς όμως η ενέργεια του Ήλιου μεταδίδεται, όπως είναι γνωστό, από τα εσωτερικά στρώματα προς τα έξω, το παραπάνω γεγονός συνεπάγεται πως η ενέργεια τούτη μεταδίδεται από ΨΥΧΡΟΤΕΡΕΣ προς ΘΕΡΜΟΤΕΡΕΣ περιοχές, δηλαδή, αντίθετα με αυτό που επικρατεί υπό κανονικές συνθήκες. Πως εξηγείται όμως το παράδοξο αυτό φαινόμενο; Όλα έ-χουν να κάνουν με την έννοια της θερμοκρασίας:



C IV (100.000° C)



S VI (200.000° C)

Παρατήρηση

Από την αρχή διατήρησης της ενέργειας έχουμε :

$$mv^2 = f k T \Rightarrow T = mv^2 / k f = \text{ΚΙΝΗΤΙΚΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ}$$

↓
συνολική μάζα
σωματιδίων
ταχύτητας v

↘
θερμοδυναμικοί
βαθμοί
ελευθερίας

↓
(έχει μονάδες ενέργειας)
δεν ανταποκρίνεται στη
μακροσκοπική έννοια της
θερμοκρασίας

ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΗΡΕΜΟΥ ΗΛΙΟΥ

3. Στέμμα

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΗΛΙΑΚΟΥ ΣΤΕΜΜΑΤΟΣ

Με έκταση έως και δέκα ηλιακές ακτίνες (10 R), μια άλως λευκού γενικά χρώματος που ονομάζεται στέμμα (corona), περιβάλλει τη χρωμόσφαιρα, από τα 12.000 Km και πάνω.

Η πυκνότητα και η λαμπρότητα της ζώνης αυτής κυμαίνονται μόνο γύρω στο 10% των αντίστοιχων μεγεθών της χρωμόσφαιρας, γι' αυτό και μπορούμε να την παρατηρήσουμε μόνο σε κατάσταση ολικής έκλειψης.

Η θερμοκρασία του στέμματος είναι της τάξης του 10^6 K, ενώ σε απόσταση 2 ηλιακών ακτίνων, R είναι:

$$\frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} f k T \rightarrow T = m v^2 / k f = 1.8 \times 10^6 \text{ K} = \text{ΚΙΝΗΤΙΚΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ}$$





Fe IX,X



Fe XII



Fe XV



He II

Το 97% των γραμμών εκπομπής του στέμματος προέρχονται από ιόντα μεγάλου δυναμικού ιονισμού, εξαιτίας της υψηλής θερμοκρασίας και της χαμηλής πυκνότητας της ύλης που επικρατεί στην περιοχή αυτή.

Οι φασματικές γραμμές εκπομπής ιόντων υψηλού ιονισμού αξιοποιούνται στη μελέτη του στέμματος σε διαφορετικά βάθη, καθώς είναι ενδεικτικές της θερμοκρασίας που επικρατεί σε κάθε περιοχή· και αφού αυτή μεταβάλλεται με το βάθος, δεν κάνουν τίποτα άλλο από το να φωτογραφίζουν την αντίστοιχη περιοχή.

ΟΠΤΙΚΟ ΦΑΣΜΑ

Στέμμα K ή Στέμμα ηλεκτρονίων (Kontinuum corona)

Εντοπίζεται στην περιοχή $1,03 - 2,3 R_{\odot}$ και οφείλεται στη διάχυση του φωτός της φωτόσφαιρας από ελεύθερα ηλεκτρόνια. Οι πολύ υψηλές ταχύτητες προκαλούν μεγάλη διεύρυνση των φασματικών γραμμών (D-F). Επομένως έχει **συνεχές φάσμα** και είναι πολωμένο.

**Συνιστώσα F ή Ψευδοστέμμα (Fraunhofer corona)**

Αυτή δε δημιουργείται μέσα στο στέμμα από το υλικό του στέμματος, αλλά οφείλεται στην περίθλαση του φωτός του Ήλιου από στερεά σωματίδια που βρίσκονται διασκορπισμένα στο μεσοδιάστημα ΓΗΣ-ΗΛΙΟΥ, πάνω στο επίπεδο της εκλειπτικής. Δίνει **συνεχές φάσμα**, με γραμμές απορρόφησης Fraunhofer.

