

**Ασυνήθιστες μεταβολές της κοσμικής ακτινοβολίας και της πλιακής δραστηριότητας κατά την καθοδική φάση του 23<sup>ου</sup> πλιακού κύκλου**

A. Παπαϊωάννου, Τομέας Πυρηνικής Φυσικής και Στοιχειωδών Σωματιδίων, Τμήμα Φυσικής Πανήμενου Αθηνών

E. Μανρομιχαλάκη, Τομέας Πυρηνικής Φυσικής και Στοιχειωδών Σωματιδίων, Τμήμα Φυσικής Πανήμενου Αθηνών

A. Πετρίδης, Τμήμα Μεταπνυχιακών Σπουδών, Πανεπιστήμιο Λευκωσίας

### Περίληψη

Κατά τη διάρκεια του τελευταίου ηλιακού κύκλου ( $23^{\text{rd}}$ ), και ενώ βρισκόμαστε στη φάση της εξασθένισής του, συνέβησαν ιδιαίτερα γεγονότα που χαρακτηρίζονται από ασυνήθιστες ιδιότητες. Συγκεκριμένα καταγρέφηκαν από τους επίγειους μετρητές νεφρονίων εξαιρετικά γεγονότα κατά το Μάρτιο/Απρίλιο 2001, τον Οκτώβριο/Νοέμβριο 2003, τον Ιούλιο 2004 και πρόσφατα το Νοέμβριο 2004. Κατεργάφη η μεγολότερη ψιλακή έκλαψη σπουδαιότητας X28, εμφανίστηκαν μέσα σε μια εβδομάδα τρεις χαρακτηριστικές επίγειες επανήσεις κοσμικής ακτινοβολίας (GLE65, GLE66, GLE67), το Σέλας έγινε ορατό και στην Αθήνα κατά το μαγνητοσφαιρικό γεγονός της 20<sup>ης</sup> Νοεμβρίου 2003 κ.λπ. Μελετώντας τις ιδιαίτερες αυτές περιπτώσεις, στόχο μας αποτελεί η ανάδειξη της σύνδεσης ανάμεσα στα ηλιακά, ηλιοσφαιρικά και γεωμαγνητικά φαινόμενα.

Αναλόθηκαν δεδομένα της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας από το σταθμό συνεχούς καταγραφής κοσμικής ακτινοβολίας 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 στεματικών 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 γραφική απεικόνιση που πραγματοποιήθηκε αναδεικνύει την υπόρχουσα σύνδεση μεταξύ αυτών των μεγάλων γεγονότων και θα είναι πολύ χρήσιμη για τις μελέτες του Διαστημικού καιρού.

### 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 εκπομπές 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 (NMs) 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 διαφόρων παραμέτρων της ηλιακής δραστηριότητας λόγω της 11-ετούς ηλιακής διαμόρφωσης (Forbush, 1958). Για το λόγο αυτό ηλιακά γεγονότα, όπως ηλιακές εκλάμψεις και στεμματικές εκπομπές 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 το οποίο περιλαμβάνει μεταβολές της πυκνότητας και της ανιστροπίας των γαλαξιακών κοσμικών ακτίνων που προκαλούνται από διαδιδόμενες διαταραχές του ηλιακού ανέμου μεγάλης κλίμακας. Σύμφωνα με τις μέχρι τώρα παρατηρήσεις οι μειώσεις διακρίνονται σε μη περιοδικές μειώσεις (non-recurrent decreases) οι οποίες οφείλονται σε παροδική διαπλανητικά γεγονότα σχετιζόμενα με στεμματικές εκπομπές μάζας από τον ήλιο και σε σποραδικές μειώσεις (recurrent decreases) (Lockwood, 1971) που σχετίζονται με τον ηλιακό άνεμο μεγάλης ταχύτητας. Τόσο οι στεμματικές εκπομπές μάζας, όσο και τα μέτωπα κρούσης μπορεί να προέρχονται από τις ηλιακές εκλάμψεις στον ήλιο.

