

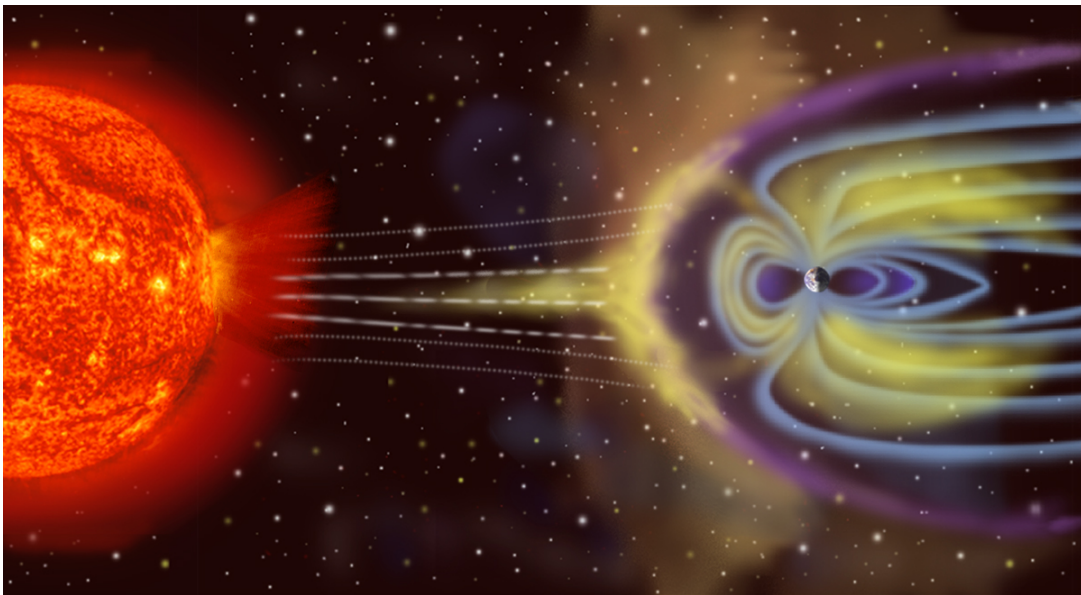


**ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΗΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Χαρτογράφηση των γεγονότων της κοσμικής
ακτινοβολίας σε σχέση με τις ηλιακές εκλάμψεις και τις
στεμματικές εκπομπές μάζας**

**Παναγιώτα Ι. Μακραντώνη
Α.Μ.: 200300123**



Επιβλέποντες :

**Ελένη Μαυρομιγαλάκη, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Τμήματος Φυσικής ΕΚΠΑ
Αθανάσιος Παπαϊωάννου, Υποψήφιος Διδάκτορας Τμήματος Φυσικής ΕΚΠΑ**

ΑΘΗΝΑ 2009

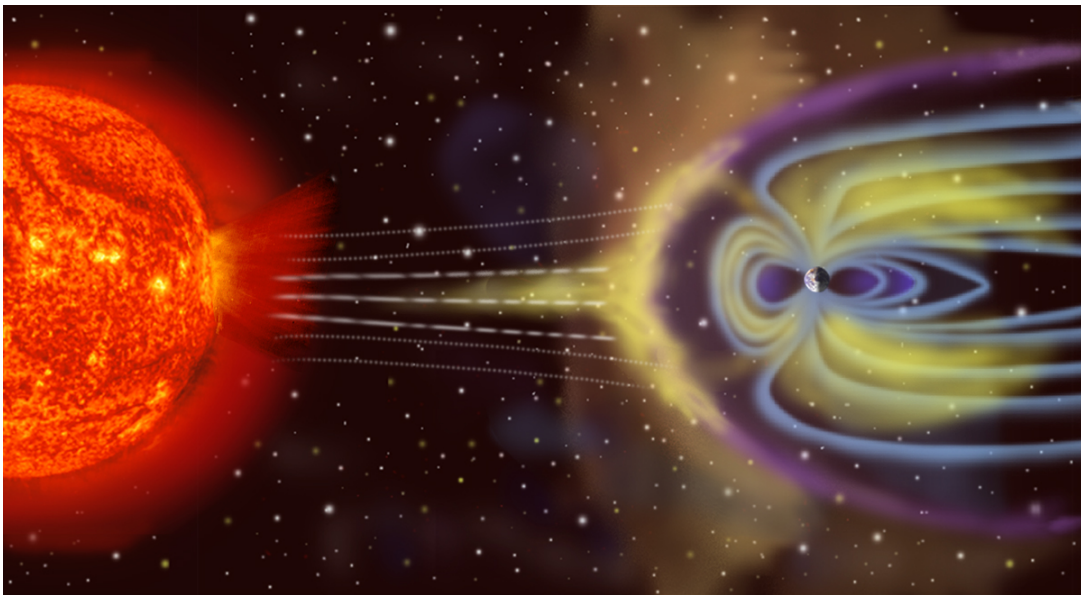


**ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΗΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Χαρτογράφηση των γεγονότων της κοσμικής
ακτινοβολίας σε σχέση με τις ηλιακές εκλάμψεις και τις
στεμματικές εκπομπές μάζας**

**Παναγιώτα Ι. Μακραντώνη
Α.Μ.: 200300123**



Επιβλέποντες :

**Ελένη Μαυρομιγαλάκη, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Τμήματος Φυσικής ΕΚΠΑ
Αθανάσιος Παπαϊωάννου, Υποψήφιος Διδάκτορας Τμήματος Φυσικής ΕΚΠΑ**

ΑΘΗΝΑ 2009

**Αφιερωμένο στη γιαγιά μου Πηνελόπη
και τον αδερφικό μου φίλο Γιώργο
που έφυγε νωρίς**

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ι

ΚΟΣΜΙΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

1.1	Γενικά	1
1.2	Το ενεργειακό φάσμα των κοσμικών ακτίνων	1
1.3	Η σύσταση της κοσμικής ακτινοβολίας	3
1.3.1	Πρωτογενής κοσμική ακτινοβολία	3
1.3.2	Δευτερογενής κοσμική ακτινοβολία	3
1.4	Χημικές αφθονίες της κοσμικής ακτινοβολίας	6

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΙΙ

ΗΛΙΟΣ

2.1	Γενικά	7
2.2	Ηλιακή Δομή	8
2.3	Έκτακτα ηλιακά φαινόμενα	9
2.4	Ηλιακές εκλάμψεις	9
2.4.1	Ιστορική αναδρομή	9
2.4.2	Τι είναι και πώς σχηματίζονται οι ηλιακές εκλάμψεις	10
2.4.3	Με τι μοιάζει μια ηλιακή έκλαμψη	11
2.4.4	Ηλιακές εκλάμψεις στις ακτίνες-X	11
2.4.4.1	Μαλακές ακτίνες-X	11
2.4.4.2	Σκληρές ακτίνες-X	12
2.4.5	Ηλιακές εκλάμψεις στις ακτίνες-γ	12
2.4.6	Ταξινόμηση των ηλιακών εκλάμψεων	13
2.5	Στεμματικές εκπομπές μάζας	14
2.6	Ηλιακός άνεμος	16

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΙΙΙ

ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΤΗΣ ΚΟΣΜΙΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΗΛΙΑΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ

3.1	Γενικά	19
3.2	Ισότροπες μεταβολές	20
3.2.1	Ο ενδεκαετής κύκλος	20
3.2.2	Η 22-ετής διαμόρφωση	21
3.2.3	Η 27-ήμερη διαμόρφωση	22
3.2.4	Η μείωση κατά Forbush	22
3.2.4.1	Ηλιακές εκλάμψεις, Στεμματικές εκπομπές μάζας και Μειώσεις Forbush	24
3.2.4.2	Ιδιότητες της μείωσης Forbush	25
3.2.4.3	Μηχανισμοί των μειώσεων Forbush	25
3.3	Ανισότροπες μεταβολές	27
3.3.1	Η ημερήσια μεταβολή	27
3.3.2	Η ημιημερήσια μεταβολή	28

ΚΕΦΑΛΑΙΟ IV

ΜΕΤΡΗΤΗΣ ΝΕΤΡΟΝΙΩΝ

4.1	Ο μετρητής νετρονίων	29
4.1.1	Ανάπτυξη των μετρητών νετρονίων	29
4.1.2	Σχεδιασμός των μετρητών νετρονίων	34
4.1.2.1	Αναλογικός μετρητής αερίου (gas-filled proportional counter)	35
4.1.2.2	Επιβραδυντής	38
4.1.2.3	Παραγωγός σωματίων	39
4.1.2.4	Ανακλαστήρας σωματίων	40
4.2	Η νέα τεχνολογία «πραγματικού χρόνου»	40
4.2.1	Σχεδιασμός νέων συστημάτων	42
4.2.2	Τεχνολογία «πραγματικού χρόνου» και διαστημικός καιρός	45
4.3	Παγκόσμιο δίκτυο μετρητών νετρονίων πραγματικού χρόνου της Αθήνας (ANMODAP Center)	57

ΚΕΦΑΛΑΙΟ V

ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΤΩΝ ΓΕΓΟΝΟΤΩΝ ΤΗΣ ΚΟΣΜΙΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΙΣ ΗΛΙΑΚΕΣ ΕΚΛΑΜΨΕΙΣ ΚΑΙ ΤΙΣ ΣΤΕΜΜΑΤΙΚΕΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΜΑΖΑΣ

5.1	Επιλογή δεδομένων	51
5.2	Πειραματική διαδικασία	61
5.3	Χαρτογράφηση	61

ΚΕΦΑΛΑΙΟ VI

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

6.1	Στατιστική ανάλυση	103
6.2	Συμπεράσματα	107
6.2.1	Οκτώβριος-Νοέμβριος 2003	107
6.2.1.1	Ηλιακή δραστηριότητα	107
6.2.1.2	Κοσμική ακτινοβολία	108
6.2.2	Ιούλιος 2005	110
6.2.2.1	Ηλιακή δραστηριότητα	110
6.2.2.2	Κοσμική ακτινοβολία	116
6.2.3	Αύγουστος 2005	117
6.2.3.1	Ηλιακή δραστηριότητα	117
6.2.3.2	Κοσμική ακτινοβολία	120
6.3	Προοπτικές	122

ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΗ	123
-------------------	-----

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	125
---------------------	-----

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η συσχέτιση μεταξύ των μειώσεων Forbush της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας και των ηλιακών ακραίων γεγονότων είναι ακόμα ένας ανοιχτός τομέας στην έρευνα του διαστήματος και της γεωφυσικής.

Στην εργασία αυτή, έγινε μια πλήρης αποτύπωση των ηλιακών γεγονότων που συνέβησαν από τον Ιανουάριο 2003 μέχρι και τον Δεκέμβριο 2005 στις καταγεγραμμένες μεταβολές της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας. Αυτή η 3-ετής χρονική περίοδος, η οποία χαρακτηρίζεται από απρόσμενα ισχυρή ηλιακή δραστηριότητα, χωρίστηκε σε 27-ήμερα χρονικά διαστήματα (Bartels Rotation), ξεκινώντας από το BR2313 (06/01/2003) μέχρι και το 2353 (21/12/2005). Παράχθηκαν διαγράμματα από τα δεδομένα της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας που καταγράφηκαν από τον Σταθμό Καταμέτρησης Κοσμικής Ακτινοβολίας του Πανεπιστημίου Αθηνών. Ο Σταθμός αυτός λειτουργεί σε ύψος 260m με δυσκαμψία 8.53 GV, παρέχοντας στο Διαδίκτυο υψηλής ανάλυσης δεδομένα σε πραγματικό χρόνο (<http://cosray.phys.uoa.gr>). Αποτέλεσμα της παραπάνω διαδικασίας ήταν η χαρτογράφηση όλων των διαθέσιμων ηλιακών και διαπλανητικών γεγονότων, όπως ηλιακές εκλάμψεις με σπουδαιότητα $M > 5.0$ και στεμματικές εκπομπές μάζας τύπου Ολική και Μερική Άλως (Full and Partial Halo), πάνω στα χρονικά διαγράμματα της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας.

Καθώς η μελέτη αυτή επικεντρώθηκε χρονικά στην εκπνοή του 23^{ου} ηλιακού κύκλου, η ποιοτική συσχέτιση ανάμεσα στα παραπάνω φαινόμενα, όπως το σημαντικό ποσοστό συσχέτισης ανάμεσα στα ηλιακά γεγονότα (ηλιακές εκλάμψεις και στεμματικές εκπομπές μάζας), και η αναμενόμενη συνδεσιμότητά τους με τις μειώσεις Forbush συζητείται εκτενώς. Η στατιστική επεξεργασία των παραπάνω δεδομένων οδηγεί και σε ποσοτικά συμπεράσματα όσον αφορά τη συσχέτιση αυτή.

Ο ρόλος των έκτακτων ηλιακών γεγονότων που καταγράφηκαν τον Οκτώβριο-Νοέμβριο 2003, τον Ιούλιο 2005 και τον Αύγουστο-Σεπτέμβριο 2005, επίσης παρουσιάζεται στα πλαίσια της παρούσης εργασίας. Τα σχετικά αποτελέσματα μπορεί να φανούν χρήσιμα για προβλέψεις παροδικών ηλιακών φαινομένων και για πρόγνωση διαστημικού καιρού.

ΘΕΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ: Κοσμική Ακτινοβολία, Διαμόρφωση Κοσμικής Ακτινοβολίας, Διαστημικό περιβάλλον

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Κοσμική Ακτινοβολία, , Ηλιακές Εκλάμψεις, Στεμματικές Εκπομπές Μάζας

ABSTRACT

The relationship between cosmic ray intensity decreases and solar events is still an open field of space research. In this work, a complete study of solar events occurred from January 2003 to December 2005, is considered. This three-years time period, characterized by an unexpected activity of the Sun, was divided into 27-day intervals, starting from Bartels Rotation 2313 (06/01/2003) to 2353 (21/12/2005), generating diagrams of the cosmic ray intensity data recorded at the Athens Neutron Monitor Station. This station is working at an altitude of 260m and cut-off rigidity 8.53GV provided to the Internet high-resolution data in real-time. A mapping of all available solar and interplanetary events, such as solar flares with importance $M > 5.0$ and coronal mass ejections (Halo and Partial Halo), was done.

As we are going down from the solar maximum to the declining phase of the 23rd solar cycle, a statistical overview of the corresponding relationship among these phenomena, the significant percentage of the connection of Halo CMEs and solar flares and the respective connection to Forbush decreases on yearly and monthly basis are discussed. The close association, as well as a probable quantitative analysis, between solar events is being denoted. The role of extreme solar events occurred in October-November 2003, July 2005 and August-September 2005 are also discussed. Obtained results may be useful for predictions of transient solar events and space weather forecasting.

