

Ηλιακή δραστηριότητα και διάδοση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων

Π. Ηλιόπουλος, SV3DCX

Οργανισμός Τηλεπικοινωνιών Ελλάδος, piliopoulos@ote.gr
Μέλος της Ένωσης Ραδιοερασιτεχνών Δυτικής Πελοποννήσου

Περίληψη

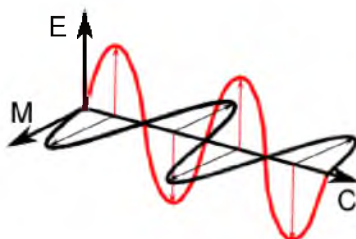
Η παρουσίαση αυτή έχει σκοπό να πληροφορήσει και να ενημερώσει τον αναγνώστη για την επίδραση της ηλιακής δραστηριότητας στην διάδοση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων μέσω της Ιονόσφαιρας. Στο κείμενο που ακολουθεί περιγράφεται η βασική λειτουργία του Ηλίου και ο τρόπος που αυτή επιρεάζει την Ιονόσφαιρα.

Λέξεις κλειδιά: Διάδοση, Ηλεκτρομαγνητικά κύματα, Ήλιος.

1. Ηλεκτρομαγνητικά κύματα

Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα είναι ταλαντώσεις που μεταδίδονται στον ελεύθερο χώρο με την ταχύτητα του φωτός για τις περισσότερες εφαρμογές. Η διάδοση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων έχει πολλές ομοιότητες με την διάδοση των κυμάτων που δημιουργούνται στο νερό, όταν μια πέτρα διαταράζει την ισορροπία του, με μια σημαντική διαφορά, τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα είναι εγκάρσια, ενώ τα κύματα στο νερό διαμήκη. Το ηλεκτρικό και το μαγνητικό πεδίο ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος είναι κάθετα μεταξύ τους, όπως δείχνει και το σχήμα 1. Αυτή είναι μια θεώρηση που πρακτικά δεν μπορεί να ελεγχθεί άμεσα, αφού τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα είναι μη ορατά.

Ωστόσο η θεώρηση αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την πρόβλεψη της συμπεριφοράς των κυμάτων κατά τα φαινόμενα της ανάκλασης της διάθλασης και της περίθλασης.

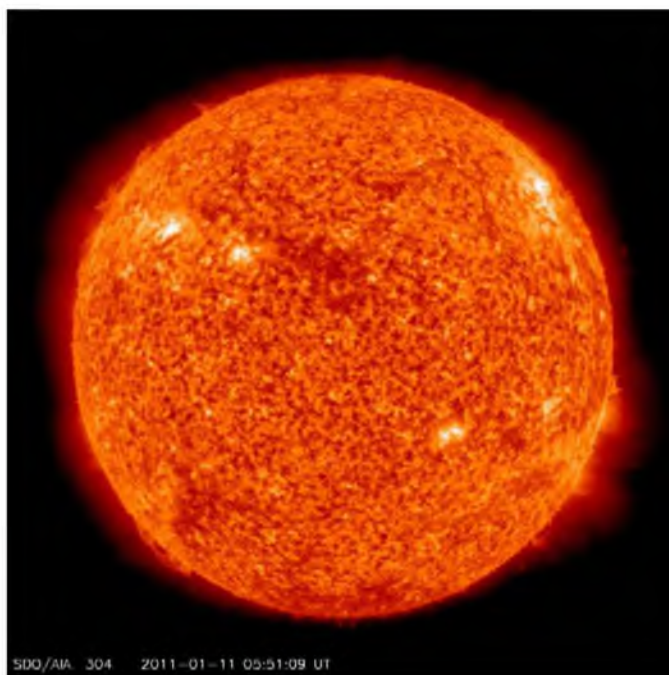


Σχήμα 1: Ηλεκτρομαγνητικό κύμα στο χώρο

Ιδιότητες των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων:

- 1) Διαδίδονται ευθύγραμμα και με την ταχύτητα του φωτός στο κενό.

- 2) Ανακλώνται στις μεταλλικές πλάκες σύμφωνα με τους νόμους της ανακλάσεως του φωτός.
- 3) Διαθλώνται όταν περνούν μέσα από διηλεκτρικά σώματα, σύμφωνα με τους νόμους της διαθλάσεως του φωτός.
- 4) Παρουσιάζουν φαινόμενα συμβολής και παραθλάσεως.
- 5) Είναι πολωμένα γιατί το ηλεκτρικό και το μαγνητικό πεδίο που σχηματίζουν τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα πάλλονται μόνο σε ένα επίπεδο.



Σχήμα 2: Ο Ήλιος

2. Ο Ήλιος

Ο Ήλιος αποτελείται κατά 74% από υδρογόνο, κατά 25% από ήλιο και 1% από άλλα στοιχεία. Το υδρογόνο αποτελεί το κύριο καύσιμο για τις θερμοπυρηνικές αντιδράσεις που παράγουν την ενέργεια που ακτινοβολεί, ενώ το ήλιο προέρχεται κυρίως από τα προϊόντα της πυρηνικής σύντηξης του υδρογόνου. Ο Ήλιος δεν έχει σαφή επιφάνεια όπως έχουν οι γήινοι πλανήτες. Η πυκνότητα των αερίων μειώνεται σε συνάρτηση με την ακτίνα του Ηλίου, με ένα νόμο αντιστρόφου τετραγώνου. Η ακτίνα του Ηλίου μετριέται από το κέντρο του άστρου, έως τη φωτόσφαιρα, έξω από την οποία δεν λαμβάνει χώρα η πυρηνική σύντηξη.

