

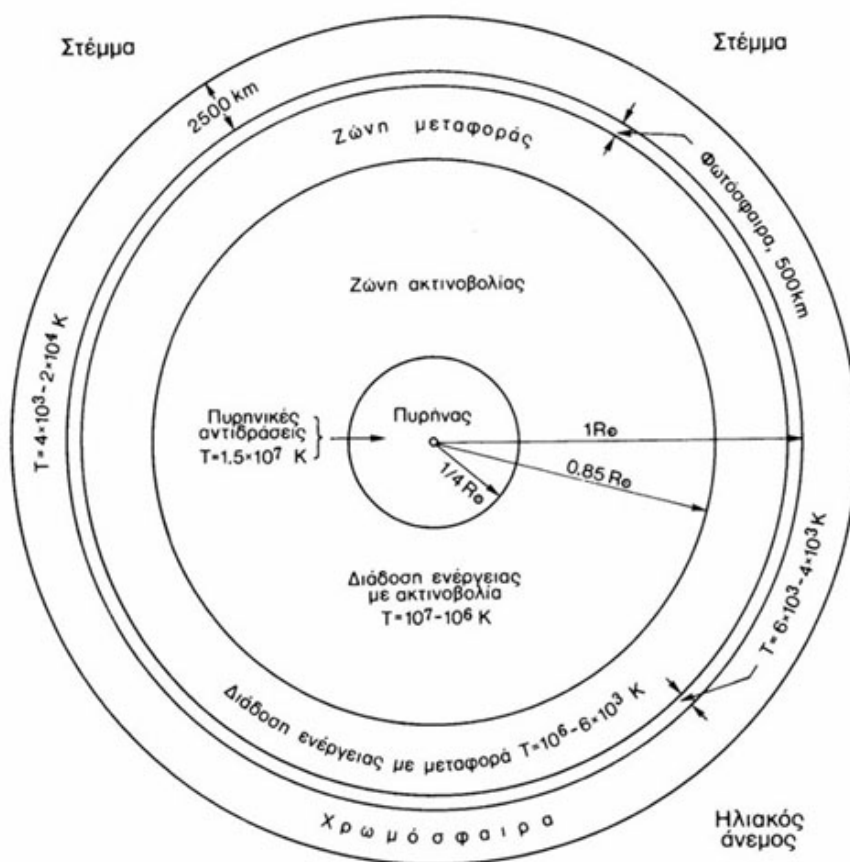
«Ο Ήλιος»

επιμέλεια: Κουλουμβάκος Αθανάσιος

Γενικά

Ο ήλιος είναι μια θερμή σφαίρα αερίων στο εσωτερικό της οποίας γίνονται θερμοπυρηνικές αντιδράσεις. Αποτέλεσμα των αντιδράσεων είναι η παραγωγή ενέργειας η οποία ύστερα από εκατοντάδες χιλιάδες χρόνια φτάνει στην επιφάνεια του ήλιου και στη συνέχεια μόλις σε 8,3 λεπτά φτάνει στη γη. Το μεγάλο ενδιαφέρον που παρουσιάζει η μελέτη του ήλιου καθώς και οι ειδικές συνθήκες παρατήρησης του, δημιούργησαν έναν ιδιαίτερο κλάδο της αστροφυσικής, την ηλιακή φυσική. Βέβαια το γεγονός ότι ο ήλιος βρίσκεται κοντά στη γη μας κάνει πολλές φορές να ξεχνάμε ότι είναι και αυτός ένας αστέρας από τους εκατοντάδες του γαλαξία μας που βλέπουμε με γυμνό μάτι στο νυχτερινό ουρανό. Έτσι τα συμπεράσματα από τη μελέτη του μπορούμε να τα γενικεύσουμε για ένα πολύ μεγάλο πλήθος αστέρων.

Δομή του ήλιου



Αποτελείται από τα εξής μέρη (σχήμα 1):

A) Τον **πυρήνα** με ακτίνα 0,25 της ηλιακής ακτίνας με θερμοκρασία $1,5 \cdot 10^7 \text{ K}^{\circ}$ όπου γίνονται οι θερμοπυρηνικές αντιδράσεις σύντηξης του υδρογόνου σε ήλιο οι οποίες αποτελούν την κύρια πηγή ενέργειας του ήλιου.

B) Τη **ζώνη ακτινοβολίας** πάχους 0,60 ακτίνες ήλιου που περιβάλλει τον πυρήνα και στην οποία μεταφέρεται η ενέργεια με την μορφή ακτινοβολίας.

Γ) Τη **ζώνη μεταφοράς** πάχους 0,15 ακτίνες ήλιου όπου δημιουργούνται φαινόμενα στροβιλισμού από τα ρεύματα μεταφοράς και έτσι η ενέργεια διαδίδεται προς τα έξω με μεταφορά της ύλης.

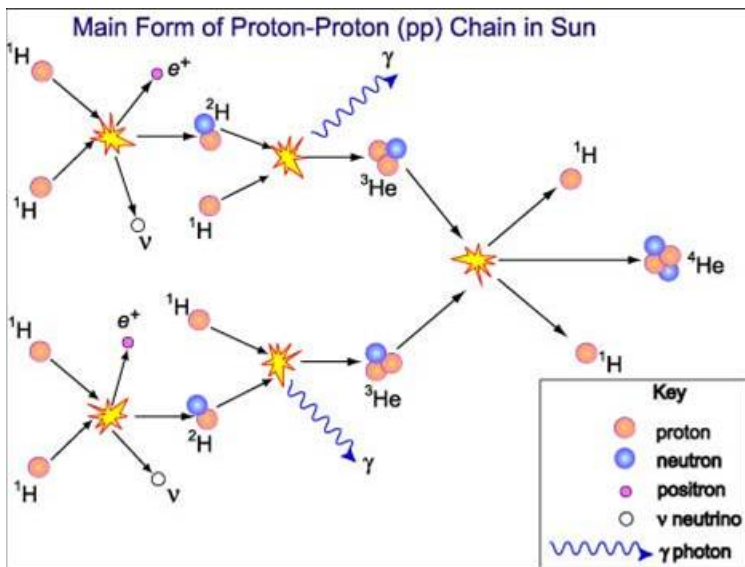
Δ) Τη **φωτόσφαιρα** πάχους 500 Km πάνω στην οποία παρατηρούνται φαινόμενα όπως οι κόκκοι, οι κηλίδες και οι πυρσοί και αποτελεί τον ορατό δίσκο του ήλιου. Ακριβέστερα είναι το θερμό αδιαφανές κέλυφος που παράγει το παρατηρούμενο συνεχές φάσμα του ήλιου και αρχίζει ακριβώς μετά τη ζώνη μεταφοράς. Η φωτόσφαιρα έχει κοκκώδη υφή σαν την επιφάνεια ενός παχύρρευστου υγρού που βράζει. Κάθε μια από τις φυσαλίδες-κόκκους της φωτόσφαιρας έχει ακανόνιστο σχήμα με μέση διάσταση 2.000 km. το φαινόμενο αυτό ονομάζεται φωτοσφαιρική κοκκίαση και οφείλεται σε ανοδικά ρεύματα ζεστών αερίων που σχηματίζονται στη βάση της φωτόσφαιρας.