SUBJECT AREA: Cosmic Rays, Cosmic Ray Modulation

KEYWORDS: Cosmic Rays, Solar Flares, Coronal Mass Ejections

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η διπλωματική αυτή εργασία, με τίτλο *«Χαρτογράφηση των γεγονότων της κοσμικής ακτινοβολίας σε σχέση με τις ηλιακές εκλάμψεις και τις στεμματικές εκπομπές μάζας»*, εκπονήθηκε υπό την επίβλεψη της Αναπληρώτριας Καθηγήτριας κας Ελένης Μαυρομιχαλάκη και τη συνεπίβλεψη του Υποψηφίου Διδάκτορα Θανάση Παπαϊωάννου.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την κύρια επιβλέπουσα και υπεύθυνη του Σταθμού Κοσμικής Ακτινοβολίας του Πανεπιστημίου Αθηνών κα Ελένη Μαυρομιχαλάκη για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα, αλλά και για την καθοδήγηση και βοήθεια που παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον Θανάση Παπαϊωάννου για την πολύτιμη συμβολή και καθοδήγησή του, προσφέροντας αφειδώς την επιστημονική εξειδίκευση και εμπειρία του και την αμέριστη συμπαράστασή του σε κάθε περίπτωση που τη χρειάστηκα.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τη γιαγιά μου Πηνελόπη Μαρινάκη, αλλά και όλους τους δικούς μου ανθρώπους που με βοήθησαν και μου συμπαραστάθηκαν κατά τη διάρκεια αυτή.

Για τα παραπάνω, σας ευχαριστώ, καθώς χωρίς εσάς η ολοκλήρωση της παρούσης εργασίας δεν θα ήταν δυνατή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ι

Κοσμική Ακτινοβολία

1.1 Γενικά

Στις αρχές του προηγούμενου αιώνα, επιστήμονες παρατήρησαν και απέδειξαν ότι η Γη βομβαρδίζεται από σωματίδια πολύ υψηλής ενέργειας, τα οποία ονομάζουμε **κοσμικές ακτίνες**. Η ενέργειά τους κυμαίνεται μεταξύ 10^6 eV και 10^{21} eV, αν και πρόσφατα παρατηρήθηκαν και υψηλότερες ενέργειες.

Η **προέλευσή** τους δεν έχει διευκρινιστεί, αλλά μπορούμε να πούμε ότι το μεγαλύτερο μέρος τους προέρχεται από το Γαλαξία μας, εκτός του ηλιακού μας συστήματος. Μικρές ποσότητες προέρχονται από τον Ήλιο λόγω των εντόνων ηλιακών φαινομένων, ενώ τα σωματίδια με πολύ μεγάλη ενέργεια έρχονται έξω απ' το Γαλαξία μας. Οι κυριότερες, κοινά αποδεκτές πηγές είναι ο ήλιος και τα υπόλοιπα αστέρια, οι υπερκαινοφανείς και τα υπολειμματά τους, οι αστέρες νετρονίων και οι μελανές οπές, οι ενεργοί γαλαξιακοί πυρήνες (active galactic nuclei) και οι ραδιογαλαξίες.

Οι κοσμικές ακτίνες παίζουν καθοριστικό ρόλο στη μελέτη των στοιχειωδών σωματιδίων ως μοναδική πηγή σωματιδίων πολύ υψηλής ενέργειας, καθώς μέσω των επιταχυντών δεν μπορούν να επιτευχθούν τέτοιες ενέργειες. Επιπλέον, μέσω των αντιδράσεων των σωματιδίων αυτών, κατανοήθηκαν αστροφυσικά φαινόμενα, αλλά και ανακαλύφθηκαν «καινούρια» σωματίδια, όπως το νετρόνιο, το ποζιτρόνιο, τα μεσόνια και τα καόνια.

1.2 Το ενεργειακό φάσμα των κοσμικών ακτίνων

Το διαφορικό ενεργειακό φάσμα δίνει την ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας (αριθμός σωματιδίων κοσμικών ακτίνων που περνούν από μοναδιαία επιφάνεια και από μοναδιαία στερεά γωνία ανά μονάδα χρόνου και ανά μονάδα ενέργειας) σε συνάρτηση με την ενέργεια των σωματιδίων αυτών.

Ακολουθεί νόμο δύναμης:

$$I(E) \sim E^{-\gamma}$$

όπου η ένταση $I(E)$ μετριέται σε $cm^{-2} s^{-1} sr^{-1} GeV^{-1}$.

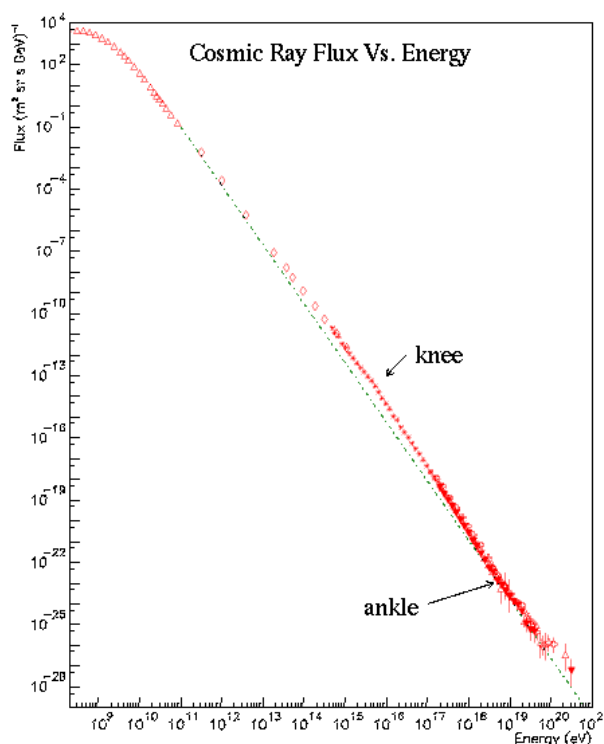
Το γ ονομάζεται φασματικός δείκτης (spectral index) και αποτελεί το κύριο χαρακτηριστικό του φάσματος. Στην περιοχή της γης το φάσμα των γαλαξιακών κοσμικών ακτίνων αποτελείται από διαφορετικά τμήματα (Εικόνα 3).

- Η ροή σωματιδίων ενέργειας κάτω από 50GeV εξαρτάται από την αλληλεπίδραση και τη διάχυση των σωματιδίων αυτών από τον ηλιακό άνεμο (ηλιακή διαμόρφωση). Αυτό σημαίνει ότι οι διαταραχές του διαπλανητικού μαγνητικού πεδίου εμποδίζουν τη διάδοση σωματιδίων χαμηλών ενεργειών.

- Στην περιοχή από τα 10^{10} eV έως τα 10^{15} eV ο φασματικός δείκτης παίρνει τιμή $\gamma \approx 2,7$.
- Από τα 10^{15} eV έως τα 10^{20} eV ο φασματικός δείκτης παίρνει τιμή $\gamma \approx 3,1$. Στην περιοχή των 10^{15} eV περίπου παρουσιάζεται ένα «σπάσιμο» και το φάσμα γίνεται πιο απότομο ($\gamma \approx 3,1$). Η περιοχή αυτή είναι γνωστή ως γόνατο (knee) και η ύπαρξή της οφείλεται πιθανώς στο γεγονός ότι ο μηχανισμός επιτάχυνσης κοσμικών ακτίνων στα κρουστικά κύματα υπερκαινοφανών είναι λιγότερο αποτελεσματικός σε αυτές τις ενέργειες (η γυροακτίνα των σωματίων είναι μεγαλύτερη από το πάχος του κρουστικού κύματος).
- Υπάρχουν ενδείξεις ότι το φάσμα γίνεται σχεδόν οριζόντιο ξανά στην περιοχή των 10^{20} eV περίπου. Τα δεδομένα όμως στις ενέργειες αυτής της τάξεως είναι λιγοστά με αποτέλεσμα το φάσμα να μην μπορεί να προσδιοριστεί επακριβώς. Η περιοχή αυτή είναι γνωστή σαν αστράγαλος (ankle). Η πηγή από την οποία προέρχονται αυτά τα ενεργητικά σωματλια δεν είναι γνωστή μέχρι σήμερα.

Με κριτήριο την περιοχή προέλευσης της κοσμικής ακτινοβολίας διακρίνουμε τρία είδη κοσμικών ακτίνων:

- Γαλαξιακές κοσμικές ακτίνες
- Ηλιακές κοσμικές ακτίνες
- Ανώμαλες κοσμικές ακτίνες



Εικόνα 1: Το διαφορετικό ενεργειακό φάσμα των κοσμικών ακτίνων

1.3 Η σύσταση της κοσμικής ακτινοβολίας

1.3.1 Πρωτογενής κοσμική ακτινοβολία

Η κοσμική ακτινοβολία, αφού εκπεμφθεί από τις πηγές της, υφίσταται επιδράσεις από την ύλη και τα μαγνητικά πεδία μέσα από τα οποία διέρχεται, με συνέπεια να την διακρίνουμε σε πρωτογενή και δευτερογενή ακτινοβολία.

Πρωτογενής κοσμική ακτινοβολία είναι η ακτινοβολία που εισέρχεται στη γήινη ατμόσφαιρα από το έξω διάστημα. Η μελέτη της και η ακριβής γνώση της φύσης και της σύνθεσής της είναι απαραίτητη για την εξήγηση της προέλευσης της κοσμικής ακτινοβολίας και των πυρηνικών αλληλεπιδράσεών της καθώς περνά από την ατμόσφαιρα. Η πρωτογενής ακτινοβολία αποτελείται από 85% πρωτόνια, 5% σωματία-α, 0.1% στοιχεία Li, Be, B, 0.42% C, N, O, F, 0.04% Fe, υπερβαρέα υπερουράνια στοιχεία και 1-2% από ηλεκτρόνια, ακτίνες-γ και νετρόνια.

Η ροή των κοσμικών ακτίνων με ενέργεια $< 1 \text{ GeV}$, που φτάνουν στο όριο της ατμόσφαιρας, επηρεάζεται άμεσα από το Ήλιο και διαμορφώνεται ισχυρά. Για το λόγο αυτό τα σωματίδια αυτά δεν μπορούν να δώσουν πληροφορίες σχετικά με τις διευθύνσεις άφιξής τους. Μόνο τα υψηλής ενέργειας πρωτόνια και πυρήνες διεισδύουν μέχρι και το όριο της ατμόσφαιρας της Γης χωρίς να εκτραπούν από το ενδοπλανητικό μαγνητικό πεδίο.

1.3.2 Δευτερογενής κοσμική ακτινοβολία

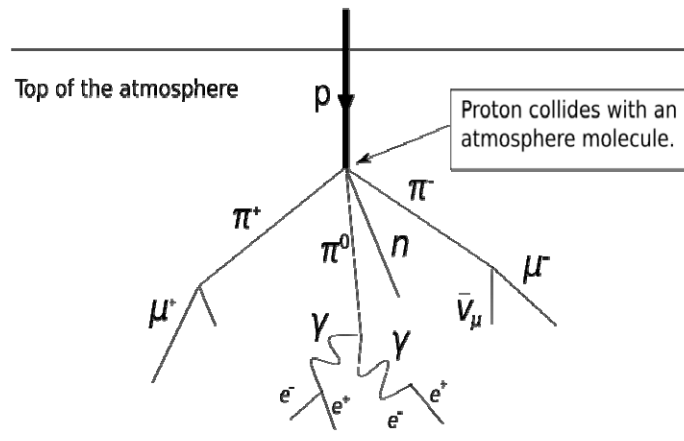
Η πρωτογενής κοσμική ακτινοβολία, όταν φτάσει στη Γη, αλληλεπιδρά με τα μόρια της ατμόσφαιρας και, μέσω μιας διαδικασίας που ονομάζεται θρυμματισμός (spallation), παράγονται ελαφρότερα θραύσματα από τους αρχικούς πυρήνες όπως πρωτόνια, νετρόνια, μεσόνια (π, μ), ακτίνες-γ και ηλεκτρόνια, τα οποία αποτελούν τη **δευτερογενή κοσμική ακτινοβολία**.

Η σύγκρουση και η αλληλεπίδραση κάθε σωματιδίου της πρωτογενούς κοσμικής ακτινοβολίας με τα ατμοσφαιρικά μόρια έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή ενός καταρράκτη αλυσιδωτών αντιδράσεων, δημιουργώντας το φαινόμενο των καταγισμών (showers).

Η δευτερογενής κοσμική ακτινοβολία αποτελείται από τρεις κύριες συνιστώσες, την νουκλεονική συνιστώσα, τη σκληρή ή μεσονική συνιστώσα και τη μαλακή ή ηλεκτρονική-φωτονική συνιστώσα.

Η **νουκλεονική** συνιστώσα αποτελείται από πρωτόνια και νετρόνια, η **σκληρή** ή **μεσονική** συνιστώσα αποτελείται από μόνια και είναι πολύ διεισδυτική και η **μαλακή** ή **ηλεκτρονική-φωτονική** συνιστώσα αποτελείται από ηλεκτρόνια, ποζιτρόνια και φωτόνια.

Η μελέτη των αντιδράσεων που συμβαίνουν κατά τη σύγκρουση των πρωτογενών σωματίων με τα μόρια της ατμόσφαιρας δείχνει ότι έχουν τη μορφή αστερών και τα μεν σωματίδια συνεχίζουν να κινούνται προς την αυτή διεύθυνση, ο αριθμός όμως των παραγόμενων σωματίων είναι τόσο μεγαλύτερος όσο μεγαλύτερη είναι η ενέργεια του προσπίπτοντος σωματίου. Το τελικό προϊόν των αντιδράσεων είναι π -μεσόνια, πρωτόνια και νετρόνια.



Εικόνα 2: Η εξέλιξη ενός νουκλεονικού καταγισμού στην ατμόσφαιρα

Στη συνέχεια, τα φορτισμένα πόνια διασπώνται με τις εξής αντιδράσεις:



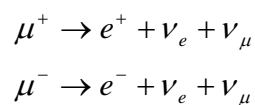
με μέσο χρόνο ζωής $\sim 2.551 \cdot 10^{-8} \text{ s}$.

Τα ουδέτερα πόνια δίνουν:



με μέσο χρόνο ζωής $\sim 1.78 \cdot 10^{-16} \text{ s}$.

Τα μόνια με τη σειρά τους δίνουν τις εξής αντιδράσεις:



με μέσο χρόνο ζωής $= 2.201 \cdot 10^{-6} \text{ s}$.