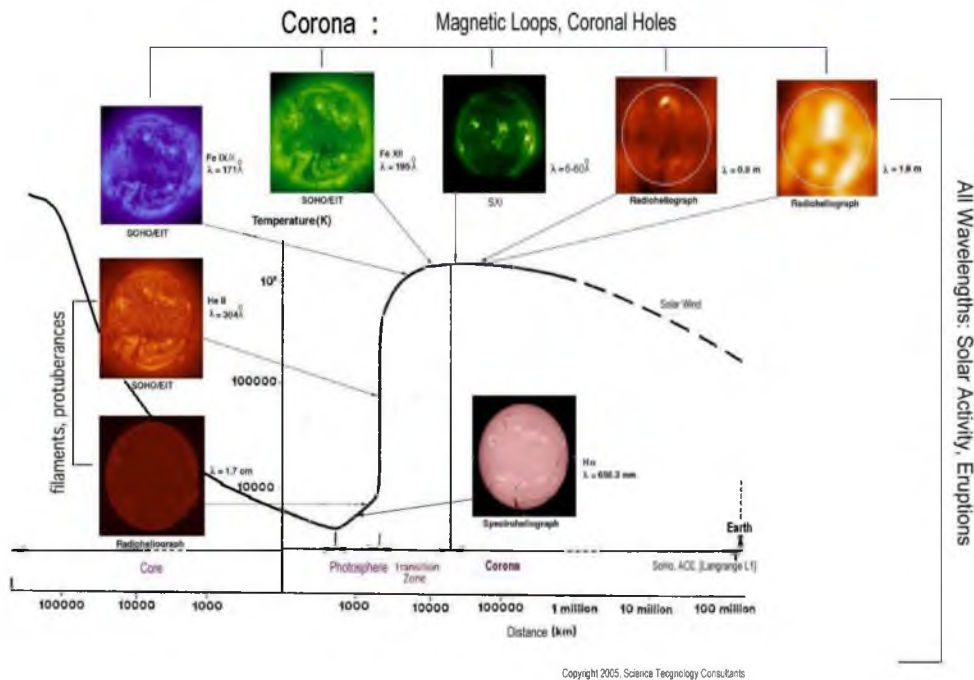
Στο κέντρο του Ηλίου η θερμοκρασία φθάνει τους 20 εκατομμύρια βαθμούς Κ. Σε τέτοια θερμοκρασία τα άτομα έχουν χάσει τα ηλεκτρόνια τους, είναι δηλαδή ιονισμένα και η κατάσταση της ύλης καλείται πλάσμα. Αυτό έχει σαν συνέπεια τα άτομα υπερθερμασμένα να κινούνται με μεγάλες ταχύτητες, να συγκρούονται μεταξύ

τους σφοδρά έτσι ώστε δύο άτομα υδρογόνου να ενώνονται. Αν ακολουθήσουν άλλες δύο συγκρούσεις, τότε προστίθενται άλλα δύο άτομα υδρογόνου στο σύνολο, φτιάχνοντας έτσι ένα σταθερό άτομο ηλίου. Τα τέσσερα μεμονωμένα άτομα υδρογόνου ζυγίζουν περισσότερο πριν την συγχώνευση, από ένα άτομο ηλίου που δημιουργήθηκε με τη συγχώνευση. Η υπόλοιπη μάζα μετατράπηκε σε ενέργεια, σύμφωνα με την εξίσωση μετατροπής του Άλμπερτ Αϊνστάιν: $E=mc^2$.

Η δομή του Ήλιου

Με δεδομένα τα περί της θερμοκρασίας Ηλίου συμπεραίνεται ότι ο Ήλιος συνίσταται από διάπυρα αέρια που αποτελούν την ύλη του και που βρίσκεται διατεταγμένη σε ομόκεντρες περιοχές, των οποίων η πυκνότητα ελαττώνεται από το κέντρο προς την επιφάνειά του.

Οι περιοχές αυτές είναι ο πυρήνας, η ζώνη ακτινοβολίας, η ζώνη μεταφοράς, η φωτόσφαιρα και η ατμόσφαιρα (που περιλαμβάνει την χρωμόσφαιρα και το στέμμα).



Σχήμα 3: Θερμοκρασία στα διάφορα στρώματα του Ηλίου

Ο Πυρήνας

Ο πυρήνας βρίσκεται στο κέντρο της ηλιακής σφαίρας και έχει διάμετρο περίπου 175.000 χλμ. (0,25 ηλιακές ακτίνες). Υπολογίζεται ότι στη περιοχή του κέντρου του, η πυκνότητα της ηλιακής ύλης είναι 70 φορές μεγαλύτερη του ύδατος, ενώ η πίεση φθάνει τις 2×10^{11} ατμόσφαιρες (atm).

Κάτω από τέτοιες συνθήκες και με θερμοκρασία 14×10^6 βαθμούς, τα άτομα των στοιχείων βρίσκονται σε ιονισμένη κατάσταση και τόσο συμπιεσμένα, ώστε η ύλη του ηλιακού πυρήνα αν και αερίωδης είναι περισσότερο συνεκτική και από τα στερεά. Η ακτινοβολία των εσωτερικών στρωμάτων του πυρήνα προκαλεί πίεση στα υπερκείμενα στρώματα.

Η Ζώνη Ακτινοβολίας

Από περίπου 0,25 σε περίπου 0,7 της ηλιακής ακτίνας, το ηλιακό υλικό είναι θερμό και αρκετά πυκνό για να μεταφέρει την έντονη θερμότητα του πυρήνα προς τα έξω. Το υλικό γίνεται πιο δροσερό από 7 στους περίπου 2 εκατομμύρια βαθμούς K με την αύξηση του υψομέτρου, και έτσι η θερμοκρασία είναι μικρότερη από την απαιτούμενη για να υπάρχει σύντηξη. Η ενέργεια μεταφέρεται μέσω ακτινοβολίας από ιόντα υδρογόνου και ηλίου που εκπέμπουν φωτόνια, τα οποία κυκλοφορούν μόνο μια σύντομη απόσταση πριν απορροφηθούν από άλλα ιόντα.

Η Ζώνη Μεταφοράς

Στο εξωτερικό στρώμα του ήλιου, από την επιφάνειά του μέχρι 200.000 χλμ προς τον πυρήνα, το ηλιακό πλάσμα δεν είναι αρκετά πυκνό ή θερμό ώστε να μεταφέρει τη θερμική ενέργεια από το εσωτερικό προς τα έξω μέσω ακτινοβολίας. Είναι με άλλα λόγια αρκετά αδιαφανές. Ως αποτέλεσμα, η μεταφορά ενέργειας γίνεται ως μεταφορά καυτού υλικού προς την επιφάνεια (φωτόσφαιρα), του Ήλιου μέσα από θερμικές στήλες. Μόλις το υλικό ψυχθεί στην επιφάνεια, βυθίζεται πάλι προς τα κάτω προς τη βάση της ζώνης μεταφοράς, για να λάβει πάλι θερμότητα από την κορυφή της ζώνης ακτινοβολίας και να ξαναρχίσει την άνοδό του προς την επιφάνεια. Στην ορατή επιφάνεια του ήλιου, η θερμοκρασία έχει πέσει σε 5.700 K.

Η Φωτόσφαιρα



Σχήμα 4: Χρωμόσφαιρα και Στέμμα

Πάνω ακριβώς από την ζώνη μεταφοράς υπάρχει στοιβάδα πάχους 400 χλμ. η οποία και φθάνει μέχρι την επιφάνεια. Η στοιβάδα αυτή της Ηλιακής σφαίρας από την οποία και προέρχεται όλη η ακτινοβολούμενη ηλιακή ενέργεια, δηλαδή η θερμότητα και το φως, ονομάζεται φωτόσφαιρα.

Συνεπώς ο παρατηρούμενος κάθε φορά δίσκος του Ήλιου αντιστοιχεί στη φωτόσφαιρα.