**Στέμμα E (Emission corona)**

Είναι η **μόνη που παράγεται μέσα στο στέμμα**. Αυτή δεν απεικονίζεται σε τεχνητή έκλειψη, καθώς δίνει **γραμμικό φάσμα εκπομπής**. Τούτο συμβαίνει, γιατί η μάζα των ιόντων που έχουν απομείνει στο στέμμα χωρίς να έχουν χάσει όλα τα ηλεκτρόνια τους (Ca, Fe) είναι πολύ μεγάλη, επομένως η ταχύτητα τους είναι πολύ μικρή και δίνουν μικρό εύρος στις γραμμές εκπομπής, που έτσι ξεχωρίζουν. Μπορεί να παρατηρηθεί **μονοχρωματικά** (π.χ. Green corona)

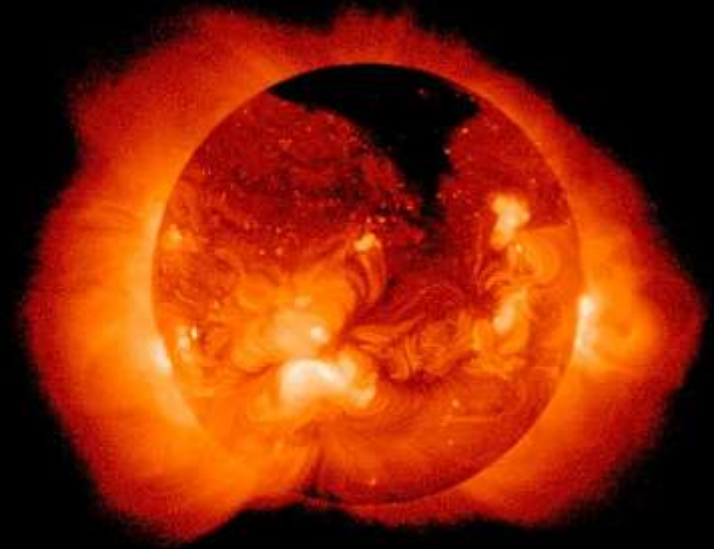


Σ
Υ
Ν
Ι
Σ
Τ
Ω
Σ
Ε
Σ

Σ
Τ
Ε
Μ
Μ
Α
Τ
Ο
Σ

ΦΑΣΜΑ ΑΚΤΙΝΩΝ X

Στην περιοχή των ακτίνων X οι φασματικές γραμμές εκπομπής που προέρχονται από αυτές καθαυτές τις στεμματικές περιοχές είναι πολυ-άριθμες και έτσι μπορούμε να παρατηρήσουμε το στέμμα χωρίς να απαιτούνται συνθήκες έκλειψης.



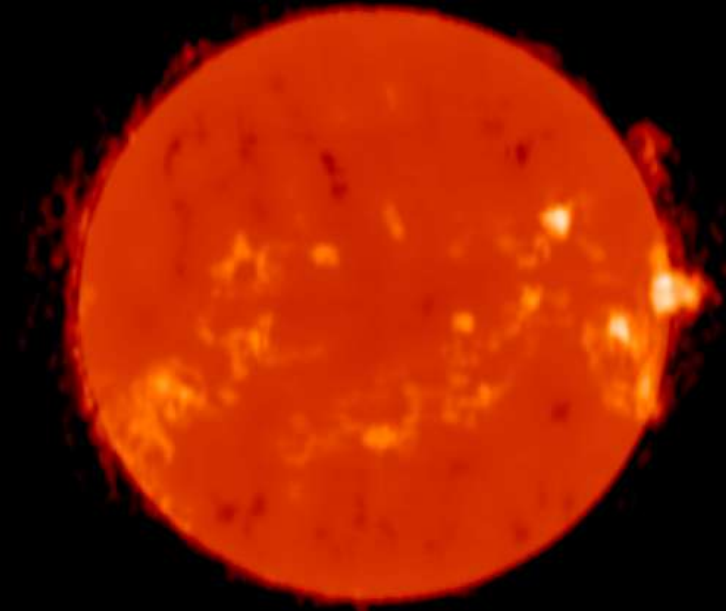
ΦΑΣΜΑ RF

(ΠΕΡΙΟΧΗ ΡΑΔΙΟΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ)

Το στέμμα μπορούμε επίσης να το παρατηρήσουμε στην περιοχή RF των ραδιοσυχνότητων του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Ο Ήλιος που απεικονίζεται στις συχνότητες αυτές έχει ιδιαίτερη ονομασία και καλείται **Ραδιοήλιος**.

Το στέμμα μπορούμε να το παρατηρήσουμε ακόμα και στο **μακρινό υπεριώδες**.