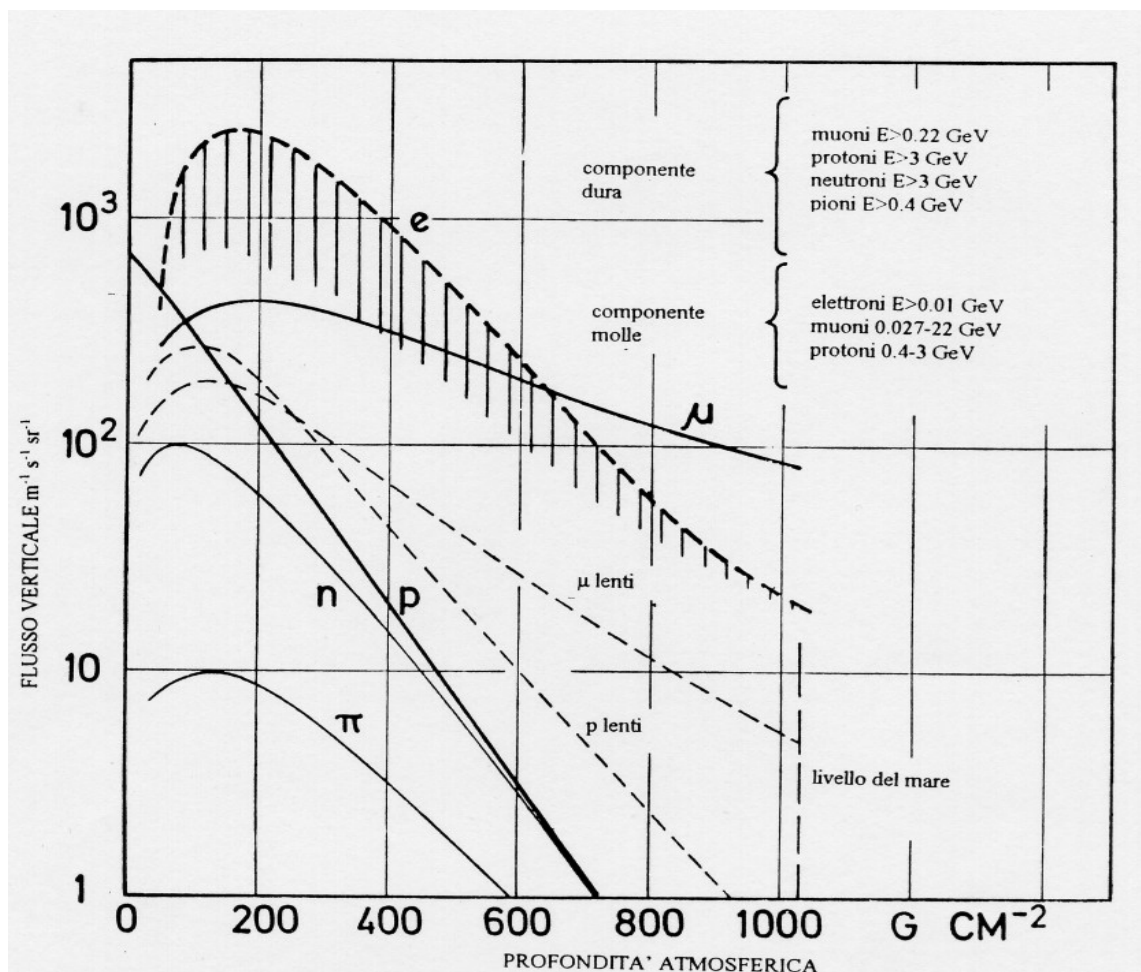
Κάθε σωματίδιο πρωτογενούς κοσμικής ακτινοβολίας παράγει καταρράκτη αλυσιδωτών αντιδράσεων που αποτελείται από μόνια και νουκλεόνια. Πολλά φωτόνια μεγάλης ενέργειας προστίθενται βαθμιαία στις αντιδράσεις και έτσι, μέσω ηλεκτρομαγνητικών αντιδράσεων, παράγονται ηλεκτρομαγνητικοί καταγισμοί (electromagnetic showers). Η έκταση των καταγισμών στην επιφάνεια της γης είναι της τάξης του ενός τετραγωνικού χιλιομέτρου, ενώ ο αριθμός των σωματιών που συμμετέχουν είναι της τάξης των δέκα δισεκατομμυρίων.

Η κατανομή των υψηλής ενέργειας σωματιδίων όλων των τύπων στην ατμόσφαιρα δίνεται στο παρακάτω σχήμα που δίνει τις ροές των διαφόρων τύπων σωματιδίων κοσμικής ακτινοβολίας σαν συνάρτηση με το ύψος μέσα στην ατμόσφαιρα. Οι κατανομές αυτές είναι αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης της ροής των υψηλής

ενέργειας σωματιδίων στο όριο της ατμόσφαιρας με τα μόρια και τα άτομα της ατμόσφαιρας.

Παρατηρούμε ότι:

- Ο αριθμός των πρωτονίων πέφτει εκθετικά και φθάνει τον αριθμό των πιονίων και νετρονίων
- Ο αριθμός των ηλεκτρονίων αρχικά αυξάνεται εκθετικά και στην συνέχεια μειώνεται απότομα
- Τα υψηλής ενέργειας μίονια πέφτουν αργά, ενώ τα χαμηλής ενέργειας μίονια έχουν χρόνο να διασπαστούν πριν φθάσουν στην επιφάνεια της Γης.



Εικόνα 3: Κατακόρυφες ροές των διαφόρων τύπων των κοσμικών ακτίνων σε διάφορα ύψη μέσα στην ατμόσφαιρα (A. M. Hillas, 1972 Cosmic Rays)

1.4 Χημικές αφθονίες της κοσμικής ακτινοβολίας

Οι χημικές αφθονίες των κοσμικών ακτίνων συγκρινόμενες με τις χημικές αφθονίες στο ηλιακό μας σύστημα μπορούν να δώσουν πληροφορίες τόσο για τις πηγές τους όσο και για τους μηχανισμούς διάδοσής τους από τις πηγές τους προς τη Γη. Ειδικότερα, από την σύγκριση των χημικών αυτών αφθονιών συμπεραίνουμε ότι:

(α) Οι κορυφές των στοιχείων C,N,O και Fe εμφανίζονται τόσο στις αφθονίες της κοσμικής ακτινοβολίας όσο και σ'αυτές του ηλιακού συστήματος.

(β) Το άρτιο-περιττό φαινόμενο στις σχετικές σταθερότητες των πυρήνων ως προς τον ατομικό αριθμό – γνωστό ότι υπάρχει στις αφθονίες του ηλιακού συστήματος – εμφανίζεται και στις αφθονίες των κοσμικών ακτίνων, αλλά σε μικρότερο βαθμό.

(γ) Τα ελαφρά στοιχεία : Li, Be, B υπερτερούν στις κοσμικές ακτίνες σε σχέση με τις αφθονίες τους στο ηλιακό σύστημα.

(δ) Στις κοσμικές ακτίνες υπάρχει σχετική αύξηση στις αφθονίες των στοιχείων με ατομικούς και μαζικούς αριθμούς μικρότερους του Fe, δηλαδή Ca και Fe.

(ε) Υπάρχει έλλειψη H₂ και He στις κοσμικές ακτίνες σε σχέση με βαρέα στοιχεία.

Αν και υπάρχουν διαφορές, η γενική κατανομή των στοιχείων στις κοσμικές ακτίνες δεν είναι τόσο διαφορετική από αυτήν του Ηλιακού συστήματος. Ορισμένες διαφορές, κατά κύριο λόγο οι (γ) και (δ), σχετίζονται άμεσα με τον θρυμματισμό (spallation) των πρωτογενών κοσμικών ακτίνων. Τα πρωτογενή στοιχεία της κοσμικής ακτινοβολίας αφού επιταχυνθούν στις πηγές τους και διαφύγουν, διαδίδονται μέσω του ενδοαστρικού αερίου ώστε να φτάσουν στη Γη. Στην πορεία τους αυτή συγκρούονται με τα άτομα και τα μόρια του μεσοαστρικού αερίου και το αποτέλεσμα των συγκρούσεων είναι η διάσπαση των σωματιδίων αυτών και η παραγωγή ελαφρότερων στοιχείων. Ειδικότερα, οι ομάδες των στοιχείων (Li, Be, B) και (Sc, Ti, V, Cr, Mn) προέρχονται από τις συγκρούσεις των άφθονων πυρήνων C,O και Fe αντίστοιχα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΙΙ

Ήλιος

2.1 Γενικά

Ο Ήλιος είναι ένας αστέρας της Κύριας Ακολουθίας φασματικού τύπου G2V, έχει δηλαδή μεγαλύτερη μάζα και θερμοκρασία απ' ότι ένα μέσο αστέρι αλλά σημαντικά μικρότερη από έναν μπλε γίγαντα. Ο χρόνος ζωής ενός αστέρα G2V της Κύριας Ακολουθίας είναι περίπου 10 δισεκατομμύρια έτη· η ηλικία του Ηλίου εκτιμάται στα 5 δισεκατομμύρια. Γύρω από τον Ήλιο έχουν τις τροχιές τους οι 8 γνωστοί πλανήτες (η Γη είναι ο τρίτος πλανήτης από τον Ήλιο) με τους δορυφόρους τους, καθώς και άλλα σώματα όπως αστεροειδείς και κομήτες, αποτελώντας το Ηλιακό Σύστημα. Ο Ήλιος είναι το μεγαλύτερο σώμα του Ηλιακού μας Συστήματος και περιέχει το 99.8% της συνολικής του μάζας.

Λίγο πριν αρχίσουν στο εσωτερικό του Ήλιου οι θερμοπυρηνικές αντιδράσεις καύσης του υδρογόνου του αποτελείτο κατά 72% από υδρογόνο, 26% από ήλιο και 2% 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.

Κάθε δευτερόλεπτο που περνάει περίπου 655 εκατομμύρια τόνοι υδρογόνου από τη μάζα του Ήλιου μετατρέπονται σε 650 εκατομμύρια τόνους ηλίου He. Από τη διαφορά αυτή 4,6 εκατομμύρια τόνοι μετατρέπονται σε ενέργεια. Η θερμοκρασία που επικρατεί στο κέντρο του Ήλιου φθάνει τους 20 εκατομμύρια βαθμούς Κελσίου. Σε τέτοια θερμοκρασία καταστρέφεται η δομή των ατόμων, με αποτέλεσμα να διαχωρίζονται στα σωματίδια από τα οποία αποτελούνται. Τα νετρόνια, επειδή δεν έχουν ηλεκτρικό φορτίο, δεν αλληλεπιδρούν με τον περιβάλλοντα χώρο και απομακρύνονται από τον πυρήνα σύντομα. Τα ηλεκτρόνια και τα πρωτόνια παραμένουν στον πυρήνα σε μορφή πλάσματος, δηλαδή σε κατάσταση ούτε στερεά, ούτε υγρή, ούτε αέρια, ηλεκτρικά ουδέτερη. Η υψηλή θερμοκρασία παρέχει στα πρωτόνια και τα ηλεκτρόνια την κατάλληλη ενέργεια ώστε να κινούνται πολύ γρήγορα και λόγω της υψηλής πυκνότητας του πυρήνα συγκρούονται, με αποτέλεσμα πυρηνικές αντιδράσεις μέσω των οποίων παράγεται ενέργεια στον Ήλιο.

Ο Ήλιος δεν έχει σαφή επιφάνεια όπως έχουν οι γήινοι πλανήτες. Η πυκνότητα των αερίων μειώνεται σε συνάρτηση με την ακτίνα του Ήλιου με ένα νόμο αντιστρόφου τετραγώνου. Η ακτίνα του Ήλιου μετριέται από το κέντρο του άστρου έως τη φωτόσφαιρα, έξω από την οποία δεν λαμβάνει χώρα η πυρηνική σύντηξη.

Η θερμοκρασία στα στρώματα της ατμόσφαιρας του Ήλιου (από τα οποία προέρχεται η ακτινοβολία που μας φωτίζει και μας θερμαίνει) είναι γύρω στους 5700K. Ωστόσο, λίγο πιο ψηλά, στην αραιότερη επέκταση της ηλιακής ατμόσφαιρας προς το διάστημα, η οποία ονομάζεται στέμμα του Ήλιου, η θερμοκρασία ανεβαίνει δραστηκότατα και γίνεται πάνω από ένα εκατομμύριο βαθμούς Kelvin.

Η ακτινοβολία του Ήλιου παρέχει σχεδόν όλη την ενέργεια που χρησιμοποιούμε στη Γη. Ακόμη και ο άνεμος και τα νέφη είναι αποτέλεσμα της επίδρασης της ηλιακής ενέργειας στη Γη. Από την ηλιακή ακτινοβολία προέρχεται η αιολική ενέργεια, ο κύκλος του νερού, η βιολογική ενέργεια, το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο, ο άνθρακας και σχεδόν όλη η ενέργεια στο ηλιακό σύστημα.

2.2 Ηλιακή δομή

Ο Ήλιος αποτελείται από τα εξής μέρη :

α) Τον **πυρήνα**, με ακτίνα 25% της ηλιακής, θερμοκρασία 1.5 εκατομμύρια βαθμούς Kelvin και πίεση 250 δισεκατομμύρια atm, όπου γίνονται οι θερμοπυρηνικές αντιδράσεις σύντηξης του υδρογόνου σε ήλιο, οι οποίες αποτελούν και την κύρια πηγή ενέργειας του Ήλιου.

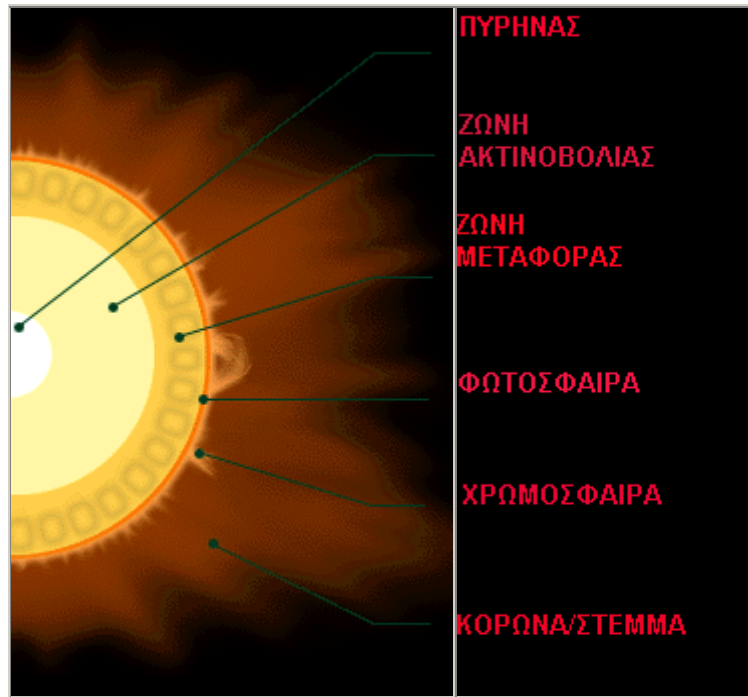
β) Τη **ζώνη ακτινοβολίας**, πάχους 85% της ηλιακής ακτίνας, που περιβάλλει τον πυρήνα και στην οποία διαδίδεται η ενέργεια με την μορφή ακτινοβολίας (radiative energy transport).

γ) Τη **ζώνη μεταφοράς**, πάχους 20% της ηλιακής ακτίνας, όπου η ενέργεια διαδίδεται προς τα έξω με μεταφορά.

δ) Τη **φωτόσφαιρα**, η οποία είναι η λεπτή περιοχή των τελευταίων 500 Km της ζώνης μεταφοράς (0.1% της ηλιακής ακτίνας), πάνω στην οποία παρατηρούνται φαινόμενα όπως οι κόκκοι, οι κηλίδες και οι πυρσοί και αποτελεί τον ορατό δίσκο του ήλιου. Ακριβέστερα, είναι το θερμό αδιαφανές κέλυφος που παράγει το παρατηρούμενο συνεχές φάσμα του Ήλιου. Η φωτόσφαιρα έχει κοκκώδη υφή σαν την επιφάνεια ενός παχύρρευστου υγρού που βράζει. Κάθε μια από τις φυσαλίδες-κόκκους της φωτόσφαιρας έχει ακανόνιστο σχήμα με μέση διάσταση 2.000 km, ενώ, στο σύνολό του, το φαινόμενο αυτό ονομάζεται φωτοσφαιρική κοκκίαση και οφείλεται σε ανοδικά ρεύματα ζεστών αερίων που σχηματίζονται στη βάση της φωτόσφαιρας.

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

στ) Το **στέμμα**, το οποίο εκτείνεται προς το μεσοπλανητικό χώρο χωρίς να έχει σταθερή μορφή. Η λαμπρότητα του στέμματος είναι αντίστοιχη με αυτή της πανσελήνου. Το φάσμα του στέμματος έχει κάποιες λαμπρές γραμμές που αποτελούσαν μυστήριο για πολλά χρόνια, αφού οι αστρονόμοι δεν μπορούσαν να καταλάβουν ποιο στοιχείο μπορεί να τις προκαλεί. Τελικά αποδείχτηκε ότι προέρχονταν από έντονα ιονισμένα άτομα στοιχείων, ο ιονισμός των οποίων οφείλεται στην εξαιρετικά υψηλή θερμοκρασία του στέμματος.