Η Ατμόσφαιρα του Ήλιου

Πάνω από την φωτόσφαιρα υπάρχει ηλιακή ύλη και μάλιστα σε στρώμα μεγάλου πάχους. Αυτό ονομάζεται ηλιακή ατμόσφαιρα ή ατμόσφαιρα του Ηλίου. Η Ατμόσφαιρα του Ηλίου δεν είναι ορατή, διότι η θερμοκρασία της και κατ' επέκταση η λαμπρότητά της είναι μικρότερη από της φωτόσφαιρας, τόσο που να αποκρύπτεται από το έντονο διάχυτο φως της ημέρας, όπως ακριβώς αποκρύπτονται και οι αστέρες. Γίνεται όμως ορατή στις ολικές εκλείψεις του Ηλίου ως λαμπρός φωτοστέφανος που περιβάλλει τον δίσκο του Ηλίου (σχήμα 4).

Η Ηλιακή ατμόσφαιρα διακρίνεται σε δύο επιμέρους στοιβάδες. Η πρώτη εξ αυτών που βρίσκεται αμέσως πάνω από την φωτόσφαιρα καλείται χρωμόσφαιρα. Το ύψος της φθάνει περί τα 15.000 χλμ. η δε θερμοκρασία της ανέρχεται στους 100.000° K. Παρουσιάζει έντονο ρόδινο χρώμα, εξ ου και έλαβε το όνομα χρωμόσφαιρα. Πάνω από την χρωμόσφαιρα βρίσκεται το στέμμα ή ηλιακό στέμμα του οποίου τα όρια φθάνουν σε απόσταση πέντε ηλιακών ακτίνων.

Η θερμοκρασία του στέμματος ανέρχεται περίπου στους $1,5 \times 10^6$ βαθμούς.

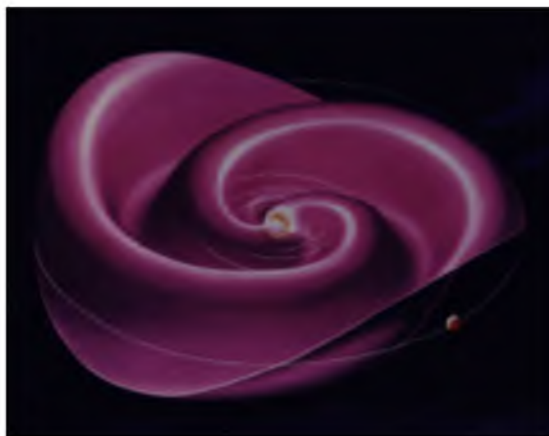
Το Μαγνητικό πεδίο

Ο Ήλιος είναι ένα μαγνητικά ενεργό άστρο. Δημιουργεί ένα ισχυρό, μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο (σχήμα 5) το οποίο διαφέρει από έτος σε έτος και αντιστρέφει την διεύθυνσή του περίπου κάθε έντεκα χρόνια, στο ηλιακό ελάχιστο. Το μαγνητικό πεδίο του ήλιου δημιουργεί πολλές συνέπειες που συλλογικά ονομάζονται ηλιακή δραστηριότητα, συμπεριλαμβανομένων των ηλιακών κηλίδων, των ηλιακών εκλάμψεων και των μεταβολών στον ηλιακό άνεμο που μεταφέρει υλικό στο Ηλιακό Σύστημα. Επιπτώσεις της ηλιακής δραστηριότητας στη Γη είναι το Σέλας σε μέτρια έως υψηλά γεωγραφικά πλάτη και η διατάραξη των ραδιοεπικοινωνιών και της ηλεκτρικής ενέργειας.

Η Ηλιακή δραστηριότητα θεωρείται ότι έπαιξε μεγάλο ρόλο στη διαμόρφωση και εξέλιξη του Ηλιακού Συστήματος. Η Ηλιακή δραστηριότητα αλλάζει τη διάρθρωση της εξωτερικής ατμόσφαιρας της Γης.

Όλη η ύλη στον ήλιο είναι με τη μορφή αερίου και πλάσματος, λόγω των θερμοκρασιών του σε υψηλά επίπεδα. Αυτό καθιστά δυνατή την περιστροφή του ήλιου γρηγορότερα στον ισημερινό (περίπου 25 ημέρες) από ότι στα υψηλότερα γεωγραφικά πλάτη (περίπου 35 ημέρες κοντά στους πόλους).

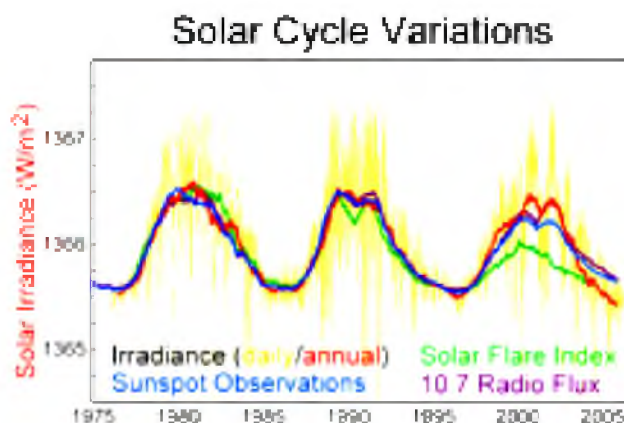
Αυτή η διαφορά περιστροφής των διαφορετικών γεωγραφικών πλατών, είναι η αιτία συστροφής των μαγνητικών πεδίων και προξενεί την έκρηξη μαγνητικών βρόγχων πυροδοτώντας την δημιουργία ηλιακών κηλίδων και προεξοχών. Αυτή η συστροφική δράση, δημιουργεί το ηλιακό δυναμό και ένα 11-ετή ηλιακό κύκλο μαγνητικής δραστηριότητας, καθώς το μαγνητικό πεδίο του Ήλιου αντιστρέφεται περίπου κάθε 11 χρόνια.



Σχήμα 5: Το Μαγνητικό πεδίο του Ηλίου

Ηλιακές κηλίδες – Ηλιακός κύκλος

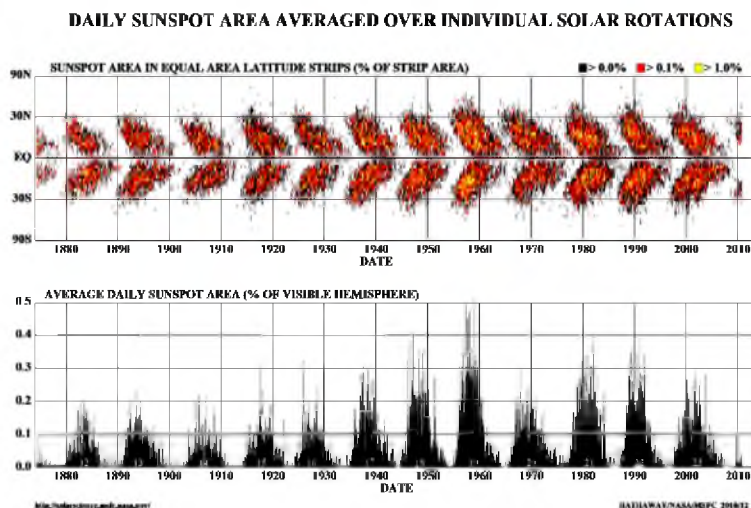
Παρατηρώντας τον Ήλιο με τα κατάλληλα φίλτρα, το πιο άμεσα ορατό χαρακτηριστικό είναι συνήθως οι ηλιακές κηλίδες, οι οποίες είναι σαφώς καθορισμένες επιφάνειες που φαίνονται πιο σκούρες από το περιβάλλον τους, λόγω των χαμηλότερων θερμοκρασιών τους. Οι ηλιακές κηλίδες είναι περιοχές έντονης μαγνητικής δραστηριότητας, όπου η μεταφορά αναστέλλεται από ισχυρά μαγνητικά πεδία, μειώνοντας τη μεταφορά ενέργειας από το θερμό εσωτερικό προς την επιφάνεια. Το μαγνητικό πεδίο προκαλεί έντονη θέρμανση του στέμματος και δημιουργεί ενεργές περιοχές που είναι πηγή έντονων ηλιακών εκλάμψεων και εκτινάξεων μάζας από το ηλιακό στέμμα. Οι μεγαλύτερες ηλιακές κηλίδες εκτείνονται σε δεκάδες χιλιάδες χλμ.



