

**ΑΣΥΝΗΘΙΣΤΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΤΗΣ ΚΟΣΜΙΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΚΑΙ  
ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΚΑΘΟΔΙΚΗ ΦΑΣΗ  
ΤΟΥ 23<sup>ου</sup> ΗΛΙΑΚΟΥ ΚΥΚΛΟΥ**

Α. Παπαϊωάννου, Ε. Μαυρομιχαλάκη, Α. Πετρίδης

*Τομέας Πυρηνικής Φυσικής και Στοιχειωδών Σωματιδίων, Τμήμα Φυσικής Πανεπιστημίου Αθηνών  
E-mail: emavromi@cc.uoa.gr*

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Κατά την διάρκεια του τελευταίου ηλιακού κύκλου (23<sup>ος</sup>), και ενώ βρισκόμαστε στην φάση της εξασθένισής του, συνέβησαν ιδιαίτερα γεγονότα που χαρακτηρίζονται από ασυνήθιστες ιδιότητες. Συγκεκριμένα από τους επίγειους μετρητές νετρονίων καταγράφηκαν εξαιρετικά γεγονότα, κατά τον Μάρτιο/Απρίλιο 2001, τον Οκτώβριο/Νοέμβριο 2003, τον Ιούλιο 2004 και πρόσφατα τον Νοέμβριο 2004. Ορισμένα από αυτά ήταν η μεγαλύτερη ηλιακή έκλαμψη που έχει καταγραφεί ποτέ, σπουδαιότητας X28, η εμφάνιση μέσα σε μια εβδομάδα τριών χαρακτηριστικών επίγειων επαυξήσεων κοσμικής ακτινοβολίας (GLE65, GLE66, GLE67), το Σέλας το οποίο έγινε ορατό και στην Αθήνα κατά το μαγνητοσφαιρικό γεγονός της 20<sup>ης</sup> Νοεμβρίου 2003 κλπ. Μελετώντας τις ιδιαίτερες αυτές περιπτώσεις, στόχο μας αποτελεί η ανάδειξη της σύνδεσης ανάμεσα στα ηλιακά, ηλιοσφαιρικά και γεωμαγνητικά φαινόμενα.

Αναλύθηκαν δεδομένα της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας από το σταθμό συνεχούς καταγραφής των κοσμικών ακτίνων του Πανεπιστημίου Αθηνών για το χρονικό διάστημα 2000-2003. Η ανάλυση έγινε σε 27ήμερη βάση (Bartels rotation). Πραγματοποιήθηκε αποτύπωση της ηλιακής δραστηριότητας στην ένταση των κοσμικών ακτίνων καταγράφοντας όλα τα διαθέσιμα δεδομένα των μεγάλων γεγονότων, δηλαδή των εκλάμψεων με σημαντικότητα >M, των στεμματικών εκτοξεύσεων μάζας, και των μειώσεων Forbush. Με αυτό τον τρόπο επιχειρείται μια ολοκληρωμένη στατιστική απεικόνιση της σχέσης ανάμεσα στα ηλιακά γεγονότα και τις μειώσεις Forbush. Η στατιστική ανάλυση όλων των διαθέσιμων στοιχείων που πραγματοποιήθηκε, αναδεικνύει την υπάρχουσα σύνδεση μεταξύ αυτών των μεγάλων γεγονότων και θα είναι πολύ χρήσιμη για τις μελέτες του Διαστημικού καιρού.

**Λέξεις – κλειδιά:** Κοσμική ακτινοβολία, Μετρητές Νετρονίων, Ηλιακές εκλάμψεις, Στρεμματικές εκτοξεύσεις μάζας, μειώσεις Forbush

## **1. Εισαγωγή**

Είναι γνωστό ότι οι μεταβολές της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας προέρχονται από μεταβολές των συνθηκών του διαπλανητικού χώρου. Μικρής διάρκειας μεταβολές της κοσμικής ακτινοβολίας συνδέονται συνήθως με έντονες διαταραχές της γήινης μαγνητόσφαιρας που προέρχονται από ηλιακά γεγονότα, όπως ηλιακές εκλάμψεις και στεμματικές εκτοξεύσεις μάζας και από το πέρασμα του μαγνητικού πεδίου από τα όρια των τομέων. Οι μεταβολές της κοσμικής ακτινοβολίας ακόμα και οι μικρής διάρκειας

καταγράφονται από τους επίγειους μετρητές νετρονίων (NM<sub>5</sub>) και από ανιχνευτές σε δορυφόρους κοντά στη γη που μετράνε την πρωτογενή κοσμική ακτινοβολία ( Lockwood et al, 1991; Belov and Ivanov, 1997).

Είναι επίσης γνωστό ότι υπάρχει αρνητική συσχέτιση μεταξύ της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας και των διαφορών παραμέτρων της ηλιακής δραστηριότητας, λόγω της 11-ετούς ηλιακής διαμόρφωσης ( Forbush, 1958). Για το λόγο αυτό ηλιακά γεγονότα, όπως ηλιακές εκλάμψεις και στεμματικές εκτοξεύσεις μάζας, συνδέονται στενά με μειώσεις της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας, όπως είναι οι μειώσεις Forbush που καταγράφονται στους μετρητές νετρονίων.

Οι μειώσεις Forbush (FD) της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας είναι ένα ηλιοσφαιρικό φαινόμενο, που περιλαμβάνει μεταβολές της πυκνότητας και της ανισοτροπίας των γαλαξιακών κοσμικών ακτίνων, που προκαλούνται από διαδιδόμενες διαταραχές του ηλιακού ανέμου μεγάλης κλίμακας. Σύμφωνα με τις μέχρι τώρα παρατηρήσεις διακρίνονται σε μη περιοδικές μειώσεις (non-recurrent decreases), οι οποίες οφείλονται σε παροδικά διαπλανητικά γεγονότα σχετιζόμενα με στεμματικές εκτοξεύσεις μάζας από τον ήλιο και σε σποραδικές μειώσεις (recurrent decreases) (Lockwood, 1971) που σχετίζονται με τον ηλιακό άνεμο μεγάλης ταχύτητας. Τόσο οι στεμματικές εκτοξεύσεις μάζας όσο και τα μέτωπα κρούσης ενδέχεται να συσχετίζονται με τις ηλιακές εκλάμψεις.