NOBEYAMA RADIO HELIOGRAPH 17GHz (R+L)



2002-01-02 02:59:32.632

ΡΑΔΙΟΗΛΙΟΣ

Ο όρος ραδιοήλιος αναφέρεται στο ποσό της ακτινοβολίας του Ήλιου, που ανιχνεύεται σε μήκη κύματος που κυμαίνονται από **8 mm** έως **18 Km**, δηλαδή στο παράθυρο των ραδιοκυμάτων. Η ακτινοβολία αυτή προέρχεται από την ατμόσφαιρά του και μεταβάλλεται με το βάθος (όσο αυξάνεται το βάθος τόσο μειώνεται μήκος κύματος). Αυτό σημαίνει δύο πράγματα:

- ανάλογα με το μήκος κύματος που παρατηρούμε στα ραδιοκύματα, απεικονίζουμε και διαφορετικό τμήμα της ατμόσφαιρας του Ήλιου. Δηλαδή απεικονίζουμε, για μήκος κύματος:

$\lambda =$ της τάξης των mm - cm $\rightarrow$ ΧΡΩΜΟΣΦΑΙΡΑ - ΣΤΕΜΜΑ

$\lambda \approx 10$ cm $\rightarrow$ ΧΑΜΗΛΑ ΣΤΡΩΜΑΤΑ ΣΤΕΜΜΑΤΟΣ

$\lambda =$ της τάξης των m $\rightarrow$ ΥΨΗΛΑ ΣΤΡΩΜΑΤΑ ΣΤΕΜΜΑΤΟΣ

- αφού ο ραδιοήλιος απεικονίζει και τα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας του Ήλιου, θα **είναι μεγαλύτερος από τον ορατό Ήλιο** (ο οποίος απεικονίζει κυρίως τη φωτόσφαιρά του). Έτσι για μήκος κύματος **$\lambda = 3$ m** θα ισχύει :

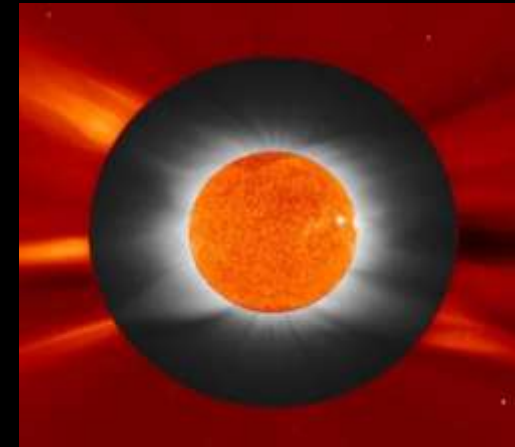
$$R_{\lambda} = 2R_{\odot}$$

NOBEYAMA RADIO HELIOGRAPH 17GHz (R+L)



2002-01-02 02:59:32.632

Ο ραδιοήλιος



Ο ορατός Ήλιος

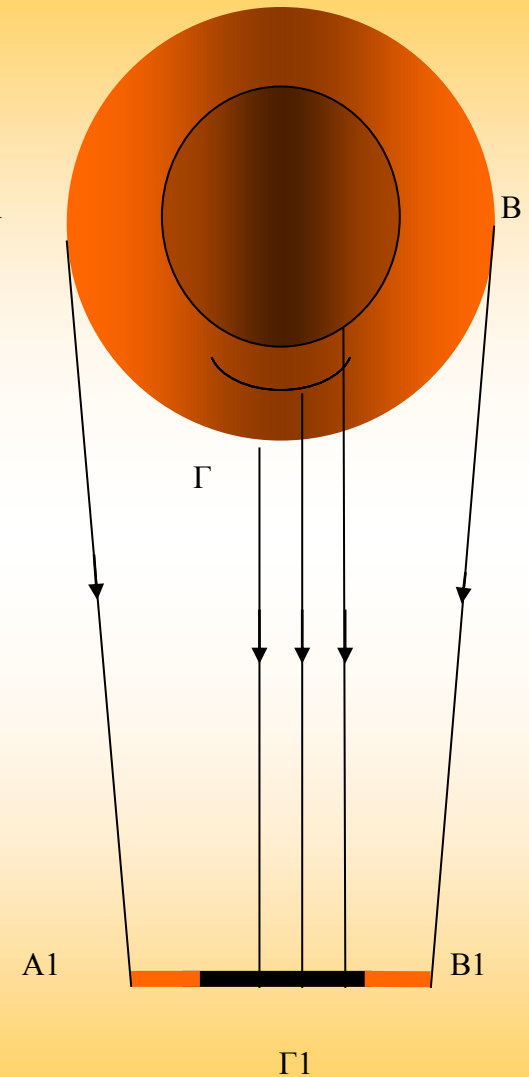
ΑΜΑΥΡΩΣΗ ΚΕΝΤΡΟΥ (ΡΑΔΙΟΗΛΙΟΣ)