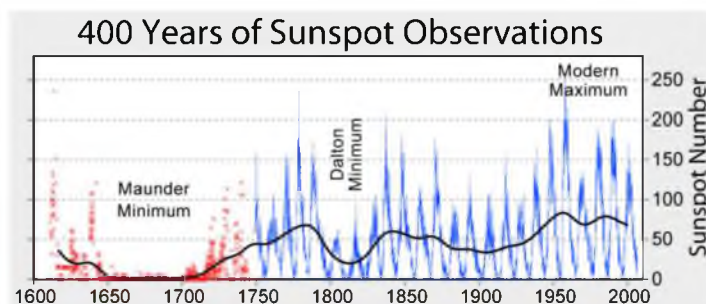
Σχήμα 6: Διαφορές μεταξύ των 3 τελευταίων ηλιακών κύκλων

Ο αριθμός των ηλιακών κηλίδων που είναι ορατές δεν είναι σταθερός, αλλά ποικίλλει κατά τη διάρκεια ενός 11-ετούς κύκλου που ονομάζεται ηλιακός κύκλος. Σε ένα τυπικό ηλιακό ελάχιστο, λίγες ηλιακές κηλίδες είναι ορατές, και μερικές φορές καθόλου (σχήμα 6). Όσες εμφανίζονται είναι σε υψηλά γεωγραφικά πλάτη. Καθώς ο ηλιακός κύκλος προχωρεί, οι κηλίδες αυξάνονται και κινούνται πιο κοντά στον ισημερινό, ένα φαινόμενο που περιγράφεται από το νόμο του Spörer (σχήμα 7). Οι ηλιακές κηλίδες συνήθως εμφανίζονται σαν ζευγάρια με αντίθετη μαγνητική πολικότητα. Η μαγνητική πολικότητα των ηλιακών κηλίδων που προηγούνται εναλλάσσονται κάθε ηλιακό κύκλο, έτσι ώστε στον ένα ηλιακό κύκλο προηγείται ο βόρειος μαγνητικός πόλος και στον επόμενο ο νότιος μαγνητικός πόλος.

Ο ηλιακός κύκλος έχει μεγάλη επίδραση στο διαστημικό καιρό και σημαντική επιρροή στο γήινο κλίμα, αφού η λαμπρότητα του ήλιου έχει άμεση σχέση με τη μαγνητική δραστηριότητα. Περίοδοι ηλιακών ελαχίστων, τείνουν να συσχετίζονται με χαμηλότερες θερμοκρασίες στην Γη, ενώ μεγαλύτεροι από τον μέσο όρο ηλιακοί κύκλοι τείνουν να συσχετίζονται με μεγαλύτερες θερμοκρασίες. Τον 17ο αιώνα, ο ηλιακός κύκλος φαίνεται να σταμάτησε τελείως για πολλές δεκαετίες. Πολύ λίγες ηλιακές κηλίδες παρατηρήθηκαν κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου. Κατά τη διάρκεια αυτής της εποχής, η οποία είναι γνωστή ως το ελάχιστο Maunder ή μικρή εποχή των παγετώνων, στην Ευρώπη παρατηρήθηκαν πολύ χαμηλές θερμοκρασίες (σχήμα 8).



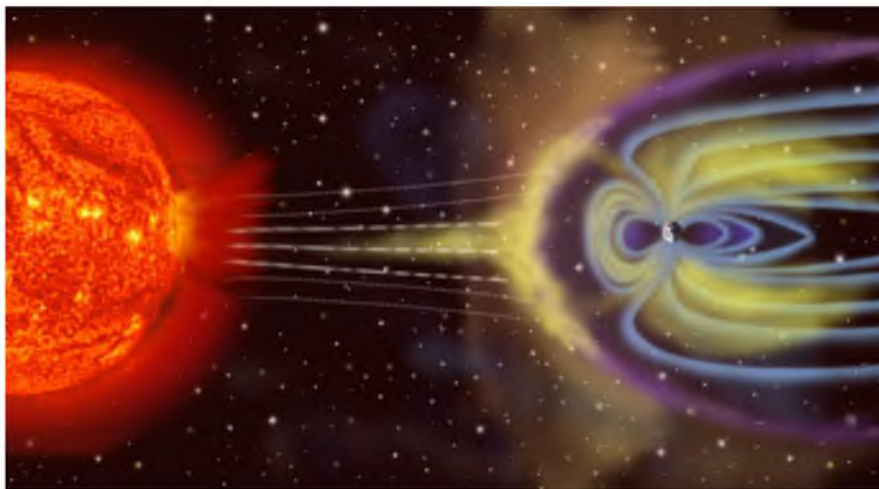
Σχήμα 7: Εμφάνιση ηλιακών κηλίδων ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος και αντίστοιχη περιοχική κάλυψη (% του ορατού ημισφαιρίου)



Σχήμα 8: Αριθμός ορατών κηλίδων τα τελευταία 400 χρόνια

Ηλιακός Άνεμος

Ο ηλιακός άνεμος είναι ένα ρεύμα φορτισμένων σωματιδίων που εκτινάσσονται από την ανώτερη ατμόσφαιρα του ήλιου. Αποτελείται κυρίως από υψηλής ενέργειας ηλεκτρόνια και πρωτόνια που είναι σε θέση να διαφύγουν της βαρύτητας του ήλιου αφ' ενός λόγω της υψηλής θερμοκρασίας του στέμματος και αφ' ετέρου λόγω της μεγάλης κινητικής ενέργειας που αποκτούν τα σωματίδια μέσω μιας διαδικασίας που δεν είναι ακόμα καλά κατανοητή αυτή τη στιγμή.



