

ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΠΕΡΙΠΛΟΚΩΝ ΜΕΙΩΣΕΩΝ FORBUSH ΤΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΤΗΣ ΚΟΣΜΙΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ: ΟΙ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΥ, ΜΑΙΟΥ, ΙΟΥΛΙΟΥ ΚΑΙ ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΥ 2005

Α. Παπαϊωάννου¹, Ε. Μαυρομιχαλάκη¹, Ο. Μαλανδράκη², Α. Belov³, Ε. Eroshenko³, Α. Abunin³

¹ Τομέας Πυρηνικής Φυσικής, Τμήμα Φυσικής, Εθνικό & Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών
(email: atpapaio@phys.uoa.gr, Τηλ.: +30 210 727 6901, fax: +30 210 727 6987)

² Ινστιτούτο Αστρονομίας & Αστροφυσικής, Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών

³ Ρωσική Ακαδημία Επιστημών, IZMIRAN

Περίληψη:

Κατά την καθοδική φάση του 23^{ου} ηλιακού κύκλου, το έτος 2005 καταγράφηκαν έντονα ηλιακά και διαπλανητικά γεγονότα με εξαιρετικά ενδιαφέρουσες ιδιότητες που αποτέλεσαν την αιτία καταγραφής έντονων και ασυνήθιστων μειώσεων Forbush, της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας. Ειδικότερα, τον Ιανουάριο του 2005 σημειώθηκαν δυο περίοδοι έντονων διαταραχών: στις 17 Ιανουαρίου 2005 όπου μια σειρά συσχετισμένων μειώσεων Forbush καταγράφηκε από τους σταθμούς νετρονίων σε παγκόσμια κλίμακα και στις 21 του ίδιου μήνα με την εμφάνιση μιας ισχυρότατης μείωσης Forbush (της τάξεως του 9% για σωματίδια δυσκαμψίας 10GV). Αντιστοίχως, στις 15 Μαΐου του 2005 καταγράφηκε μια μείωση Forbush της τάξεως ~ 15%. Ακολουθώντας, ένα εξαιρετικά ανώμαλο γεγονός σημειώθηκε στις 17 Ιουλίου του 2005 όπου μια ισχυρή αύξηση της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας συνέβη αμέσως μετά την κύρια φάση της μείωσης Forbush και ακολουθήθηκε από μια δεύτερη μείωση του ίδιου πλάτους μέσα σε χρονικό διάστημα μικρότερο των 24 ωρών. Η ιδιαιτερότητα του γεγονότος αυτού έγκειται στο ότι ούτε η επαύξηση δύναται να χαρακτηριστεί ως επίγεια αλλά ούτε και η μείωση Forbush μπορούν να χαρακτηρισθεί ως τυπική εφόσον τέτοιου είδους μειώσεις ακολουθούνται από μια περίοδο ανάνηψης που διαρκεί αρκετές ημέρες. Τέλος, τον Σεπτέμβριο του 2005 καταγράφηκε μια σειρά ισχυρότατων μειώσεων Forbush, ξεκινώντας από τις 11 του μήνα με διάρκεια αρκετών ημερών. Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται μια ανάλυση όλων των διαθέσιμων στοιχείων (ηλιακών πηγών, γεωμαγνητικών διαταραχών, επίγειων καταγραφών) καθώς και οι υπολογισμοί για την ανισοτροπία των κοσμικών ακτίνων κάθε περιόδου. Πέρα από την ιδιαιτερότητα της συχνότητας εμφάνισης τόσο ισχυρών και ιδιάζόντων γεγονότων κατά την εκπνοή της ηλιακής δραστηριότητας, για πρώτη φορά καταγράφεται η Φυσική σύνδεση αυτών.

Λέξεις Κλειδιά: Διαμόρφωση Κοσμικής Ακτινοβολίας, Μειώσεις Forbush, Ανισοτροπία, Βαθμίδες Πυκνότητας

Εισαγωγή

Αποτελεί κοινή πίστη, ότι τα ηλιακά εκρηκτικά γεγονότα, όπως οι ηλιακές εκλάμψεις και οι στεμματικές εκροές μάζας, επιδρούν σημαντικά και διαμορφώνουν ισχυρά την μεταβολή της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας. Τα τελευταία χρόνια έχουν σημειωθεί πολλές απόπειρες (Hundhausen A.J., 1999 ; Harisson R.A., 1995 ; Cane H. V., 2000) για την κατανόηση των μηχανισμών συσχέτισης ανάμεσα σε αυτά τα γεγονότα, όπως και για την θεμελίωση συγκεκριμένων κριτηρίων σε ό,τι αφορά τον αντίκτυπο τους στην διαμόρφωση της κοσμικής ακτινοβολίας. Συμπερασματικά, τονίζεται ότι τα εκρηκτικά γεγονότα που εκδηλώνονται στον Ήλιο επιδρούν με έναν δυναμικό τρόπο στις κοσμικές ακτίνες. Συνεπώς, κάθε φορά που καταγράφεται μια έντονη ή μη συνηθισμένη μείωση ή / και προσαύξηση στην ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας είναι απαραίτητο να αναλυθεί το υπόβαθρο του γεγονότος αναφορικά με την ηλιακή, την γεωμαγνητική δραστηριότητα καθώς επίσης και με την ανισοτροπία και τις βαθμίδες πυκνότητας (Belov A., 2001).

Στην εργασία αυτή πραγματοποιείται μια ανάλογη ανάλυση για τα γεγονότα που σημειώθηκαν κατά το έτος 2005. Συγκεκριμένα, ενώ βρισκόμασταν στην καθοδική φάση του 23^{ου} ηλιακού κύκλου μια αλληλουχία ιδιαίτερα έντονων γεγονότων που σημειώθηκαν κατά σειρά: στις 17 Ιανουαρίου 2005 μια σειρά συσχετισμένων μειώσεων Forbush καταγράφηκε από τους σταθμούς νετρονίων σε παγκόσμια κλίμακα και στις 21 του ίδιου μήνα σημειώθηκε μια ισχυρότατη μείωση Forbush (της τάξεως του 9% για σωματίδια δυσκαμψίας 10GV). Αντιστοίχως, στις 15 Μαΐου του 2005 καταγράφηκε μια μείωση Forbush της τάξεως ~ 15%. Ακολούθως, ένα εξαιρετικά ανώμαλο γεγονός σημειώθηκε στις 17 Ιουλίου του 2005 όπου μια ισχυρή αύξηση της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας συνέβη αμέσως μετά την κύρια φάση της μείωσης Forbush και ακολουθήθηκε από μια δεύτερη μείωση του ίδιου πλάτους μέσα σε χρονικό διάστημα μικρότερο των 24 ωρών. Τέλος, τον Σεπτέμβριο του 2005 καταγράφηκε μια σειρά ισχυρότατων μειώσεων Forbush, ξεκινώντας από τις 11 του μήνα με διάρκεια αρκετών ημερών. Τα γεγονότα αυτά είναι τουλάχιστον ξεχωριστά καθώς καταγράφηκαν κατά την εκπνοή της αναμενόμενης ηλιακής δραστηριότητας με βάση τον θεμελιωμένο 11-ετή κύκλο.