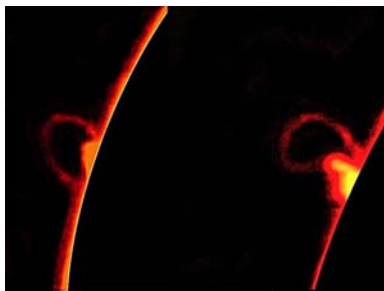
Εικόνα 1: Ηλιακή δομή

2.3 Έκτακτα ηλιακά γεγονότα

Κάθε τόσο συμβαίνουν εκλάμψεις και άλλα εκρηκτικά φαινόμενα πάνω στον Ήλιο. Αυτά τα εκρηκτικά φαινόμενα επηρεάζουν ιδιαίτερω τις συνθήκες που επικρατούν στο διαπλανητικό διάστημα. Την μεγαλύτερη επίδραση στο διαπλανητικό χώρο και τους πλανήτες έχουν οι εκπομπές στεμματικού υλικού. Ο Ήλιος έχει ένα ασθενικό διπολικό μαγνητικό πεδίο. Σε ορισμένες περιοχές του Ήλιου το μαγνητικό πεδίο πυκνώνει πολύ και δημιουργούνται έντονα μαγνητικά πεδία με πολύπλοκες δομές. Συχνά, τα έντονα μαγνητικά πεδία αναδύονται από την επιφάνεια του Ήλιου και σχηματίζουν τις ηλιακές κηλίδες, όπως και προεξοχές που συγκρατούν υλικό μέσα σε ισχυρά μαγνητικά πεδία.

2.4 Ηλιακές Εκλάμψεις

2.4.1 Ιστορική Αναδρομή



Η πρώτη καταγεγραμμένη παρατήρηση ηλιακής έκλαμψης (solar flare) έγινε την 1^η Σεπτεμβρίου 1859 από τους Carrington και Hodgson ανεξάρτητα. Αναγνωρίζουμε ως μεγάλης εμβέλειας έκλαμψη την έντονη, επίμονη λάμψη, όπου υπάρχουν λευκές ακίδες φωτός κοντά σε κηλίδες. Σήμερα, που έχουμε παρατηρήσει πλέον χιλιάδες εκλάμψεις με διάφορες τεχνικές, γνωρίζουμε ότι η έκλαμψη του 1859 ήταν εξεχούσης λαμπρότητας και εμβέλειας, εφόσον πρόκειται για παρατήρηση έκλαμψης λευκού φωτός.

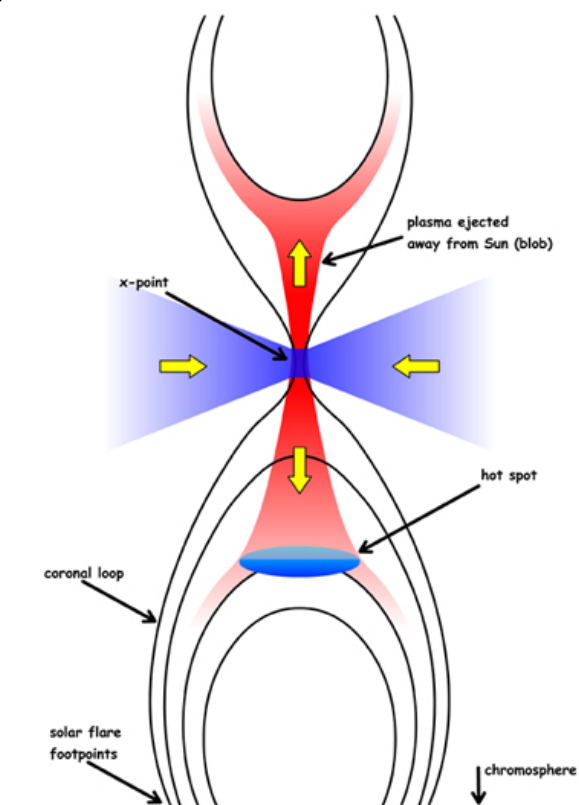
Μια μεγάλη μαγνητική καταιγίδα συνέβη μερικές ώρες αργότερα την ίδια μέρα και έδωσε ένα σέλας ασυνήθιστα έντονο και στα δύο ημισφαίρια. Παρόλο που τότε δεν ήταν γνωστό, τώρα ξέρουμε ότι τα γεγονότα της έκλαμψης και του σέλαος συνδέονται μεταξύ τους.

Η συστηματική μελέτη των ηλιακών εκλάμψεων ξεκίνησε με την ανακάλυψη του φασματοηλιογράφου από τον Hale το 1926, αλλά το όργανο δεν αναπτύχθηκε πλήρως μέχρι το 1931, οπότε ο 17^{ος} ηλιακός κύκλος στις αρχές του 1930 ήταν ο πρώτος κατά τον οποίο είχαμε λεπτομερή μελέτη του φαινομένου.

2.4.2 Τι είναι και πώς σχηματίζονται οι ηλιακές εκλάμψεις

Ένα ενδιαφέρον φαινόμενο το οποίο σχηματίζεται στα στρώματα της χρωμόσφαιρας είναι το φαινόμενο των εκλάμψεων, το οποίο διαρκεί από 20 λεπτά μέχρι και 3 ώρες. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στο ότι μόλις σχηματιστεί ένα ζευγάρι κηλίδων πάνω στην ηλιακή φωτόσφαιρα και για όσο χρόνο διατηρείται στη ζωή, από τις περιοχές που βρίσκονται ανάμεσα στις δύο κηλίδες, παρατηρούμε κατά καιρούς εκρήξεις, δηλαδή απότομη απελευθέρωση υλικού και ενέργειας σε όλα τα μήκη κύματος, με άμεσο αποτέλεσμα την αιφνίδια αύξηση της λαμπρότητάς τους. Ως αίτιο δημιουργίας των εκλάμψεων αναφέρεται σήμερα η αστάθεια του μαγνητικού πεδίου στις περιοχές όπου εμφανίζονται.

Μελετώντας το οπτικό φάσμα μιας έκλαμψης θα διακρίνουμε έντονες φασματικές γραμμές Balmer του υδρογόνου, αλλά και γραμμές ηλίου, καθώς και τη διπλή γραμμή του ιονισμένου ασβεστίου. Για τον λόγο αυτόν, πολύ σπάνια μπορούμε να δούμε τις εκλάμψεις στο λευκό φως, με γυμνό οφθαλμό. Προκειμένου να τις παρατηρήσουμε χρησιμοποιούμε φίλτρα που αφήνουν να περνάει μόνο το μήκος κύματος της γραμμής του υδρογόνου. Κατά τη διάρκεια μιας συνηθισμένης έκλαμψης που εκτείνεται σε επιφάνεια 10^{19} cm^2 , εκπέμπεται στην ορατή περιοχή του φάσματος ενέργεια 10^{30} erg . Μόλις ξεσπάσει μια έκλαμψη, ξεχύνεται στις περιοχές της χρωμόσφαιρας, έτσι ώστε αν εμφανιστεί στο ηλιακό χείλος, να παρουσιάζεται σαν μια βίαιη προεξοχή. Όπως πιστεύουμε σήμερα, οι εκλάμψεις δεν μεταβάλλουν σημαντικά

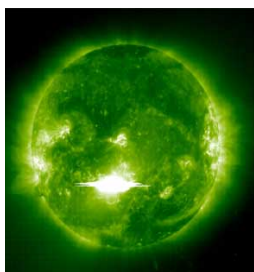


Εικόνα 2: Μοντέλο μιας ηλιακής έκλαμψης τη δομή της ηλιακής χρωμόσφαιρας. Εκτός όμως από αυτό, είναι αποδεκτό ότι επειδή η έκλαμψη είναι ένα πολύ βίαιο γεγονός, βοηθάει σημαντικά στο να γεννηθούν άλλες εκλάμψεις σε άλλες περιοχές δράσης. Ιδιαίτερα όσον αφορά τη χρωμόσφαιρα, μπορούμε να σημειώσουμε ότι σε πολλές περιπτώσεις, γύρω από τις περιοχές που ήδη έχει εκδηλωθεί μια έκλαμψη, παρατηρούμε διαταραχές σαν να διαδίδεται εκεί κάποιο κύμα.

Ενδιαφέρον φαινόμενο επίσης είναι ότι τα τεράστια ποσά ενέργειας που εκλύονται κατά τη διάρκεια των εκλάμψεων, απορροφώνται από τα πρωτόνια, τα ηλεκτρόνια και τους ελαφρούς πυρήνες που βρίσκονται σε αυτές τις περιοχές, αυξάνοντας τις κινητικές τους ενέργειες. Λόγω αυτών των διαδικασιών τα ηλεκτρόνια αποκτούν σχετικιστικές ταχύτητες. Η υψηλή αυτή ενέργεια των ηλεκτρονίων καταναλώνεται στην περιοχή του στέμματος, κατά τη διάρκεια μιας σειράς φυσικών διαδικασιών κατά τις οποίες το πλάσμα του στέμματος εξαναγκάζεται να ακτινοβολήσει στα ραδιοφωνικά μήκη κύματος. Όπως είναι φανερό, οι εκλάμψεις προκαλούν έντονες αυξήσεις στην ένταση της ραδιοφωνικής ακτινοβολίας του Ήλιου, που καλούνται ραδιοεξάρσεις (radio bursts).

Αντίθετα με τα ηλεκτρόνια που χάνουν την ενέργειά τους στην περιοχή του στέμματος, τα γεμάτα ενέργεια πρωτόνια ξεφεύγουν από το άμεσο περιβάλλον του Ήλιου και αποτελούν το κύριο συστατικό της ηλιακής κοσμικής ακτινοβολίας.

2.4.3 Με τι μοιάζει μία ηλιακή έκλαμψη



Εικόνα 3: Ηλιακή έκλαμψη

Μια έκλαμψη παράγει ακτινοβολία που καλύπτει όλο το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα και άρα μπορούμε να την δούμε από διάφορες οπτικές γωνίες, ανάλογα με το μήκος κύματος. Οι οπτικές γωνίες των ακτίνων-X και γ είναι οι πιο ενδιαφέρουσες.

2.4.4 Ηλιακές εκλάμψεις στις ακτίνες-X

Το μήκος κύματος των ακτίνων-X είναι μικρότερο ή ίσο με αυτό του μεγέθους των ατόμων, δηλαδή μεταξύ 10^{-11} και 10^{-9} m. Παρόλο που μπορούν να διαπεράσουν την ύλη, οι ακτίνες-X ανακλώνται στην γήινη ατμόσφαιρα, με αποτέλεσμα να παρατηρούνται από δορυφόρους έξω από αυτήν. Η πρώτη ανίχνευση εξωγήινων ακτίνων-X έγινε στις 10 Μαρτίου 1958 από τους Peterson και Winckler, οι οποίοι κατά τη διάρκεια μιας έκλαμψης εκτόξευσαν ένα μπαλόνι με ανιχνευτές που μέτρησαν ενέργεια 200-500 keV, διάρκειας λιγότερης από ένα λεπτό.

Οι ακτίνες-X χωρίζονται σε μαλακές και σκληρές. Οι μαλακές ακτίνες-X είναι μικρότερης ενέργειας και μικρότερης διατρητικής ικανότητας από τις σκληρές.

2.4.4.1 Μαλακές ακτίνες-X

Οι μαλακές ακτίνες-X που εκπέμπονται κατά τη διάρκεια μιας έκλαμψης αυξάνουν σε ένταση και κάνουν ένα μέγιστο λίγα λεπτά μετά την κύρια εκπομπή, δηλαδή πρόκειται για ένα καθυστερημένο φαινόμενο σε σχέση με την κύρια έκρηξη. Επιπλέον, ο αργός σχηματισμός του μετέπειτα βρόγχου των μαλακών ακτίνων-X σχετίζεται με το χρόνο ολοκλήρωσης των γρήγορων εξάρσεων ακτίνων- γ που ανιχνεύονται σε μήκη κύματος της τάξης του εκατοστού. Αυτή η συσχέτιση είναι γνωστή ως το φαινόμενο Neupert, από τον ερευνητή που την εντόπισε.

Οι βρόγχοι που σχηματίζονται στις μαλακές ακτίνες-Χ είναι περίπου 10 φορές θερμότεροι από τους αντίστοιχους σχηματισμούς του στέμματος που δημιουργούνται είτε σε ήρεμο είτε σε «βίαιο» ήλιο. Επίσης, στα φάσματα των βρόγχων αυτών εντοπίστηκε σίδηρος απ' όπου και τα 26 ηλεκτρόνια είχαν φύγει. Ένας τόσο μεγάλος βαθμός ιονισμού δικαιολογείται μόνο σε θερμοκρασίες της τάξης 10^7 βαθμών, δηλαδή οι εκλάμψεις που βλέπουμε στις μαλακές ακτίνες-Χ είναι τόσο θερμές όσο το κέντρο του Ήλιου.

Αυτή η τόσο υψηλή θερμοκρασία εξηγείται ως εξής: οι μαλακές ακτίνες-Χ που εκπέμπονται κατά τη διάρκεια μιας έκλαμψης είναι θερμική ακτινοβολία που απελευθερώνεται από ηλεκτρόνια επιταχυνόμενα σε τρομερά υψηλές ταχύτητες, πρόκειται δηλαδή για ακτινοβολία πέδης.

2.4.4.2 Σκληρές ακτίνες-Χ

Οι πρώτες παρατηρήσεις ηλιακής έκλαμψης σε σκληρές ακτίνες-Χ έγιναν το 1980. Υπήρχαν δύο πηγές ακτίνων-Χ σε ενέργειες πάνω από 30 keV και αντιστοιχούσαν στους «πρόποδες» ενός μαγνητικού βρόγχου. Στην πραγματικότητα, οι μετρήσεις έδειχναν ότι οι σκληρές ακτίνες-Χ συγκεντρώνονται στους «πρόποδες» στεμματικών βρόγχων τους οποίους εντοπίζουμε με μαλακές ακτίνες-Χ και ότι συσχετιζόνταν με την εκπομπή του υδρογόνου άλφα στην χρωμόσφαιρα.