Αν παρατηρήσουμε τον ηλιακό δίσκο σε μήκος κύματος $\lambda = 10 \text{ cm}$ (ραδιοήλιος), θα δούμε να εμφανίζεται το αντίστροφο φαινόμενο από την αμαύρωση χείλους (η οποία εμφανίζεται στο οπτικό παράθυρο). Το νέο αυτό ^A φαινόμενο ονομάζεται αμαύρωση κέντρου, καθώς παρατηρείται μια αύξηση της λαμπρότητας από το κέντρο προς την περιφέρεια (ή αντίστροφα μια μείωση της λαμπρότητας από την περιφέρεια προς το κέντρο).

Το αίτιο του φαινομένου αυτού εντοπίζεται στη στιβάδα προέλευσης της απεικονιζόμενης ακτινοβολίας.

Στις περιοχές του **χείλους**, η ακτινοβολία προέρχεται από **εξωτερικές** περιοχές της χρωμόσφαιρας, που είναι πολύ θερμές, άρα και πολύ λαμπρές.

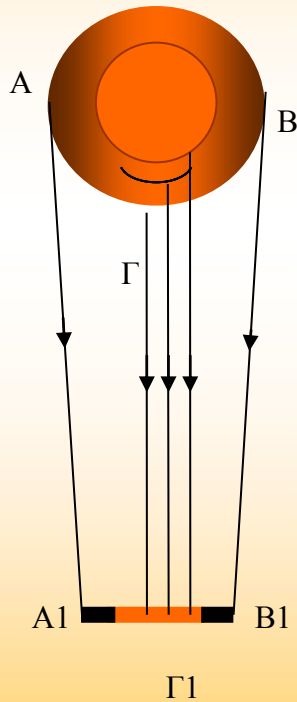
Στις περιοχές του **κέντρου**, η ακτινοβολία προέρχεται **και από πιο εσωτερικές** περιοχές της χρωμόσφαιρας που είναι πιο ψυχρές, επομένως λιγότερο λαμπρές.



ΒΡΕΣ ΤΙΣ ΔΙΑΦΟΡΕΣ

Οπτικό παράθυρο

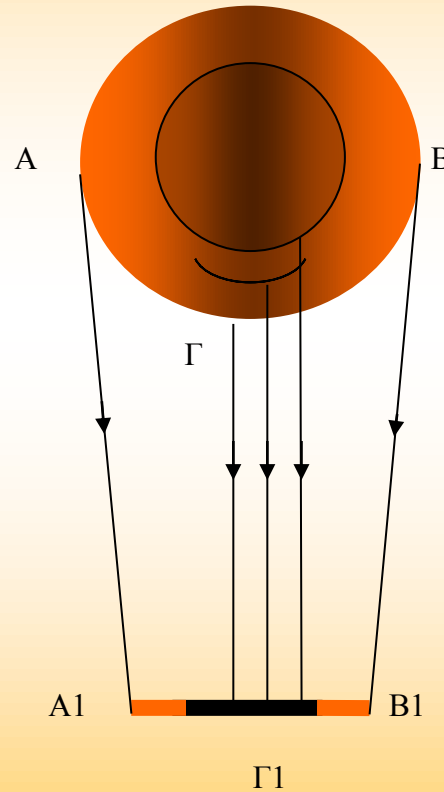
Συνεχές φάσμα
(4.300 – 7.200 Å)



αμαύρωση χείλους
(φωτόσφαιρα)

Παράθυρο RF

Γραμμικό Φάσμα
 $\lambda = 10\text{cm}$



αμαύρωση κέντρου
(στέμμα)

ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΗΛΙΑΚΟΥ ΣΤΕΜΜΑΤΟΣ

Οι θερμοκρασίες που διαπιστώνονται στο στέμμα είναι της τάξης των $T=1-4 \times 10^6 \text{ K}$, τιμές που δεν δύναται να εξηγηθούν με τις συνήθεις παραδοχές. Έπειτα από μελέτη των φαινομένων που λαμβάνουν χώρα στο στέμμα, πιστεύουμε ότι στη θέρμανση του στέμματος συμβάλλουν κυρίως 2 παράγοντες:

Η μετατροπή των MHD (μαγνητοϋδροδυναμικών κυμάτων) σε θερμότητα. Πρόκειται για διαδιδόμενες ταλαντώσεις πλάσματος που πηγάζουν στη φωτόσφαιρα και διαδίδονται προς την ατμόσφαιρα του Ήλιου, μέσω των μαγνητικών δυναμικών γραμμών που βρίσκονται κάτω από την επιφάνεια του.