Ιανουάριος 2005

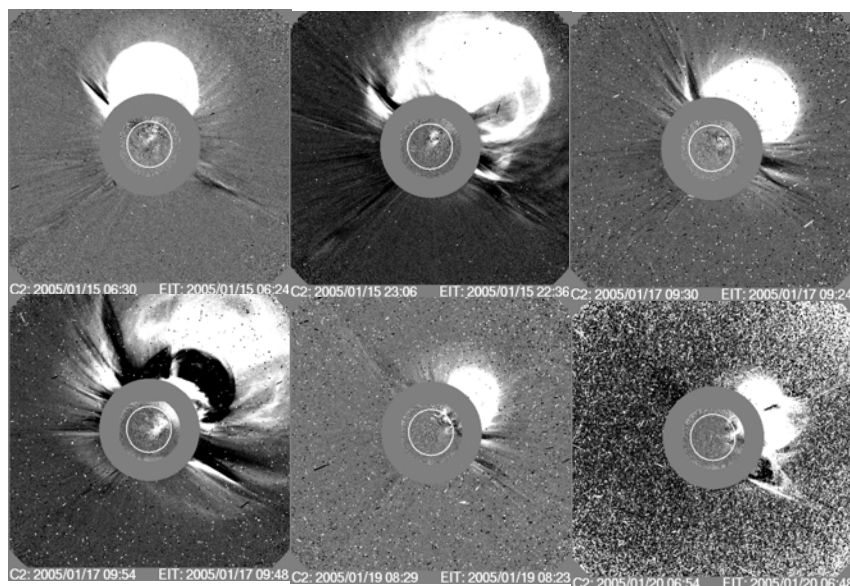
Ηλιακή δραστηριότητα

Η σημαντικότερη ενεργός περιοχή τον μήνα αυτό είναι η AR 720, η οποία και δημιούργησε εξαιρετικές συνθήκες οι οποίες και κυριάρχησαν στο διαπλανητικό χώρο από τις 14 έως και τις 22 του μήνα. Το ισχυρότερο γεγονός που καταγράφηκε την περίπτωση αυτή ήταν η ηλιακή έκλαμψη της 20^{ης} Ιανουαρίου (σημαντικότητα X7.1).. Από την ενεργό αυτή περιοχή εμφανίστηκαν συνολικά 5 εκλάμψεις σημαντικότητας X και 17 εκλάμψεις σημαντικότητας M, με τα ισχυρότερα γεγονότα να καταγράφονται από τις 18 έως τις 21 Ιανουαρίου (Πίνακας 1).

Ημερομηνία	Ώρα έναρξης (UT)	Ώρα λήξης (UT)	Ώρα μέγιστης ροής(UT)	Θέση πάνω στον ηλιακό δίσκο	Μέγεθος έκλαμψης	Ενεργός Περιοχή (AR)
18/01/2005	11:23	11:59	11:32	N16W40	M 16	720
18/01/2005	15:38	15:59	15:51	N15W42	M 46	720
19/01/2005	06:58	07:55	07:31	N16W53	M 67	720
19/01/2005	08:03	08:40	08:22	N15W51	X 13	720
19/01/2005	10:19	10:29	10:24	N17W52	M 27	720
19/01/2005	15:32	15:48	15:40	N16W59	M 16	720
20/01/2005	06:36	07:26	07:01	N14W61	X 71	720
21/01/2005	10:10	10:19	10:16	N19W81	M 17	720
21/01/2005	13:47	14:10	13:55	S06W90	M 12	719

Πίνακας 1: Οι σημαντικότερες εκλάμψεις του Ιανουαρίου 2005

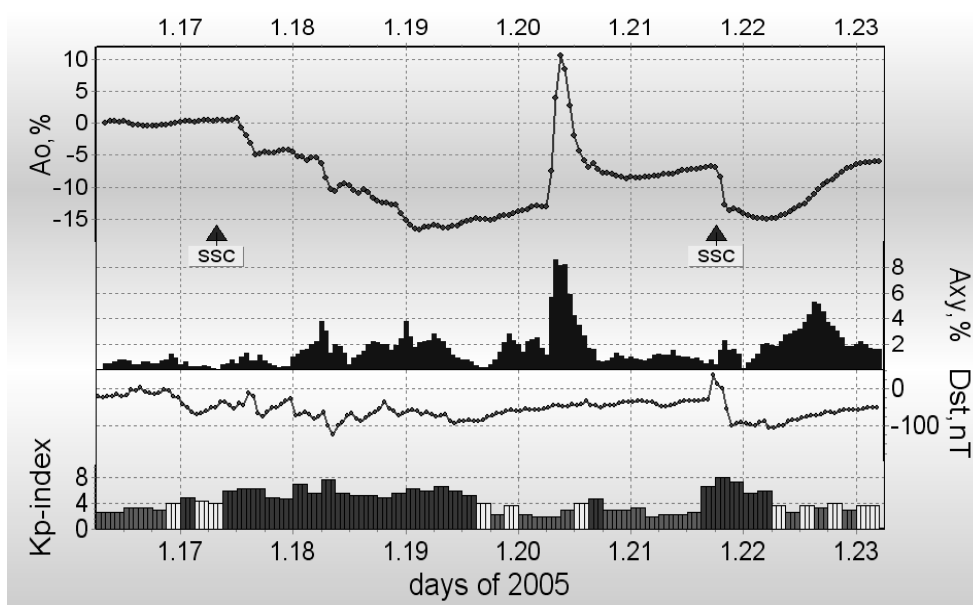
Στο σημείο αυτό είναι ουσιαστικό να σημειώσουμε ότι σχεδόν όλες οι ηλιακές εκλάμψεις εξελίχθηκαν σε συνδυασμό προς στεμματικές εκπομπές μάζας και για τον λόγο αυτό η επίδρασή τους στις κοσμικές ακτίνες ήταν ιδιαίτέρως σημαντική.



Εικόνα 1: Οι στεμματικές εκπομπές μάζας που διαμόρφωσαν δυναμικά το διαπλανητικό χώρο τον Ιανουάριο του 2005

Γεωμαγνητική δραστηριότητα

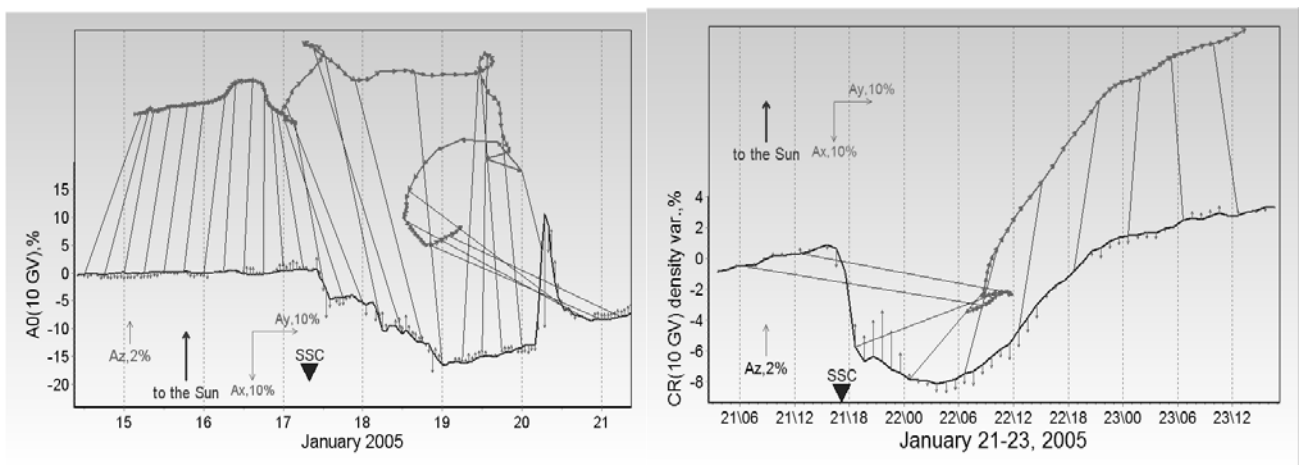
Στις 17 Ιανουαρίου 2005 καταγράφηκε η έλευση ενός κρουστικού κύματος (sudden storm commencement – ssc), το οποίο και ήταν το αποτέλεσμα των ισχυρών συσχετισμένων στεμματικών εκπομπών μάζας που σημειώθηκαν στις 15 του ίδιου μήνα. Την περίοδο αυτή η γεωμαγνητική δραστηριότητα παρέμεινε σε μέτρια επίπεδα, ο Kp δείκτης έλαβε την τιμή 4 και ο δείκτης Dst παρέμεινε επάνω από το όριο των -100 nT. Ωστόσο, στις 21 και 22 Ιανουαρίου ο δείκτης Dst ξεπέρασε το όριο αυτό (έφτασε τα -105 nT) σηματοδοτώντας την έλευση γεωμαγνητικών διαταραχών. Ταυτόχρονα ο δείκτης Kp έλαβε την τιμή 8 (Εικόνα 2).