Οι ηλιακές εκλάμψεις (Solar Flares 'SF') είναι αιφνίδιες, αστραπαίσες και έντονες μεταβολές της φωτεινότητας σε κάποιες περιοχές στον Ήλιο. Συμβαίνουν όταν ξαφνικά ελευθερώνεται μαγνητική ενέργεια από την ηλιακή ατμόσφαιρα. Η ακτινοβολία που εκπέμπεται καλύπτει σχεδόν ολόκληρο το τλεκτρομαγνητικό φάσμα από τα ραδιοκύματα (μεγάλου μήκους κύματος) μέχρι τις ακτίνες-X και γ (πολύ μικρά μήκη κύματος). Εππλέον οι εκτοξεύσεις στεμματικού υλικού (Coronal Mass Ejections-CME) είναι εκτοξεύσεις πλάσματος από τον ήλιο που έχουν τη μορφή ηλιακής προεξοχής και το οποίο βαθμαία αποκτά ταχύτητα και εκτοξεύεται στο διάστημα. Τα μέτωπα κρούσης που δημιουργούνται σε αντές τις περιοχές επηρεάζουν την πυκνότητα της κοσμικής ακτινοβολίας τοπικά αλλά ακόμα και σε μακρινές αποστάσεις. Αυτά τα ενεργητικά σωματίδια που εκπέμπονται μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να προσδι-

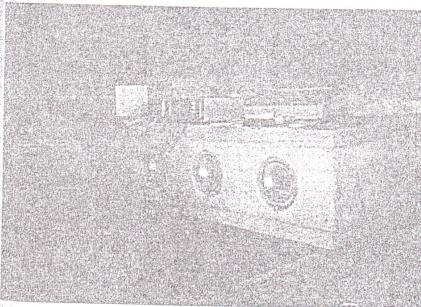
ρίσονμε τις εκτοξεύσεις μάζας στο διαπλανητικό χώρο (ejecta) (Cane, 2000). Οι CMEs που φθάνουν στη Γη ονομάζονται «Halo events» λόγω της εικόνας που μας δίνουν στο στέμμα του Ήλιου.

Η σύνδεση αυτών των φαινομένων αποτελεί ανοικτό θέμα της διαστημικής έρευνας.

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

### Ανάλυση δεδομένων

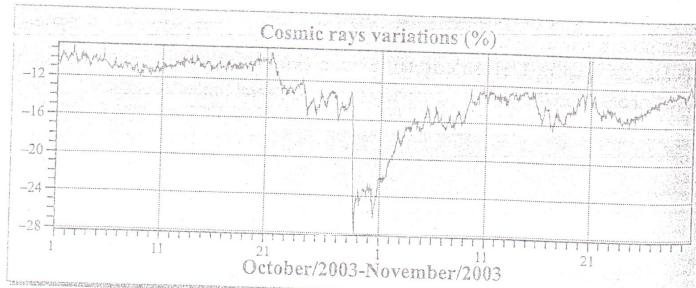
Ο εκσυγχρονισμένος σταθμός κοσμικής ακτινοβολίας του Πανεπιστημίου της Αθήνας ( $37.58^{\circ}\text{N}$ ,  $23.47^{\circ}\text{E}$ ) τέθηκε σε λειτουργία από το Νοέμβριο 2000 σε μία συνεργασία της ομάδας κοσμικής ακτινοβολίας του Πανεπιστημίου της Αθήνας και του Ινστιτούτου Γήινου Μαγνητισμού, Ιονόσφαιρας και Ραδιοκυμάτων της Ρωτικής Ακαδημίας Επιστημών (IZMIRAN). Είναι μοναδικός στην περιοχή των Βαλκανίων και βρίσκεται στο Τμήμα Φυσικής του Πανεπιστημίου Αθηνών. Είναι τοποθετημένος σε ειδικά κατασκευασμένο χώρο σε υψόμετρο 260 m από την επιφάνεια της θάλασσας και έχει κατακόρυφο κατώφλι μαγνητικής δυσκαλυψίας 8.53 GV. Είναι απαραίτητος για τη μελέτη των ανισοτροπιών της κοσμικής ακτινοβολίας (11-ετής και 22-ετών μεταβολές, 27 ημερών, Forbush effects). Είναι ο έκτος σταθμός που συνδέθηκε με το Παγκόσμιο Δίκτυο Μετρητών Νετρονίων με παροχή «real time» δεδομένων.