Σχήμα 9: Γραφική απεικόνιση του σημείου που ο ηλιακός άνεμος συναντά το γήινο μαγνητικό πεδίο

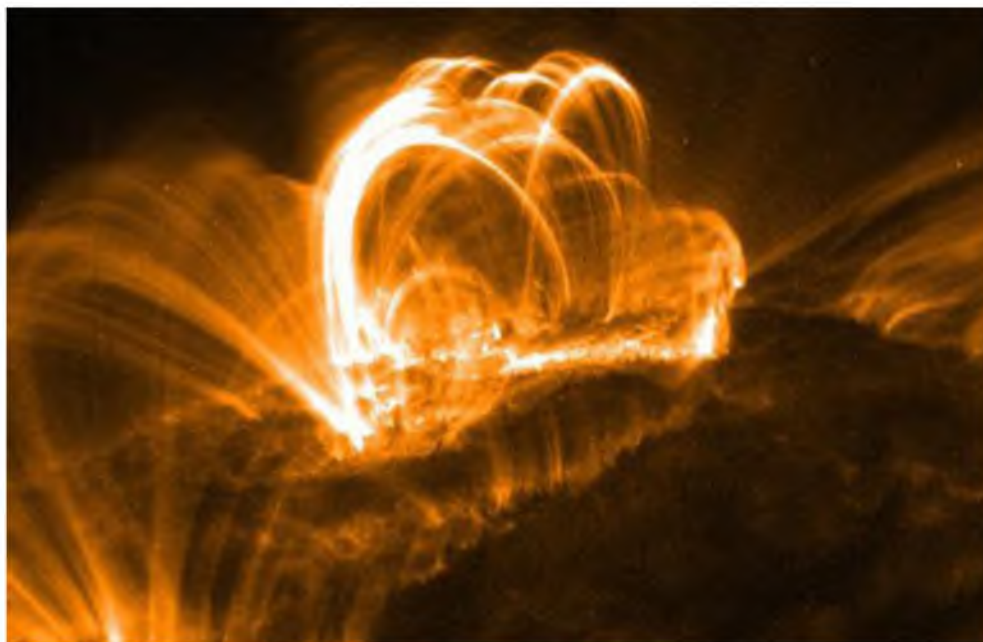
Ορισμός του Bz

Ο ήλιος έχει ένα μαγνητικό πεδίο το οποίο ο ηλιακός άνεμος μεταφέρει σε όλο το ηλιακό σύστημα. Ονομάζεται Interplanetary Magnetic Field (IMF). Η Γη έχει επίσης ένα μαγνητικό πεδίο το οποίο σχηματίζει μια φούσκα γύρω από τον πλανήτη μας η οποία ονομάζεται μαγνητόσφαιρα. Αυτή η φούσκα εκτρέπει τον ηλιακό άνεμο. Το μαγνητικό πεδίο της Γης συναντάται με το μαγνητικό πεδίο του ήλιου σε ένα μέρος

που ονομάζεται Μαγνητόπαυση (σχήμα 9). Το μαγνητικό πεδίο της Γης δείχνει βόρεια. Όταν το μαγνητικό πεδίο του ήλιου δείχνει προς τον νότο μπορεί να ακυρώσει το γήινο μαγνητικό πεδίο στο σημείο της επαφής. Όταν λοιπόν ο δείκτης Bz δείχνει νότια τα δυο μαγνητικά πεδία ενώνονται. Αυτό ουσιαστικά ανοίγει μια πόρτα που επιτρέπει στην ενέργεια από τον ηλιακό άνεμο να φτάσει στη γήινη ατμόσφαιρα.

Ηλιακές εκλάμψεις

Μια ηλιακή έκλαμψη είναι μια βίαιη έκρηξη στην ατμόσφαιρα του Ήλιου με ενέργεια ισοδύναμη με δεκάδες εκατομμυρίων βόμβες υδρογόνου. Ηλιακές εκλάμψεις λαμβάνουν χώρα στο ηλιακό στέμμα και την χρωμόσφαιρα και θερμαίνουν το πλάσμα σε δεκάδες εκατομμύρια βαθμούς, επιταχύνοντας τα προκύπτοντα ηλεκτρόνια, πρωτόνια και βαρύτερα ιόντα σε ταχύτητες κοντά στην ταχύτητα του φωτός. Παράγουν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία σε όλο το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα, σε όλα τα μήκη κύματος από τα μακρά κύματα έως τις πολύ μικρού μήκους κύματος ακτίνες γάμμα. Οι περισσότερες εκλάμψεις συμβαίνουν γύρω από ηλιακές κηλίδες, όπου έντονα μαγνητικά πεδία αναδύονται από την επιφάνεια του ήλιου μέσα στο στέμμα (σχήμα 10). Η ενέργεια που συσχετίζεται με τις ηλιακές εκλάμψεις χρειάζεται αρκετές ώρες ή ακόμη και ημέρες για να συγκεντρωθεί, αλλά στις περισσότερες περιπτώσεις δεν χρειάζονται παρά μόνο λίγα λεπτά για να απελευθερωθεί.



Σχήμα 10: Ηλιακή Έκλαμψη

Coronal Mass Ejection (CME)

CME είναι η εκτίναξη υλικού από το ηλιακό στέμμα, που παρατηρείται με στεμματογράφο λευκού φωτός. Το υλικό είναι πλάσμα που αποτελείται κυρίως από ηλεκτρόνια και πρωτόνια καθώς επίσης και από μικρές ποσότητες από βαρύτερα στοιχεία, όπως ήλιο, οξυγόνο και σίδηρο, συν το επεκτεινόμενο μαγνητικό πεδίο. Όταν το ηλιακό σύννεφο φθάσει στη Γη σαν ICME (Διαπλανητικό CME), μπορεί να διακόψει την γήινη μαγνητόσφαιρα, συμπίεζοντάς την στην πλευρά της ημέρας και επιμηκύνοντας την πλευρά που βρίσκεται στην πλευρά της νύχτας. Όταν η μαγνητόσφαιρα επανασυνδέεται στην πλευρά της νύχτας, δημιουργεί τρισεκατομμύρια Watt ενέργειας που κατευθύνεται πάλι προς την ανώτερη ατμόσφαιρα της Γης. Αυτή η διαδικασία μπορεί να προκαλέσει ιδιαίτερα ισχυρό σέλας, γνωστό ως το Βόρειο Σέλας (στο βόρειο ημισφαίριο) και το Νότιο Σέλας (στο νότιο ημισφαίριο). (σχήμα 11) Τα CME, μαζί με τις ηλιακές εκλάμψεις, μπορούν να διακόψουν τις ραδιοεπικοινωνίες, να προκαλέσουν διακοπές ρεύματος και να προκαλέσουν ζημιές στους δορυφόρους και τις ηλεκτρικές γραμμές μεταφοράς.