Εικόνα 2: Η καταγεγραμμένη ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας (στα 10 GV) για την περίοδο του Ιανουαρίου 2005 (εικόνα επάνω) και η γεωμαγνητική δραστηριότητα (εικόνα κάτω)

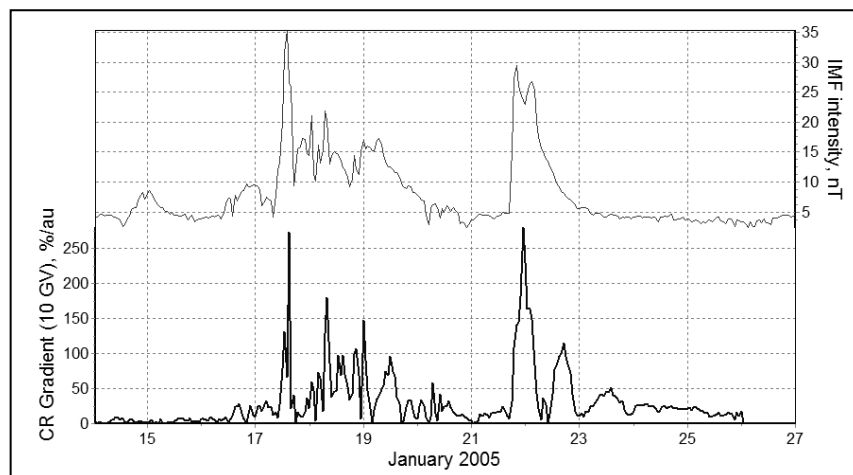
Κοσμική Ακτινοβολία

Παρά το γεγονός ότι από τις 15 του μήνα εμφανίστηκαν σημαντικές μεταβολές στην ένταση των κοσμικών ακτίνων η πιο διαταραγμένη περίοδος καταγράφηκε στις 21 Ιανουαρίου, όταν ένα κρουστικό κύμα καταγράφηκε στις 18:11 UT με αποτέλεσμα μια ισχυρότατη μείωση FD τις τάξεις του 9% για τις κοσμικές ακτίνες των 10 GV (Εικόνα 2). Η ανισοτροπία των κοσμικών ακτίνων A_{xy} έφτασε στο 5.26% (Εικόνα 3). Η μείωση αυτή εξελίχθηκε με έναν εξαιρετικά περίπλοκο τρόπο και έφτασε στο ελάχιστο της μέσα σε λίγες ώρες – απόδειξη ισχυρότατης διαμόρφωσης και κατόπιν μπήκε στην φάση ανάκαμψης. Η δεύτερη αυτή φάση είναι και η σημαντικότερη του γεγονότος καθώς εκτός από ήπια εξέλιξη παρουσίασε και ένα εξαιρετικά συμμετρικό προφίλ (Papaioannou et al., 2010). Η τυπική περίπτωση είναι ότι ο παράγοντας ανισοτροπίας A_{xy} είναι εξαιρετικά απότομη στην αρχή της μείωσης Forbush, και ακολουθεί μια δεύτερη φάση αύξησης κατά την περίοδο επαναφοράς. Για πρώτη φορά κατά τη μείωση αυτή όχι μόνο μια ήπια αύξηση του παράγοντα ανισοτροπίας A_{xy} καταγράφηκε αλλά επίσης η δεύτερη αύξηση του παράγοντα αυτού είναι εξαιρετικά μεγαλύτερη (~6%).



Εικόνα 3: Η υπολογισμένη ανισοτροπία των κοσμικών ακτίνων τον Ιανουάριο του 2005

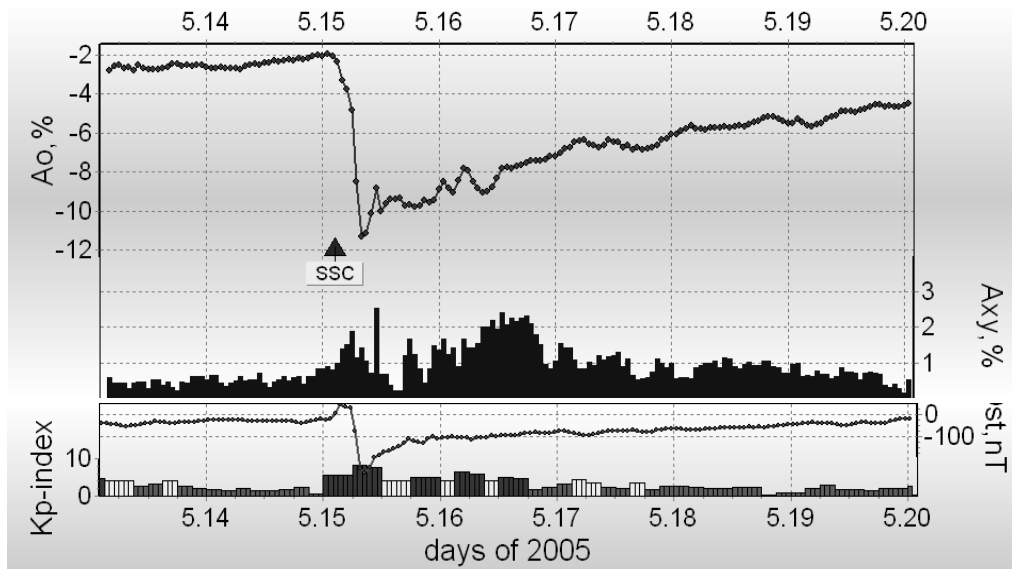
Η μεταβολή στη βαθμίδα πυκνότητας σε σχέση προς τις μεταβολές του διαπλανητικού μαγνητικού πεδίου παρουσιάζεται στην εικόνα 4. Το αποτέλεσμα των υπολογισμών δείχνουν ότι στις 17 Ιανουαρίου 2005 (FD, 6,6%) η μεταβολές στις βαθμίδες πυκνότητας αγγίζουν ~ 250%/AU, ~ 180%/AU, στις 18 Ιανουαρίου 2005 (11.8%), ~50%/AU στις 20 Ιανουαρίου 2005 (0.6%), ενώ στην έναρξη της μείωσης Forbush στις 21 Ιανουαρίου 2005 ~ 250%/AU και ~100%/AU κατά την περίοδο επαναφοράς.



Εικόνα 4: Οι μεταβολές βαθμίδας πυκνότητας τον Ιανουάριο 2005

Μάιος 2005

Στις 15 Μαΐου 2005 καταγράφηκε μια ισχυρότατη μείωση Forbush της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας (12% για τις κοσμικές ακτίνες στα 10 GV). Το χαρακτηριστικό της είναι η ταυτόσημη απεικόνιση της γεωμαγνητικής δραστηριότητας με τον δείκτη Dst να φτάνει στα -200nT και τον δείκτη Kp να λαμβάνει την τιμή 10. Και οι δυο αποτελούν ισχυρότατες αποδείξεις γεωμαγνητικών διαταραχών (Εικόνα 5).



Εικόνα 5: Η διαταραχές της κοσμικής ακτινοβολίας και η γεωμαγνητική δραστηριότητα τον Μάιο του 2005

Η μείωση αυτή είναι το αποτέλεσμα της ισχυρής ηλιακής δραστηριότητας που προηγήθηκε τις προηγούμενες ημέρες. Επιπρόσθετα, συνδέεται και με τη συνεχόμενη αύξηση της ταχύτητας του ηλιακού ανέμου. Η αύξηση αυτή δεν είναι ικανή για να δώσει το μέγεθος της μείωσης (12%) αλλά συνδέεται έμμεσα με αυτή μέσω των γεωμαγνητικών διαταραχών που προκαλεί.