Οι ηλιακές εκλάμψεις εμφανίζονται ως αιφνίδιες, αστραπιαίες και έντονες μεταβολές της φωτεινότητας σε κάποιες περιοχές του Ηλίου. Συμβαίνουν όταν ξαφνικά ελευθερώνεται μαγνητική ενέργεια από την ηλιακή ατμόσφαιρα. Η ακτινοβολία που εκπέμπεται ενεργοποιεί σχεδόν ολόκληρο το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα από τα ραδιοκύματα (μεγάλα μήκη κύματος) μέχρι τις ακτίνες-X και γ (πολύ μικρά μήκη κύματος). Επί πλέον οι εκτοξεύσεις στεμματικού υλικού ( Coronal Mass Ejections 'CME' ) είναι εκροή πλάσματος από τον ήλιο που έχει τη μορφή ηλιακής προεξοχής και το οποίο βαθμιαία αποκτά ταχύτητα και εκτοξεύεται στο διάστημα. Τα μέτωπα κρούσης που δημιουργούνται σε αυτές τις περιοχές επηρεάζουν την πυκνότητα της κοσμικής ακτινοβολίας τοπικά αλλά ακόμα και σε μακρινές αποστάσεις. Τα ενεργητικά σωματίδια που εκπέμπονται μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να προσδιορίσουμε τις εκτοξεύσεις μάζας στον διαπλανητικό χώρο (Cane, 2000). Η σύνδεση αυτών των φαινομένων αποτελεί ανοικτό θέμα της διαστημικής έρευνας.

Σ' αυτή την εργασία έχει γίνει μια λεπτομερής καταγραφή των ηλιακών εκλάμψεων σπουδαιότητας >C και των εκτοξεύσεων στρεμματικού υλικού (Halo και Partial) που προκαλούν τις μειώσεις Forbush στην ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας. Προσδιορίστηκαν με σαφή κριτήρια οι μειώσεις Forbush που καταγράφηκαν από τον μετρητή νετρονίων της Αθήνας για το χρονικό διάστημα 2000 μέχρι 2003. Έγινε μια στατιστική μελέτη όλων αυτών των γεγονότων και αναζητήθηκε η σύνδεσή τους. Εντοπίζονται ιδιαίτερα έντονες μεταβολές πρωτοφανείς στην ιστορία των μετρητών νετρονίων.

## 2. Ανάλυση Δεδομένων

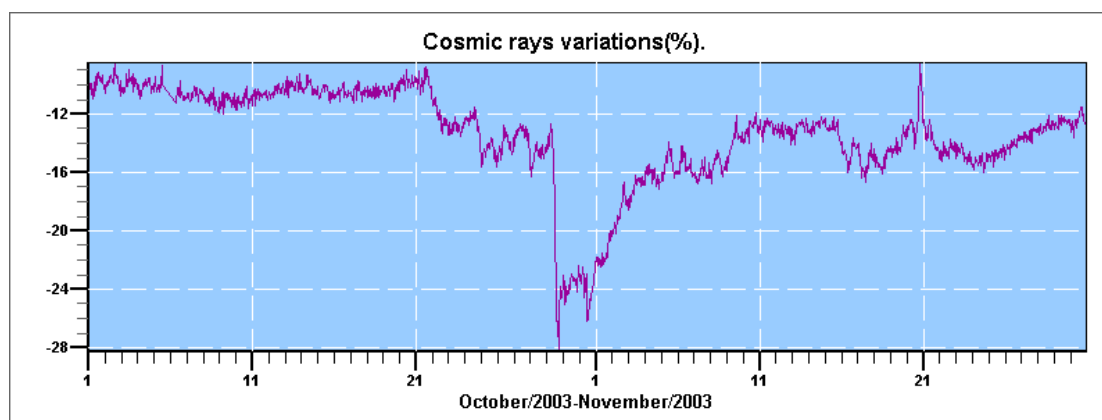
Ο εκσυγχρονισμένος σταθμός κοσμικής ακτινοβολίας του Πανεπιστημίου της Αθήνας (37.58°N, 23.47°E) τέθηκε σε λειτουργία το Νοέμβριο 2000, στα πλαίσια συνεργασίας της ομάδας κοσμικής ακτινοβολίας του Πανεπιστημίου της Αθήνας και του Ινστιτούτου Γήινου Μαγνητισμού, Ιονόσφαιρας και Ραδιοκυμάτων της Ρωσικής Ακαδημίας Επιστημών (IZMIRAN). Είναι μοναδικός στην περιοχή των Βαλκανίων και βρίσκεται στο Κτίριο του Τμήματος Φυσικής του Πανεπιστημίου Αθηνών (Πανεπιστημιούπολη Ζωγράφου). Είναι τοποθετημένος σε ειδικά κατασκευασμένο χώρο σε υψόμετρο 260m από την επιφάνεια της θάλασσας και έχει κατακόρυφο κατώφλι μαγνητικής δυσκαμψίας 8.53 GV. Εξαιτίας της θέσης του, ο σταθμός αυτός είναι απαραίτητος για τη μελέτη των ανισοτροπιών της κοσμικής

ακτινοβολίας (11-ετής και 22-ετών μεταβολές, 27 ημερών, Forbush effects), και αυτό διότι έχει την δυνατότητα να διαχωρίζει τα σωματίδια Ηλιακής προέλευσης από τα σωματίδια Γαλαξιακής προέλευσης. Είναι ο έκτος σταθμός που συνδέθηκε με το Παγκόσμιο Δίκτυο Μετρητών Νετρονίων με παροχή δεδομένων "πραγματικού χρόνου" (real time).



Σχήμα 1. Η ανιχνευτική διάταξη του σταθμού κοσμικής ακτινοβολίας του Πανεπιστημίου Αθηνών.