Ε) Τη **χρωμόσφαιρα** που έχει χρώμα κοκκινωπό και εκτείνεται σε ύψος 10.000-15.000 km. Εκεί παρατηρούνται οι προεξοχές και σε αυτή την περιοχή οφείλονται οι σκοτεινές γραμμές του φάσματος απορρόφησης του ήλιου. Το κοκκινωπό χρώμα της προέρχεται από την εκπομπή ακτινοβολίας από τη γραμμή Ηα του ουδέτερου υδρογόνου. Η πυκνότητα της χρωμόσφαιρας είναι χίλιες φορές μικρότερη από αυτή της φωτόσφαιρας και αυτός είναι ο λόγος που είναι διαφανής στο φως.

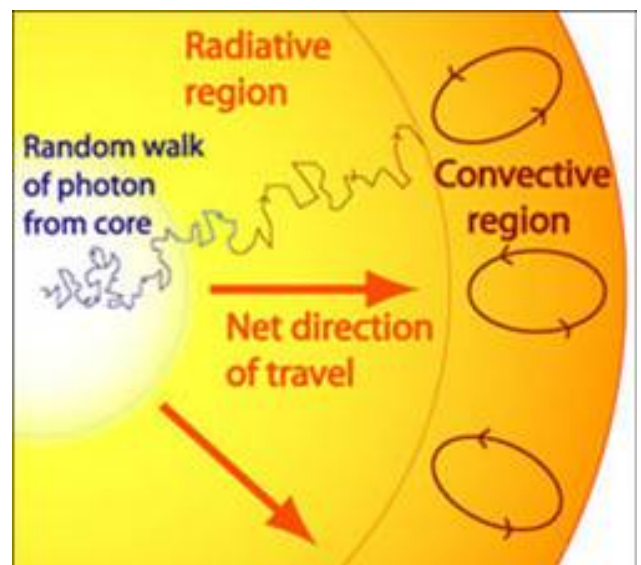
Στ) Το **στέμμα** που εκτείνεται προς το μεσοπλανητικό χώρο χωρίς να έχει σταθερή μορφή. Από το 1930 με το στεμματογράφο Lyot μπορεί να παρατηρηθεί κάθε στιγμή και όχι όπως πριν μόνο κατά την διάρκεια των ηλιακών εκλείψεων. Η λαμπρότητα του στέμματος είναι αντίστοιχη με αυτή της πανσελήνου. Το φάσμα του στέμματος έχει κάποιες λαμπρές γραμμές που αποτελούσαν μυστήριο για πολλά χρόνια μια και δεν μπορούσαν οι αστρονόμοι να καταλάβουν ποιο στοιχείο μπορεί να τις προκαλεί. Τελικά αποδείχτηκε ότι προέρχονταν από έντονα ιονισμένα άτομα στοιχείων ο ιονισμός των οποίων οφείλεται στην εξαιρετικά υψηλή θερμοκρασία του στέμματος.

Πηγές ενέργειας του ήλιου

Κάτω από κατάλληλες προϋποθέσεις γίνεται δυνατή η απελευθέρωση ενέργειας που περιέχεται στα άτομα με δυο τρόπους: την πυρηνική σχάση και την πυρηνική σύντηξη. Στον ήλιο και σε όλους τους αστέρες η ενέργεια παράγεται με το δεύτερο τρόπο, την **πυρηνική σύντηξη**. Στην τωρινή φάση της ζωής του ήλιου από το υδρογόνο που υπάρχει στον πυρήνα του μέσω της πυρηνικής σύντηξης παράγεται ήλιο. Η αντίδραση αυτή γίνεται καθώς πρωτόνια συγκρούονται και δημιουργούν πυρήνες ηλίου ενώ ταυτόχρονα απελευθερώνεται ενέργεια με τη μορφή ακτινών γ και νετρίνων. Η συγκεκριμένη αντίδραση ονομάζεται **αλυσίδα πρωτονίου-πρωτονίου (p-p)** (σχήμα 2) και απελευθερώνει ενέργεια $4,2 \times 10^{-12}$ J για τη δημιουργία ενός πυρήνα ηλίου. Για να δικαιολογηθεί η φωτεινότητα του ήλιου θα πρέπει ηλιακή μάζα ίση με 140 τρισεκατομμύρια τόνους να μετατρέπεται σε ενέργεια κατά τη διάρκεια ενός χρόνου. Με τη διαδικασία p-p αυξάνεται η περιεκτικότητα του ήλιου σε ήλιο και μειώνεται σε υδρογόνο. Ωστόσο μόνο το υδρογόνο που βρίσκεται κοντά και μέσα στον πυρήνα του ηλίου χρησιμοποιείται, δηλαδή το 10% της ολικής του μάζας. Άρα η ενέργεια που ακτινοβολείται από τον ήλιο προέρχεται από τον πυρήνα του. Ωστόσο ένα φωτόνιο που γεννήθηκε στον πυρήνα του ηλίου για να καταφέρει να φτάσει στην επιφάνειά του απαιτείται πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα, λόγω των συνεχών «συγκρούσεων» (σχήμα 3). Συγκεκριμένα οι ακτίνες που βλέπουμε σήμερα έχουν γεννηθεί πριν από εκατοντάδες χιλιάδες χρόνια. Ο ήλιος έχει τεράστια αποθέματα από υδρογόνο. Βέβαια κάποτε το υδρογόνο θα εξαντληθεί και θα αρχίσει σε αυτή τη φάση του ήλιου η σύντηξη ηλίου σε βαρύτερα στοιχεία. Τότε ο ρυθμός παραγωγής ενέργειας θα αλλάξει και όταν συμβεί αυτό η διάμετρος, η θερμοκρασία και η λαμπρότητα του ηλίου θα μεταβληθούν. Οι επιστήμονες εκτιμούν πως ο ήλιος θα συνεχίσει να παράγει ενέργεια από τη σύντηξη του υδρογόνου για 5 περίπου δισεκατομμύρια χρόνια ακόμα.