*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) εποτελείται από έξι αναλογικούς απαριθμητές τύπου BP28 Chalk River Canada που περιέχουν BF<sub>3</sub> εμπλούτισμένο με το ισότοπο B<sup>10</sup>. Τα νετρόνια περνούν από πλάκες πολυαιθυλενίου και ειδική μολύβδινη θωράκιση που μετριάζει τις ενέργειες τους. Στη συνέχεια αντιδρούν με τριφθοριωδό βρόιο, δίνοντας διηγερμένο λίθιο και σωματίδια-α. Η καταγραφή των σωματιδίων-α από τους απαριθμητές δίνει τη ροή των νετρονίων. Στο σταθμό εγκαταστάθηκε επίσης και λειτουργεί σε εικοσιτετράωρη βάση Web Server και FTP Server, ο οποίος προβάλλει τα αποτελέσματα των μετρήσεων στο Διαδίκτυο προκειμένου να χρησιμοποιούνται σε παγκόσμιο επίπεδο (<http://cosray.phys.uoa.gr>). Η διακριτική ικανότητα των μετρήσεων είναι μέχρι ενός δευτερολέπτου μοναδική σε παγκόσμια ιελίμακα (Σχήμα 2). Πρόσφατα ο σταθμός έγινε το Διεθνές Κέντρο για την επεξεργασία των δεδομένων του Παγκοσμίου Δικτύου Μετρητών Νετρονίων σε πραγματικό χρόνο που κατασκευάστηκε στην Αθήνα (Mavromichalaki et al, 2001; 2004).

Εκτός των δεδομένων της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας χρησιμοποιήθηκαν κατάλογοι των στεμματικών εκπομπών μάζας από το US Naval Research Laboratory (NRL) on the Large Angle and Spectrometric Coronagraph (LASCO). Αυτοί οι κατάλογοι περιλαμβάνουν την ώρα της πρώτης παρατήρησης, τη θέση της CME κατά προσέγγιση και ένα μικρό σχόλιο το οποίο αφορά σημαντικές επιπλέον πληροφορίες, (<http://lasco-www.nrl.navy.mil>).



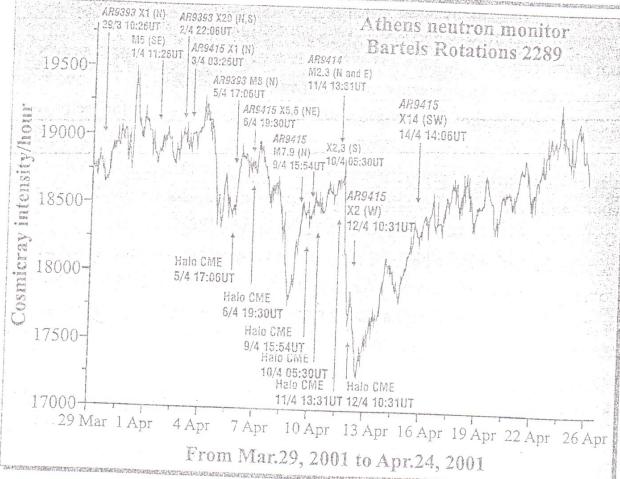
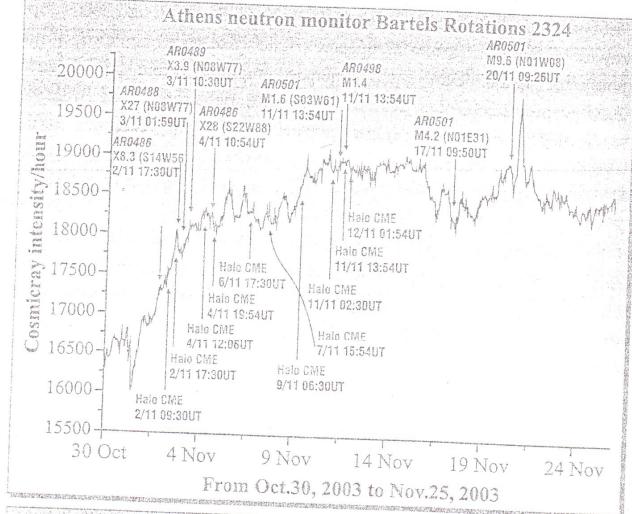
Σχήμα 2: Μεταβολές της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας, όπως αντή καταγράφησε από το σταθμό κοσμικής ακτινοβολίας της Αθήνας για την περίοδο Οκτωβρίου-Νοεμβρίου 2003.