Οι μετρητές νετρονίων παρέχουν συνεχή καταγραφή της αδρονικής συνιστώσας της δευτερογενούς κοσμικής ακτινοβολίας. Το ανιχνευτικό σύστημα του σταθμού της Αθήνας (Σχήμα 1) αποτελείται από έξι αναλογικούς απαριθμητές τύπου BP28 (Chalk River Canada) που περιέχουν  $\text{BF}_3$  εμπλουτισμένο με το ισότοπο  $\text{B}^{10}$ . Τα νετρόνια περνούν από πλάκες πολυαιθυλενίου και ειδική μολύβδινη θωράκιση που μετριάζει τις ενέργειές τους. Στη συνέχεια αντιδρούν με τριφθοριούχο βόριο, δίνοντας διηγερμένο λίθιο και σωματίδια-α. Η καταγραφή των σωματιδίων-α από τους απαριθμητές δίνει τη ροή των νετρονίων. Στο σταθμό εγκαταστάθηκαν επίσης και λειτουργεί σε εικοσιτετράωρη βάση Web Server και FTP Server, οι οποίοι προβάλλουν τα αποτελέσματα των μετρήσεων στο Διαδίκτυο (Σχήμα 2) προκειμένου να χρησιμοποιούνται σε παγκόσμιο επίπεδο (<http://cosray.phys.uoa.gr>). Η διακριτική ικανότητα των μετρήσεων είναι μέχρι ενός δευτερολέπτου μοναδική σε παγκόσμια κλίμακα. Πρόσφατα ο σταθμός αναβαθμίστηκε σε Διεθνές Κέντρο για την επεξεργασία των δεδομένων του Παγκοσμίου Δικτύου Μετρητών Νετρονίων σε πραγματικό χρόνο το οποίο και υλοποιήθηκε στην Αθήνα (Mavromichalaki et al, 2001; 2004).



Σχήμα 2: Μεταβολές της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας, όπως αυτή καταγράφηκε από τον σταθμό κοσμικής ακτινοβολίας της Αθήνας για την περίοδο Οκτωβρίου- Νοεμβρίου 2003.

Εκτός των δεδομένων της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας χρησιμοποιήθηκαν κατάλογοι των στεμματικών εκτοξεύσεων μάζας από το US Naval Research Laboratory (NRL) on the Large Angle and Spectrometric Coronagraph (LASCO) του δορυφόρου SOHO. Αυτοί οι κατάλογοι περιλαμβάνουν την ώρα της πρώτης παρατήρησης από τον στεματογράφο, την θέση της CME και ένα μικρό σχόλιο το οποίο αφορά σημαντικές επιπλέον πληροφορίες. (<http://lasco-www.nrl.navy.mil>). Επιπρόσθετα έγινε χρήση των δεδομένων των ηλιακών εκλάμψεων, όπως αυτές καταγράφονται στην ιστοσελίδα : <http://www.sec.noaa.gov/today.html>

Τα δεδομένα κοσμικής ακτινοβολίας για το χρονικό διάστημα από 2000 μέχρι 2003 μοιράστηκαν σε διαστήματα των 27-ημερών (Bartels Rotations) που είναι η συνολική περιστροφή του ήλιου. Έτσι δημιουργήθηκαν σαράντα τέτοια διαγράμματα από 14/10/2000 μέχρι 25 /11/2003 που αντιστοιχούν στις Bartel περιστροφές BR2284 μέχρι BR2324. Πάνω σε αυτά τα διαγράμματα έγινε μία απεικόνιση όλων των μεγάλων ηλιακών γεγονότων που σημειώθηκαν σε αυτό το χρονικό διάστημα. Πιο συγκεκριμένα αναπαραστάθηκαν τα εξής γεγονότα: Halo CMEs, ενεργές ηλιακές περιοχές (active regions) και ηλιακές εκλάμψεις M-Class/ X-Class σε ένα σύνολο διαγραμμάτων, καθώς και Partial Halo CMEs και Εκλάμψεις C-Class σε ένα δεύτερο σύνολο. Σε αυτά τα διαγράμματα καταγράφηκαν όλα τα διαθέσιμα δεδομένα, όπως ημερομηνία του γεγονότος, ώρα της πρώτης παρατήρησης, θέση και σπουδαιότητα αυτού. Έτσι έχουμε μία εξαιρετική απεικόνιση των ηλιακών γεγονότων στην ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας. Η απεικόνιση αυτή βοηθά στο προσδιορισμό της σχέσης μεταξύ των ηλιακών εκλάμψεων, των στεμματικών εκτοξεύσεων μάζας και των μειώσεων Forbush, η οποία αποτελεί αντικείμενο των μελετών του Διαστημικού καιρού. Ένα δείγμα αυτών των διαγραμμάτων δίνεται στο σχήμα 3. Αναζητώντας τη σχέση μεταξύ αυτών των γεγονότων έγινε μια πιο ολοκληρωμένη στατιστική ανάλυση όλων των δεδομένων.