σχήμα 2



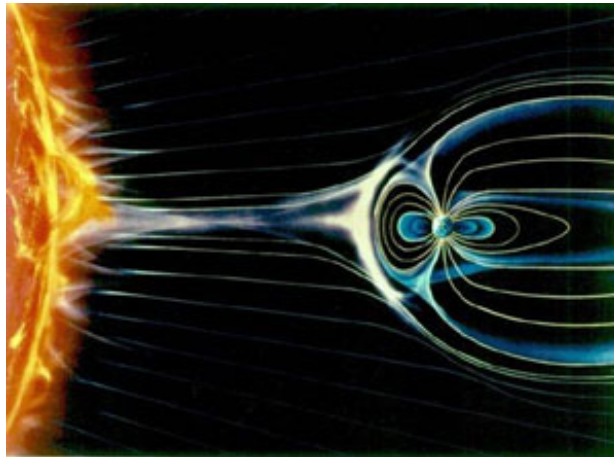
σχήμα 3

Η Ηλιακή ακτινοβολία

Ο ήλιος ακτινοβολεί ενέργεια από τα εξωτερικά του στρώματα προς το διάστημα που κατανέμεται σε όλες τις περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Εκπέμπει λοιπόν ακτινοβολία στην περιοχή των ραδιοκυμάτων, του υπέρυθρου, του ορατού και του υπεριώδους, στις ακτίνες X και γ. Επιπλέον ο ήλιος εκπέμπει και

σωματιδιακή ακτινοβολία μέσω του ηλιακού ανέμου. Κάθε μία από τις ακτινοβολίες αυτές μεταφέρει πληροφορίες οι οποίες αφορούν διαφορετικά φαινόμενα που συμβαίνουν σε διαφορετικά στρώματα του ήλιου. Το ηλιακό φάσμα είναι σύνθετο με έντονο συνεχές υπόβαθρο που διακόπτεται από χιλιάδες σκοτεινές και λίγες φωτεινές γραμμές διάφορων εντάσεων. Πρώτος το μελέτησε ο Φραουνχόφερ και αυτός είναι ο λόγος που φέρει το όνομά του. Από τη μελέτη του ηλιακού φάσματος ανιχνεύονται τα χημικά στοιχεία από τα οποία αποτελείται ο ήλιος καθώς και οι φυσικές συνθήκες που επικρατούν στην ατμόσφαιρά του. Το συνεχές υπόβαθρο του φάσματος προέρχεται από την φωτόσφαιρα ενώ οι γραμμές απορρόφησης από τα υπερκείμενα στρώματα στα οποία οφείλονται και μερικές λαμπρές γραμμές εκπομπής. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι γραμμές του ηλιακού φάσματος που αρχικά αποδόθηκαν στο υποθετικό στοιχείο κορώνιο αποδείχτηκε ότι ανήκαν σε γνωστά χημικά που όμως βρίσκονταν στις ειδικές φυσικές συνθήκες που επικρατούν στην ατμόσφαιρα του ήλιου.

Ο ηλιακός άνεμος (σχήμα 4): Η θερμική ενέργεια του αραιού πλάσματος του στέμματος είναι τόσο υψηλή ώστε να υπερνικά το πεδίο βαρύτητας του ήλιου και διαστέλλεται στον μεσοπλανητικό χώρο με την μορφή ανέμου. Ο ηλιακός άνεμος που έχει χαρακτηριστεί και σαν ηλιακή σωματιδιακή ακτινοβολία αποτελείται κυρίως από ηλεκτρόνια και πρωτόνια που εκπέμπονται σχεδόν ακτινικά από το στέμμα του ήλιου με υπερηχητικές ταχύτητες. Οι στεμματικές οπές είναι τα κύρια σημεία διαφυγής και επιταχύνσεως του ηλιακού ανέμου δεδομένου ότι οι στεμματικές οπές βρίσκονται σε περιοχές που χαρακτηρίζονται από ανοικτές μαγνητικές γραμμές, χαμηλή θερμοκρασία και πυκνότητα σε σύγκριση με της αντίστοιχες τιμές του στέμματος. Ο ηλιακός άνεμος εκτοξεύεται από διαφορετικά σημεία της επιφάνειας του ήλιου και με διαφορετική αρχική ταχύτητα λόγω των διαφορετικών συνθηκών που επικρατούν στις στρεμματικές οπές και ως εκ τούτου λόγω της περιστροφής του ήλιου φτάνει στη γη κατά ριπές ή αλλιώς ως ρεύματα ή κύματα ηλιακού ανέμου.



σχήμα 4

Ηλιακή δραστηριότητα

- Η φωτόσφαιρα, η χρωμόσφαιρα και το στέμμα αποτελούν τα εξωτερικά διαδοχικά στρώματα του ήλιου. Τα στρώματα αυτά δεν είναι ομοιογενή και έχουν διαφορετική δομή μεταξύ τους. το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με την περιστροφή του ήλιου και το μαγνητικό του πεδίο έχουν αποτέλεσμα να παρατηρούνται φαινόμενα μικρής χρονικής διάρκειας εντοπισμένα σε περιοχές πάνω ή κοντά σε αυτά τα στρώματα. Οι περιοχές αυτές ονομάζονται περιοχές δράσης.

Φαινόμενα Φωτόσφαιρας:



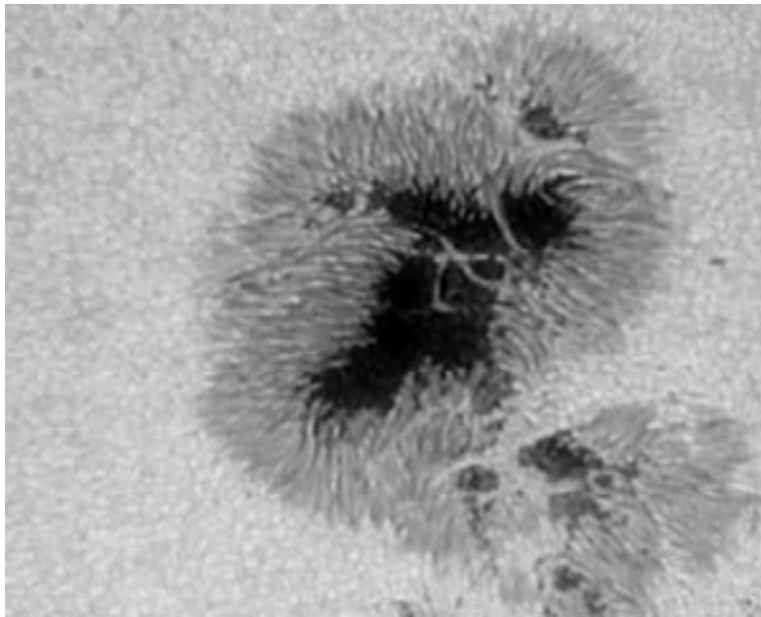
Φωτόσφαιρα

Ηλιακές κηλίδες: Παρατηρώντας τον ήλιο θα δούμε ότι δίνει την εντύπωση πύρινης σφαίρας. Παρατηρείται επίσης μια ελάττωση της λαμπρότητάς του καθώς κοιτάμε προς το χείλος αυτό προκαλείται από το γεγονός ότι οι φωτεινές ακτίνες που μας έρχονται από εκεί διανύουν περισσότερο παχιά ατμόσφαιρα σε σχέση με τις ακτίνες που προέρχονται από το κέντρο του ηλιακού δίσκου. Στην παρατήρηση του ήλιου ακόμα και με μικρό τηλεσκόπιο με ηλιακό φίλτρο εύκολα μπορούμε να διακρίνουμε τις ηλιακές κηλίδες. Είναι μικρές μαύρες περιοχές στην επιφάνεια του ήλιου. Ο λόγος που οι ηλιακές κηλίδες παρουσιάζονται μαύρες είναι η χαμηλή θερμοκρασία τους σε σχέση με τη θερμοκρασία της φωτόσφαιρας που τις περιβάλλει. Υπολογίζεται ότι η θερμοκρασία της σκιάς είναι περίπου 4100°K ενώ της φωτόσφαιρας είναι περίπου 5800°K. αν μπορούσαμε να απομονώσουμε μια ηλιακή κηλίδα από το λαμπρό υπόβαθρο της φωτόσφαιρας θα την βλέπαμε να λάμπει με φαινόμενο μέγεθος -12. Το φαινόμενο μέγεθος του ηλιακού δίσκου είναι -26,74. Η πρώτη παρατήρηση των ηλιακών κηλίδων έγινε το 1610 και από τότε συνεχίζεται η παρακολούθησή τους μέχρι σήμερα. Συνήθως εμφανίζονται ανάμεσα στους κόκκους για να αναπτυχθούν στη συνέχεια παίρνοντας μεγάλες διαστάσεις ως και πάνω από 100.000χλμ. σε μερικές περιπτώσεις καταλαμβάνουν τεράστια έκταση έως και 15° στον ηλιακό δίσκο. Οι πρώτοι παρατηρητές των ηλιακών κηλίδων ήταν οι εξής: ο Γαλιλαίος, ο Χάρισιτ, ο Φαμπρίσιους και ο Σάινερ ανεξάρτητα ο ένας από τον άλλο.

1) Σε κάθε ηλιακή κηλίδα διακρίνουμε τα εξής χαρακτηριστικά:

- Την σκιά (umbra): μαύρη κεντρική περιοχή.
- Την παρασκιά (penumbra): λιγότερο σκοτεινή ζώνη γύρω από τη σκιά.
- Τα νήματα (filaments): διακρίνονται μέσα στην παρασκιά και έχουν κατεύθυνση ακτινική προς το κέντρο της σκιάς.

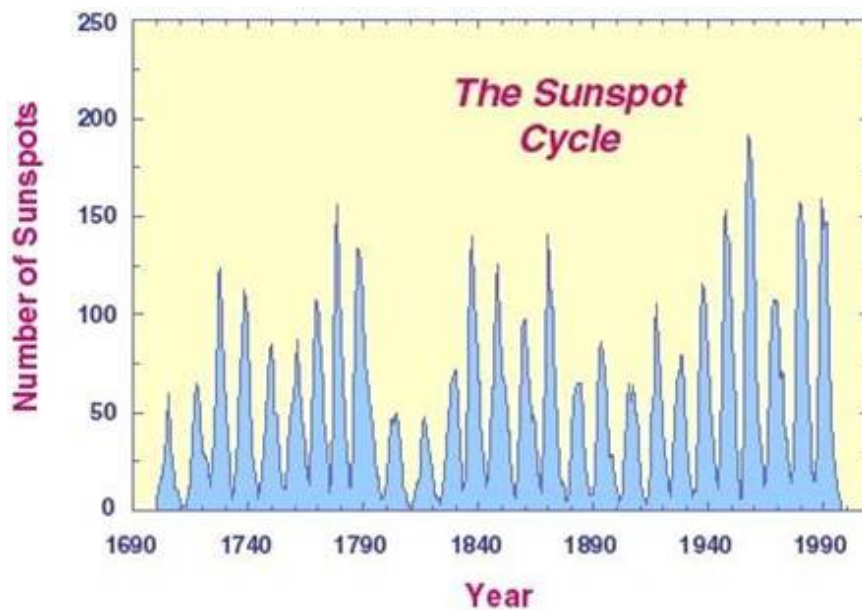
Τα χαρακτηριστικά αυτά διακρίνονται εύκολα στην παρακάτω φωτογραφία:



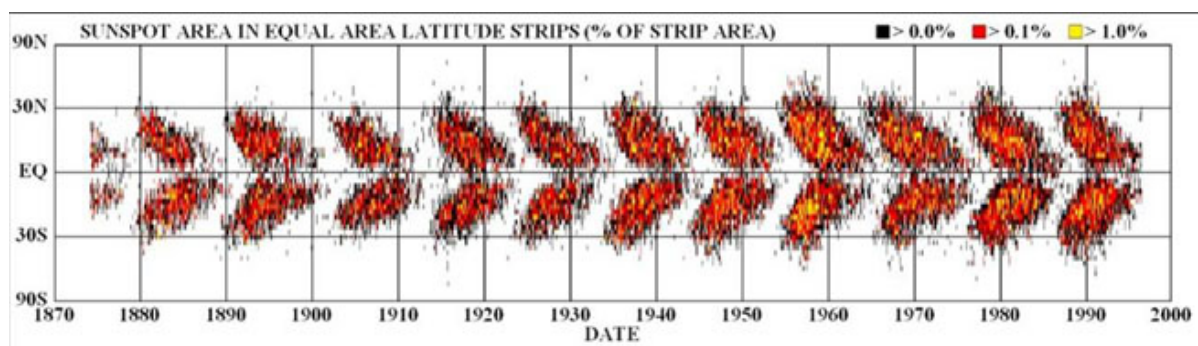
Ηλιακή Κηλίδα

Οι κηλίδες εμφανίζονται σχεδόν πάντα σε ομάδες στην αρχή σαν μαύρες κουκίδες σε απόσταση 1.000χλμ μεταξύ τους ή μια από την άλλη. Μετά απομακρύνονται και γρήγορα φτάνουν στο μέγιστο μέγεθός τους. στις περισσότερες περιπτώσεις διακρίνουμε σε κάθε ομάδα δυο κηλίδες που είναι σαφώς μεγαλύτερες από τις άλλες και βρίσκονται στο ίδιο περίπου ηλιακό πλάτος. Από αυτές τις δύο κηλίδες αυτή που προηγείται κατά τη διεύθυνση της περιστροφής του ήλιου λέγεται p-κηλίδα (preceding-ηγούμενη) ενώ η άλλη ονομάζεται f-κηλίδα (Following-επόμενη). Το μέγεθος μιας κηλίδας είναι περίπου 10.000χλμ ενώ το συνολικό μήκος μιας ομάδας στην οποία ανήκει είναι περίπου 100.000χλμ. σπάνια η διάμετρος μιας μεγάλης κηλίδας μπορεί να φτάσει στα 80.000χλμ και τότε μπορεί να γίνει ορατή κατά την ανατολή και δύση του ηλίου με γυμνό μάτι. Ο χρόνος ζωής των κηλίδων είναι για τις πολύ μικρές μερικές μέρες ενώ για τις μεγαλύτερες ή ομάδες κηλίδων είναι μέχρι και 100 μέρες δηλαδή 4 ηλιακές περιστροφές. Στατιστικά πάντως το 95% του συνολικού αριθμού των ηλιακών κηλίδων έχει χρόνο ζωής μικρότερο από 11 μέρες. Οι κηλίδες συνήθως εμφανίζονται σε δυο ζώνες βόρεια και νότια από τον ηλιακό ισημερινό σε ηλιακό πλάτος $\pm 5^\circ$ έως $\pm 35^\circ$. Η συχνότητα εμφάνισης και στα δυο ημισφαίρια είναι η ίδια. Ο αριθμός των κηλίδων και των ομάδων κηλίδων που εμφανίζονται μεταβάλλεται με τον χρόνο. Συγκεκριμένα η εμφάνιση των κηλίδων παρουσιάζει έναν 11ετή κύκλο δραστηριότητας δηλαδή ο αριθμός τους αυξάνεται και ελαττώνεται περιοδικά κάθε 11 χρόνια (**σχήμα 5**). Ωστόσο σε αυτό το σημείο έχουμε να παρατηρήσουμε το εξής. Το μαγνητικό πεδίο μιας κηλίδας εξέρχεται από τη σκιά της και εισέρχεται