Τα δεδομένα κοσμικής ακτινοβολίας για το χρονικό διάστημα από 2000 μέχρι 2003 ποιφάστηκαν σε διαστήματα των 27-ημερών (Bartels Rotations) που είναι η συνοδική περιστροφή του ήλιου. Έτσι δημιουργήθηκαν σαράντα τέτου διαγράμματα από 14/11/2000 μέχρι 12/2003 που αντιστοιχούν στις Bartel περιστροφές BR2284 μέχρι BR2324. Πάνω σε αυτά τα διαγράμματα έγινε μία χαρτογράφηση δλων των μεγάλων ηλιακών γεγονότων που σημειώθηκαν σε αυτό το χρονικό διάστημα. Πιο συγκεκριμένα χαρτογραφήθηκαν τα εξής γεγονότα: Halo CMEs, Active regions και Flares M-Class/X-Class σ' ένα σετ διαγραμμάτων, Partial Halo CMEs και Flares C-Class σε άλλο σετ. Σε αυτά τα διαγράμματα καταγράφηκαν όλα τα διαθέσιμα δεδομένα, όπως ημερομηνία του γεγονότος, ώρα της πρώτης παρατήρησης, σπουδαιότητα και συντεταγμένες. Με αυτό τον τρόπο έχουμε μία εξαιρετική απεικόνιση των ηλιακών γεγονότων στην ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας. Η απεικόνιση αυτή βοηθά στον προσδιορισμό της σχέσης μεταξύ των ηλιακών εκλάμψεων, των στεμματικών εκπομπών 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.

### Εκρηκτικά φαινόμενα

Το χρονικό διάστημα 2000-2003 είναι χαρακτηριστικό, καθ' ότι βρίσκεται στην καθοδική φάση του 23<sup>ου</sup> ηλιακού κύκλου. Δεν ανεμένονται έκτακτα φαινόμενα. Εν τούτοις και ενώ βρισκόμαστε στην καθοδική φάση του κύκλου (το μέγιστο ήταν κατά το έτος 2000), συνέβησαν ιδιαίτερα έντονα γεγονότα που χαρακτηρίζονται από μεγάλα μεγέθη και ιδιαιτερότητες. Συγκεκριμένα μετά από κάποιες περιόδους χαμηλής ηλιακής δραστηριότητας (Gnevyshev Gap) καταγράφηκαν από τον επίγειον μετρητές νετρονίων ιδιάζοντα γεγονότα κατά το Μάρτιο/Απρίλιο 2001, τον Οκτώβριο/Νοέμβριο 2003, τον Ιούλιο 2004 και πρόσφατα το 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 σωματίων κατά τις αντιδράσεις σχετικιστικών ηλιακών σωματίων 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 εισέβαλαν στη γήινη ατμόσφαιρα ενεργοποιώντας μία σειρά καταγιγμών.



*Σχήμα 3: Δύο τυπικά διαγράμματα απεικόνισης της ηλιακής δραστηριότητας στην έπαση της κοσμικής ακτινοβολίας (Μάρτιος/Απρίλιος 2001, Οκτώβριος/Νοέμβριος 2003).*

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 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. Τα τελευταία θεωρούνται και τα μεγαλύτερα στην ιστορία των Μετρητών Νετρονίων με αποτέλεσμα την εμφάνιση σέλας στην Αθήνα. Η συνεισφορά του σταθμού της Αθήνας στη μελέτη αυτών των φαινομένων σε διεθνή κλίμακα κρίνεται πολύ σημαντική για την πρόβλεψη των μαγνητικών καταγίδων του Διαστημικού καιρού.