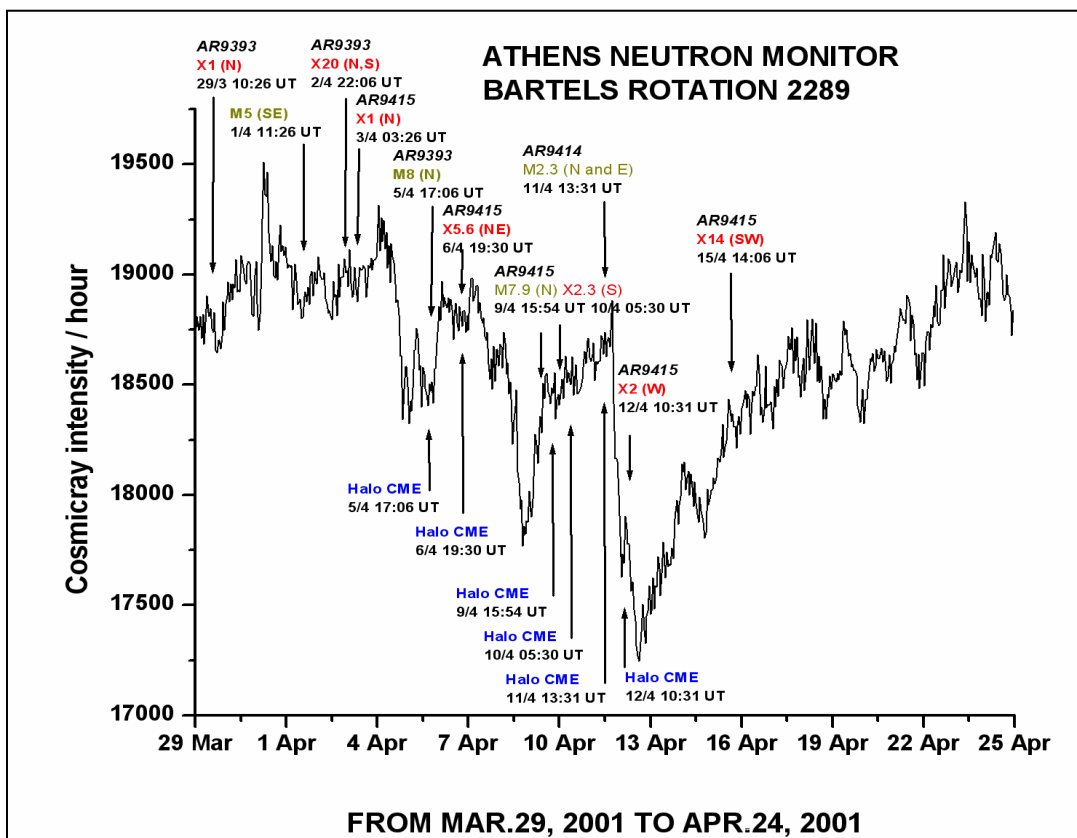
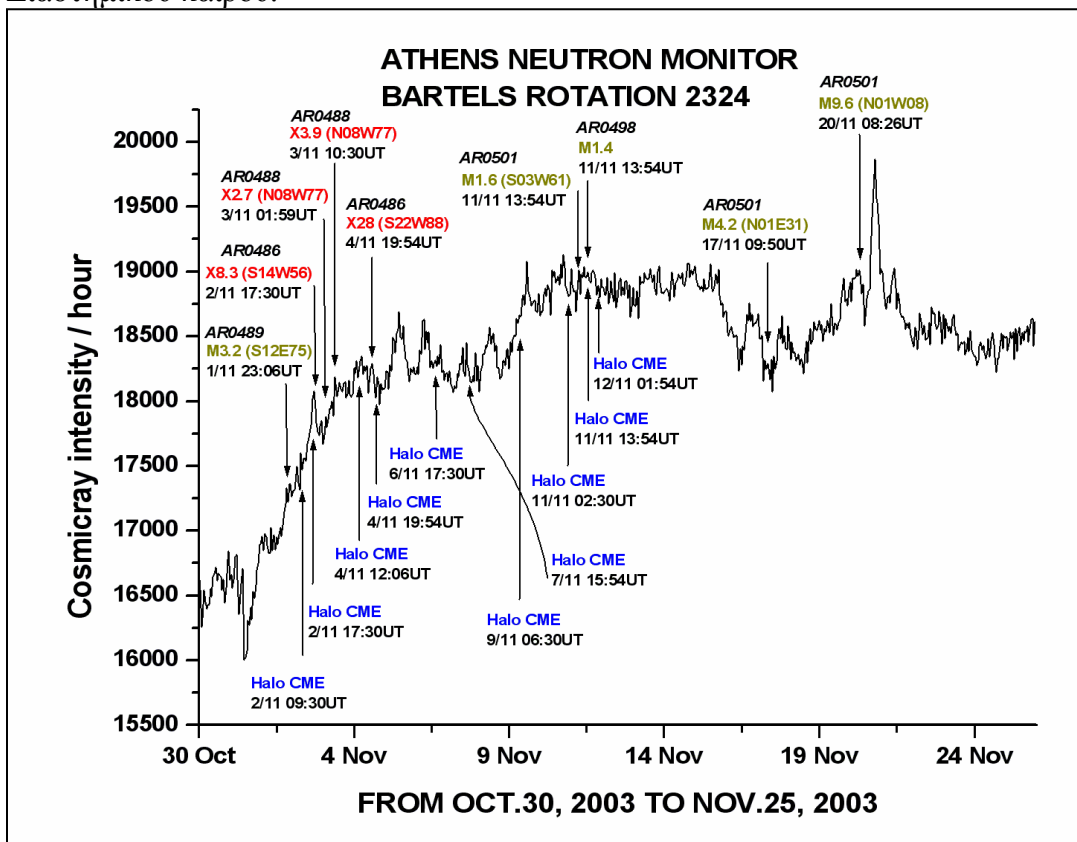
### 3.-Έκρηκτικά φαινόμενα

Το χρονικό διάστημα 2000-2003 είναι χαρακτηριστικό, αφού βρίσκεται στην καθοδική φάση του 23<sup>ου</sup> ηλιακού κύκλου (το μέγιστο ήταν κατά το έτος 2000) και δεν αναμένονταν έκτακτα φαινόμενα. Παρόλα αυτά συνέβησαν ιδιαίτερα έντονα γεγονότα που χαρακτηρίζονται από μεγάλα μεγέθη και ιδιαιτερότητες. Συγκεκριμένα μετά από κάποιες περιόδους χαμηλής ηλιακής δραστηριότητας - Gnevyshev Gap - καταγράφηκαν από τους επίγειους μετρητές νετρονίων ιδιάζοντα γεγονότα κατά τον Μάρτιο/Απρίλιο 2001, τον Οκτώβριο/Νοέμβριο 2003, τον Ιούλιο 2004 και πρόσφατα τον Νοέμβριο 2004.