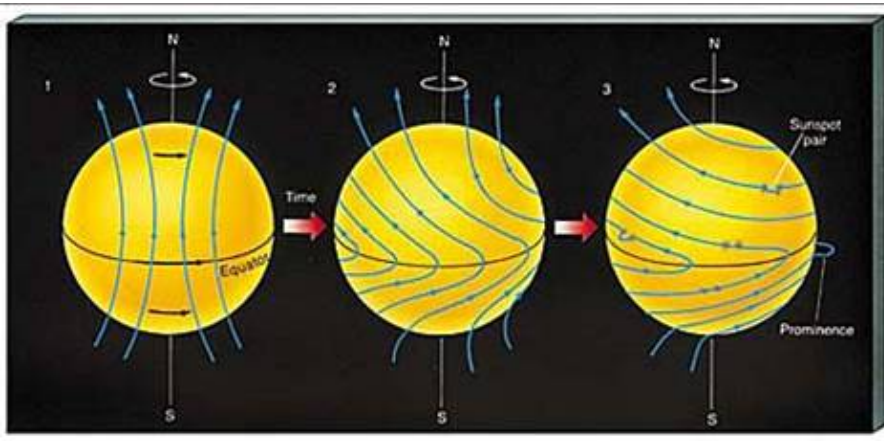
στην επιφάνεια του ήλιου σε μια γειτονική κηλίδα αντίθετης πολικότητας . Για το λόγο αυτό η πολικότητα της ηγούμενης κηλίδας είναι συνήθως διαφορετική από της επόμενης. Επίσης αξίζει να σημειωθεί ότι η πολικότητα των ηγούμενων κηλίδων στο βόριο ημισφαίριο είναι διαφορετική από αυτή στο νότιο ημισφαίριο. Η πολικότητα αυτή αντιστρέφεται κάθε 11 χρόνια περίπου με αποτέλεσμα ο κύκλος δραστηριότητας των ηλιακών κηλίδων να θεωρείται 22ετής πλέον και όχι 11ετής. Οι πρώτες κηλίδες ενός νέου κύκλου εμφανίζονται συνήθως σε μια πλατιά ζώνη που απέχει γύρω στις 40° από τον ηλιακό ισημερινό. Καθώς όμως ο κύκλος εξελίσσεται οι κηλίδες μετατοπίζονται προς τον ισημερινό και τελικά τον πλησιάζουν μετά από 11 περίπου χρόνια. Συγχρόνως τότε εμφανίζονται οι πρώτες κηλίδες του νέου κύκλου με αντίθετη πολικότητα. Οι επιστήμονες κατέγραψαν την κατανομή των κηλίδων κατά ηλιογραφικό πλάτος. Η κατανομή αυτή είναι γνωστή σαν διάγραμμα πεταλούδας ή και ως διάγραμμα Maunder (σχήμα 6). Η θεωρία που ερμηνεύει το διάγραμμα της πεταλούδας είναι αυτή του Babcock. Η θεωρία αυτή ερμηνεύει επίσης το νόμο της πολικότητας την αναστροφή του γενικού πεδίου και την εξαφάνιση των διπολικών μαγνητικών γραμμών. Με απλά λόγια η θεωρία αυτή έχει ως εξής: Τα μαγνητικά πεδία δημιουργούνται από την κίνηση ηλεκτρικών φορτίων και τα χαρακτηριστικά τους προσδιορίζονται από τις τροχιές των φορτίων το μέγεθός τους και την ταχύτητά τους. Τα μαγνητικά πεδία του ήλιου δημιουργούνται στο οριακό στρώμα της ζώνης μεταφοράς με τη ζώνη ακτινοβολίας κάτω από τη φωτόσφαιρα. Ο ήλιος είναι ρευστός και η φωτόσφαιρά του δεν περιστρέφεται σαν ένα σώμα συγκεκριμένα στον ισημερινό η γωνιακή ταχύτητα είναι μεγαλύτερη. Αυτή η διαφορά περιστροφής συστρέφει τις μαγνητικές γραμμές των πεδίων που σε ορισμένες περιπτώσεις αναστρέφονται και δημιουργούν κλειστούς βρόχους που βγαίνουν πάνω από την επιφάνεια. οι τοπικές ανωμαλίες εμποδίζουν την ελεύθερη κίνηση των ρευμάτων οπότε δεν ανεβαίνουν θερμά αέρια προς την επιφάνεια. αυτή η ανακοπή δημιουργεί σχετικά κρύες περιοχές στα σημεία όπου ο μαγνητικός βρόχος συναντά την επιφάνεια. για αυτό οι κηλίδες σχηματίζονται σε ζεύγη (σχήματα 7, 8)



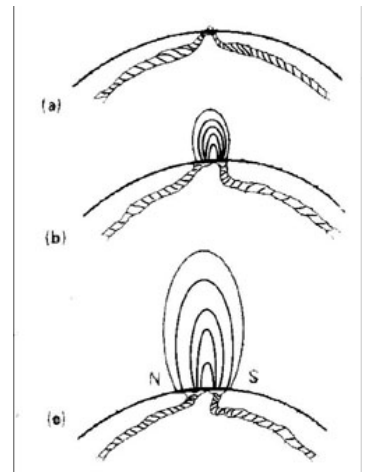
σχήμα 5



σχήμα 6



σχήμα 7



σχήμα 8

2) Καταμέτρηση των ηλιακών κηλίδων- ηλιακή δραστηριότητα.

Ο ημερήσιος αριθμός κηλίδων πάνω στην φωτόσφαιρα του ήλιου μας δίνει αρκετά πιστά την εικόνα της ηλιακής δραστηριότητας. Ωστόσο σπουδαίο ρόλο παίζει και η παρουσία ή όχι ομάδων κηλίδων στη φωτόσφαιρα του ήλιου. Για αυτό το λόγο πριν από 100 χρόνια περίπου ο Wolf πρότεινε η ηλιακή δραστηριότητα να εκφράζεται από το συνδυασμό του αριθμού f των μεμονωμένων κηλίδων και του αριθμού g των ομάδων των κηλίδων της φωτόσφαιρας όπου στο g να δίνεται στατιστικό βάρος 10. Έτσι προέκυψε ο **αριθμός του Wolf** $R=k(10g+f)$ ο οποίος χρησιμοποιείται ευρύτατα σήμερα. Η σταθερά k εξαρτάται από το όργανο παρατήρησης τον παρατηρητή και τις συνθήκες παρατήρησης.