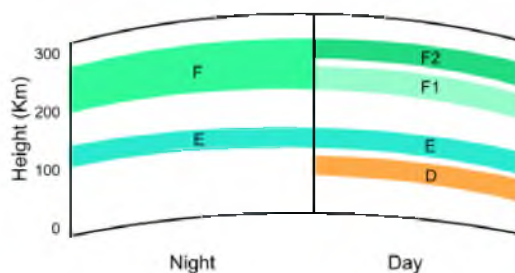
Σχήμα 11: Βόρειο Σέλας

3. Η Ιονόσφαιρα

Περιοχές της Ιονόσφαιρας

Σε μια περιοχή που εκτείνεται από ύψος περίπου 50 χλμ και σε πάνω από 500 χλμ, τα περισσότερα από τα μόρια της ατμόσφαιρας είναι ιονισμένα από την ηλιακή ακτινοβολία. Η περιοχή αυτή ονομάζεται ιονόσφαιρα. Ιονισμός είναι η διαδικασία κατά την οποία τα ηλεκτρόνια, τα οποία είναι αρνητικά φορτισμένα, απομακρύνονται από ουδέτερα άτομα ή μόρια και έτσι δημιουργούνται θετικά φορτισμένα ιόντα και ελεύθερα ηλεκτρόνια. Τα ιόντα δίνουν το όνομά τους στην ιονόσφαιρα, αλλά τα πολύ

πιο ελαφριά και πιο ελεύθερα κινούμενα ηλεκτρόνια είναι που παίζουν τον πιο σημαντικό ρόλο στην διάδοση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων HF (υψηλή συχνότητα). Τα ελεύθερα ηλεκτρόνια είναι αυτά που προκαλούν την διάθλαση (κλίση) και τελικά την αντανάκλαση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων πίσω στη γη. Όσο μεγαλύτερη είναι η πυκνότητα των ηλεκτρονίων, τόσο μεγαλύτερες είναι οι συχνότητες που μπορούν να ανακλαστούν. Κατά τη διάρκεια της ημέρας παρουσιάζονται τέσσερις περιοχές που ονομάζονται περιοχές D, E, F1 και F2 (σχήμα 12). Το ύψος τους κυμαίνεται ως εξής:



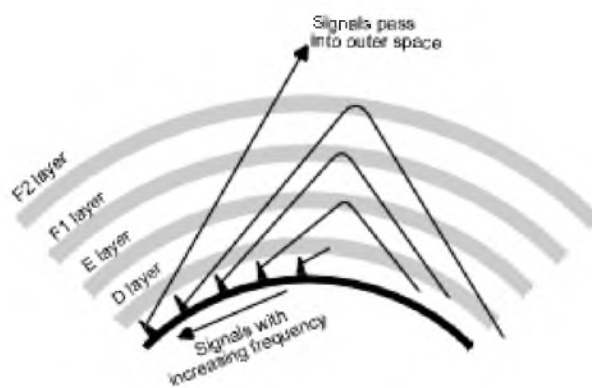
Σχήμα 12: Τα στρώματα της Ιονόσφαιρας την νύχτα και την ημέρα

Στρώμα D 50 έως 90 χλμ

Η απορρόφηση των κυμάτων είναι μεγάλη τις μεσημεριανές ώρες. Εμφανίζεται τις πρωινές ώρες και μόνο στη πλευρά που βλέπει τον ήλιο. Πραγματοποιούνται σύντομες επικοινωνίες στις χαμηλές μπάντες των βραχέων (80, 160 m).

Στρώμα E 90 έως 140 χλμ

Εμφανίζεται και αυτό τις πρωινές ώρες και το βράδυ εξασθενεί. Οι μεταβολές στο στρώμα E είναι ασήμαντες, και δεν βοηθά για επικοινωνίες πέραν των 2000 χλμ.



Σχήμα 13: Συμπεριφορά των στρωμάτων της ιονόσφαιρας σε σήματα με αυξανόμενη συχνότητα

Στρώμα F1 140 - 210 γλμΣτρώμα F2 πάνω από 210 γλμ.

Οι πιο πολύπλοκες μεταβολές παρατηρούνται στην περιοχή του στρώματος F. Μετά την δύση του ήλιου και την νύκτα το ενεργό ύψος του στρώματος F έχει τις ίδιες περίπου τιμές το καλοκαίρι και τον χειμώνα για τα μέσα γεωγραφικά πλάτη.

Μερικές φορές κατά τη διάρκεια του ηλιακού κύκλου τα F1 και F2 στρώματα συγχωνεύονται σε ένα στρώμα F. Τη νύκτα τα D, E και F1 στρώματα χάνουν τον μεγαλύτερο αριθμό των ελεύθερων ηλεκτρονίων, αφήνοντας μόνο την περιοχή F2 διαθέσιμη για τις επικοινωνίες. Μόνο τα E, F1 και F2 στρώματα διαθλούν κύματα HF. Το στρώμα D όμως είναι πολύ σημαντικό, γιατί όχι μόνο δεν διαθλά τα HF ραδιοκύματα, αλλά τα απορροφά ή και τα εξασθενεί (σχήμα 13).

Το F2 στρώμα είναι η πιο σημαντική περιοχή για τον διάδοση των ραδιοκυμάτων HF διότι:

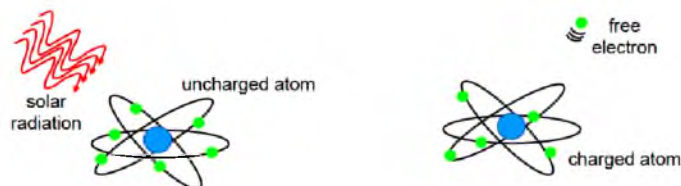
- παραμένει 24 ώρες το 24ωρο
- το μεγάλο υψόμετρό του, επιτρέπει μεγαλύτερη απόσταση στις επικοινωνίες
- μπορεί και αντανακλά τις υψηλότερες συχνότητες στην περιοχή HF.

Η διάρκεια ζωής των ελεύθερων ηλεκτρονίων είναι μεγαλύτερη στο F2 στρώμα και αυτός είναι ένας από τους λόγους για τους οποίους είναι ενεργό και κατά την διάρκεια της νύχτας. Τυπική διάρκεια ζωής των ηλεκτρονίων στο E, F1 και F2 στρώμα είναι 20 δευτερόλεπτα, 1 λεπτό και 20 λεπτά, αντίστοιχα.

Επειδή το F1 στρώμα δεν είναι πάντα παρόν και συχνά ενώνεται με το F2, συνήθως δεν λαμβάνεται υπόψη όταν μελετάμε πιθανούς τρόπους μετάδοσης.

Παραγωγή και απορρόφηση ηλεκτρονίων

Η ακτινοβολία από τον ήλιο προκαλεί ιονισμό στην ιονόσφαιρα. Ελεύθερα ηλεκτρόνια παράγονται όταν η ηλιακή ακτινοβολία συγκρούεται με αφορτιστα άτομα και μόρια (σχήμα 14). Δεδομένου ότι η διαδικασία αυτή απαιτεί την ηλιακή ακτινοβολία, η παραγωγή των ηλεκτρονίων συμβαίνει μόνον στην ιονόσφαιρα του ημισφαιρίου που βρίσκεται στο φως της ημέρας. Απορρόφηση ενός ελεύθερου ηλεκτρονίου στην ιονόσφαιρα παρουσιάζεται όταν ένα ελεύθερο ηλεκτρόνιο ενώνεται με ένα φορτισμένο ιόν, για να διαμορφώσει ένα ουδέτερο σωματίδιο. Απορρόφηση των ηλεκτρονίων συμβαίνει συνεχώς, μέρα και νύχτα.