Την περίοδο Οκτώβριος - Νοέμβριος 2003 το παγκόσμιο δίκτυο μετρητών νετρονίων κατέγραψε μέσα σε χρονικό διάστημα έξι ημερών στα τέλη Οκτωβρίου-αρχές Νοεμβρίου 2003 τρία γεγονότα επίγειων επαυξήσεων της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας (Ground Level Enhancements), που είναι αποτέλεσμα της παραγωγής δευτερογενών σωματιδίων κατά τις αντιδράσεις σχετικιστικών ηλιακών σωματιδίων με τα μόρια της ατμόσφαιρας. Οι ηλιακές κοσμικές ακτίνες παρήχθησαν κατά τη διάρκεια τριών μεγάλων εκλάμψεων (στις 28, 29 Οκτωβρίου και 2 Νοεμβρίου) επιταχύνθηκαν, διαδόθηκαν στο διαπλανητικό χώρο και τελικά εισχώρησαν στη γήινη ατμόσφαιρα ενεργοποιώντας μία σειρά καταιγισμών (showers).

Επίσης κατά τη διάρκεια αυτών των ετών παρατηρήθηκαν χαρακτηριστικά γεωμαγνητικά γεγονότα μεταξύ των οποίων διακρίνονται αυτό της 31<sup>ης</sup> Μαρτίου 2001, της 29<sup>ης</sup> Οκτωβρίου 2003, της 20<sup>ης</sup> Νοεμβρίου 2003 όπως και το πρόσφατο της 9<sup>ης</sup> Νοεμβρίου 2004. Τα γεγονότα αυτά καταγράφηκαν στο σταθμό της Αθήνας με μέγιστο πλάτος 4%, 5%, 7% και 5% αντίστοιχα. Θεωρούνται ως τα μεγαλύτερα καταγεγραμμένα γεγονότα στην

ιστορία των Μετρητών Νετρονίων και είχαν αποτέλεσμα την εμφάνιση σέλαος στην Αθήνα.. Η συνεισφορά του σταθμού της Αθήνας στη μελέτη αυτών των φαινομένων σε διεθνή κλίμακα κρίνεται πολύ σημαντική για την πρόβλεψη των μαγνητικών καταιγίδων του Διαστημικού καιρού.



Σχήμα 3: Δύο τυπικά διαγράμματα απεικόνισης της ηλιακής δραστηριότητας στην ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας (Πάνω διάγραμμα: Οκτώβριος/Νοέμβριος 2003, Κάτω διάγραμμα: Μάρτιος/Απρίλιος 2001)

Κατά τη διάρκεια του μαγνητοσφαιρικού φαινομένου της 20<sup>ης</sup> Νοεμβρίου 2003 υπήρξε μεταβολή του κατωφλίου δυσκαμψίας, που υπολογίστηκε από την ομάδα Κοσμικής Ακτινοβολίας του Πανεπιστημίου Αθηνών σε συνεργασία με την αντίστοιχη ομάδα του IZMIRAN, για κάθε σταθμό κοσμικής ακτινοβολίας του Παγκοσμίου Δικτύου και για διαφορετικές χρονικές στιγμές. Το μαγνητοσφαιρικό φαινόμενο στην κοσμική ακτινοβολία της 20<sup>ης</sup> Νοεμβρίου 2003 ήταν μέγιστο για τους σταθμούς μικρού γεωγραφικού πλάτους και όχι για τους σταθμούς μεσαίου γεωγραφικού πλάτους, όπως συνήθως συμβαίνει. Στους σταθμούς αυτούς η μείωση Forbush της δεδομένης περιόδου υπερκαλύφθηκε από την αύξηση στην ένταση εξαιτίας του γεωμαγνητικού γεγονότος.

#### 4.-Στατιστική ανάλυση

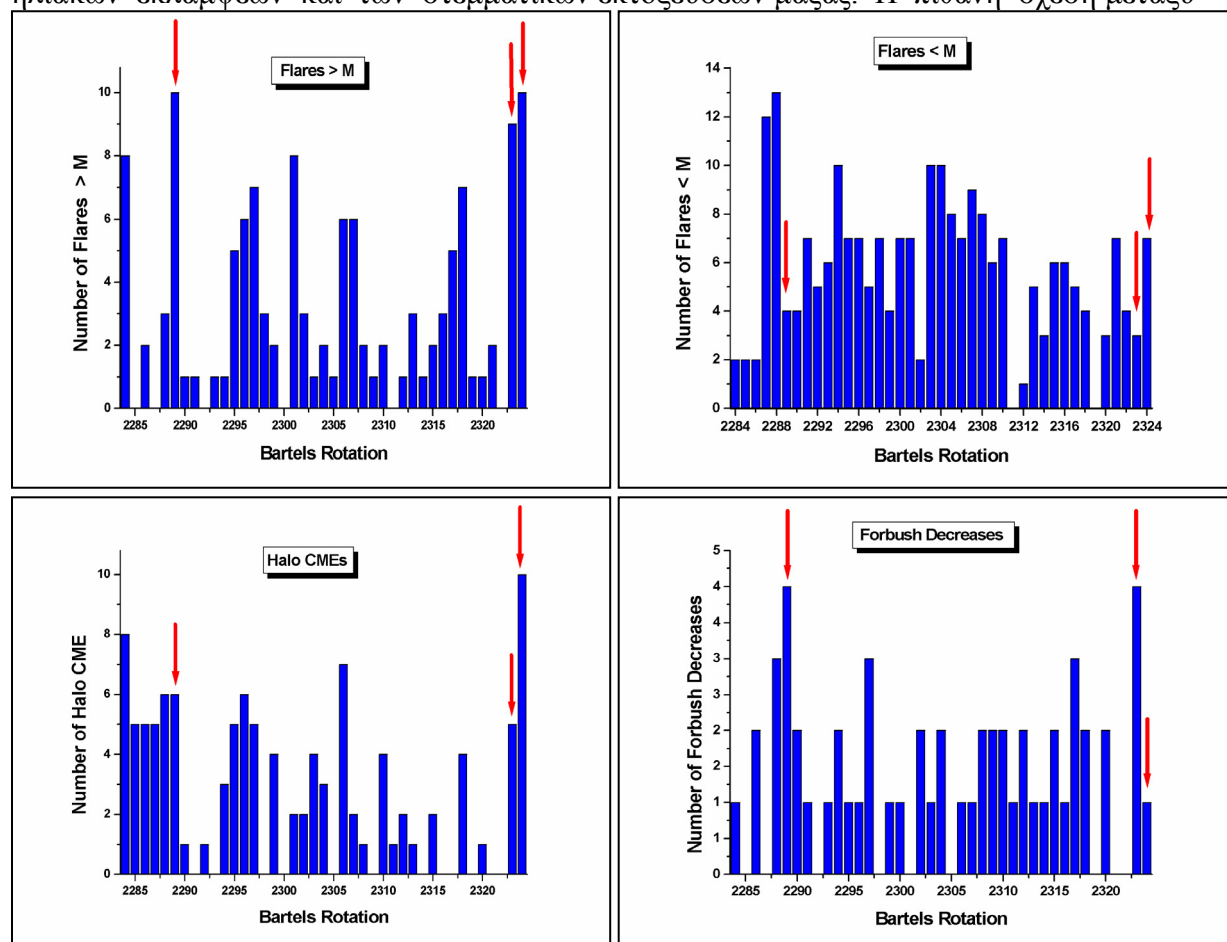
Στην εργασία αυτή πραγματοποιείται μια λεπτομερής στατιστική ανάλυση όλων των παρεχόμενων δεδομένων, για το σύνολο της εξεταζόμενης περιόδου, και κατασκευάζονται ποσοτικά ιστογράμματα χωριστά για τις στεμματικές εκτοξεύσεις μάζας (CMEs), τις εκλάμψεις σημαντικότητας  $>M$  και  $<M$ , καθώς και για τις μειώσεις Forbush. Στη συγκεκριμένη ανάλυση λαμβάνεται υπόψη μια λίστα 359 ηλιακών εκλάμψεων, από τις οποίες οι 127 είναι σημαντικότητας  $>M$ , ενώ οι υπόλοιπες είναι σημαντικότητας  $<M$ , 111 Halo CMEs και 45 Partial CMEs. Οι κατανομές των ηλιακών εκλάμψεων  $>M$ , των ηλιακών εκλάμψεων  $<M$ , των Halo CMEs και των μειώσεων Forbush στις διάφορες Bartels περιστροφές δίνονται στο σχήμα 4. Τα ιδιαίτερα έντονα γεγονότα που καταγράφηκαν σημειώνονται με βέλος σε κάθε ένα από τα ιστογράμματα.