Ιούλιος 2005

Μια ιδιαίτερα έντονη μείωση Forbush της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας της τάξεως του 8% καταγράφηκε στις 16 Ιουλίου 2005 από τους μετρητές νετρονίων σε ολόκληρο τον κόσμο (Papaioannou et al, 2009a). Άρχισε λίγες ώρες πριν από την άφιξη ενός ασθενούς κύματος, το οποίο συσχετίζεται με μια στεμματική εκπομπή μάζας καταγεγραμμένη από τις 14 του μήνα. Σχεδόν αμέσως μετά την μείωση αυτή, σημειώθηκε μια ισχυρή προσαύξηση της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας, η οποία ακολούθηθηκε από μια δεύτερη εξίσου μεγάλη μείωση μέσα σε χρονικό διάστημα 12 ωρών. Τα γεγονότα αυτά είναι τουλάχιστον ξεχωριστά καθώς δεν αποτελούν ούτε επαύξηση της ηλιακής κοσμικής ακτινοβολίας (GLE), αλλά ούτε και γεωμαγνητικό γεγονός.

Σε αντιδιαστολή με τις ισχυρές ηλιακές εκλάμψεις που εμφανίστηκαν στο δυτικό τμήμα του ηλιακού δίσκου, ο διαπλανητικός χώρος κοντά στην Γη δεν επηρεάστηκε ισχυρά σε αυτή την περίοδο. Η ταχύτητα του ηλιακού ανέμου περιορίστηκε στα 500 km/sec , ενώ η ένταση του διαπλανητικού μαγνητικού πεδίου κυμάνθηκε στα 15nT . Η γεωμαγνητική δραστηριότητα ήταν επίσης σχετικά ασθενής, ο δείκτης Kp δεν ξεπέρασε το κατώφλι μαγνητικής καταιγίδας (τιμή 5) και η χαμηλότερη τιμή του Dst δείκτη ήταν $\sim -70\text{nT}$, ενώ δεν εμφανίστηκε καμία ισχυρή διαταραχή. Επιπροσθέτως, τα γεγονότα χαρακτηρίζονται από ασυνήθιστη ανισοτροπία των κοσμικών ακτίνων (7 – 8%), ειδικότερα του ισημερινού τμήματος αυτής με κατεύθυνση προς την δυτική πηγή της ανισοτροπίας.

Ηλιακή δραστηριότητα

Ο Ιούλιος του 2005 αποτελεί μια αξιοθαύμαστη περίοδο στην ιστορία των ηλιακών παρατηρήσεων, καθώς καταγράφηκαν σημαντικά γεγονότα σε ό,τι αφορά την ένταση και την ποσότητα. Δεδομένου ότι ο μήνας αυτός βρισκόταν στο τέλος του 23^{ου} ηλιακού κύκλου, θα έπρεπε να παρουσιαστεί σαν ένας «ήρεμος» μήνας

με ελάχιστα ηλιακά εκρηκτικά γεγονότα. Αντιθέτως όμως, ήταν μια περίοδος ακραίας ηλιακής δραστηριότητας. Συνολικά 80 στεμματικές εκπομπές μάζας (CMEs) –από τις οποίες 17 τύπου Άλως (Halo) και 11 τύπου Μερικής Άλως (Partial Halo)– καθώς και 214 ηλιακές εκλάμψεις (SF), με αποκορύφωμα 19 τύπου Μ και 2 τύπου Χ, επέφεραν σημαντικές διαταραχές στο διαπλανητικό χώρο οι οποίες και απεικονίστηκαν στη Γη.

Από τις καταγεγραμμένες μεταβολές κοσμικής ακτινοβολίας της περιόδου αυτής, ιδιαίτερου ενδιαφέροντος αποδεικνύεται το πρώτο δεκαπενθήμερο του Ιουλίου 2005. Είναι χαρακτηριστικό ότι μέσα σε μόλις μια εβδομάδα, από τις 11 μέχρι και τις 18 Ιουλίου, η ηλιακή δραστηριότητα κυμάνθηκε από πολύ χαμηλά επίπεδα μέχρι και πολύ υψηλά. Ειδικότερα, στις 11, στις 15 και στις 17 του μήνα καταγράφηκαν ελάχιστα γεγονότα μικρής ισχύος, ενώ στις 14 και στις 16 σημειώθηκαν υψηλά επίπεδα δραστηριότητας. Ο αριθμός των ηλιακών κηλίδων μειώθηκε σταδιακά μέχρις ότου εμφανίστηκε ένας Ήλιος χωρίς κηλίδες στις 17 Ιουλίου. Ο Ήλιος παρέμεινε χωρίς κηλίδες για μερικές ημέρες, μέχρι και τις 22 του μήνα. Όλα τα ηλιακά γεγονότα εμφανίστηκαν σε έναν μόνο ενεργό τομέα, τον AR786 (ταξινόμηση NOAA) ο οποίος παρήγαγε 19 ηλιακές εκλάμψεις τύπου Μ και 2 ηλιακές εκλάμψεις τύπου Χ, με πολλαπλές συσχετισμένες στεμματικές εκπομπές μάζας (Caroubalos et al., 2009), καθώς και δύο μικρά πρωτονικά γεγονότα.

Στο ξεκίνημα του Ιουλίου, αν και διάφορες συστοιχίες κηλίδων είχαν εμφανιστεί στον Ήλιο, η σημαντικότερη ενεργός περιοχή ήταν η AR786 η οποία ήταν ουσιαστικά η επαναφορά του τομέα AR775 – ενός ισχυρότατου τομέα που παρήγαγε αρκετές ηλιακές εκλάμψεις μεγάλης διάρκειας στην προηγούμενη περιστροφή. Η περιοχή AR786, την πρώτη ημέρα εμφάνισής της, παρήγαγε μερικές ηλιακές εκλάμψεις τύπου C. Από τις 4 Ιουλίου και μετά, η ηλιακή δραστηριότητα μεταβλήθηκε προοδευτικά από «ήσυχη» σε «μέτρια». Ειδικότερα, η περιοχή AR786 παρήγαγε δυο ηλιακές εκλάμψεις μεγάλης διάρκειας, ενώ βρισκόταν κοντά στο κέντρο του ηλιακού δίσκου, όπως και πολλές εκλάμψεις τύπου C. Η πρώτη έκλαμψη τύπου Μ καταγράφηκε από το LASCO στις 7 Ιουλίου 16:07 UT, με την αρχική εκπομπή να παρουσιάζει βόρειο-ανατολική κατεύθυνση (north-east) και ταχύτητα ~ 561 km/s. Η επόμενη έκλαμψη τύπου Μ καταγράφηκε στις 9 Ιουλίου 21:47 UT με κατεύθυνση βόρειο-δυτική (north-west) και ταχύτητα 976 km/s. Δυο στεμματικές εκπομπές μάζας τύπου άλως παρατηρήθηκαν συσχετισμένα με τις εκλάμψεις τύπου Μ. Μια μη-περιοδική στεμματική οπή που καταγράφηκε ήταν σχετικά μικρότερη σε σχέση με την αντίστοιχη οπή της προηγούμενης περιστροφής με αποτέλεσμα η Γη να μην εισέλθει στο ρεύμα ταχέως ηλιακού ανέμου, αν και είναι πιθανό να έφτασε στην επιφάνεια αλληλεπίδρασης αργά στις 9 Ιουλίου. Ένα μέτριο πρωτονικό γεγονός παρατηρήθηκε, σε συσχέτιση προς την ηλιακή έκλαμψη της 9ης Ιουλίου, ωστόσο η ροή πρωτονίων με ενέργεια >10MeV δεν έφτασε το 1 pfu με αποτέλεσμα να εξασθενίσει μέχρι τα επίπεδα υποβάθρου μέσα σε 36 ώρες.