Κατά τη διάρκεια του μαγνητοσφαιρικού φαινομένου της 20<sup>ης</sup> Νοεμβρίου 2003 υπήρξε μεταβολή του κατωφλίου δυσκαμψίας, η οποία και υπολογίστηκε από την ομάδα Κοσμικής Ακτινοβολίας του Πανεπιστημίου Αθηνών σε συνεργασία με την αντίστοιχη ομάδα του IZMIRAN για κάθε σταθμό για διαφορετικές χρονικές στιγμές κατά τη διάρκεια της μαγνητικής καταγίδας της περιόδου 19-23 Νοεμβρίου 2003. Το μαγνητοσφαιρικό φαινόμενο στην κοσμική ακτινοβολία της 20<sup>ης</sup> Νοεμβρίου 2003 ήταν μέγιστο για τους σταθμούς μακρού 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.

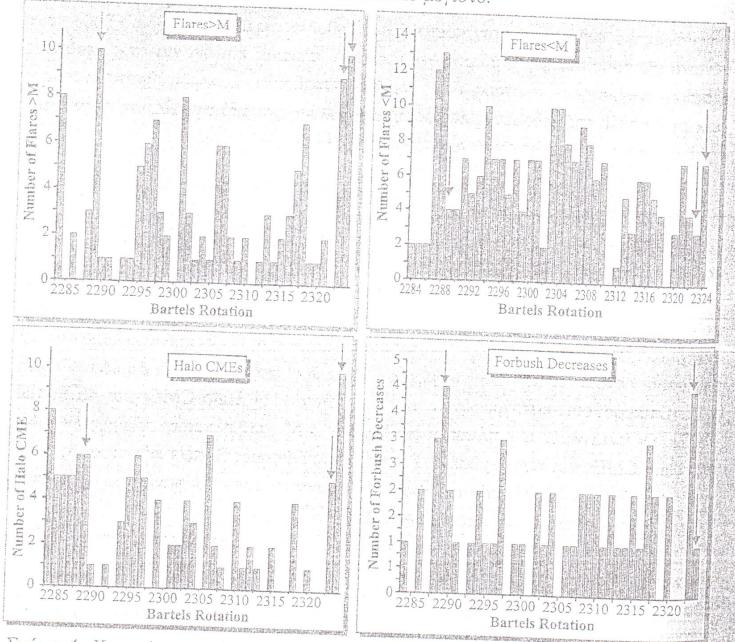
### Στατιστική ανάλυση

Στην εργασία αυτή πραγματοποιείται μια λεπτομερής στατιστική ανάλυση όλων των παρεχόμενων δεδομένων, για το σύνολο της δεδομένης περιόδου, και κατατκευάζονται ποσοτικά ιστογράμματα χωριστά για τις στεμματικές εκτοξεύσεις μάζας, τις εκλάμψεις σημαντικότητας  $> M$  και  $< M$  καθώς και για τις μειώσεις Forbush. Στη συγκεκριμένη ανάλυση λαμβάνεται υπόψη μια πλήρη λίστα 359 ηλιακών εκλάμψεων, εκ των οποίων οι 127 είναι σημαντικότητας  $> M$ , ενώ οι υπόλοιπες είναι σημαντικότητας  $\leq M$ . Επιπρόσθετα, καταγράφονται και μελετώνται 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. Η ανάδειξη των έντονων γεγονότων είναι προφανής και σημειώνεται με βέλος σε κάθε ένα από τα ιστογράμματα.

Στην ανάλυση που έγινε, από το σύνολο των καταγεγραμμένων γεγονότων (CMEs, ηλιακές εκλάμψεις) χρησιμοποιήθηκαν μόνο τα γεγονότα που παρουσιάζαν συσχέτιση και συνεπώς το ποσοτικό αποτέλεσμα στο οποίο οδηγούμαστε αντιτροσωπεύει την πραγματική συσχέτιση. Πρακτικά χωρίσαμε την τριετή περίοδο σε τρία ίσα τμήματα. Όπα κάθε ένα καταγράφηκαν οι εκλάμψεις με σημαντικότητα  $> M$  και  $< M$  που παρουσιάζουν σύνδεση με τις αντίστοιχες στεμματικές εκπομπές μάζας. Πράγματι επιβε-

βιαώνεται η σχετική συσχέτιση ανάμεσα στις εκλάμψεις και τις εκτοξεύσεις στεμματικού υλικού. Η ανάλυση έδειξε ότι υπάρχει κατ' αρχήν μια στατιστική σύνδεση μεταξύ τους της τάξης του 49%, επιπλέον η συσχέτιση ανάμεσα στις στεμματικές εκτοξεύσεις μάζας και τις μειώσεις Forbush και τις φτάνει το 55%.