3) Μετατόπιση των κηλίδων και περιστροφή του ήλιου.

Ο ήλιος περιστρέφεται γύρω από τον άξονά του μια φορά κάθε 27 μέρες περίπου. Αυτό σημαίνει πως οι κηλίδες που περιστρέφονται μαζί του μετακινούνται κατά 13.3 μοίρες ημερήσια από την ανατολική πλευρά προς τη δυτική. Η μετακίνηση αυτή διαπιστώνεται εύκολα και μέσα λίγες ώρες. Μια κηλίδα διαγράφει την ορατή πλευρά του ήλιου μέσα σε 13.5 μέρες περίπου. Η κίνησή της είναι ταχύτερη στον ισημερινό από ότι σε μεγαλύτερα ηλιακά πλάτη. Κατά τη διάρκεια της ζωής τους οι κηλίδες μιας ομάδας παρουσιάζουν επί πλέον μικρές μετατοπίσεις κατά ηλιογραφικό μήκος και πλάτος δηλαδή ίδιες κινήσεις που μπορούν να φτάσουν τις μερικές μοίρες. Η ταχύτητα περιστροφής του ήλιου προσδιορίζεται και με άλλες μεθόδους που δίνουν όμως λίγο διαφορετικά αποτελέσματα.

4) Επιδράσεις των ηλιακών κηλίδων στη Γη

Οι ηλιακές κηλίδες επιδρούν στη διαμόρφωση των γήινων κλιματολογικών συνθηκών καθώς και στην ανάπτυξη των δέντρων. Τα μέγιστα των ηλιακών κηλίδων συμπίπτουν με την μέγιστη ανάπτυξη των δέντρων (θερμή εποχή με άφθονες βροχοπτώσεις). Μια σημαντική αλλά μη αποδεδειγμένη εποχή είναι η εποχή του ελαχίστου Maunder περίοδος μεταξύ των ετών 1645-1715 που θεωρείται ότι συμπίπτει με την παντελή έλλειψη ηλιακών κηλίδων με το δριμύ ψύχος που επικρατούσε τότε σε όλο το βόρειο ημισφαίριο. Η εποχή αυτή τεκμηριώνεται από ιστορικά δεδομένα και ονομάζεται μικρή εποχή των παγετώνων κατά την διάρκεια της οποίας τα ποτάμια πάγωναν και τα χιόνια παρέμεναν και στα χαμηλά υψόμετρα χωρίς να λιώνουν. Υπάρχουν βέβαια αποδείξεις ότι ο ήλιος διένυσε τέτοιες περιόδους και στο πιο μακρινό παρελθόν. Η σχέση μεταξύ της ηλιακής δραστηριότητας και του γήινου κλίματος διερευνάται ακόμη και σήμερα.

5) Το μυστήριο της θερμής κορόνας του ήλιου

Ένα μυστήριο καλύπτει το γεγονός ότι ενώ ο ήλιος στην επιφάνειά της φωτόσφαιρας έχει θερμοκρασία που φτάνει μόνο στους 6000°K η κορόνα του έχει θερμοκρασία $2.000.000^{\circ}\text{K}$. Συχνά το φαινόμενο αυτό παρομοιάζεται από τους αστρονόμους σαν να υπάρχει μια φωτιά και ξαφνικά να σε χτυπά μια σπίθα χιλιάδες φορές θερμότερη από την ίδια τη φωτιά.

Το φαινόμενο αυτό προσπαθούν να το εξηγήσουν οι επιστήμονες ως εξής:

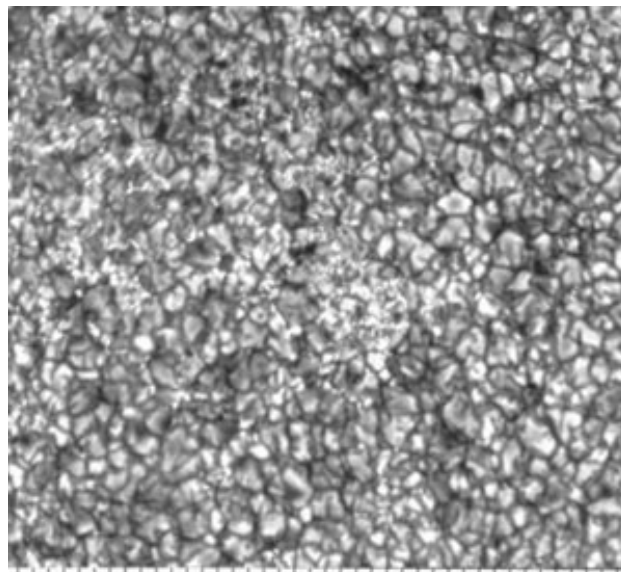
→ Θεωρία των κυμάτων θερμότητας: οι μαγνητικές γραμμές μεταφέρουν κύματα θερμότητας από την κοχλάζουσα επιφάνεια του ήλιου τα οποία θερμαίνουν τα ηλεκτρικά φορτισμένα αέρια της κορόνας σε τεράστιες θερμοκρασίες.

→ Θεωρία συστρόφης μαγνητικών γραμμών: οι μαγνητικές γραμμές του πεδίου του ήλιου συστρέφονται λόγω της διαφορετικής περιστροφής του και τελικά σπάνε απελευθερώνοντας την ενέργειά τους θερμαίνοντας ραγδαία τα αέρια της κορόνας του ήλιου.

Το φαινόμενο αυτό θα μελετηθεί από τις μελλοντικές αποστολές Solar-Probe και Stereo & Solar Orbiter στις οποίες θα συλλεχθούν αρκετά δεδομένα για να εξηγηθεί το φαινόμενο αυτό

Άλλα φαινόμενα της φωτόσφαιρας:

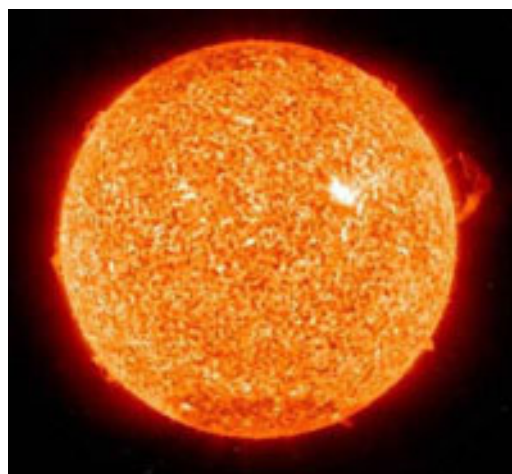
Πολλές φορές κοντά στα χείλη της φωτόσφαιρας στην περιοχή που υπάρχουν κηλίδες παρατηρούνται περιοχές μεγαλύτερης λαμπρότητας. Οι περιοχές αυτές ονομάζονται πυρσοί (faculae) και πιθανόν να οφείλονται σε ενέργεια που παράγεται κατά την αναδιάταξη του μαγνητικού πεδίου των κηλίδων. Η παρουσία πυρσών σε περιοχή που δεν υπάρχουν κηλίδες είτε προμηνύει την εμφάνιση κηλίδων είτε αποτελεί ένδειξη ότι στην περιοχή αυτή υπήρχαν κηλίδες που έχουν εξαφανιστεί. Η παρουσία πάντως πυρσών στο ανατολικό χείλος του ήλιου συνήθως προμηνύει την εμφάνιση νέων κηλίδων. Ας σημειωθεί ότι σπάνια παρατηρούνται πυρσοί στο κέντρο της φωτόσφαιρας γιατί η φωτεινότητά τους είναι περίπου ίση με τη φωτεινότητα του κέντρου της φωτόσφαιρας. Όταν η διαταραχή της ατμόσφαιρας είναι μικρή είναι δυνατόν να παρατηρηθεί το φαινόμενο της κοκκίασης (granulation) στη φωτόσφαιρα. Οι κόκκοι είναι μικροί φωτεινοί σχηματισμοί διαμέτρου 1'' δηλαδή περίπου 800χλμ με διάρκεια ζωής από 3 έως 10 λεπτά της ώρας. Πιστεύουμε ότι αποτελούν τις κορυφές θερμών αερίων ρευμάτων που προέρχονται από το εσωτερικό του ήλιου τη ζώνη δηλαδή μεταφοράς. Μερικές φορές παρατηρούνται σκοτεινοί πυρσοί (dark faculae) κοντά στο κέντρο του δίσκου του ήλιου. Επίσης σπάνια κατά τη διάρκεια του μεγίστου αριθμού ηλιακών κηλίδων παρατηρούνται λευκές φωτοσφαιρικές εκλάμψεις (white light flares) διάρκειας μερικών λεπτών τις ώρας.



Κοκκίαση

30 40 50 60
Photospheric granulation, G. Scharmer
Swedish Vacuum Solar Telescope
10 July 1997
Distance in units of
1000 kilometers

Φαινόμενα Χρωμόσφαιρας:



Χρωμόσφαιρα

Η ολική ακτινοβολία της χρωμόσφαιρας είναι κατά 1000 φορές τουλάχιστον χαμηλότερη από της φωτόσφαιρας και επομένως γίνεται ορατή μόνο κατά τη διάρκεια ολικών εκλείψεων. Σε ορισμένες όμως στενές περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος η ένταση της ακτινοβολίας είναι τόσο ισχυρή ώστε

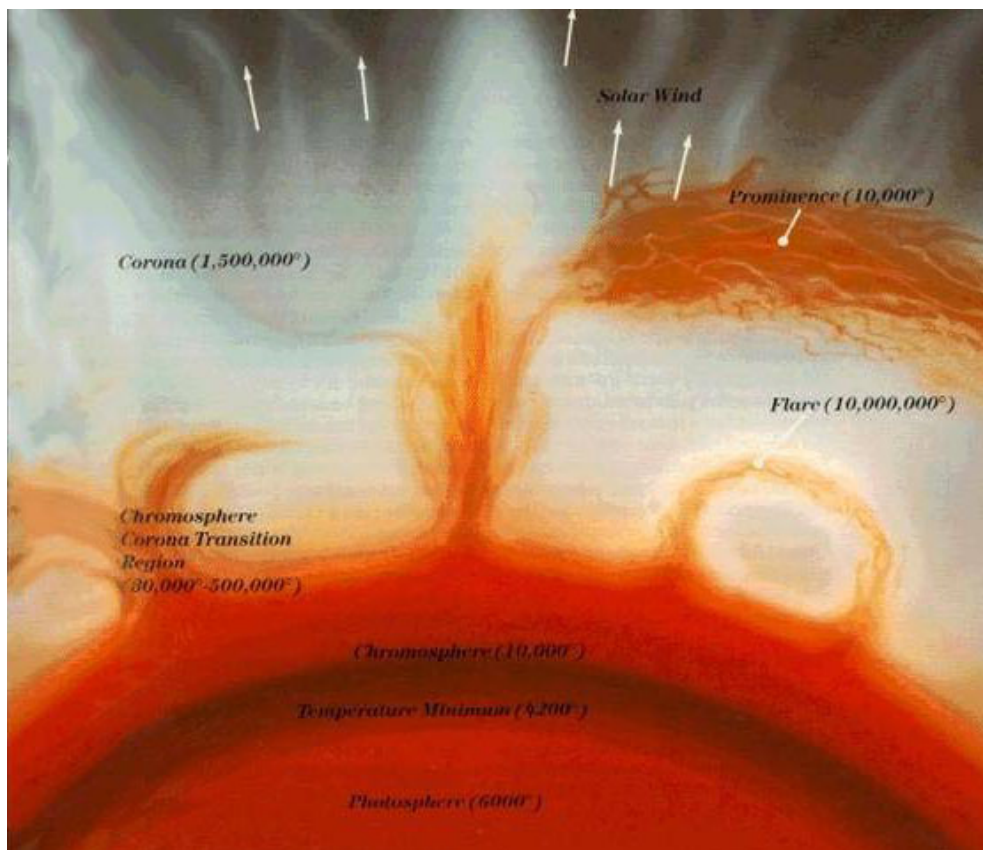
μπορούμε να τη παρατηρήσουμε εύκολα ακόμα και χωρίς την βοήθεια εκλείψεων. Οι πιο συνηθισμένες παρατηρήσεις της χρωμόσφαιρας γίνονται στις φασματικές γραμμές Ηα του υδρογόνου και Ca του ασβεστίου με τον μονοχρωματικό ηθμό του Lyot. Τα κυριότερα φαινόμενα που παρατηρούνται στη χρωμόσφαιρα είναι:

Α) Η **υπερκοκκίαση (super granulation)**. Οι κόκκοι έχουν μέση διάμετρο 10.000 ως 35.000χλμ και μέση διάρκεια ζωής 30 ώρες. Όταν οι συνθήκες παρατήρησης είναι καλές γίνονται εύκολα αντιληπτοί με το μονοχρωματικό ηθμό Lyot γιατί δημιουργούν ένα δίκτυο στη χρωμόσφαιρα το χρωμοσφαιρικό δίκτυο το οποίο αποτελεί την καλύτερη απόδειξη ύπαρξης των ανοδικών/ καθοδικών ρευμάτων της χρωμόσφαιρας.

Β) Οι **ακίδες (spicules)** εμφανίζονται στο χείλος του ηλιακού δίσκου και είναι στενοί επιμήκεις σχηματισμοί ύψους περίπου 7000χλμ και μέσου πλάτους 1000χλμ. Η μέση διάρκεια ζωής τους είναι 8 λεπτά της ώρας.