Σχήμα 14: Ιονισμός

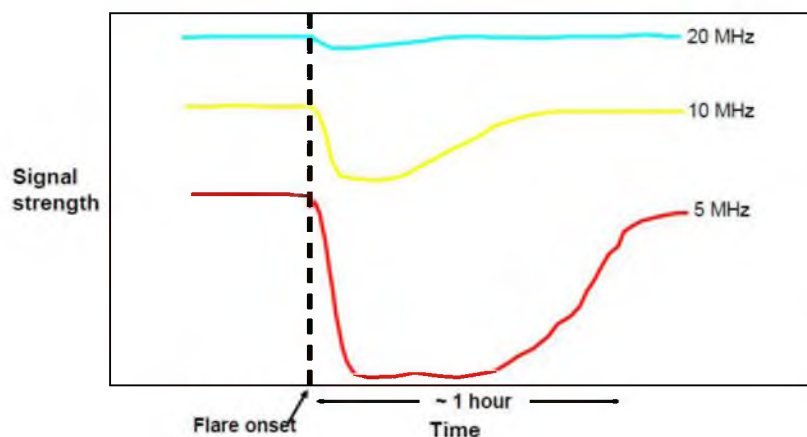
Ιονοσφαιρικές μεταβολές

Η ιονόσφαιρα δεν είναι ένα σταθερό μέσο που επιτρέπει τη χρήση της ίδιας συχνότητας για όλο το χρόνο, ούτε ακόμα και για 24 ώρες. Η ιονόσφαιρα ποικίλλει ανάλογα με τον ηλιακό κύκλο, τις εποχές, ακόμα και κατά τη διάρκεια μιας οποιασδήποτε ημέρας.

Μεταβολές λόγω του ηλιακού κύκλου

Οι ηλιακοί κύκλοι ποικίλουν σε μήκος από 9 μέχρι 14 έτη. Στο ηλιακό ελάχιστο, μόνο οι χαμηλότερες συχνότητες της ζώνης HF ανακλώνται από την ιονόσφαιρα, ενώ στο ηλιακό μέγιστο, υψηλότερες συχνότητες μεταδίδονται με επιτυχία. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι υπάρχει περισσότερη ακτινοβολία που εκπέμπεται από τον ήλιο στο ηλιακό μέγιστο και παράγει περισσότερα ηλεκτρόνια στην ιονόσφαιρα τα οποία επιτρέπουν τη ανάκλαση υψηλότερων συχνοτήτων.

Υπάρχουν και άλλες συνέπειες λόγω του ηλιακού κύκλου. Στις περιόδους κοντά στο ηλιακό μέγιστο υπάρχει μεγαλύτερη πιθανότητα να συμβούν μεγάλες ηλιακές εκλάμψεις (flares). Οι εκλάμψεις είναι τεράστιες εκρήξεις στον Ήλιο, κατά την διάρκεια των οποίων εκπέμπονται μεγάλα ποσά ακτινοβολίας η οποία ιονίζει το στρώμα D, με αποτέλεσμα την απορρόφηση των HF κυμάτων. Δεδομένου ότι το στρώμα D είναι παρόν μόνο κατά τη διάρκεια της ημέρας, μόνο οι επικοινωνίες που γίνονται στο ημισφαίριο που είναι στο φως της ημέρας επηρεάζονται. Η απορρόφηση των HF κυμάτων από την ιονόσφαιρα, μετά από μια έκλαμψη ονομάζεται radio fade-out. Τα fade-outs εμφανίζονται στιγμιαία και επηρεάζουν περισσότερο τις χαμηλές συχνότητες. Η διάρκεια του fade-out μπορεί να κυμαίνεται από περίπου 10 λεπτά έως πολλές ώρες, ανάλογα με τη διάρκεια και την ένταση της έκλαμψης (σχήμα 15).



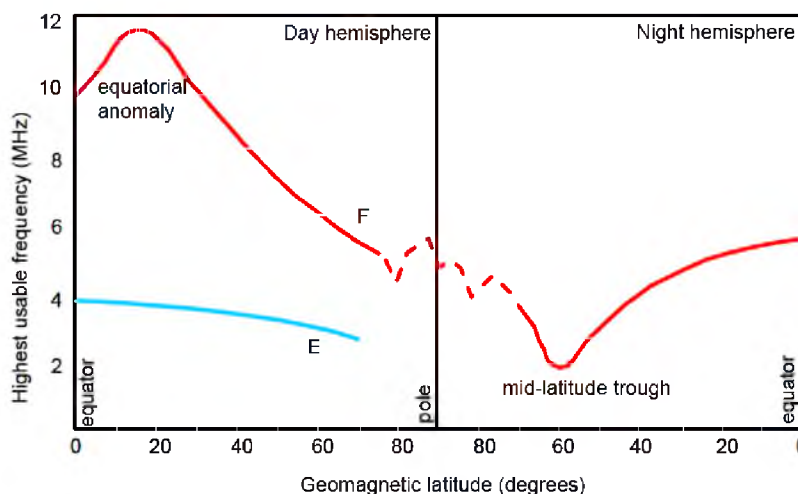
Σχήμα 15: Εξασθένηση ραδιοκυμάτων διαφορετικών συχνοτήτων μετά από μια ηλιακή έκλαμψη

Εποχικές μεταβολές

Οι συχνότητες που ανακλώνται από το στρώμα E είναι μεγαλύτερες το καλοκαίρι απ' ό,τι τον χειμώνα. Ωστόσο, η μεταβολή των συχνοτήτων που ανακλώνται στο στρώμα F είναι πιο περίπλοκη. Και στα δύο ημισφαίρια, συχνότητες που ανακλώνται από το στρώμα F το μεσημέρι παίρνουν τις μεγαλύτερες τιμές τους κοντά στις ισημερίες (Μάρτιο και Σεπτέμβριο). Στο ηλιακό ελάχιστο οι συχνότητες το μεσημέρι του καλοκαιριού είναι γενικά μεγαλύτερες από αυτές του χειμώνα, αλλά στο ηλιακό μέγιστο οι συχνότητες τον χειμώνα τείνουν να είναι υψηλότερες από αυτές του καλοκαιριού. Επιπλέον, οι συχνότητες γύρω από τις ισημερίες (Μάρτιο και Σεπτέμβριο) είναι υψηλότερες από αυτές του καλοκαιριού ή του χειμώνα και για τις δύο περιόδους (ηλιακό μέγιστο και ελάχιστο). Αυτή η παρατήρηση των συχνοτήτων ονομάζεται εποχική ανωμαλία.