Μάλιστα από τη στατιστική γραφική απεικόνιση που πραγματοποιήθηκε είναι ορατή η συσχέτιση όλων αντών των μεγάλων γεγονότων. Συγκεκριμένα, το ποσοστό συσχέτισης ανάμεσα στις εκλάμψεις  $> M$  και τις στεμματικές εκπομπές 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 Ήλιακής δραστηριότητας ήταν εμφανής. Λιγότερα γεγονότα καταγράφονταν όσο περισσότερο απομακρύνομασταν από το μέγιστο του Ήλιακου κύκλου. Το αποτέλεσμα αυτό ήταν αναμενόμενο, φυστός το αναπάντεχο γεγονός είναι η ύπαρξη εξαιρετικά ισχυρών γεγονότων τόσο μακριά από το Ήλιακο μέγιστο.



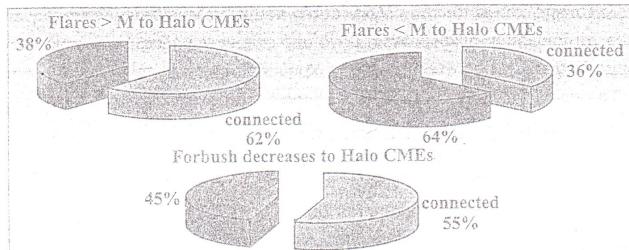
Σχήμα 4: Χρονικές κατανομές των ηλιακών εκλάμψεων  $> M$ , των ηλιακών εκλάμψεων  $< M$ , των στεμματικών εκπομπών και των μειώσεων Forbush για το διάστημα 2000-2003.

εκτοξεύσεις στεμματική σύνδεση μεταξύ εμπατικές εκτοξεύσεις

ιποουήθηκε είναι οραμένα, το ποσοστό συμπές μάζας είναι της γιαντικότητας  $< M$  εισήματα, η ύφεση της πταγράφουνταν δύο περιου. Το αποτέλεσμα, η ύπαρξη εξαιρετικά



ηλιακών εκλάμψεων  
ιάστημα 2000-2003.



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

### Συζήτηση και συμπεράσματα

Στη διεθνή βιβλιογραφία σήμερα υπάρχουν αντιφατικές γνώμες για τη σχέση των ηλιακών εκλάμψεων και των στεμματικών εκπομπών μάζας. Η πιθανή σχέση μεταξύ των X-ray εκλάμψεων και των CMEs βασισμένη στα πρώτα δεδομένα καταγραφής του στέμματος του Ήλιου έχει μελετηθεί από τους Gosling *et al.* (1974). Με μετρήσεις του Skylab αναφέρθηκαν περισσότερες από 30 περιστώσεις «ξαφνικής εκπομπής μάζας» και σημειώθηκαν ότι τρεις από αυτές εμφάνιζαν το ζεκίνημα κάποιων εκλάμψεων. Συνήθως οι γρήγορες στεμματικές εκπομπές μάζας συνδέονται με ηλιακές εκλάμψεις, οι οποίες επιβραδύνονται όταν οι CMEs επιταχύνονται (Sheeley, 1999).

O Harrison (1995) αναφέρει ότι οι εκλάμψεις με μεγαλύτερη διάρκεια ή λάμψη είναι πιο πιθανόν να συνδέονται με CMEs, δεν καθοδήγουν όμως τα CMEs και το αντίστροφο και επίσης αντιροστώσεων 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, και τα σημαντικά X-ray γεγονότα -αν αυτά συσχετίζονται με εκπομπές μάζας- ακολουθούν την επιτάχυνση της εκπομπής και κορυφώνονται πολύ μετά την εκπομπή. Σε πρόσφατη μελέτη ιου, ο Šnětska (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 εκπομπών μάζας.