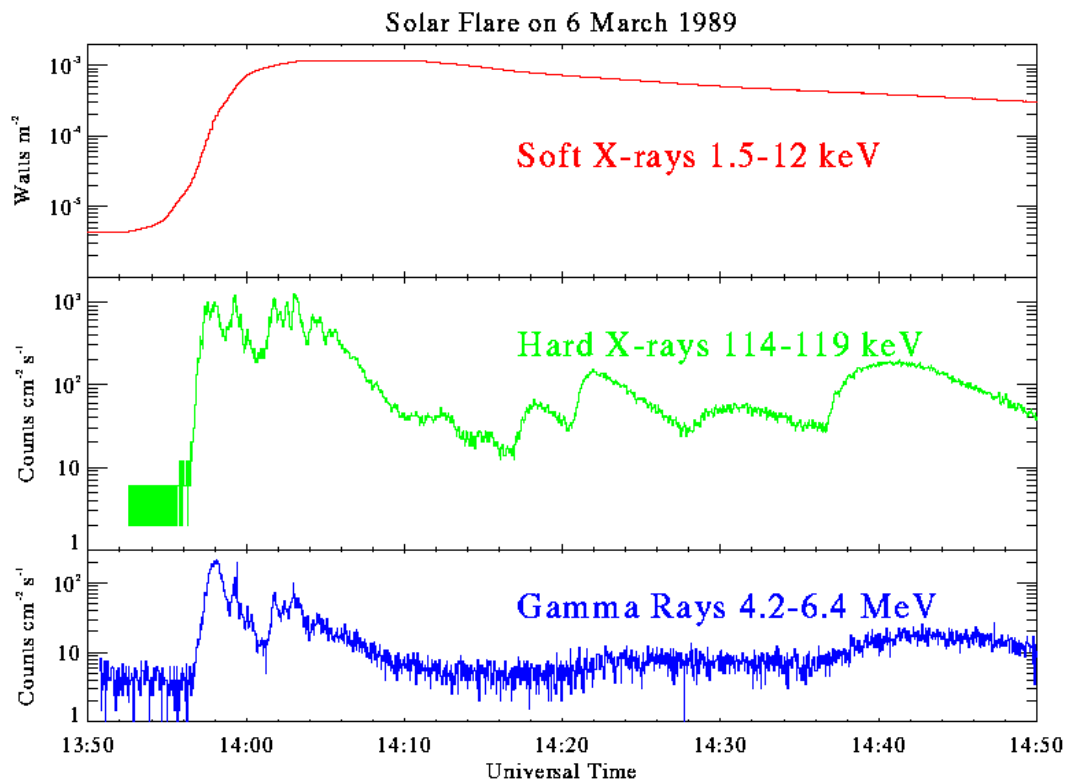
Οι σκληρές ακτίνες-Χ «γεννιούνται» από ενεργειακά, μη θερμικά ηλεκτρόνια «μπλεγμένα» στους δύο κλάδους του στεμματικού βρόγχου, χαμηλά στο στέμμα και βαθιά στη χρωμόσφαιρα. Αυτό εξηγεί τη διπλή τους δομή και τη λαμπρότητά τους, που καταγράφηκε μέσα στο περιθώριο των δέκα δευτερολέπτων που είχε ο δορυφόρος SMM, στον οποίο εντοπίστηκαν.

Τα ηλεκτρόνια που τις παράγουν έχουν πολύ πιο υψηλές ενέργειες από τα αντίστοιχα που παράγουν τις μαλακές ακτίνες-Χ και πιστεύεται ότι επιταχύνονται πάνω από την κορυφή των στεμματικών βρόγχων και ότι ακτινοβολούν ενέργεια με μεθόδους μη θερμικής πέδης, καθώς κατευθύνονται ανάμεσα σε μαγνητικά κανάλια χαμηλά στο στέμμα και στην χρωμόσφαιρα.

2.4.5 Ηλιακές εκλάμψεις στις ακτίνες-γ

Τα πρωτόνια και τα βαρύτερα ιόντα επιταχύνονται σε υψηλές ταχύτητες κατά τη διάρκεια των εκλάμψεων και κατευθύνονται μέσα στον Ήλιο όπου παράγουν τις ακτίνες γ, το πιο ενεργειακό είδος ακτινοβολίας που έχει ανιχνευτεί ποτέ από έκλαμψη. Τα πρωτόνια πέφτουν και χτυπάνε πάνω στην κατώτερη ατμόσφαιρα, όπως μια σφαίρα χτυπάει σε έναν τοίχο, κομματιάζοντας τα γειτονικά βαριά νουκλεόνια, μια διαδικασία που ονομάζεται *θρυμματισμός* (spallation). Τα πιο ενεργειακά νουκλεόνια «ηρεμούν» μόλις αποβάλλουν την περισσευούμενή τους ενέργεια εκπέμποντας ακτίνες-γ. Άλλα νουκλεόνια αποβάλλονται κατευθείαν με διάσπαση, επιταχύνονται μαζί με τα πρωτόνια που επιταχύνονται εξαιτίας της έκλαμψης και εκπέμπουν ακτίνες-γ όταν αποδιεγείρονται. Οι πυρηνικές αντιδράσεις γίνονται τόσο στον ορατό δίσκο του Ήλιου όσο και στον πυρήνα του.

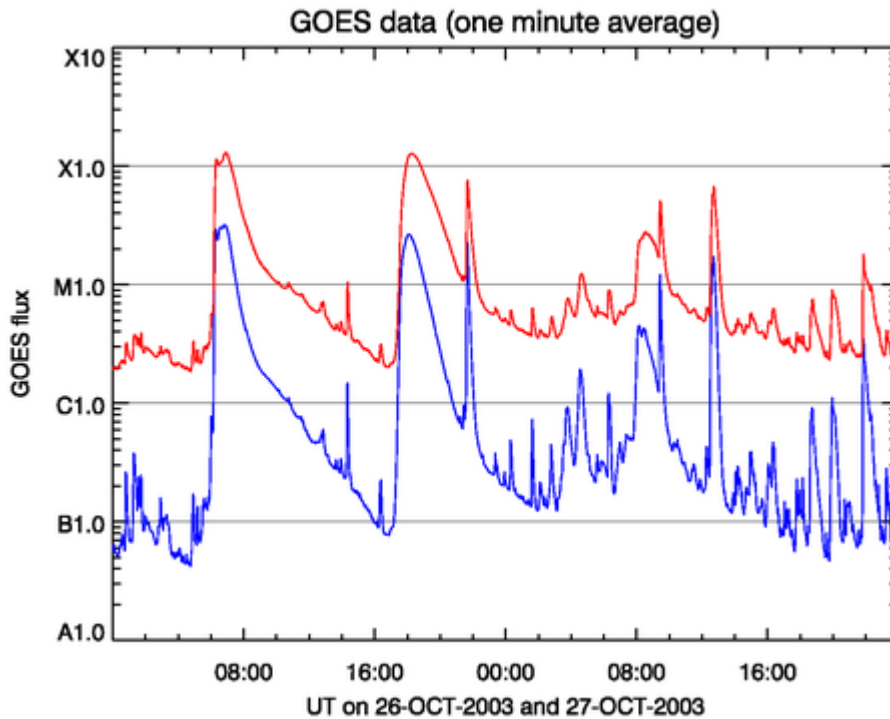
Οι ακτίνες-γ από νουκλεόνια που φεύγουν, εκπέμπονται μόνο σε συγκεκριμένες, καλά προσδιορισμένες ενέργειες ανάμεσα στα 0,4 και 7,1 MeV. Επομένως, βλέπουμε ότι οι ακτίνες-γ είναι από δέκα μέχρι και εκατό φορές πιο ενεργειακές από τις σκληρές και τις μαλακές ακτίνες-Χ που έχουν ανιχνευτεί κατά τις εκλάμψεις. Όπως και οι ακτίνες-Χ, έτσι και οι ακτίνες-γ ανακλώνται στην ατμόσφαιρά μας και έχουμε παρατηρήσεις μόνο έξω από αυτήν.



Εικόνα 4: Οι ηλιακές εκλάμψεις στις ακτίνες-X

2.4.6 Ταξινόμηση των ηλιακών εκλάμψεων

Οι ηλιακές εκλάμψεις είναι ταξινομημένες ως A, B, C, M ή X σύμφωνα με τη μέγιστη ροή (σε Watt ανά τετραγωνικό μέτρο, W/m^2) από 100 έως 800 picometer ακτίνων-X κοντά στη Γη, όπως μετριοούνται από τους δορυφόρους GOES. Κάθε κατηγορία έχει μια μέγιστη ροή δέκα φορές μεγαλύτερη από την προηγούμενη, με τις εκλάμψεις κατηγορίας X να έχουν μια μέγιστη ροή της τάξης των 10^{-4}W/m^2 . Μέσα σε μια κατηγορία υπάρχει μια γραμμική κλίμακα από 1 έως 9, έτσι ώστε μια X2 έκλαμψη να είναι δύο φορές ισχυρότερη από μια έκλαμψη X1, και πολύ ισχυρότερη από μια έκλαμψη M5. Οι ισχυρότερες εκλάμψεις, κατηγορίας M και X, συνδέονται συχνά με ποικίλα γεγονότα στο διαστημικό περιβάλλον κοντά στη Γη, όπως διαπλανητικές διαταραχές, μειώσεις Forbush, κτλ.

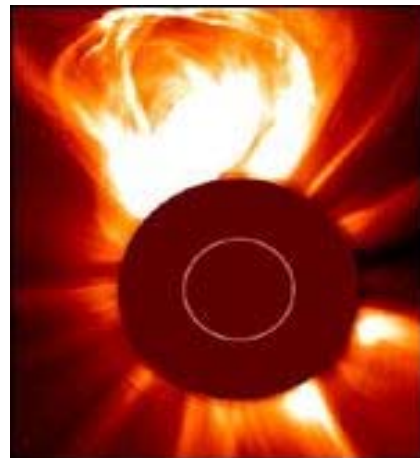


Εικόνα 5: Καμπύλες μαλακών ακτίνων-γ που παρουσιάζουν ηλιακές εκλάμψεις με διαφορετικά μεγέθη και διάρκεια. Η κόκκινη καμπύλη αντιπροσωπεύει τη συνολική ροή στη ζώνη 1 έως 8 Angstrom, και η μπλε καμπύλη είναι η ροή σε 0.5 έως 4 Angstrom. Βασικά, αυτό σημαίνει ότι οι καμπύλες αντιπροσωπεύουν τη χρονική εξέλιξη της έντασης των ακτίνων-X που εκπέμπονται από τον Ήλιο σε δύο ενεργειακές σειρές. Καθένα από τα μέγιστα στις καμπύλες αντιπροσωπεύει μια προσωρινή αύξηση στην εκπομπή λόγω μιας ηλιακής έκλαμψης.

2.5 Στεμματικές Εκπομπές Μάζας (CMEs)

Οι CMEs αποτελούν κινήσεις πυκνού δέσμιου στεμματικού υλικού μεγάλης κλίμακας από το ηλιακό στέμμα στο μεσοπλανητικό χώρο και συγκεκριμένα «CME είναι μια παρατηρήσιμη μεταβολή της δομής του στέμματος η οποία πραγματοποιείται σε χρονική κλίμακα μεταξύ λίγων λεπτών μέχρι κάποιες ώρες και παράγει μια νέα λαμπρή δομή στο οπτικό πεδίο ενός στεμματογράφου η οποία σχετίζεται με μια τοπική αύξηση πυκνότητας που διαδίδεται προς τα έξω» (Delanee et al, 2000, Hundhausen, 1993).

Η μάζα του υλικού που εκτοξεύεται είναι της τάξης των 10^{13} kg. Η θερμοκρασία του υλικού είναι της τάξης των 10^6 K. Οι ταχύτητες του εκτοξευμένου πλάσματος είναι μεγαλύτερες από 1000 km/sec για τα περισσότερο ενεργητικά φαινόμενα, ενώ για τα υπόλοιπα φαινόμενα που δε συνδέονται με άλλη ηλιακή δραστηριότητα ή πραγματοποιούνται κατά τη διάρκεια του ηλιακού ελαχίστου, οι ταχύτητες είναι της τάξης των 10 km/sec. Αν η ταχύτητα της CME υπερβαίνει την τοπική ταχύτητα Alfven, τότε εμφανίζονται κρουστικά κύματα μπροστά και πίσω από τη CME.



Εικόνα 6: Τοπική CME

Για τυπικές στεμματικές συνθήκες η ταχύτητα Alfvén είναι περίπου 700 km/sec. Η CME κινείται συνήθως με υπερηχητικές ταχύτητες (η ταχύτητα του ήχου στο στέμμα είναι περίπου 130 km/sec) αλλά υποαλβενικές. Η μέση τιμή των ταχυτήτων των CMEs είναι 470 ± 50 km/sec (ο υπολογισμός έγινε από τους Gosling et al, 1976). Κάτω από αυτές τις συνθήκες σχηματίζονται μαγνητοϋδροδυναμικά (ΜΥΔ) κύματα μπροστά από τις CMEs στο χαμηλό στέμμα. Εφόσον εκτοξεύονται υλικά μάζας 10^{13} kg, η κινητική ενέργεια μπορεί να φτάσει τα $5 \cdot 10^{24}$ J.

Προσθέτοντας τη μαγνητική ενέργεια, η ενέργεια μιας CME φτάνει τα 10^{25} J. Αυτή η ενέργεια είναι συγκρίσιμη ή και μεγαλύτερη από την ενέργεια μιας έκλαμψης.

Οι CMEs έχουν ταξινομηθεί ανάλογα με τη μορφολογία τους σε 10 κατηγορίες (Howard et al, 1985). Στην πραγματικότητα, η μορφή μιας CME εξαρτάται επίσης από το σημείο του ήλιου από το οποίο εκτοξεύεται και από τη διεύθυνση της κίνησής της ως προς την γραμμή παρατήρησης (τα όργανα παρατηρούν την προβολή της CME στο επίπεδο του ουρανού). Αυτό έχει σαν συνέπεια να παρουσιάζεται μια όμοια CME με διαφορετική μορφή ανάλογα με τις συνθήκες παρατήρησης.

Η δομή μιας τυπικής CME αποτελείται από:

1. Ένα λαμπρό κέλυφος υλικού (φωτεινός εξωτερικός βρόγχος) το οποίο βρίσκεται μπροστά από μια σκοτεινή κοιλότητα (loop).
2. Μία σκοτεινή κοιλότητα που περιβάλλεται από τον φωτεινό εξωτερικό βρόχο (cavity).
3. Μια λαμπρή, εκρηκτική προεξοχή που είναι φωτεινό υλικό στο κέντρο της σκοτεινής κοιλότητας (core).

Από τις παρατηρήσεις των CMEs προκύπτει ότι:

1. Οι CMEs είναι συχνά συνδεδεμένες με άλλες μορφές ηλιακής δραστηριότητας και παρατηρούνται μαζί με αυτές. Οι πιο συνηθισμένες είναι οι εκτοξεύσεις νημάτων (erupting prominences), που παρατηρούνται στην Ηα, οι εκλάμψεις μαλακών ακτίνων-X (SXR) και οι εκπομπές στα ραδιοκύματα. Σχεδόν σε όλες τις CMEs εμφανίζεται ένα κύριο γεγονός εκπομπής έντονης μαλακής ακτινοβολίας-X, το οποίο βρίσκεται στη μία πλευρά της CME (εκπομπή στο πόδι ενός βρόχου). Η έναρξη της CME τυπικά προηγείται του γεγονότος αυτού γύρω στα 10 λεπτά.
2. Οι CMEs σχετίζονται άμεσα με ενεργές περιοχές κλειστών μαγνητικών δομών οι οποίες εντοπίζονται συνήθως στην μια πλευρά της CME.
3. Το μέσο γωνιακό εύρος των CMEs είναι περίπου 40° .
4. Κατά το μέγιστο της ηλιακής δραστηριότητας ο ρυθμός εμφάνισης των CMEs είναι 2 έως 3 ανά ημέρα, ενώ κατά το ηλιακό ελάχιστο μία CME την εβδομάδα.
5. Κατά το μέγιστο της ηλιακής δραστηριότητας οι CMEs καταλαμβάνουν όλο και μεγαλύτερα ηλιογραφικά πλάτη, ενώ κατά το ηλιακό ελάχιστο περιορίζονται σε μια ζώνη γύρω από τον ηλιακό ισημερινό.