Η ροή ενέργειας (μηχανικής ενέργειας) μέσω ακουστικών (κρουστικών) κυμάτων πυκνότητας από ρεύματα μεταφοράς, η οποία δίνεται από τη σχέση:

$$F_w = v_w \cdot v_m^2 \cdot \rho$$

Μέση ταχύτητα ταλάντωσης των σωματιδίων του κύματος.

Ταχύτητα διάδοσης του κύματος

Πυκνότητα ρευστού

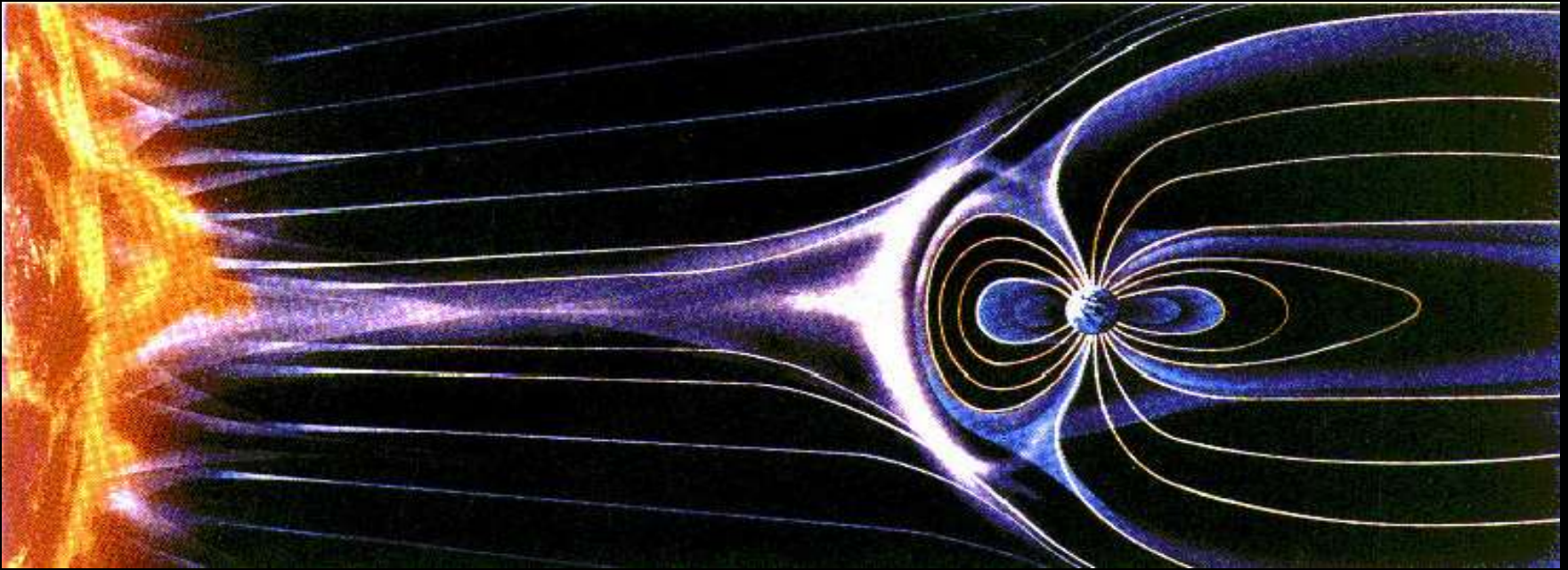
Ο μηχανισμός δημιουργίας των ακουστικών κυμάτων εξηγείται από την παραπάνω σχέση αφού, όταν κατά τη διέλευση του κύματος έχουμε:

$F_w = \text{σταθ.}$ (δεν υπάρχουν απώλειες)
 ενώ $\rho \downarrow$ (απότομη μείωση πυκνότητας στα εξωτερικά αραιότερα στρώματα)