Στην ανάλυση που έγινε, από το σύνολο των καταγεγραμμένων γεγονότων (CMEs, ηλιακές εκλάμψεις) χρησιμοποιήθηκαν εκείνες που παρουσίαζαν καλή συσχέτιση μεταξύ τους. Δηλαδή διαλέξαμε μόνο τα γεγονότα εκείνα που παρουσιάστηκαν στην ίδια ενεργειακή περιοχή, την ίδια ώρα και την ίδια ημέρα ώστε το τελικό αποτέλεσμα να εκφράζει το πραγματικό ποσοστό της συσχέτισης τους. Πρακτικά επιμερίσαμε την τριετή αναλυόμενη περίοδο σε τρία τμήματα. Για κάθε ένα από αυτά καταγράφηκαν οι εκλάμψεις με σημαντικότητα  $>M$  και  $<M$  που παρουσιάζουν σύνδεση με τις αντίστοιχες στεμματικές εκτοξεύσεις μάζας.

Πράγματι επιβεβαιώνεται η ποσοτική συσχέτιση ανάμεσα στις εκλάμψεις και τις εκτοξεύσεις στεμματικού υλικού. Η ανάλυση έδειξε ότι υπάρχει αρχικά μια στατιστική σύνδεση της τάξης του 49 %. Επιπλέον η συσχέτιση ανάμεσα στις στεμματικές εκτοξεύσεις μάζας και τις μειώσεις Forbush φτάνει το 55 %. Μάλιστα από την στατιστική γραφική απεικόνιση που πραγματοποιήθηκε είναι ορατή η συσχέτιση όλων αυτών των μεγάλων γεγονότων. Συγκεκριμένα, το ποσοστό συσχέτισης ανάμεσα στις εκλάμψεις  $>M$  και τις στεμματικές εκτοξεύσεις μάζας είναι της τάξης του 62 %, ενώ το αντίστοιχο ποσοστό για τις εκλάμψεις σημαντικότητας  $<M$  είναι 36 % (Σχήμα 5). Χωρίζοντας την τριετή περίοδο σε τρία διαστήματα, η ύφεση της ηλιακής δραστηριότητας ήταν εμφανής. Λιγότερα γεγονότα καταγράφονταν όσο περισσότερο απομακρυνόμασταν από το μέγιστο του ηλιακού κύκλου. Το αποτέλεσμα αυτό ήταν αναμενόμενο, ωστόσο το αναπάντεχο γεγονός είναι η ύπαρξη εξαιρετικά ισχυρών γεγονότων μακριά από το ηλιακό μέγιστο.

## 5.-Συζήτηση και συμπεράσματα

Στη διεθνή βιβλιογραφία σήμερα υπάρχουν αντιφατικές γνώμες για τη σχέση των ηλιακών εκλάμψεων και των στεμματικών εκτοξεύσεων μάζας. Η πιθανή σχέση μεταξύ