2.6 Ηλιακός άνεμος

Η ύλη της ατμόσφαιρας του Ηλίου είναι ιονισμένη, συχνά πλήρως ιονισμένη, δηλαδή είναι σε μορφή πλάσματος. Τα ιόντα είναι περίπου 95% πρωτόνια, 5% σωμάτια άλφα (πυρήνες του χημικού στοιχείου Ηλίου), ενώ όλα τα άλλα χημικά στοιχεία (από τα οποία είμαστε φτιαγμένοι εμείς και οι γήινοι πλανήτες) βρίσκονται σε πολύ μικρές αναλογίες.

Η ιονισμένη ύλη του στέμματος του Ηλίου επεκτείνεται προς το διαπλανητικό διάστημα, όπου εκτονώνεται με ταχύτητα που αυξάνει βαθμιαία, μέχρι που γίνεται ιλιγγιώδης (συνήθως 350 έως 400 χιλιόμετρα το δευτερόλεπτο, η οποία εκτινάσσεται στα 700 με 1000 km/s σε έκτακτα εκρηκτικά φαινόμενα που συμβαίνουν στον Ήλιο). Το υλικό αυτό που εκτονώνεται από τον Ήλιο ονομάζεται ηλιακός άνεμος. Είναι πλάσμα, δηλαδή σχεδόν πλήρως ιονισμένη ύλη με ίσο αριθμό θετικών και αρνητικών ηλεκτρικών φορτίων.

Η θερμοκρασία του ηλιακού ανέμου είναι μερικές δεκάδες χιλιάδες βαθμούς Kelvin έως δύο εκατομμύρια βαθμούς Kelvin. Η πυκνότητα του ηλιακού ανέμου μεταβάλλεται αντιστρόφως ανάλογα με το τετράγωνο της ηλιοκεντρικής απόστασης, ως αποτέλεσμα της σφαιρικής εκτόνωσης, και στην περιοχή της Γης είναι συνήθως 10 με 20 σωμάτια στο κυβικό εκατοστό (κυρίως πρωτόνια και ηλεκτρόνια σε ίσους αριθμούς).

Ο ηλιακός άνεμος, επειδή είναι ιονισμένος, είναι εξαιρετικός αγωγός του ηλεκτρισμού. Έτσι, όποια ηλεκτρικά ρεύματα υπάρχουν σε αυτόν διατηρούνται σχεδόν αμετάβλητα για πρακτικά άπειρο χρόνο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τα μαγνητικά πεδία που επικρατούν μέσα στον ηλιακό άνεμο και τα οποία οφείλονται σε ηλεκτρικά ρεύματα, να διατηρούνται σχεδόν αναλλοίωτα μέχρι τα όρια του ηλιακού συστήματος. Η ακτινική εκτόνωση του ηλιακού ανέμου εισάγει παραμορφώσεις του μαγνητικού πεδίου με την απόσταση.

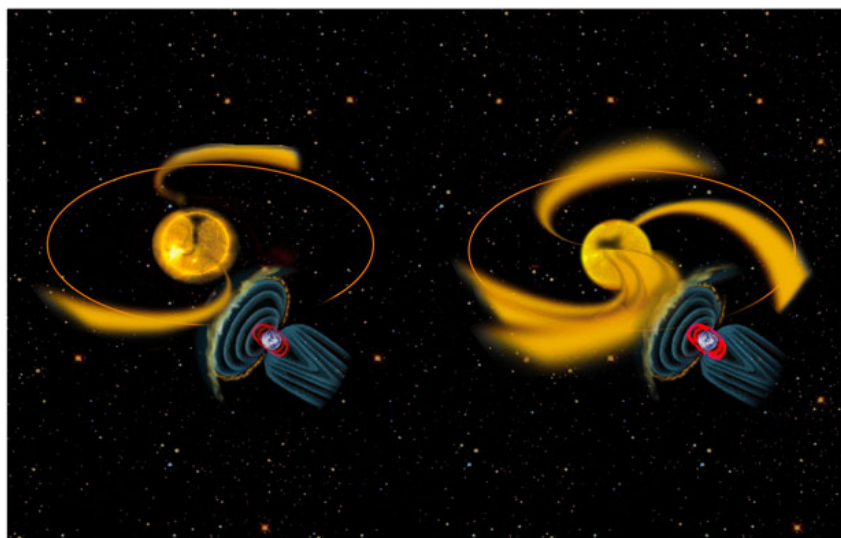
Πηγές του γρήγορου ηλιακού ανέμου είναι οι στεμματικές οπές, περιοχές πάνω στον Ήλιο όπου οι δυναμικές γραμμές του Ηλίου είναι ανοικτές και κατευθύνονται προς τα έξω, σε αντίθεση προς τις διπολικές περιοχές του Ηλίου, όπου το υλικό παραμένει δέσμιο για μεγάλες χρονικές περιόδους. Από τις διπολικές περιοχές πιστεύεται ότι προέρχεται ο αργός ηλιακός άνεμος. Οι κυριότερες και πιο εκτεταμένες πηγές του γρήγορου ηλιακού ανέμου είναι στους πόλους του Ήλιου, όπου βρίσκονται σχεδόν πάντοτε οι δύο πολικές στεμματικές οπές. Κατά τις χρονικές περιόδους του μεγίστου της ηλιακής δραστηριότητας (π.χ. έτος 2000) οι δύο πολικές στεμματικές οπές μειώνονται δραστηκότητα ή και εξαφανίζονται, ενώ εμφανίζονται περισσότερες στεμματικές οπές σε όλη την επιφάνεια του Ηλίου, στα όρια των εκτεταμένων διπολικών περιοχών.

Ο ηλιακός άνεμος, το ρευστό που βγάζει συνεχώς ο Ήλιος, με την τεράστια ταχύτητά του, γεμίζει μια τεράστια περιοχή γύρω από τον Ήλιο την οποία επηρεάζει. Η περιοχή αυτή έχει διαστάσεις της τάξης των εκατό αστρονομικών μονάδων. Τα όρια της ηλιόσφαιρας καθορίζονται από την πίεση που εξασκεί ο ηλιακός άνεμος στο διαστρικό αέριο, δηλαδή το αέριο που υπάρχει στην γειτονιά του Ήλιου. Η έκταση και η μορφή της ηλιόσφαιρας αλλάζουν με τον χρόνο περιοδικά, ακολουθώντας την

ενδεκαετή περιοδικότητα του Ηλίου, όπως αυτή εκδηλώνεται με τον αριθμό των κηλίδων που εμφανίζονται σε διάφορα πλάτη.

Η ηλιόσφαιρα είναι η μαγνητόσφαιρα του Ήλιου. Μαγνητόσφαιρες έχουν πλήθος αστρονομικά αντικείμενα, από pulsar μέχρι γαλαξίες.

Ο ηλιακός άνεμος είναι ένα ιονισμένο ρευστό που στο διάβα του συναντάει τους πλανήτες, τους κομήτες, τους μικρούς πλανήτες, τους αστεροειδείς και αλληλεπιδρά με αυτούς. Αποτέλεσμα αυτής της αλληλεπίδρασης είναι ο σχηματισμός των μαγνητοσφαιρών γύρω τους. Μαγνητόσφαιρα είναι δηλαδή μια περιοχή γύρω από τον Ήλιο στην οποία επικρατεί το μαγνητικό πεδίο του πλανήτη, ή όπου διπλώνεται και πυκνώνει το διαπλανητικό πεδίο του ηλιακού ανέμου, σχηματίζοντας έτσι μία μαγνητική κοιλότητα γύρω από αυτά τα ουράνια σώματα. Όσοι πλανήτες όπως η Γη, ο Δίας και ο Κρόνος έχουν δικά τους μαγνητικά πεδία (σαν το γνωστό μας διπολικό πεδίο της Γης) αποκτούν γύρω τους εκτεταμένες μαγνητόσφαιρες οι οποίες μοιάζουν με σταγόνες που πέφτουν από βρύση, ή με μέλι που πέφτει από ένα κουτάλι. Η μορφή, η δομή και η σύνθεση των μαγνητοσφαιρών εξαρτώνται από τις συνθήκες που επικρατούν στον ηλιακό άνεμο κάθε χρονική στιγμή. Ομοίως, αλλάζει το μαγνητικό πεδίο και στην επιφάνεια του πλανήτη, η ιονόσφαιρα, η έκταση της ατμόσφαιράς του και παροδικά ακόμη και η περίοδος της περιστροφής του πλανήτη, δηλαδή η διάρκεια του ημερονυκτίου.



Εικόνα 7: Ηλιακός άνεμος-μαγνητόσφαιρα Γης

Οδηγοί του ηλιακού ανέμου είναι τα κύματα Alfvén –ισχυρά μαγνητικά κύματα– που κινούνται μέσα στο πλάσμα της ατμόσφαιρας του Ήλιου, ή το στέμμα, που μεταφέρει ενέργεια από την επιφάνεια του άστρου, στον ηλιακό άνεμο.

Μέχρι τώρα, τα κύματα Alfvén ήταν αδύνατον να παρατηρηθούν, λόγω της περιορισμένης ανάλυσης των διαθέσιμων οργάνων.

Ξέρουμε ότι το μαγνητικό πεδίο του Ήλιου υποβάλλεται σε γρήγορες αλλαγές, και οι μεταμορφώσεις του παράγουν αυτά τα κύματα κατά μήκος της διεύθυνσής του, που επιταχύνουν το φορτισμένο αέριο και το εκτοξεύουν στο διάστημα. Αυτός είναι ο πρώτος μηχανισμός της τροφοδότησης του ηλιακού ανέμου.

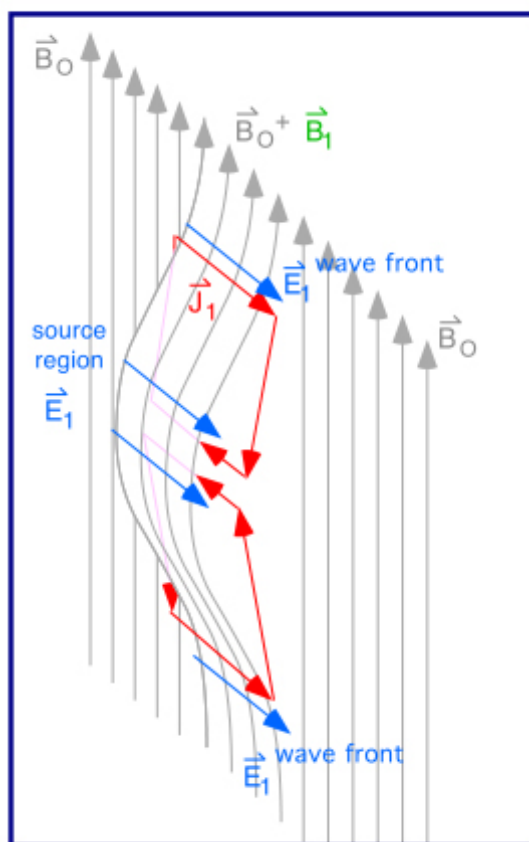
Ένας άλλος μηχανισμός που τροφοδοτεί τον ηλιακό άνεμο περιλαμβάνει την χρωμόσφαιρα του Ήλιου, την περιοχή που βρίσκεται μεταξύ της επιφάνειας του ήλιου και την κορώνα ή το στέμμα του. Οι εικόνες που τραβήχτηκαν από το ειδικό οπτικό τηλεσκόπιο του Hinode διαπίστωσαν ότι η χρωμόσφαιρα είναι γεμάτη με κύματα Alfvén, τα οποία όταν διαφεύγουν στην κορώνα είναι αρκετά ισχυρά για να προκαλέσουν τον ηλιακό άνεμο.

Φτάνοντας όμως στη Γη, μπορεί να αναστατώσουν τους δορυφόρους, τα δίκτυα ηλεκτρισμού και τις επικοινωνίες, υπό ορισμένες συνθήκες. Βέβαια, το γήινο μαγνητικό πεδίο προστατεύει από τον ηλιακό άνεμο, δημιουργώντας μια φουσαλίδα γύρω από την οποία ρέει ο άνεμος.

Τα κύματα έχουν πάρει το όνομά τους από το Σουηδό Φυσικό Hannes Alfvén, ο οποίος πρόβλεψε την ύπαρξή τους από το 1942 και κέρδισε το Νόμπελ Φυσικής το 1970. Ο Hannes Alfvén πέθανε το 1995.

Τα κύματα Alfvén, που είναι μια μορφή μαγνητοϋδροδυναμικών κυμάτων, σε ένα πλάσμα είναι μια κινούμενη ταλάντωση των ιόντων και του μαγνητικού πεδίου. Η πυκνότητα της μάζας των ιόντων προσφέρει την αδράνεια και η τάση της γραμμής του μαγνητικού πεδίου προσφέρει τη δύναμη επαναφοράς. Το κύμα Alfvén διαδίδεται στην κατεύθυνση του μαγνητικού πεδίου.

A 3-D View of Alfvén wave propagation



Εικόνα 8: Τρισδιάστατα κύματα Alfvén

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΙΙΙ

Διαμόρφωση της κοσμικής ακτινοβολίας από την Ηλιακή Δραστηριότητα

3.1 Γενικά

Γενικά, στην ευρύτερη κλίμακα, η κοσμική ακτινοβολία είναι σταθερή και ισότροπη. Όταν, όμως, φτάσει στη Γη, ή και σε μεγαλύτερες ηλιοκεντρικές αποστάσεις, παρατηρούμε σημαντικές μεταβολές και ανισοτροπίες στο ενεργειακό φάσμα και την έντασή της, καθώς ο Ήλιος και ο υπόλοιπος διαπλανητικός χώρος ασκούν μεγάλη επιρροή στο ταξίδι αυτό των κοσμικών ακτίνων. Μεταβολές ασκούν και οι κινήσεις του Ήλιου και της Γης στο χώρο, αλλά και η μαγνητική δυσκαμψία με την οποία αντιδρούν τα σωματίδια.

Η συσχέτιση της μεταβολής της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας ($\Delta J(R)/J(R)$) και της μαγνητικής δυσκαμψίας R απεικονίζει το φάσμα των μεταβολών (variational spectrum) και δίνεται από τον τύπο:

$$\frac{\Delta J(R)}{J(R)} = k \cdot R^{-\gamma}$$

όταν $\gamma=0$, έχουμε ίση απορρόφηση της έντασης για τα σωματίδια όλων των δυσκαμψιών.

Οι μεταβολές διακρίνονται σε:

- Ισότροπες μεταβολές, όπως:
 - ο ενδεκαετής κύκλος (μακρόχρονη διαμόρφωση)
 - η 22-ετής διαμόρφωση
 - η 27-ήμερη διαμόρφωση
 - η μείωση κατά Forbush

και

- Ανισότροπες μεταβολές, όπως:
 - η ημερήσια μεταβολή
 - η ημιημερήσια μεταβολή
 - οι μικρής κλίμακας μεταβολές.

Συνεπώς, έχουμε μεταβολή της κοσμικής ακτινοβολίας ως προς το χώρο, τον χρόνο και την ενέργεια, η οποία ονομάζεται διαμόρφωση της κοσμικής ακτινοβολίας.

3.2 Ισότροπες Μεταβολές

3.2.1 Ο ενδεκαετής κύκλος

Η ηλιακή δραστηριότητα μέσα σε περίοδο 11 χρόνων παρουσιάζει μέγιστο και ελάχιστο και αυτή η περίοδος ονομάζεται «ο 11-ετής κύκλος του Ήλιου».