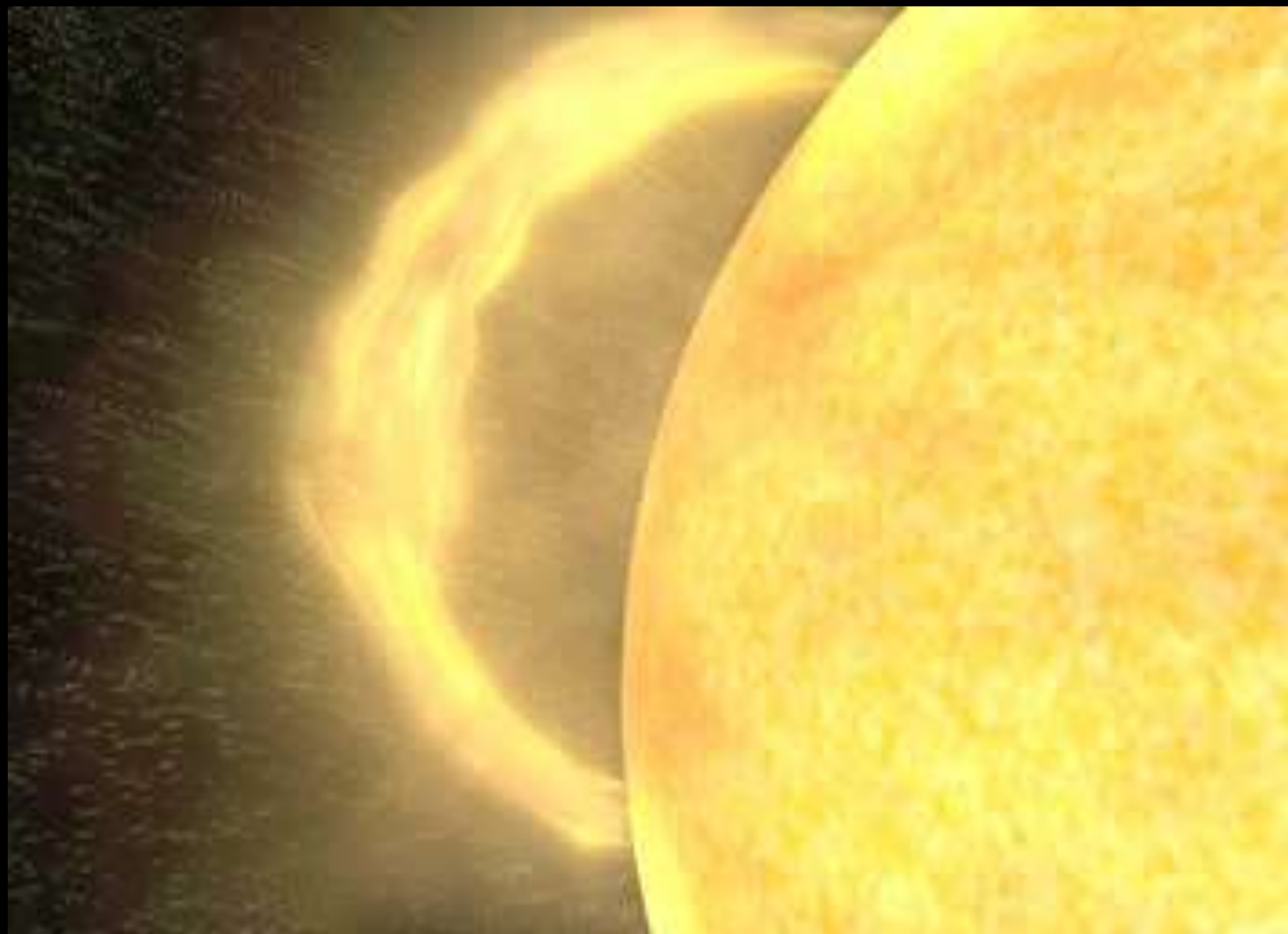
τότε έχουμε $\uparrow v_w$ και $\uparrow v_m \Rightarrow \uparrow \text{συγκρούσεων} \Rightarrow \uparrow T.$

Η μεγάλη δηλαδή αύξηση της ταχύτητας ταλάντωσης v_w οδηγεί στο σχηματισμό **κρουστικού κύματος (shock wave)**, το οποίο αποδίδει άμεσα τη μηχανική του ενέργεια στο στέμμα καθώς έχουμε αύξηση των συγκρούσεων, προκαλώντας τη θέρμανση του (αύξηση της θερμοκρασίας T).

ΗΛΙΑΚΟΣ ΑΝΕΜΟΣ



Ο ηλιακός άνεμος (solar wind) είναι αυτό ακριβώς που μαρτυρά το όνομα του: μια ροή αερίων από τον Ήλιο προς τον διαπλανητικό χώρο, τα οποία αποτελούνται από ηλεκτρικώς φορτισμένα σωματίδια (πρωτόνια, ηλεκτρόνια και ιονισμένα βαρέα άτομα) που ταξιδεύουν με ταχύτητες της τάξης των **400 - 800 Km/sec** (μετρούμενη σε απόσταση 1 A.U. από τον Ήλιο). Τα σωματίδια αυτά εξέρχονται συνεχώς από τον Ήλιο.



ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΗΡΕΜΟΥ ΗΛΙΟΥ

ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

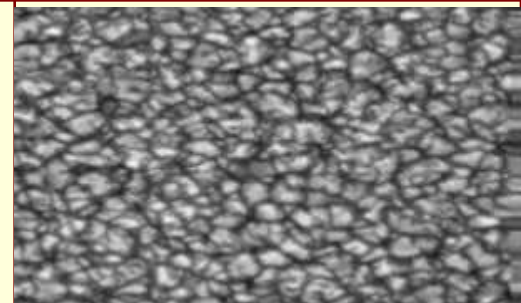
ΑΙΤΙΟ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ

ΕΙΚΟΝΑ

Κοκκίαση

$t = 8 \text{ min}$
 $d = 1000 \text{ Km}$
 $T = 200^\circ \text{C} >$ από αυτή των γύρω περιοχών

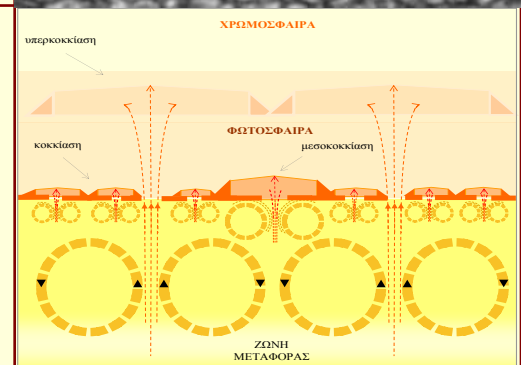
Δημιουργείται από **ρεύματα μεταφοράς** που εξορμούνται από επιφανειακά στρώματα της ζώνης μεταφοράς.



Υπερκοκκίαση

$t = 1-2 \text{ days}$
 $d = 10.000-30.000 \text{ Km}$
 $v_a = 0,5 \text{ Km/sec}$, η ταχύτητα των ανοδικών ρευμάτων που δημιουργούν το φαινόμενο

Δημιουργείται από **ανοδικά ρεύματα μεταφοράς** που εξορμούνται από βαθύτερα στρώματα της ζώνης μεταφοράς.

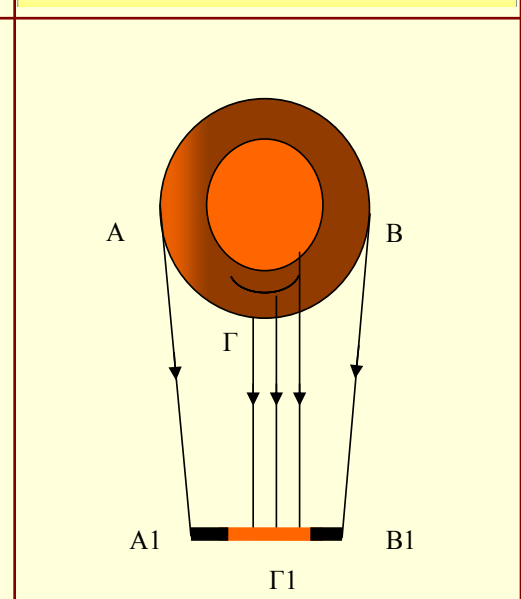


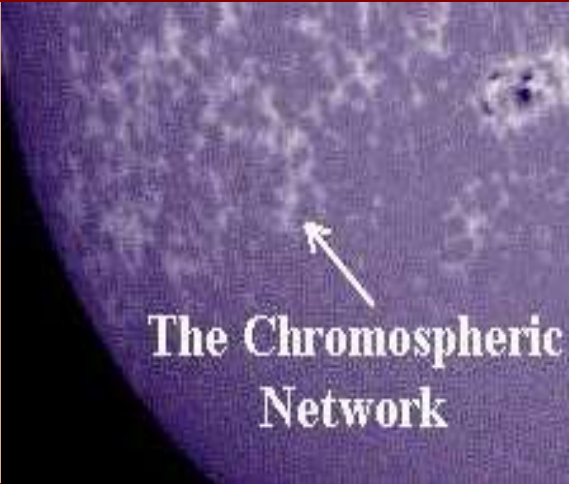
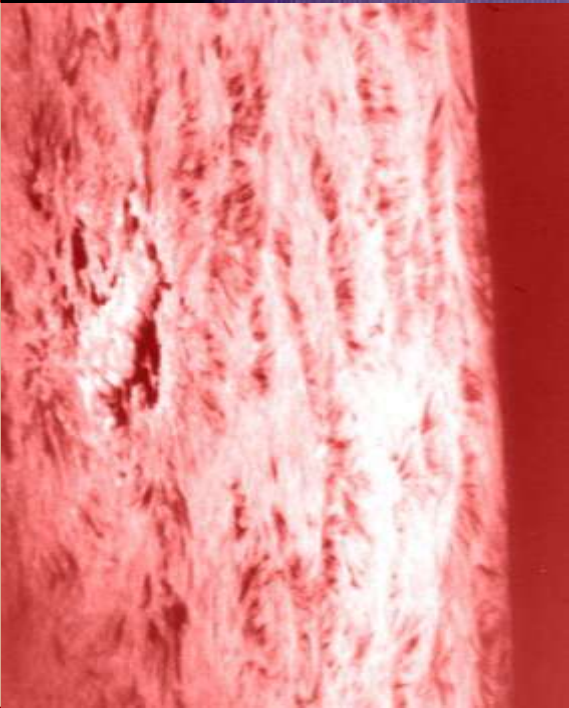
Αμαύρωση χείλους