Από την άλλη πλευρά γίνεται προσπέδεια 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 εκπομπές μάζας, αντές που συνοδεύονται μόνο από μέτωπο κρούσης και αντές που συνοδεύονται μόνο από εκπομπές μάζας. Η πλειονότητα των απλών μειώσεων είναι του τύπου μέτωπο κρούσης και εκπομπή μάζας (Cane et al., 1996). Το φαινόμενο των μειώσεων Forbush για αρκετό καιρό ορίζονται σαν η μειώση της πυκνότητας της Κ.Α. κατά τη διάρκεια γεωμαγνητικών καταγγίδων. Ωστόσο, τώρα γνωρίζουμε ότι οι μειώσεις Forbush παρατηρούνται συχνά και κάτω από σχεδόν ήσυχες γεωμαγνητικές καταστάσεις. Πέραν τούτου παρατηρήθηκαν όχι μόνο μέσα στη μαγνητόσφαιρα της Γης αλλά επίσης και σε διαφορετικούς δορυφόρους 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 αντίστοιχων εκλάμψεων (Krivsky 1978).

Συμπερασματικά μπορούμε να πούμε ότι:

- Κατά το χρονικό διάστημα 2000-2003 που εξετάσαμε καταγράφηκαν 359 ηλιακές εκλάμψεις και 111 στεμματικές εκτοξεύσεις μάζας που επέφεραν 56 μειώσεις Forbush οι οποίες καταγράφηκαν στο σταθμό κοσμικής ακτινοβολίας της Αθήνας. Οι μειώσεις αυτές συνδέονται κατά ένα ποσοστό 85% με Halo CMEs, το οποίο είναι μεγαλύτερο όσο βρισκόμαστε κοντά στο ηλιακό μέγιστο.
- Από τη στατιστική ανάλυση που έγινε ξεχωρίζουν σαφώς οι περίοδοι έντονης ηλιακής δραστηριότητας (Μάρτιος/Απρίλιος 2001, Οκτώβριος/Νοέμβριος 2003) που χαρακτηρίζουν το χρονικό αντό διάστημα.
- Η ανάλυση των δεδομένων σε 27ημερη βάση βοήθησε στην παρατήρηση επαναληπτικότητας των φαινομένων μετά από 27 μέρες που αντιστοιχούν στη συνοδική περιστροφή του ήλιου. Έτσι, η γη βρίσκεται πάλι στην ίδια ενεργό περιοχή του ήλιου με αποτέλεσμα να συνεχίζεται η ηλιακή επίδραση.
- Παρατηρήθηκαν μοναδικά γεγονότα που ξεχωρίζουν για το μέγεθος και την έντασή τους, όπως:
  - i. Τρεις κατά σειρά επανέρχεσις 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' τέλεσμα» και μειώσεις Forbush πλάτους 21% – μοναδικόν στην ιστορία των μετρήσεων κοσμικής ακτινοβολίας.

Η χαρτογράφηση των ηλιακών γεγονότων σε σχέση με τις μεταβολές της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας θα συνεχίστει και θα παρέχεται στη διεθνή επιστημονική

νται μόνο από μέτωπα ζας. Η πλειονότητα των μπή μάζας (Cane et al.) οριζόταν σαν η μειώση ταιγίδων. Ωστόσο, τώρα κάτω από σχεδόν ημέρες όχι μόνο μέσα στη ορυφόρους μακριά από 10). Υπάρχουν εργασίες ήσεων Forbush και των

γράφηκαν 359 ηλιακές επέφεραν 56 μειώσεις τινοβολίας της Αθήνας αλό CMEs, το οποίο εί-

οι περίοδοι έντονης η-  
ριος/Νοέμβριος 2003)

ην παρατήρηση επανα-  
στοιχούν στη συνοδική ενεργό περιοχή του ή-  
μέγεθος και την έντα-

σημειώθηκαν μέσα σε Ιο/Νοέμβριο του 2003.  
τραφικά πλάτη. Συγκε-  
ουν 2003.

σύ πραγματοποιήθηκε  
του ονομάστηκε: «Mo-  
νομάστηκε: «GLE 65,  
1% - μοναδικών στην

επαβολές της έντασης  
η διεθνή επιστημονική

κοινότητα στο Website του σταθμού της Αθήνας. Τούτο θα βοηθήσει στο πρόγραμμα πρόγνωσης του Διαυτημικού 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.

### Βιβλιογραφία

- 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. 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.