Κατά τη διάρκεια, λοιπόν, αυτού του κύκλου της ηλιακής δραστηριότητας συμβαίνουν μεταβολές των μέσων χαρακτηριστικών της κοσμικής ακτινοβολίας. Αυτό οφείλεται στη μακρόχρονη διαμόρφωση (long-term modulation).

Πρώτος ο Forbush το 1958 έδειξε ότι η κοσμική ακτινοβολία βρίσκεται σε αρνητική συσχέτιση με τη δραστηριότητα του Ήλιου με μια χρονική υστέρηση αρκετών μηνών, αν ληφθεί σαν μέτρο της ηλιακής δραστηριότητας ο αριθμός των ηλιακών κηλίδων, ή 1-2 μηνών αν τη συγκρίνουμε με τη γραμμή εκπομπής του ηλιακού στέμματος στα 5303 Å. Τελευταία έχουν βρεθεί και μεγαλύτερες τιμές του χρόνου υστέρησης.

Η μείωση της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας οφείλεται σε μεταβολές της δομής του διαπλανητικού μαγνητικού πεδίου, καθώς ο μαγνητικός θώρακας της ηλιόσφαιρας γίνεται λιγότερο διαπερατός όταν το μαγνητικό πεδίο που φέρεται παγωμένο μέσα στο πλάσμα είναι ισχυρότερο. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τόσο λιγότερα σωματίδια να μπορούν να φθάσουν στην περιοχή της γης, όσο η ηλιόσφαιρα καταλαμβάνει μεγαλύτερη έκταση.

Ο μηχανισμός της 11-ετούς διαμόρφωσης δεν μπορεί να γίνει πλήρως αντιληπτός. Η θεωρία του ηλιακού ανέμου ερμηνεύει μόνο τη μεταβολή του ηλιακού κύκλου. Βασικός μηχανισμός είναι ο μηχανισμός μεταφοράς-διάχυσης της κοσμικής ακτινοβολίας. Σύμφωνα με αυτόν, οι γαλαξιακές κοσμικές ακτίνες μεταφέρουν τις μαγνητικές ανωμαλίες έξω από τον Ήλιο με το σταθερό ηλιακό άνεμο. Η πυκνότητα των κοσμικών ακτίνων μέσα στο ηλιακό σύστημα προκύπτει από την ισορροπία μεταξύ της προς τα έξω μεταφοράς τους και της προς τα μέσα διάχυσής τους.

Η εξάρτηση της μακρόχρονης διαμόρφωσης από τη μαγνητική δυσκαμψία των σωματιών έχει μεγάλη σημασία για την επέκταση των παρατηρήσεων στο Γαλαξία. Λόγω της προς τα έξω κίνησης του ηλιακού ανέμου, η ροή των κοσμικών ακτίνων ελαττώνεται σταδιακά καθώς ο Ήλιος απομακρύνεται.

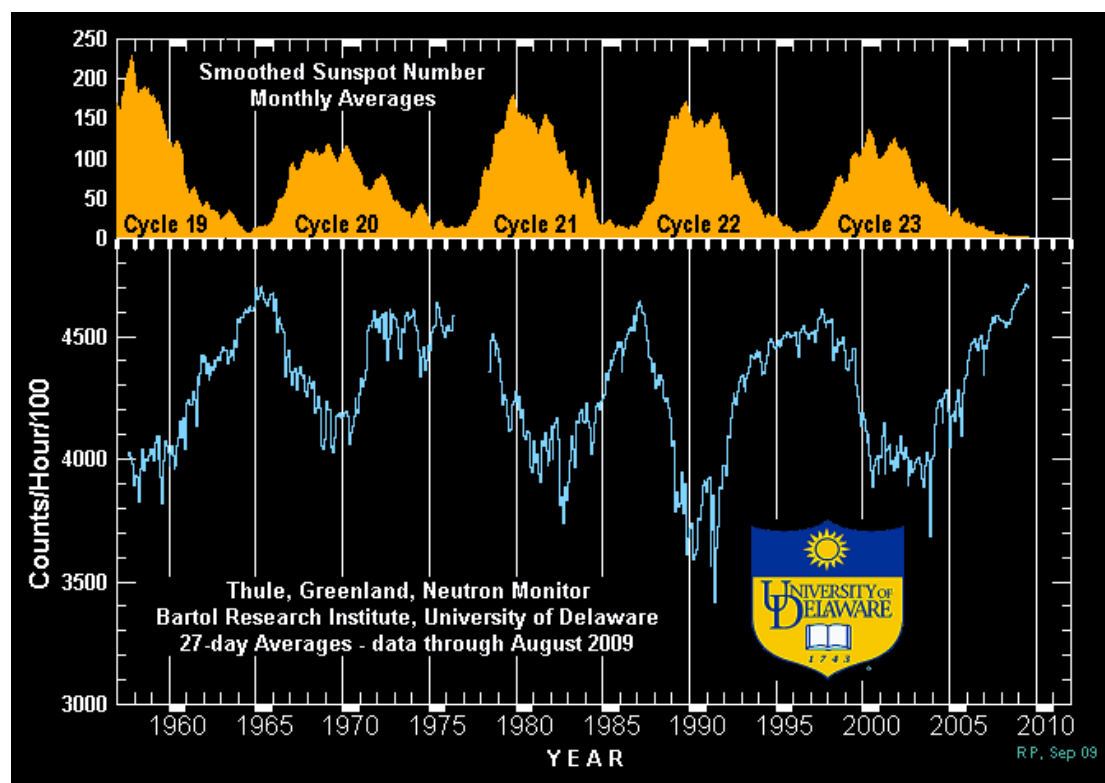
Παρατηρώντας τις σχέσεις που συνδέουν χαρακτηριστικά της κοσμικής ακτινοβολίας με διάφορες παραμέτρους της ηλιακής δραστηριότητας, διαπιστώνουμε ότι δεν λαμβάνουν υπ' όψη τις καθυστερήσεις των διαδικασιών στον διαπλανητικό χώρο σχετικά με τις διαδικασίες όπου νέες ενεργές περιοχές δημιουργούνται. Πρακτικά, τέτοιες καθυστερήσεις πράγματι συμβαίνουν, ώστε γνωρίζοντας το μέγεθος της καθυστέρησης και την ταχύτητα των διαταραχών του πλάσματος μπορούμε να υπολογίσουμε το μέγεθος της διαμορφωμένης περιοχής. Αφού, όμως, οι παράμετροι της ηλιακής δραστηριότητας που είναι υπεύθυνοι για την διαμόρφωση της κοσμικής ακτινοβολίας, είναι αβέβαιοι, οι υπολογισμοί έχουν μεγάλες αποκλίσεις.

Σήμερα, με τις μετρήσεις διαμόρφωσης στις 22-23 AU εξάγεται ότι αξιοσημείωτη διαμόρφωση συμβαίνει πέρα από τις 22 AU τουλάχιστον στο ισημερινό επίπεδο του Ηλίου.

Πραγματικά δεδομένα για τη δομή της διαμορφωμένης περιοχής δεν υπάρχουν. Η περιοχή αυτή δεν είναι μάλλον σφαιρική διότι η διαμόρφωση στα μεγάλα πλάτη είναι ασθενέστερη λόγω των χαμηλών διαταραχών και λόγω της ευθυγράμμισης των

μεγάλης κλίμακας μαγνητικών πεδίων στην ακτινική διεύθυνση. Επίσης, υπάρχει διαφορά δραστηριότητας στο βόρειο και νότιο ημισφαίριο του Ήλιου.

Τέλος, η ανάπτυξη των ηλιακών κηλίδων συνοδεύεται και από αύξηση των ρευμάτων του ηλιακού ανέμου στον διαπλανητικό χώρο. Επομένως, οι μεταβολές στο επίπεδο των διαταραχών του ΕΜΠ είναι η κύρια αιτία της 11-ετούς διαμόρφωσης της κοσμικής ακτινοβολίας.



Εικόνα 1: Ενδεκαετής κύκλος της ηλιακής δραστηριότητας σε αντιδιαστολή με την καταγεγραμμένη ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας από τους Μετρητές Νετρονίων

3.2.2 Η 22-ετής διαμόρφωση

Ανάμεσα στην ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας και την ηλιακή δραστηριότητα υπάρχει, ως γνωστόν, μία αντισυσχέτιση η οποία εκφράζεται με διάφορους δείκτες, όπως ο αριθμός των ηλιακών κηλίδων. Σύμφωνα με ερευνητές, υπάρχουν διαφορές ανάμεσα στους άρτιους και τους περιττούς κύκλους του Ήλιου. Αυτές οι διαφορές εκφράζονται και πάλι με τον αριθμό των κηλίδων και αναφέρονται σε 22-ετή μεταβολή της ηλιακής δραστηριότητας (Hale-cycle).

Οι τελευταίες παρατηρήσεις από τους Μετρητές Νετρονίων που καλύπτουν σήμερα παραπάνω από τέσσερις ηλιακούς κύκλους, δείχνουν μια σαφή διαφορετική συμπεριφορά μεταξύ των άρτιων και των περιττών κύκλων, η οποία παρουσιάζεται στον πίνακα που ακολουθεί (Mavromichalaki et al, 1997). Αυτή είναι μια πρώτη ένδειξη για την ύπαρξη μιας 22-ετούς περιοδικότητας στην ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας επί πλέον της γνωστής 11-ετούς μεταβολής.

ΠΕΡΙΤΤΟΙ ΚΥΚΛΟΙ	ΑΡΤΙΟΙ ΚΥΚΛΟΙ
Ένα μέγιστο	Δύο μέγιστα
Απότομη άνοδος και μέγιστο κοντά στο ελάχιστο του κύκλου	Η ροή γίνεται μεγάλη αμέσως μετά το μέγιστο του κύκλου και παραμένει για μεγάλο χρονικό διάστημα
“Saddle-like” σχήμα	“Peak-like” σχήμα
“Mesa-type” μέγιστο	“Point-type” μέγιστο
Επαναφορά διαρκείας (6-8 χρόνια)	Απότομη επαναφορά (2-3 χρόνια)
Μεγάλη χρονική υστέρηση	Μικρή χρονική υστέρηση

Η διαφορετική συμπεριφορά μεταξύ άρτιων και περιττών ηλιακών κύκλων σχετίζεται με την αλλαγή της πολικότητας του ηλιακού μαγνητικού πεδίου που συμβαίνει γύρω στο ηλιακό μέγιστο.

3.2.3 Η 27-ήμερη διαμόρφωση

Όπως γνωρίζουμε, η περιστροφή του Ήλιου γύρω από τον άξονά του διαρκεί 27 μέρες. Η αφετηρία των περιστροφών ορίστηκε από τον J. Bartel στις 8 Φεβρουαρίου του 1832 και για τον λόγο αυτό όταν αναφερόμαστε σε τέτοιου είδους περιστροφές μέχρι σήμερα, δίνουμε έναν αριθμό γνωστό ως Bartel Rotation (BR).

Αυτή η μεταβολή προκαλεί και μια αντίστοιχη 27-ήμερη διαμόρφωση στην κοσμική ακτινοβολία. Το Εσωτερικό Μαγνητικό Πεδίο περιστρέφεται με τον Ήλιο και επειδή δεν έχει αζιμουθιακή ισοτροπία, η Γη βρίσκεται σε περιοχές με μεταβαλλόμενες μετά του αζιμουθίου ιδιότητες του μαγνητικού πεδίου, με αποτέλεσμα μεταβολή της επίγειας κοσμικής ακτινοβολίας. Σαν πηγές έχει δραστήριες περιοχές του Ήλιου (μονοπολικές μαγνητικές περιοχές) που έχουν χρόνο ζωής πολύ μεγαλύτερο της συνοδικής περιόδου του Ήλιου, οπότε οι ίδιες μαγνητικές συνθήκες στο διαπλανητικό διάστημα εμφανίζονται με περιοδικότητα 27 ημερών. Αυτό συμβαίνει σε ήρεμες περιοχές του Ήλιου που στερούνται έκτακτης δραστηριότητας.

Το πλάτος κύμανσης της 27-ήμερης μεταβολής είναι ~5%. Πολλές φορές, όμως, διπλασιάζεται.

3.2.4 Η μείωση κατά Forbush

Η μείωση κατά Forbush είναι μια βραχύχρονη μεταβολή της κοσμικής ακτινοβολίας, που ανακαλύφθηκε από τον φυσικό Scott E. Forbush το 1937, και είναι φαινόμενο παγκοσμίου χρόνου (U.T.) (Forbush, 1937). Παρουσιάζεται με απότομη ελάττωση της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας, κατά τουλάχιστον 5%, σε διάστημα λίγων ωρών, μέχρι 2 μέρες, και επάνοδο σε μερικές μέρες ή εβδομάδες (Pomerantz, 1971). Έχουν παρατηρηθεί μειώσεις και 15-20%.

Είναι φαινόμενο εξωγήινης προέλευσης διότι εμφανίζεται και στους πολικούς σταθμούς. Οι διαφορές οφείλονται στο κατώφλι μαγνητικής δυσκαμψίας και στις ασυμπτωτικές διευθύνσεις των σταθμών.

Η μείωση Forbush οφείλεται σε μηχανισμό ανάλογο με την 11-ετή μεταβολή. Το μαγνητικό πεδίο που φέρεται παγωμένο στον ηλιακό άνεμο θωρακίζει μαγνητικά τη Γη και τα φορτισμένα σωματίδια της γαλαξιακής κοσμικής ακτινοβολίας εκτρέπονται

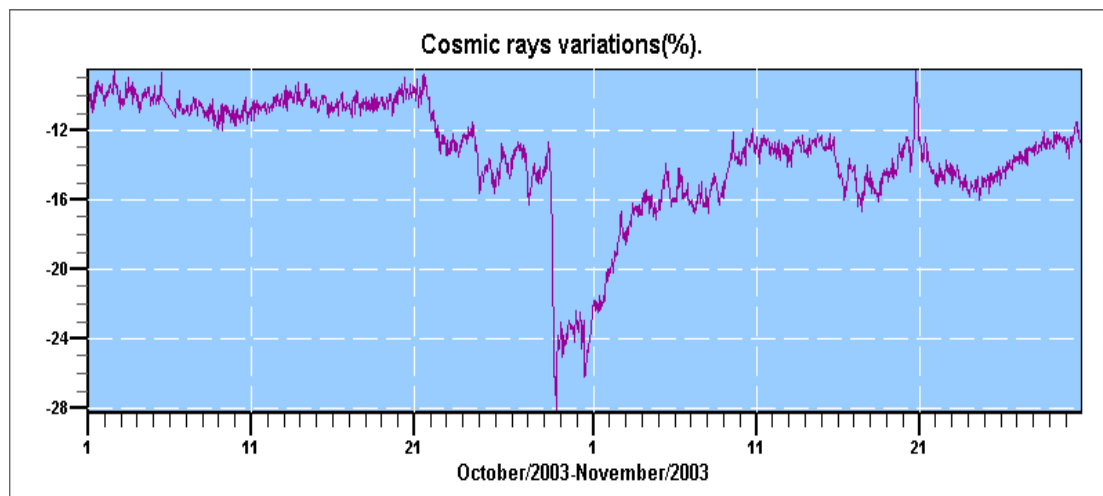
προς τα έξω. Η εκτροπή είναι τόσο μεγαλύτερη όσο εντονότερη είναι η εκπομπή του ηλιακού πλάσματος. Είναι αυξημένη κατά το μέγιστο της 11-ετούς περιόδου του Ήλιου και κατά τις έκτακτες δραστηριότητές του. Η διαφορά έγκειται στη χρονική διάρκεια των φαινομένων και στη γεωμετρική έκταση και μορφή τους στο χώρο του διαστήματος.