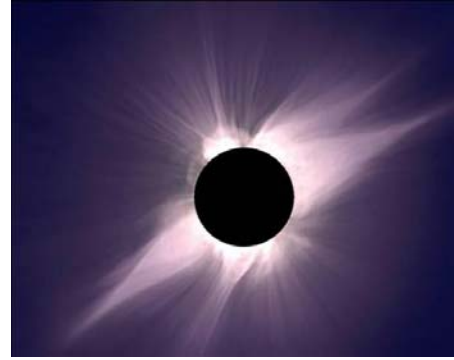
Γ) Οι **προεξοχές (prominences)** και τα **νήματα (filaments)** αποτελούν δυο διαφορετικές μορφές του ίδιου φαινομένου. Οι μεν προεξοχές παρουσιάζονται κοντά στο χείλος του ήλιου και εμφανίζονται σαν επιμήκεις σχηματισμοί που προεκτείνονται πάνω από τη βάση της χρωμόσφαιρας τα δεν νήματα είναι η προβολή τους πάνω στο δίσκο του ήλιου και παρατηρούνται σαν σκοτεινοί σχηματισμοί. Όταν ο ήλιος βρίσκεται στο ελάχιστο του 11 ετούς κύκλου τις δραστηριότητας του τότε μπορούμε συνήθως να δούμε 4-5 νήματα πάνω στην επιφάνειά του αντίθετα όταν βρίσκεται στο μέγιστο μπορούμε να δούμε γύρω στα 20. Οι προεξοχές διακρίνονται σε ήρεμες με διάρκεια ζωής γύρω στους δυο μήνες και σε εκρηκτικές με μικρή διάρκεια ζωής από μερικά λεπτά έως και μισή ώρα. Οι τελευταίες συνδέονται άμεσα με τις ηλιακές εκλάμψεις και παρουσιάζουν βίαιες και ταχύτατες μεταβολές της λαμπρότητας και του μεγέθους τους. Το μέσο ύψος των ήρεμων προεξοχών είναι 30.000χλμ ενώ έχουν παρατηρηθεί και εκρηκτικές προεξοχές ύψους πάνω από 1.000.000χλμ.

Δ) **Εκλάμψεις (flares)**: παρατηρούνται συνήθως σε περιοχές όπου υπάρχουν ηλιακές κηλίδες και εμφανίζονται σαν απότομες εκρήξεις με λάμψεις τεραστίων διαστάσεων. Η ενέργεια που εκλύεται κατά τη διάρκεια των ηλιακών εκλάμψεων είναι της τάξεως $10^{(28-32)}$ erg και εκλύεται σε όλο το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα από τις ακτίνες γ μέχρι και τα ραδιοκύματα. Επίσης εκπέμπονται ενεργητικά φορτισμένα σωματίδια με μορφή κοσμικής ακτινοβολίας τα οποία βομβαρδίζουν τη γη μας με πυκνότητα ροής 1000 σωματίδια/cm²/sec και προκαλούν μαγνητοσφαιρικά φαινόμενα, και λαμπρό βόρειο σέλας. Η θερμοκρασία στην περιοχή μιας έκλαμψης φτάνει τους 15.000 °K ενώ η κινητική θερμοκρασία των σωματιδίων μπορεί να φτάσει τους 10^6 °K. Η σπουδαιότητα μιας έκλαμψης καθορίζεται από την λαμπρότητα και την έκτασή της. Στο παρακάτω σχήμα βλέπουμε κάποια απ' τα παραπάνω φαινόμενα συγκριτικά (**σχήμα 9**) :



Σχήμα 9

Φαινόμενα Στέμματος:



Στέμμα

- **Στεμματικές οπές:** είναι περιοχές του στέμματος χωρίς μαία εκπομπή ακτινών X. βρίσκονται σε περιοχές που χαρακτηρίζονται από ανοικτές μαγνητικές γραμμές σε αντίθεση με την υπόλοιπη δομή του στέμματος που χαρακτηρίζονται από βρόχους πλάσματος παγιδευμένους γύρω από κλειστές μαγνητικές γραμμές οι οποίες συνδέουν περιοχές αντίθετης πολικότητας που αρχίζουν και καταλήγουν στη φωτόσφαιρα. Επίσης οι στεμματικές οπές χαρακτηρίζονται από χαμηλή θερμοκρασία και πυκνότητα σε σύγκριση με τις τιμές που χαρακτηρίζουν το στέμμα πράγμα που δείχνει ότι η ενέργεια που τους παρέχεται από τη φωτόσφαιρα μέσω των ακουστικών κυμάτων καταλίσκεται στην επιτάχυνση των σωματιδίων του ηλιακού ανέμου.

Η ιστορία της ζωής του Ήλιου

Γεγονός	Ηλικίας (εκατομμύρια χρόνια)	Φωτεινότητα (σημερινός Ήλιος=1)	Διάμετρος (σημερινός Ήλιος=1)
Συστολή από νεφέλωμα σε πρωταστέρα	0	100	50
Θερμός πυρήνας σχηματίζεται από συστολή	1	20	20
Αρχή της ζωής στην κύρια ακολουθία			
Περατώνεται η συστολή του πρωταστέρα· ξεκινάει η πυρηνική σύντηξη υδρογόνου	70	0,6	1,0
Σήμερα	4.600	1,0	1,0
Το υδρογόνο αρχίζει να εξαντλείται στον πυρήνα του Ήλιου	7.000	1,4	1,2
Η πυρηνική σύντηξη απαιτεί μεγαλύτερες θερμοκρασίες λόγω της συσσώρευσης ηλίου	9.000	2	1,5
Η καύση υδρογόνου μετατίθεται σε ένα κέλυφος που περιβάλλει τον πυρήνα από ήλιο	10.000	4	3
Τέλος της ζωής στην κύρια ακολουθία			
Το πρώτο στάδιο του ερυθρού γίγαντα φτάνει σε κορύφωση και ξεκινάει η καύση ηλίου	10.600	1.500	50
Η καύση ηλίου στον πυρήνα πλησιάζει στο μέγιστο	10.630	100	10
Αρχίζει το τελικό στάδιο του ερυθρού γίγαντα	10.650	1.000	100
Η τελική φάση του ερυθρού γίγαντα φτάνει στο αποκορύφωμα καθώς η σύντηξη ηλίου μετατοπίζεται σε ένα κέλυφος γύρω από τον πυρήνα	11.000	10.000	400
Ο Ήλιος αποβάλλει ύλη ως μεταβλητός αστέρας ή πλανητικό νεφέλωμα	11.000	μεταβλητός	συστέλλεται
Σχηματίζεται ένας λευκός νάνος μέσα σε 75.000 χρόνια	11.000	1/300	1/100
Ο λευκός νάνος ψύχεται και γίνεται μαύρος νάνος	50.000?	0	1/100

Βιβλιογραφία-Δικτυακοί Τόποι

- «Παρατηρησιακή Αστρονομία», Σειραδάκης-Αυγολούπης (ΑΠΘ)
- «Το Ηλιακό Σύστημα», Γούδης (Παν. Πατρών)
- “Our Sun”, Menzel
- **Discovery & Science** , Νοέμβριος 2005
- **Soho:** www.nascom.nasa.gov/
- www.astrovox.gr
- www.physics4u.gr