Μεταβολές γεωγραφικού πλάτους

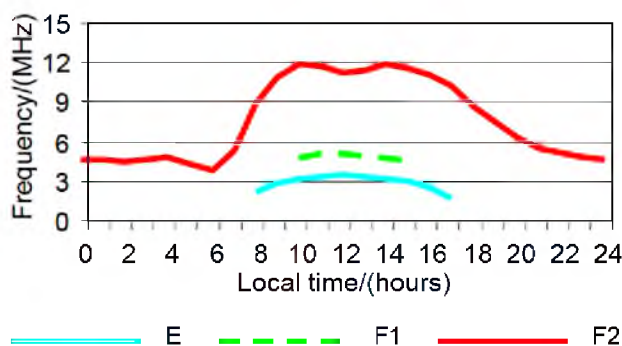
Κατά τη διάρκεια της ημέρας, με την αύξηση του γεωγραφικού πλάτους, η ηλιακή ακτινοβολία χτυπά την ατμόσφαιρα πιο λοξά, έτσι ώστε η ένταση της ακτινοβολίας και η ημερήσια παραγωγή των ελεύθερων ηλεκτρονίων μειώνεται με την αύξηση του γεωγραφικού πλάτους. Στην περιοχή F, η μεταβολή αυτή παραμένει όλη τη νύχτα, λόγω της δράσης ρευμάτων αέρα στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας από το ημισφαίριο που έχει ημέρα προς το ημισφαίριο που έχει νύχτα. Οι συχνότητες που ανακλώνται στο στρώμα F παίρνουν τις μεγαλύτερες τιμές τους, όχι στο γεωμαγνητικό ισημερινό, αλλά 15° έως 20° βόρεια και νότια από αυτόν. Αυτό ονομάζεται ισημερινή ανωμαλία. Επίσης, το βράδυ, οι συχνότητες παίρνουν ελάχιστες τιμές περίπου στις 60° βόρειου και νότιου γεωγραφικού πλάτους (σχήμα 16).



Σχήμα 16: Μεταβολές της μέγιστης ανακλώμενης συχνότητας σε σχέση με το γεωγραφικό πλάτος

Ημερήσιες μεταβολές

Οι συχνότητες είναι κατά κανόνα υψηλότερες κατά τη διάρκεια της ημέρας και χαμηλότερες το βράδυ. Μετά την αυγή, η ηλιακή ακτινοβολία αρχίζει να παράγει ηλεκτρόνια στην ιονόσφαιρα και η συχνότητα αυξάνεται ταχέως σε ένα μέγιστο γύρω στο μεσημέρι. Κατά τη διάρκεια του απογεύματος, η συχνότητα αρχίζει να μειώνεται λόγω της απορρόφησης ηλεκτρονίων και με το σκοτάδι τα στρώματα D, E και F1 εξαφανίζονται. Επικοινωνίες κατά τη διάρκεια της νύχτας γίνονται μέσω του F2 (ή απλά F) μόνο και η εξασθένιση είναι πολύ χαμηλή. Όσο προχωρά η νύχτα, οι μέγιστες συχνότητες σταδιακά μειώνονται, φθάνοντας στο ελάχιστο τους λίγο πριν την αυγή (σχήμα 17).



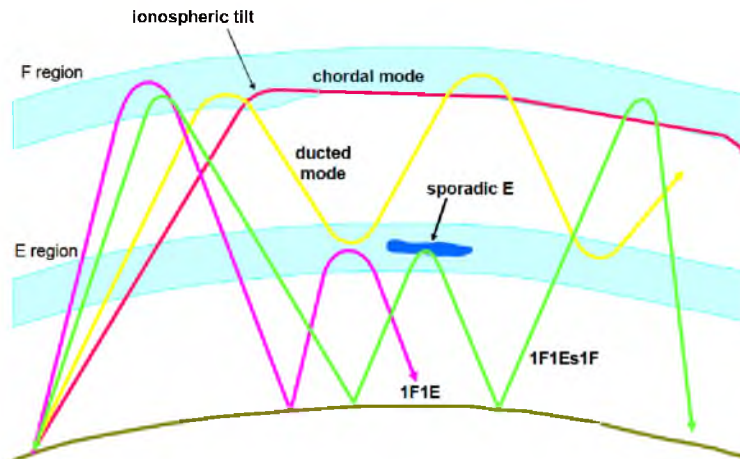
Σχήμα 17: Ανακλώμενες συχνότητες ανάλογα με την ώρα

Το Σποραδικό E

Το σποραδικό E αναφέρεται στον, σε μεγάλο βαθμό απρόβλεπτο σχηματισμό περιοχών πολύ υψηλής πυκνότητας ηλεκτρονίων μέσα στο στρώμα E. Σποραδικό E μπορεί να συμβεί σε οποιαδήποτε στιγμή κατά τη διάρκεια της ημέρας ή της νύχτας σε υψόμετρα από 90 έως 140 χλμ. Η περιοχή την οποία καλύπτει ποικίλλει σημαντικά από μερικά χιλιόμετρα σε εκατοντάδες και ο χρόνος που διαρκεί από λεπτά έως πολλές ώρες.

Το σποραδικό E μπορεί να έχει μια ανάλογη πυκνότητα ηλεκτρονίων όπως και το στρώμα F το οποίο σημαίνει ότι μπορεί να αντανάκλα τις υψηλές συχνότητες που προορίζονται για τις επικοινωνίες μέσω του στρώματος F. Μερικές φορές ένα σποραδικό στρώμα E είναι διαφανές και επιτρέπει στα περισσότερα από τα ραδιοκύματα να περάσουν μέσα από αυτό για την περιοχή F. Ωστόσο, άλλες φορές το σποραδικό στρώμα E συσκοτίζει την περιοχή F εντελώς και το σήμα δεν φτάνει σε αυτή και ως εκ τούτου, ούτε και στον δέκτη (σποραδικό E blanketing) (σχήμα 18). Εάν το σποραδικό στρώμα E είναι μερικώς διαφανές, το ραδιοκύμα είναι πιθανό να ανακλάται άλλοτε από την περιοχή F και άλλοτε από τη σποραδική περιοχή E. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε μερική ή διαλείπουσα μετάδοση του σήματος. Το σποραδικό E στα χαμηλά και μέσα γεωγραφικά πλάτη εμφανίζεται συνήθως κατά τη διάρκεια

της ημέρας και νωρίς το απόγευμα συχνότερα κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών. Σε υψηλά γεωγραφικά πλάτη, το σποραδικό E τείνει να εμφανίζεται τη νύχτα.



Σχήμα 18: Διάφοροι τρόποι Ιονοσφαιρικής διάδοσης

Βιβλιογραφία

www.wikipedia.com

www.solarcycle24.com

<http://www.spaceweather.com>

IPS Radio and Space Services by Australian Government