Κατόπιν εμφανίστηκε κλιμάκωση της ηλιακής δραστηριότητας από τις 11 Ιουλίου μέχρι και τις 14, πέρα από όπου παρατηρήθηκε ύφεση της δραστηριότητας. Η ηλιακή δραστηριότητα κυριαρχήθηκε από τον τομέα AR786 στο βόρειο ημισφαίριο, μέχρις ότου η περιοχή αυτή περιστράφηκε πίσω από το δυτικό χείλος του Ήλιου, στις 14 Ιουλίου. Από τις 12 μέχρι και τις 14 Ιουλίου, αυτή η συστοιχία ηλιακών κηλίδων παρήγαγε 12 ηλιακές εκλάμψεις τύπου Μ και μια τύπου Χ (X1.2). Στο σημείο αυτό θα πρέπει να σημειώσουμε ότι στις 15 Ιουλίου, στο νότιο ημισφαίριο εμφανίστηκε η ενεργός περιοχή AR795, η οποία όμως έδωσε λίγα ηλιακά γεγονότα και συνέβαλε ελάχιστα στην συνολική ηλιακή δραστηριότητα της περιόδου αυτής.

Συγκεκριμένα, στις 12 Ιουλίου έλαβε χώρα μια ηλιακή έκλαμψη σημαντικότητας C8.3, η οποία ακολουθήθηκε από μια ισχυρή μερικής άλως στεμματική εκροή μάζας. Αργότερα την ίδια ημέρα παρήχθησαν δυο ηλιακές εκλάμψεις σημαντικότητας M1.0. Μια περισσότερο περίπλοκη και μεγαλύτερη σε διάρκεια ηλιακή έκλαμψη σημαντικότητας M1.5 εμφανίστηκε στις 12:47 UT, η οποία συσχετίζεται με μια φωτεινή μερική στεμματική εκροή μάζας τύπου άλως. Την επόμενη ημέρα, στις 13 του μήνα, δυο στεμματικές εκροές μάζας τύπου άλως συνέβησαν σε συσχέτιση με δυο ηλιακές εκλάμψεις. Η πρώτη εκροή μάζας εμφανίστηκε στις 03:06 UT, είχε μια υπερηχητική ταχύτητα της τάξης των 700 km/sec και συνόδευσε μια ηλιακή έκλαμψη σημαντικότητας M1.1 που προηγήθηκε στις 02:45 UT. Η δεύτερη εκροή μάζας σχετίζεται με μια ηλιακή έκλαμψη μεγάλης διάρκειας – σημαντικότητας M5.0. Σημειώθηκε στις 14:30 UT και η μέση ταχύτητά της (SOHO) ήταν 1420 km/sec. Τα γεγονότα αυτά πυροδότησαν ροές πρωτονίων και ηλεκτρονίων τα οποία και παρουσίασαν σταδιακή αύξηση.

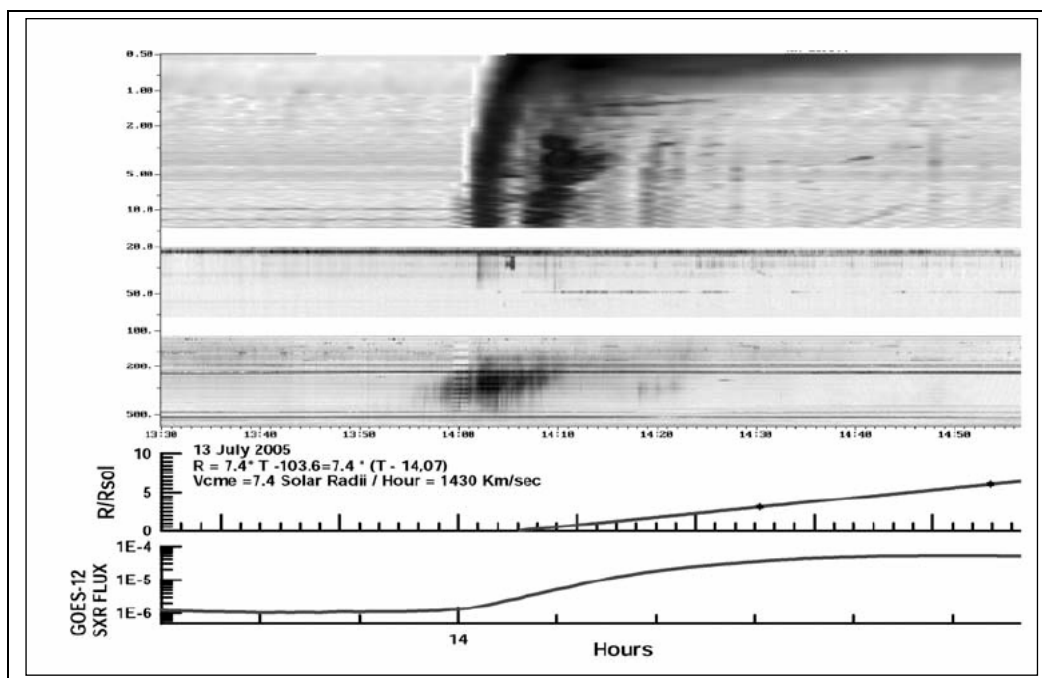
Η ενεργός περιοχή AR786 συνέχισε την δραστηριότητά της στις 14 Ιουλίου προκαλώντας δυο ισχυρά γεγονότα. Κατά πρώτον, μια ηλιακή έκλαμψη σημαντικότητας M9.1 σημειώθηκε στις 07:25 UT συσχετιζόμενη με μια στεμματική εκροή μάζας. Μια αξιόλογα πιο ισχυρή και με μεγαλύτερη διάρκεια ηλιακή έκλαμψη σημαντικότητας X1.2 εκδηλώθηκε αργότερα την ίδια ημέρα. Άρχισε στις 10:16 UT. Οι ροές υψηλής ενέργειας ανέβηκαν επάνω από το κατώφλι κάτι που είχε ως αποτέλεσμα να εμφανιστεί μια πολύ γρήγορη (~ 1430 km/sec) και λαμπρή στεμματική εκροή μάζας τύπου άλως, η οποία ήταν ορατή στις 10:54 UT. Η ίδια περιοχή (AR786) ήταν επίσης υπεύθυνη για μια ηλιακή έκλαμψη μεγάλης διάρκειας

σημαντικότητας C2.3, η οποία εμφανίστηκε στις 15 Ιουλίου. Το γεγονός αυτός σχετίζεται με μια μερική στεμματική εκροή μάζας τύπου άλως. Τέλος μια στεμματική εκροή μάζας τύπου άλως σημειώθηκε στις 17 Ιουλίου στις 11:30 UT, η οποία προήλθε επίσης από τον τομέα AR786 στην πίσω πλευρά του ηλιακού δίσκου.

Επιπροσθέτως, στις 18 Ιουλίου και ενώ ο Ήλιος ήταν χωρίς κηλίδες από την πλευρά που είχε κατεύθυνση προς τη Γη, παρουσίαζε στην αντίθετη πλευρά μια αρκετά μεγάλου μεγέθους ηλιακή κηλίδα. Η κηλίδα αυτή εντοπίστηκε από τις 14 του μήνα και πιθανόν να διαδραμάτισε σημαντικό ρόλο στην εξέλιξη των διαπλανητικών συνθηκών.