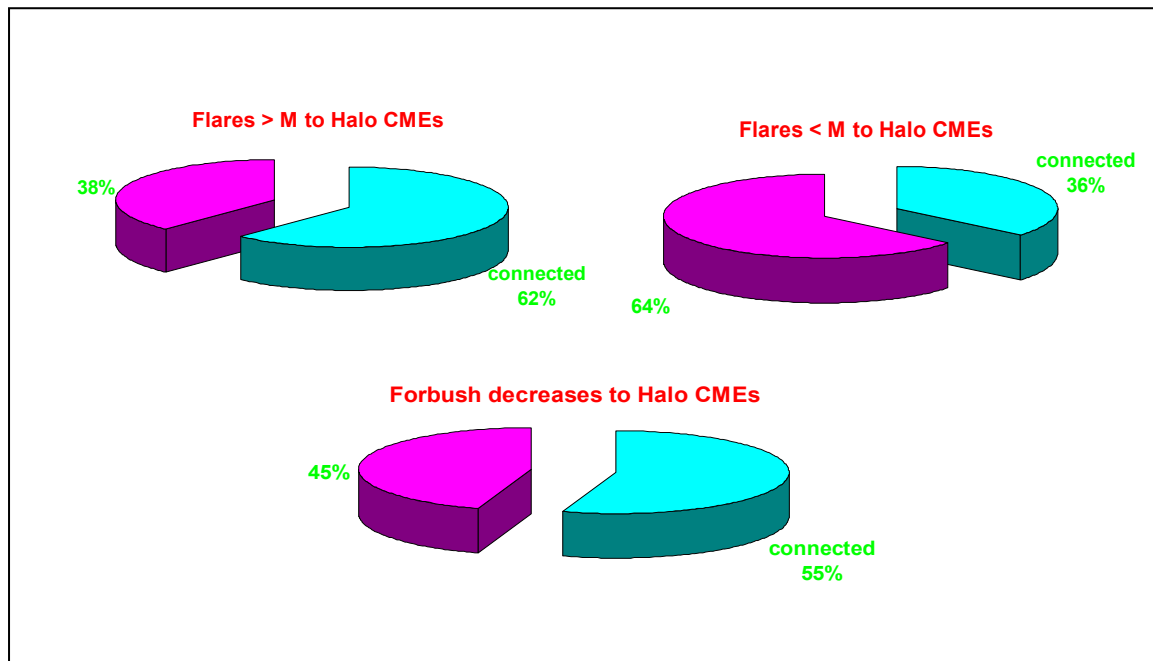


Σχήμα 4 : Χρονικές κατανομές των ηλιακών εκλάμψεων >M, των ηλιακών εκλάμψεων <M, των στεμματικών εκτοξεύσεων (CMEs) και των μειώσεων Forbush για το διάστημα 2000-2003.

των X-ray εκλάμψεων και των CMEs βασισμένη στα πρώτα δεδομένα καταγραφής των στεμματικών εκπομπών του Ήλιου έχει μελετηθεί από τους *Gosling et al.*(1974). Σε μετρήσεις του Skylab αναφέρθηκαν περισσότερες από 30 περιπτώσεις "ξαφνικής εκτόξευσης μάζας" και σημειώθηκε ότι μόνο τρεις από αυτές εμφάνιζαν το ξεκίνημα κάποιων εκλάμψεων. Συνήθως οι γρήγορες στεμματικές εκτοξεύσεις μάζας συνδέονται με ηλιακές εκλάμψεις, οι οποίες επιβραδύνονται όταν οι CMEs επιταχύνονται (*Sheeley, 1999, Andrews 2003*).

Ο *Harrison (1995)* αναφέρει ότι οι εκλάμψεις με μεγαλύτερη διάρκεια ή ένταση είναι πιο πιθανό να συνδέονται με CMEs, ωστόσο δεν οδηγούν τα CMEs όπως και το αντίστροφο, ενώ κάθε ένα από αυτά αντιπροσωπεύει την αντίδραση διαφορετικών τμημάτων της μαγνητικής δομής. Αντίθετα ο *Hundhausen (1999)* δηλώνει ότι δεν υπάρχει οποιαδήποτε σύνδεση μεταξύ των CMEs και των έντονων χαμηλής ενέργειας X-ray εκλάμψεων, ενώ τα σημαντικά X-ray γεγονότα – αν αυτά συσχετίζονται με εκτοξεύσεις μάζας – ακολουθούν την επιτάχυνση της εκπομπής μάζας και κορυφώνονται πολύ μετά την εκπομπή και εφόσον η τελευταία είναι σε εξέλιξη. Σε πρόσφατη μελέτη του, ο *Švetska (2001)* ανακεφαλαιώνει τη σχέση μεταξύ των εκλάμψεων και CMEs και εισηγείται ότι, το μόνο κριτήριο για τη μελέτη

αυτών των φαινομένων, είναι: «η ισχύς του μαγνητικού πεδίου στην περιοχή των ανοικτών μαγνητικών γραμμών». Επομένως οι εκλάμψεις δεν προκαλούν απαραίτητα το φαινόμενο των CMEs .



Σχήμα 5 : Ποσοτικά γραφήματα της συσχέτισης των καταγεγραμμένων γεγονότων για το διάστημα 2000-2003

Από την άλλη πλευρά γίνεται προσπάθεια να γίνει κατανοητή η σχέση των μειώσεων Forbush της κοσμικής ακτινοβολίας και των ηλιακών αυτών γεγονότων. Η επικρατέστερη άποψη είναι ότι υπάρχουν τρεις κατηγορίες στεμματικών εκπομπών που συνδέονται με τις μειώσεις της κοσμικής ακτινοβολίας. Αυτές που συνοδεύονται από μέτωπο κρούσης και CMEs, αυτές που συνοδεύονται μόνο από μέτωπα κρούσης και αυτές που συνοδεύονται μόνο από CMEs. Η πλειονότητα των απλών μειώσεων είναι του τύπου μέτωπο κρούσης και CMEs (Cane et al., 1996). Το φαινόμενο των μειώσεων Forbush για αρκετό καιρό οριζόταν σαν η μείωση της πυκνότητας της κοσμικής ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια γεωμαγνητικών καταιγίδων. Ωστόσο, τώρα γνωρίζουμε ότι οι μειώσεις Forbush παρατηρούνται συχνά και σε περιπτώσεις όπου εμφανίζονται σχεδόν ήσυχες γεωμαγνητικές καταστάσεις. Πέραν τούτου οι μειώσεις Forbush παρατηρήθηκαν όχι μόνο μέσα στη μαγνητόσφαιρα της Γης αλλά και σε διαφορετικά διαστημόπλοια αποστολών, μακριά από τους πλανήτες και τις μαγνητόσφαιρές τους (Belov et al., 2000). Υπάρχουν εργασίες οι οποίες αποδεικνύουν στατιστικά τη σχέση μεταξύ των μειώσεων Forbush και των ηλιακών εκλάμψεων (Křivský 1978).