Στο **κέντρο** η ακτινοβολία προέρχεται και από βαθύτερα στρώματα που είναι πιο λαμπρά ($T = 8.000 \text{ K}$), ενώ στο **χείλος** προέρχεται μόνο από επιφανειακά στρώματα, που είναι λιγότερο λαμπρά ($T = 4.300 \text{ K}$)

Είναι προβολικό, γεωμετρικό φαινόμενο, που κάνει τον Ήλιο να φαίνεται σκοτεινός στο χείλος του, στην **οπτική περιοχή του φάσματος**.

Οφείλεται στην ευθύγραμμη διάδοση του φωτός.



	ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΗΡΕΜΟΥ ΗΛΙΟΥ			
	ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	ΑΙΤΙΟ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ	ΕΙΚΟΝΑ
Χ Ρ Ω Μ Ο Σ Φ Α Ι Ρ Α	Χρωμο-σφαιρικό δίκτυο	$t = 17 \text{ days}$ $d = 35.000\text{Km}$ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ: στην περιοχή της H α , του H I, του Ca II και του He II.	Είναι πολύ λαμπρές περιοχές στη χρωμόσφαιρα που <u>πιθανώς</u> αποτελούν προέκταση της υπερκοκκίασης.	
	Ακίδες ή πίδακες	$t = 8\text{min}$ $d = 1000\text{Km}$ $h = 4.000\text{-}9.000 \text{ Km}$ $T = 15.000 \text{ K}$ $v_{\alpha} = 25 \text{ Km/sec}$ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ: σειρά Balmer κυρίως H α	Είναι ινώδεις σχηματισμοί (κοντά στο ηλιακό χείλος) που οφείλουν την ύπαρξή τους στις κορυφές ανοδικών ρευμάτων που <u>πιθανότατα</u> αποτελούν προέκταση της υπερκοκκίασης. (Το θέμα ερευνάται)	

ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΗΡΕΜΟΥ ΗΛΙΟΥ

Σ
Τ
Ε
Μ
Μ
Α

ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	ΑΙΤΙΟ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ	ΕΙΚΟΝΑ
Θέρμανση Στέμματος	- Μετατροπή των MHD κυμάτων σε θερμότητα. - Ροή (μηχανικής) ενέργειας μέσω ακουστικών κυμάτων πυκνότητας. $F_w = \frac{1}{2} v_w \cdot v_m^2 \cdot \rho$	Οφείλεται σε φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα στις διάφορα στρώματα του Ήλιου, τα οποία προκαλούν κινητικές θερμοκρασίες στο Στέμμα της τάξης των εκατομμυρίων βαθμών K.	
Αμαύρωση κέντρου	Στο χείλος η ακτινοβολία προέρχεται από εξωτερικές περιοχές της χρωμόσφαιρας που είναι πολύ θερμές, άρα και πολύ λαμπρές, ενώ στο κέντρο και από πιο εσωτερικές περιοχές της χρωμόσφαιρας που είναι πιο ψυχρές άρα λιγότερο λαμπρές.	Είναι προβολικό, γεωμετρικό φαινόμενο, που κάνει τον Ήλιο να φαίνεται σκοτεινός στο κέντρο του, στην περιοχή των ραδιοκυμάτων (λ=10cm) . Οφείλεται στην ευθύγραμμη διάδοση του φωτός.	
Ηλιακός άνεμος	ΙΣΗΜΕΡΙΝΟΣ: $v_{HA} = 400 \text{ Km/s}$ ΠΟΛΟΙ: $v_{HA} = 800 \text{ Km/s}$	Ροή αερίων (ηλεκτρικώς φορτισμένων σωματιδίων δηλ. πρωτονίων, ηλεκτρονίων και ιονισμένων βαρέων ατόμων) από τον Ήλιο προς τον διαπλανητικό χώρο.	