Τα σημαντικότερα γεγονότα της περιόδου αυτής καταγράφηκαν στις 12, 13 και 14 Ιουλίου με αποτέλεσμα την ισχυρή διαμόρφωση του διαπλανητικού χώρου, όπως αυτή αποτυπώθηκε από τους επίγειους μετρητές νετρονίων. Ειδικότερα:

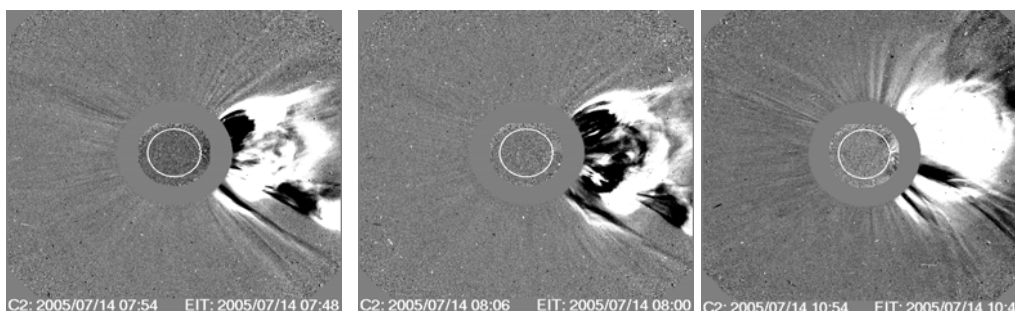
- Στις 12 Ιουλίου στις 12:47 UT εμφανίστηκε μια μεγάλης διάρκειας M1.5 έκλαμψη, η οποία και συσχετίστηκε με μια λαμπρή μερικής άλως στεμματική εκροή μάζας. Η εκροή αυτή κατευθύνθηκε κυρίως προς τα βόρειο-δυτικά και καταγράφηκε από τον στεματογράφο του LASCO C2 στις 16:30 UT.
- Την επόμενη ημέρα στις 13 Ιουλίου, η ηλιακή δραστηριότητα ξεκίνησε στις 14:01 UT με μια ηλιακή έκλαμψη M5.0 που προήλθε από τον τομέα AR786 και ολοκληρώθηκε στις 15:38 UT. Την ίδια ημέρα, μια γρήγορη στεμματική εκροή μάζας τύπου άλως καταγράφηκε στις 14:12 UT. Η ταχύτητά της έφτασε τα 1430 km/sec, ενώ η στεμματική αυτή εκροή μάζας πυροδότησε μια ήπια αύξηση των ροών των πρωτονίων και των ηλεκτρονίων τα οποία και έφτασαν στα 134 rfu στις 14 Ιουλίου. Η ισχυρή ηλιακή έκλαμψη που καταγράφηκε στις 13 Ιουλίου εμφάνισε ραδιοεξάρσεις τύπου IV (Εικόνα 6 (Caroubalos et al., 2009)).



Εικόνα 6 Το δυναμικό φάσμα της έκλαμψης στις 13 Ιουλίου 2005 (επάνω εικόνα), όπου φαίνεται η ραδιοεξάρση τύπου IV. Στο δεύτερο πλαίσιο (μεσαία εικόνα) αποτυπώνεται η εξέλιξη ύψους-χρόνου για τη στεμματική εκροή μάζας και στο τρίτο πλαίσιο (κάτω εικόνα) παρουσιάζονται τα SXR από τους δορυφόρους GOES

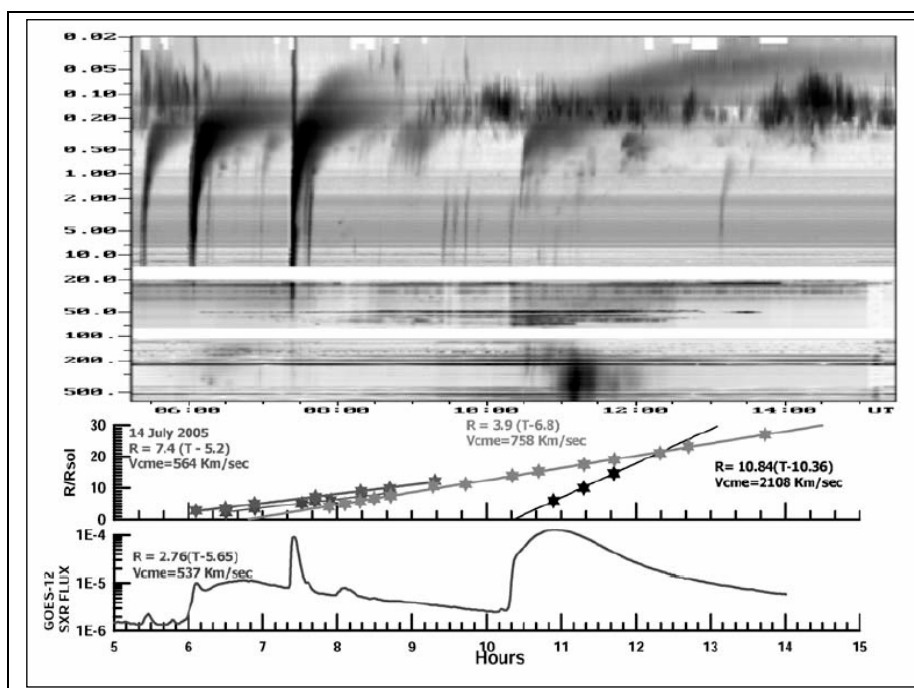
- Στις 14 Ιουλίου η ηλιακή δραστηριότητα εντάθηκε με την εμφάνιση μιας ηλιακής έκλαμψης M9.1 που ακολουθήθηκε από μια ισχυρότατη έκλαμψη X1.2. Η πρώτη έκλαμψη συνδέεται με ραδιοεξάρσεις τύπου III καθώς και την έναρξη τριών σχετικά αργών στεμματικών εκροών μάζας με αντίστοιχες ταχύτητες 514, 573 & 758 km / sec. Όλες οι στεμματικές εκροές μάζας ξεκίνησαν από τον τομέα AR 786, περίπου από την ίδια γωνία (252° - 282°) και αυξανόμενο γωνιακό εύρος (14° , 60° , 103°). Με την πάροδο του χρόνου η πιο γρήγορη στεμματική εκροή μάζας προλαβαίνει τις αργές με

αποτέλεσμα να συγχωνεύονται σε μία (Εικόνα 7, (Caroubalos et al., 2009).



Εικόνα 7 Οι στεμματικές εκροές μάζας που εμφανίστηκαν μετά την ηλιακή έκλαμψη M9.1

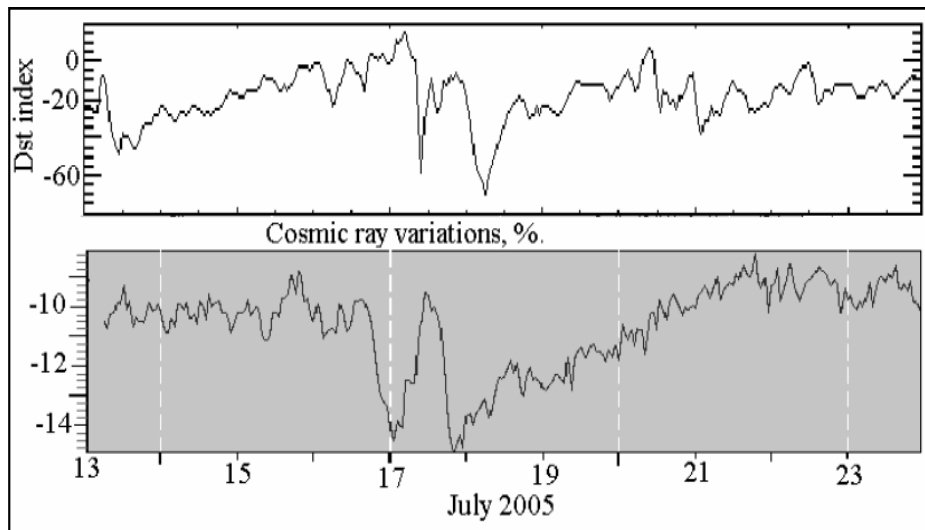
- Το σπουδαιότερο ηλιακό γεγονός που καταγράφηκε στις 14 Ιουλίου ήταν η στεμματική εκροή μάζας τύπου άλως με ταχύτητα 2108 km/sec, η οποία και εμφανίστηκε στις 10:27 UT, συσχετιζόμενη με τη δεύτερη ισχυρή ηλιακή έκλαμψη X1.2 και συμπαρέσυρε τις τρεις προηγούμενες στεμματικές εκροές μάζας. Επιπρόσθετα, η στεμματική αυτή εκροή μάζας συνοδεύτηκε από ραδιοέξαρση τύπου III καθώς και ένα συνεχές τύπου IV (Εικόνα 8).