#### Συμπερασματικά μπορούμε να πούμε ότι:

- Κατά το χρονικό διάστημα 2000-2003 που εξετάσαμε καταγράφηκαν 359 ηλιακές εκλάμψεις και 111 Halo στεμματικές εκτοξεύσεις μάζας που επέφεραν 56 μειώσεις Forbush οι οποίες καταγράφηκαν και στο σταθμό κοσμικής ακτινοβολίας της



Αθήνας. Οι μειώσεις αυτές συνδέονται κατά ένα ποσοστό 55% με Halo CMEs, που είναι τόσο μεγαλύτερο όσο πιο κοντά βρισκόμαστε στο ηλιακό μέγιστο.

- Από τη στατιστική ανάλυση που έγινε ξεχωρίζουν σαφώς οι περίοδοι έντονης ηλιακής δραστηριότητας (Μάρτιος/Απρίλιος 2001, Οκτώβριος/Νοέμβριος 2003) που χαρακτηρίζουν αυτό το χρονικό διάστημα.
- Η ανάλυση των δεδομένων σε 27ημερη βάση βοήθησε στην παρατήρηση επαναληπτικότητας των φαινομένων μετά από 27 μέρες που αντιστοιχούν στην συνολική περιστροφή του ήλιου. Τότε η Γη βρίσκεται πάλι στην ίδια ενεργό περιοχή του ήλιου, με αποτέλεσμα να επανεμφανίζεται περίπου με περιοδική συσχέτιση, η ηλιακή επίδραση.
- Παρατηρήθηκαν μοναδικά γεγονότα που ξεχωρίζουν για το μέγεθος και την έντασή τους όπως :
  - i. Τρεις κατά σειρά επαυξήσεις της κοσμικής ακτινοβολίας σημειώθηκαν μέσα σε χρονικό ορίζοντα μόλις μιας εβδομάδας κατά τον Οκτώβριο/Νοέμβριο του 2003.
  - ii. Το σέλας ήταν ορατό ακόμη και από χαμηλότερα γεωγραφικά πλάτη. Συγκεκριμένα στην Αθήνα καταγράφηκε στις 20 Νοεμβρίου του 2003.
  - iii. Μια εξαιρετικά ισχυρή εκτόξευση στεμματικού υλικού πραγματοποιήθηκε στις 28 Οκτωβρίου του 2003, ήταν τόσο εντυπωσιακή που ονομάστηκε : "Mother of Halos", προκάλεσε μια επίγεια επαύξηση που ονομάστηκε : "GLE 65, Greek effect" και μειώσεις Forbush πλάτους 21% –μοναδικών στην ιστορία των μετρήσεων κοσμικής ακτινοβολίας.

Η γραφική απεικόνιση των ηλιακών γεγονότων σε σχέση με τις μεταβολές της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας θα συνεχιστεί και θα παρέχεται στη διεθνή επιστημονική κοινότητα στο Website του σταθμού της Αθήνας. Τούτο θα βοηθήσει στο πρόγραμμα πρόγνωσης του Διαστημικού καιρού που έχει ξεκινήσει να εφαρμόζεται στο Διεθνές Κέντρο επεξεργασίας δεδομένων του Παγκοσμίου δικτύου Μετρητών Νετρονίων πραγματικού χρόνου που είναι στο Πανεπιστήμιο της Αθήνας.

**Ευχαριστίες:** Το πρόγραμμα αυτό υποστηρίζεται από τον Ειδικό Λογαριασμό Κονδυλίων Έρευνας του Πανεπιστημίου της Αθήνας.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Andrews, M. D.: 'A search for CMEs associated with Big Flares' , Solar Physics 218: 261-279, 2003
- Belov, A.V. & Ivanov, K.G. : 'Forbush effects in 1977-1979', Proc. 25<sup>th</sup> Intern. Cosmic Ray Conf., 1, 421, 1997
- Cane, H. V.: 'Coronal Mass Ejections and Forbush Decreases' , Space Science Reviews 93: 55-77, 2000
- Cane, H.V. et al. , 'Cosmic Ray Decreases : 1964-1994', J. Geophys.Res. , 101, 21561-21572, 1996
- Gosling, J.T. et al., J. Geophys.Res., 79, 4581, 1974
- Forbush, S.E.: J. Geophys. Res. 63,651, 1958
- Harrison, R.A : Astron. Astrophys. 304, 585, 1995

- Hundhausen, A.J. : ‘Coronal mass Ejections’ , in K.T. Strong, J.L. Saba, B.H.Haisch and J.T. Schmelz, (eds.), *The many faces of the Sun: a Summary of the results from NASA’s Solar Maximum Mission*, Springer, New York, 143, 1999
- Křivský, L. : ‘Parameters of Forbush decreases and their parent Flares in the solar cycle 1965-1976’, *Bull.Astron.Inst.Czechosl*, 29,30-44, 1978
- Lockwood, J.A. : ‘Forbush Decreases in the Cosmic Radiation’, *Space Sci. Revs.* , 12, 658-715, 1971
- Lockwood, J.A. et al. , ‘Forbush decreases and Interplanetary Magnetic Field Disturbances : Association with Magnetic Clouds’, *J.Geophys.R.* , 96, 11587-11604, 1991
- Mavromichalaki, H. et al.: ‘Athens Neutron Monitor and its aspects in the cosmic-ray variations’ *Proc. 27th ICRC 2001 (Hamburg)* 10, 4099, 2001
- Mavromichalaki, H. et al.: ‘Neutron Monitor Network in Real Time and Space Weather’, *NATO Science Series*, 2004
- Švestka, Z.: ‘Varieties of Coronal Mass Ejections and their relation to Flares’ *Space Science Reviews* 95: 135-146, 2001
- Shelley, N. J. et al. , *J.Geophys. Res.* , 104 (A11), 24739, 1999