Εικόνα 8 Δυναμικό φάσμα των γεγονότων στις 14 Ιουλίου 2005 (επάνω εικόνα). Στο πλαίσιο αυτό (μεσαία εικόνα) φαίνεται καθαρά η πολυσύνθετη εικόνα των στεμματικών εκροών μάζας, καθώς η γρήγορη εκροή (που προήλθε από την έκλαμψη X1.2), προλαβαίνει τις τρεις προηγούμενες στις 12:20 UT. Στο τελευταίο πλαίσιο (κάτω εικόνα) φαίνεται η καταγραφή των SXR από τους δορυφόρους GOES .

Κοσμική ακτινοβολία

Η συνεχώς αυξανόμενη ηλιακή δραστηριότητα δημιούργησε διαταραγμένες καταστάσεις στον διαπλανητικό χώρο, οι οποίες και επηρέασαν την συμπεριφορά της κοσμικής ακτινοβολίας. Η πυκνότητα των γαλαξιακών κοσμικών ακτίνων άρχισε να υποχωρεί από τις 10 μέχρι και τις 16 Ιουλίου, όπου και καταγράφηκε μια μείωση της τάξης του 2%, ύστερα από αλληπαλλήλες σχετικά ασθενείς μειώσεις Forbush που είχαν προηγηθεί. Τα σημαντικότερα γεγονότα εκτυλίχθηκαν στις 16 Ιουλίου οπότε σημειώθηκε ισχυρή μείωση Forbush πλάτους 8% σε πολλούς σταθμούς ανά τον κόσμο, μέσα σε λίγες ώρες. Η ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας ανέληψε σύντομα μέχρι και το αρχικό επίπεδο. Ωστόσο, περίπου στο μέσο της 17^{ης} Ιουλίου μια απότομη μείωση εμφανίστηκε και πάλι, η οποία έφτασε το ίδιο πλάτος του 8%, και ακολουθήθηκε από το κλασικό πρότυπο μιας μείωσης Forbush.

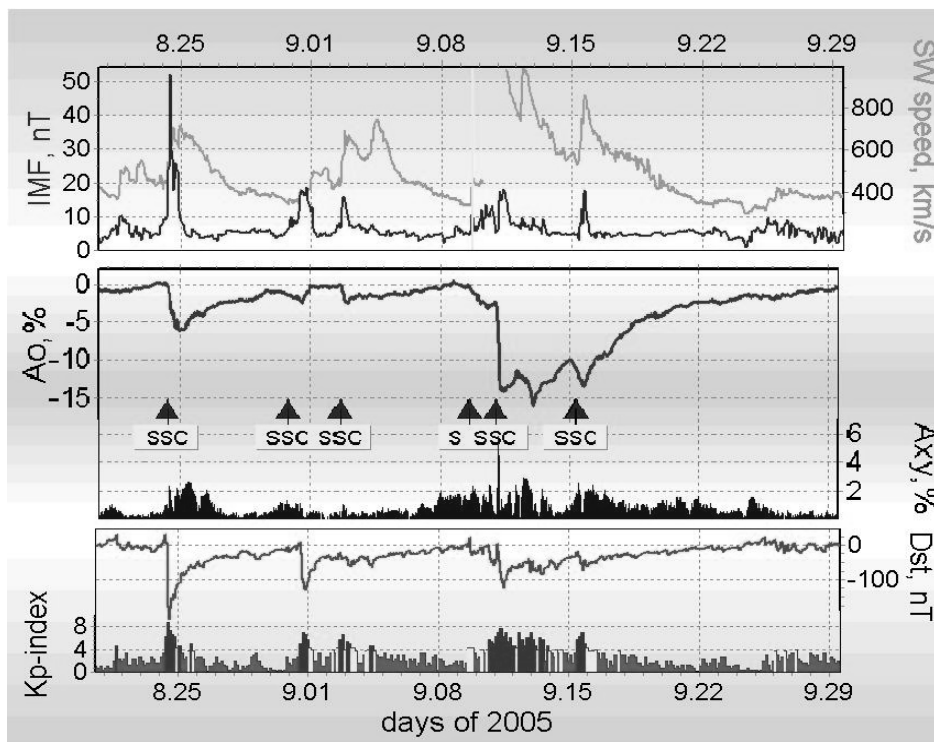


Εικόνα 9 Μεταβολές του δείκτη Dst καθώς και της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας όπως καταγράφηκε από τον σταθμό καταμέτρησης της Αθήνας.

Σεπτέμβριος 2005

Ηλιακή δραστηριότητα

Ο Σεπτέμβριος του 2005 χαρακτηρίστηκε από την δραστηριότητα του ενεργού τομέα AR798. Η περιοχή αυτή, όπως είδαμε και πρωτότερα, ήταν επίσης υπεύθυνη για τρία πολύ ισχυρά ηλιακά γεγονότα στο τέλος του προηγούμενου μήνα. Όταν ο AR798 πέρασε στην ορατή πλευρά του Ήλιου, στις 5 Σεπτεμβρίου, μια ηλιακή έκλαμψη C με μεγάλη διάρκεια καταγράφηκε από τους δορυφόρους GOES, ενώ μια στεμματική εκπομπή μάζας συνδέθηκε με το γεγονός αυτό. Την επόμενη ημέρα, μια έκλαμψη M1.4, με επίσης μεγάλη διάρκεια, εμφανίστηκε στις 22:02 UT. Καθόλη τη διάρκεια των γεγονότων αυτών, η περιοχή AR798 βρισκόταν στο ανατολικό χείλος του Ήλιου. Στις 7 Σεπτεμβρίου, η ενεργός περιοχή AR798 πέρασε από το ανατολικό χείλος προς το εσωτερικό του δίσκου και ονομάστηκε AR808. Την ίδια ημέρα στις 17:40 UT εμφανίστηκε μια X17 ηλιακή έκλαμψη, η οποία και είναι η τέταρτη ισχυρότερη έκλαμψη από την αρχή των καταγραφών το 1976. Στις 8 Σεπτεμβρίου 2005 καταγράφηκαν δυο ακόμη ηλιακές εκλάμψεις: μια M2.1 και μια X5.4, ενώ την επόμενη ημέρα ακολούθησαν πέντε M ηλιακές εκλάμψεις, μια X1.1, μια X3.6 και στο τέλος της ημέρας μια X6.2 (εμφανίστηκε στις 20:04 UT). Το τελευταίο αυτό γεγονός είναι πολύ σημαντικό αφού συνδέεται με μια ισχυρή στεμματική εκπομπή μάζας. Στις 10 Σεπτεμβρίου καταγράφηκαν τρεις ηλιακές εκλάμψεις τύπου M (M3.7 – 06:06 UT, M1.9 – 08:59 UT, M4.1 – 19:10 UT), μια έκλαμψη X1.1 και μια X2.1 συνδεδεμένη με μια στεμματική εκπομπή μάζας. Στις 11 του μήνα, η περιοχή AR808 παρήγαγε τρεις ακόμη ηλιακές εκλάμψεις τύπου M, από τις οποίες η M3.0 που εμφανίστηκε στις 13:12 UT ήταν συσχετισμένη με μια σημαντική εκροή μάζας. Την επόμενη ημέρα, τέσσερις ακόμη ηλιακές εκλάμψεις M καταγράφηκαν από τους δορυφόρους GOES. Η ακτινοβολία-X στο υπόβαθρο, αυτή την περίοδο, επέδειξε τάσεις σημαντικής μείωσης, ωστόσο στις 13 Σεπτεμβρίου καταγράφηκαν τρεις X ηλιακές εκλάμψεις: μια X1.5, μια X1.4 και μια X1.7 που εμφανίστηκαν στις 19:27 UT, στις 20:04 UT και στις 23:22 UT, αντίστοιχα. Μια στεμματική εκπομπή μάζας καταγράφηκε σε συσχέτιση με το τελευταίο γεγονός και εφόσον εντοπίστηκε στον κεντρικό μεσημβρινό οδήγησε σε μια στεμματική εκπομπή τύπου Άλως. Τέλος, πέντε ακόμη ηλιακές εκλάμψεις τύπου M, από τις οποίες μία ήταν η M9.8 στις 17 Σεπτεμβρίου, καθώς και μία X1.1. Κατόπιν, η ενεργός αυτή περιοχή εξασθένησε σημαντικά και στις 22 Σεπτεμβρίου πέρασε πίσω από το δυτικό χείλος του Ήλιου. Στις 18 & 24 Σεπτεμβρίου αντιστοίχως, εμφανίστηκαν στο ανατολικό χείλος του ηλιακού δίσκου δύο ακόμη ενεργές περιοχές (AR810, AR812), οι οποίες παρέμειναν μέχρι και το τέλος του μήνα αλλά δεν έδωσαν σημαντικά ηλιακά γεγονότα



Εικόνα 10 Η εξέλιξη των διαπλανητικών συνθηκών, της γεωμαγνητικής δραστηριότητας και της κοσμικής ακτινοβολίας τον Σεπτέμβριο του 2005

Κοσμική ακτινοβολία

Αξιοσημείωτες μεταβολές στην ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας καταγράφηκαν την περίοδο αυτή (Papaioannou, 2009b). Ειδικότερα, ενδιαφέρον παρουσιάζουν δυο μειώσεις Forbush: (α) στις 11 Σεπτεμβρίου (πλάτος 12.1%) και (β) στις 15 Σεπτεμβρίου (με πλάτος 5.1%) Η περίπτωση (α) δικαιολογείται επίσης από τις προηγούμενες συνθήκες. Η ηλιακή έκλαμψη X6.2 (66°E) δημιούργησε μια ισχυρή γεωμαγνητική καταιγίδα η οποία και αποτέλεσε την αιτία για την εμφάνιση της ισχυρής μείωσης Forbush. Η μείωση αυτή χαρακτηρίστηκε από το μεγάλο ρυθμό ελάττωσης της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας, όπως επίσης και από το πλάτος της που έφτασε τα 12.1%. Η εκλειπτική συνιστώσα της ανισotropίας ήταν πολύ υψηλή και έφτασε τα 5.8%. Το υλικό που εκτοξεύτηκε, κατά τη διάρκεια των ηλιακών εκρηκτικών γεγονότων της περιόδου αυτής, εμφάνισε ταχύτητα 1328 Km/sec, η ταχύτητα του ηλιακού ανέμου ήταν 980 Km/sec και η ένταση του μαγνητικού πεδίου έφθασε τα 20 nT. Καθώς, όμως, η μείωση Forbush έφτασε στο ελάχιστό της, αντί να περάσει σε φάση ανάκαμψης, υποχρεώθηκε να παραμείνει στα επίπεδα αυτά για τέσσερις ακόμη ημέρες. Συγκεκριμένα, στις 12 Σεπτεμβρίου άλλη μια διαπλανητική μεταβολή έφτασε στη Γη. Η ταχύτητα του ηλιακού ανέμου έφτασε τα 997 Km/sec και μια μεγάλη καταιγίδα εξελίχθηκε στη Γη.

Η δεύτερη μείωση Forbush της, περίπτωση (β), σχετίζεται με μεταβολές οι οποίες εμφανίστηκαν στη Γη στις 15 Σεπτεμβρίου εξαιτίας της ηλιακής έκλαμψης X1.5. Ωστόσο, η έκλαμψη αυτή δεν επέφερε σημαντικές αλλαγές στις παραμέτρους του διαπλανητικού χώρου και ακολούθως στις γεωμαγνητικές συνθήκες, αλλά οδήγησε σε μια σημαντική μείωση Forbush.

Συμπεράσματα

Παρά το γεγονός ότι βρισκόμασταν στην εκπνοή του 23^{ου} ηλιακού κύκλου το 2005 χαρακτηρίστηκε από έντονα γεγονότα που διαμόρφωσαν ισχυρά την κοσμική ακτινοβολία. Τα αλληπάλλληλα κρουστικά κύματα οδήγησαν σε υπολογίσιμες μειώσεις της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας. Το κοινό χαρακτηριστικό των περιπτώσεων του Ιανουαρίου, Μαΐου και Ιουλίου 2005 είναι ότι το σύνολο των πηγών τους εμφανίστηκε στο δυτικό τμήμα του ηλιακού δίσκου και ότι παρουσίασαν μεγάλες μεταβολές στην ανισotropία (>5%). Επιπρόσθετα, τα γεγονότα του Σεπτεμβρίου 2005, παρά το γεγονός ότι είχαν πηγές στο ανατολικό τμήμα του ηλιακού δίσκου εκδήλωσαν παρόμοια συμπεριφορά.

Ευχαριστίες: Ευχαριστούμε όλους τους συνεργάτες που παρέχουν δεδομένα συνεχούς καταγραφής της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας από τους μετρητές νετρονίων ως επίσης και δορυφορικά δεδομένα μέσω διαδικτύου.

Αναφορές

- [1] Cane, H. V., (2000): "Coronal Mass Ejections and Forbush Decreases", *Space Science Rev.* 93, 55-77
- [2] Caroubalos C., Preka-Papadema P., Mavromichalaki H., Moussas X., Papaioannou A., Mitsakou E., Hillaris A. (2009): 'Space storm measurements of the July 2005 solar extreme events from the lower corona to the Earth', *Adv. Space Res.*, 43, 600-604
- [3] Harrison, R.A., (1995): "The nature of solar-flares associated with coronal mass ejection" *Astron.@ Astrophys.* 304, 585 - 594,
- [4] Hundhausen, A.J., (1999): "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.
- [5] Belov A.V., E.A.Eroshenko, V.A. Oleneva, A.B., A.B. Struminsky, and V.G. Yanke, (2001) "What determines the magnitude of Forbush decreases?" *Adv. Space Res.* 27, 625-630
- [6] Papaioannou A., Belov A., Mavromichalaki H., Eroshenko E., Oleneva V. (2009a): 'The unusual cosmic ray variation in July 2005 resulted from western and behind the limb solar activity', *Adv. Space Res.*, 43, 582-588
- [7] Papaioannou A., Mavromichalaki H., Eroshenko E., Belov A., Oleneva V. (2009b): 'The burst of solar and geomagnetic activity in August-September 2005', *Ann. Geophys.*, 27, 1-8
- [8] Papaioannou A., Malandraki O., Mavromichalaki H., Belov A., Skoug R., Eroshenko E., Abunin A. (2010): 'Study of the January 2005 Forbush decreases', 12, EGU2010-1242-1

13^ο Πανελλήνιο Συνέδριο της Ένωσης Ελλήνων Φυσικών
Πάτρα, 17 – 21 Μαρτίου 2010

ΦΥΣΙΚΗ και ΑΝΘΡΩΠΟΣ

" Ερευνητικά αποτελέσματα και τεχνολογίες για τη βελτίωση της ποιότητας ζωής"

ISBN 978-960-9457-00-2

Αρ. εργασίας :

139

Αρ. σελίδων : 11