Σήμερα, η μείωση Forbush ορίζεται ως 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.

Διακρίνονται δύο βασικοί τύποι μειώσεων (Lockwood, 1972, Belov, 2009):

1. Μη περιοδικές μειώσεις (non-recurrent decreases), που οφείλονται σε παροδικά διαπλανητικά γεγονότα σχετιζόμενα με CMEs από τον Ήλιο. Παρουσιάζουν μια ξαφνική έναρξη, φθάνουν στο μέγιστο περίπου σε μια μέρα και έχουν μια πιο σταδιακή επαναφορά.
2. Σποραδικές μειώσεις (recurrent decreases), που έχουν μια πιο σταδιακή έναρξη, είναι πιο συμμετρικές στο προφίλ και σχετίζονται με ηλιακό άνεμο μεγάλης ταχύτητας.

Ιστορικά, όλες οι μικρής τάξης μειώσεις ονομάζονται «Μειώσεις Forbush». Πολλοί ερευνητές, πάντως, χρησιμοποιούν αυτήν την έκφραση μόνο για μη περιοδικές μεταβολές που σχετίζονται με παροδικές διαταραχές του ηλιακού ανέμου (Belov et al, 2001).



Εικόνα 2: Μείωση Forbush

Η επαλληλία μερικών μειώσεων Forbush ονομάζεται καταιγίδα. Είναι συνυφασμένες συχνά με μαγνητικές καταιγίδες, αλλά η αντιστοιχία δεν είναι αμφιμονοσήμαντη. Και τα δύο φαινόμενα εμφανίζονται 1-2 μέρες μετά από μια ηλιακή έκλαμψη.

3.2.4.1 Ηλιακές εκλάμψεις, Στεμματικές εκπομπές μάζας και Μειώσεις Forbush

Όπως έχει ήδη αναφερθεί με λεπτομέρειες στο Κεφάλαιο 2 της παρούσης εργασίας και συνοπτικά αναφέρεται εδώ, μια ηλιακή έκλαμψη συμβαίνει όταν εκλύεται ξαφνικά η μαγνητική ενέργεια που έχει συγκεντρωθεί στην ηλιακή ατμόσφαιρα. Τότε εκλύεται ακτινοβολία σχεδόν σε όλο το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα, από τα ραδιοκύματα μέχρι τις ακτίνες-Χ και -γ. Σωματίδια όπως πρωτόνια, ηλεκτρόνια και βαρείς πυρήνες, θερμαίνονται και επιταχύνονται στην ηλιακή ατμόσφαιρα. Η ενέργεια που εκλύεται είναι της τάξης του 10^{27} erg/sec που μπορεί να φτάσει και μέχρι 10^{32} erg/sec. Συνήθως, συμβαίνουν σε τρία στάδια που διαρκούν από μερικά δευτερόλεπτα μέχρι μια ώρα. Η συχνότητά τους συνδέεται με τον 11-ετή κύκλο του Ήλιου, καθώς οι ενεργές περιοχές (active regions) από τις οποίες παράγονται, είναι μικρές και λίγες στο ελάχιστο της ηλιακής δραστηριότητας.

Οι Στεμματικές Εκπομπές Μάζας (Coronal Mass Ejections-CMEs) είναι τεράστιες περιοχές αερίου συνδεδεμένο με μαγνητικές γραμμές που εκτοξεύονται από τον Ήλιο σε διάρκεια μερικών ωρών. Το αέριο βρίσκεται σε κατάσταση πλάσματος και αποτελείται κυρίως από υδρογόνο, ένα μικρό ποσοστό ηλίου και πολύ μικρές ποσότητες βαρύτερων στοιχείων. Συνδέονται συχνά με τις ηλιακές εκρήξεις και τις προεξοχές (prominence eruptions) αν και μπορούν να συμβούν και χωρίς αυτές τις διαδικασίες. Σε περιόδους μέγιστης ηλιακής δραστηριότητας έχουμε 2-3 CMEs κάθε μέρα, ενώ στο ελάχιστο περίπου μία την εβδομάδα, καταστρέφοντας έτσι τη φυσιολογική ροή του ηλιακού ανέμου και προκαλώντας διαταραχές στη Γη. Από το 1996, οι γνώσεις μας για τις CMEs έχουν εμπλουτιστεί με τις μετρήσεις του LASCO στεμματογράφου από το SOHO. Πάντως, τα χαρακτηριστικά τους συμφωνούν με προηγούμενες παρατηρήσεις στεμματογράφων.

Τόσο οι ηλιακές εκλάμψεις, όσο και οι στεμματικές εκπομπές μάζας έχουν τη δυνατότητα να προκαλέσουν μειώσεις Forbush. Στα δύο τρίτα των απλών μειώσεων Forbush, οι ηλιακές εκλάμψεις που τις προκαλούν εμφανίζονται δύο με τρεις μέρες πριν από αυτές. Ο Harang (1968) κατέληξε ότι απλές μειώσεις Forbush παράγονται από μια μόνο έκλαμψη μέσω της εκπομπής νέφους σωματιδίων.

Οι μειώσεις Forbush της κοσμικής ακτινοβολίας που σχετίζονται με στεμματικές εκπομπές μάζας, είναι τριών ειδών: αυτές που συνοδεύονται από μέτωπα κρούσης και εκπομπές μάζας, αυτές που συνοδεύονται μόνο από μέτωπα κρούσης και αυτές που συνοδεύονται μόνο από εκπομπές μάζας. Έχει βρεθεί ότι οι μειώσεις Forbush είναι μικρότερου μεγέθους όταν συνοδεύονται μόνο από μέτωπα κρούσης, ενώ η πλειονότητα (80%) των απλών μειώσεων μεγαλύτερων από 4% είναι του τύπου μέτωπο κρούσης και εκπομπής μάζας (Cane, 2000). Μόνο πολύ ενεργητικές CMEs δημιουργούν μέτωπα κρούσης, τα οποία είναι αρκετά ισχυρά για να προκαλούν ουσιαστικές μειώσεις της κοσμικής ακτινοβολίας. Τότε τα μέτωπα κρούσης δημιουργούν μεγάλες αυξήσεις ενεργητικών ηλιακών σωματιδίων (Solar energetic particles-SEPs). Τα ενεργητικά σωματίδια αποτελούν επιβεβαίωση ότι η μείωση της κοσμικής ακτινοβολίας προήλθε από μέτωπο κρούσης από στεμματική εκπομπή μάζας και όχι από περιστρεφόμενο ρεύμα ηλιακού ανέμου. Αυτοί οι δύο τύποι ελαττώσεων εμφανίζονται ίδιοι, καθώς οι τοπικές συνθήκες του ηλιακού ανέμου είναι ίδιες. Πάντως, τα περιστρεφόμενα ρεύματα δεν προκαλούν μετρήσιμες αυξήσεις σωματιδίων πάνω από ~ 20 MeV \cdot amu⁻¹ στην 1 AU.

Έχει επίσης βρεθεί ότι το βάθος της μείωσης είναι μεγαλύτερο όταν η συσχετιζόμενη εκπομπή μάζας προέρχεται κοντά από τον ηλιακό μεσημβρινό και η

τεράστια πλειοψηφία των γεγονότων Forbush προκαλούνται από CMEs που δημιουργήθηκαν ανάμεσα στις 0 και 50 μοίρες ηλιογραφικού πλάτους.

Μέχρι σήμερα, οι ερευνητές δεν έχουν καταλήξει εάν υπάρχει κάποιος σαφής μηχανισμός που να συνδέει τις ηλιακές εκλάμψεις και τις στεμματικές εκπομπές μάζας τόσο μεταξύ τους όσο και με τις μειώσεις Forbush. Οι στεμματικές εκπομπές μάζας μπορούν να δώσουν μειώσεις Forbush ανεξάρτητα από την ύπαρξη ηλιακών εκλάμψεων και αντίστροφα, ωστόσο η πλειονότητα των μελετών δείχνει ότι οι πιο ισχυρές μειώσεις προέρχονται από συσχετισμένα γεγονότα στεμματικών εκπομπών μάζας με ηλιακές εκλάμψεις (Mavromichalaki et al, 2005).

3.2.4.2 Ιδιότητες της μείωσης Forbush

Γενικά οι μειώσεις Forbush εμφανίζουν τις παρακάτω ιδιότητες:

1. Προηγείται μικρή μείωση (1-3%) (προ μείωση) που συμβαίνει 3-18 μέρες πριν την κύρια φάση του γεγονότος.
2. Πριν τη μείωση υπάρχει προσαύξηση (1-2%) που προέρχεται από την ανάκλαση Κοσμικών Ακτίνων στο ωστικό κύμα του Ηλιακού Ανέμου.
3. Η ανάληψη ακολουθεί εκθετική μορφή, ενίοτε ευθεία $\Delta I(t) = \Delta I_0 e^{-t/\tau}$, όπου $\Delta I(t)$ η μείωση σε χρόνο t , ΔI_0 η μείωση σε χρόνο 0 και τ σταθερά χρόνου αναλήψεως. Ταχύτερη ανάληψη έχουν τα φαινόμενα με μεγάλο k_p που προέρχονται από εκλάμψεις πλησίον του κεντρικού μεσημβρινού του ήλιου. Υπάρχουν επίσης φαινόμενα με χρόνο ανάληψης $\tau \rightarrow \infty$.
4. Το μέγεθος της μείωσης Forbush εξαρτάται από τη φάση του ηλιακού κύκλου.
5. Οι σταθμοί που ανιχνεύουν σωμάτια μικρής ενέργειας παρουσιάζουν μεγαλύτερη μείωση σε μέγεθος και διάρκεια.
6. Υπάρχουν μειώσεις Forbush που επαναλαμβάνονται μετά από 27-μέρες. (Fd εκ περιστροφής).

3.2.4.3 Μηχανισμοί των μειώσεων Forbush

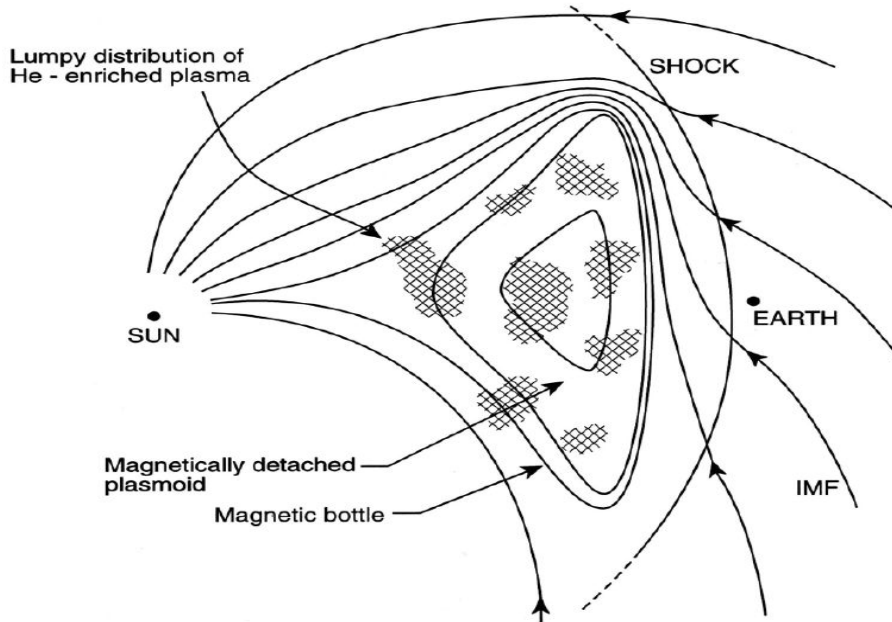
α) Πρότυπο μαγνητικής φιάλης

Κατά τον Dorman και τον Gold η διαφορά μεταξύ των μειώσεων Forbush οφείλεται στον διάφορο τρόπο όπου η Γη βρίσκεται μέσα στη δέσμη του ηλιακού πλάσματος και στη διαφορά των ταχυτήτων του ηλιακού ανέμου που μεταφέρει παγωμένο το μαγνητικό πεδίο. Η μεταβολή της έντασης των κοσμικών ακτίνων εξαρτάται από την εκάστοτε μικρότερη απόσταση της Γης από το πλησιέστερο χείλος της δέσμης. Έτσι, σωματίδια μικρής μαγνητικής δυσκαμψίας εμποδίζονται να εισέλθουν στη γλώσσα του ηλιακού ανέμου, ενώ παγιδεύονται σωματίδια ηλιακής προέλευσης από τις δυναμικές γραμμές της γλώσσας. Αν οι δυναμικές γραμμές ήταν τελείως κανονικές, σωματίδια μικρής ενέργειας δεν θα περνούσαν καθόλου στο εσωτερικό της φιάλης, αλλά λόγω ανωμαλιών του πεδίου σκεδάζονται με αποτέλεσμα να εισέρχονται μερικά.

Η μέγιστη και η ελάχιστη δυσκαμψία που πρέπει να έχουν σωματίδια που φθάνουν στη γη είναι:

$$P_{\max} = \frac{300M}{R_e^2} \quad P_{\min} = \frac{1}{(\sqrt{2} + 1)^2} \cdot \frac{300M}{R_e^2}$$

όπου R_e η απόσταση της Γης από το κέντρο του δίπολου.



Εικόνα 3: Πρότυπο μαγνητικής φιάλης

β) Πρότυπο ωστικού κύματος

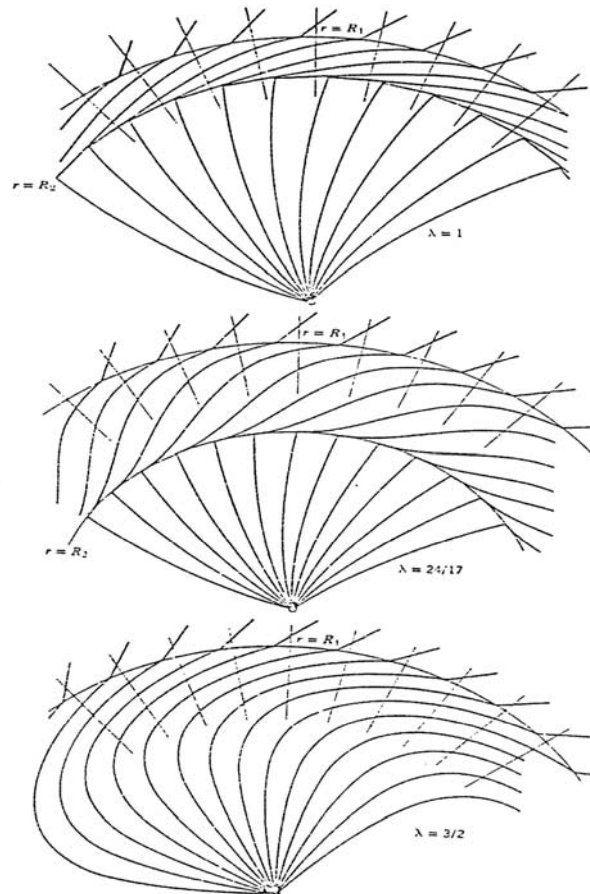
Κατά την απότομη εκτόνωση του ηλιακού στέμματος μετά από μια ηλιακή έκλαμψη δημιουργείται ένα κύμα σφαιρικό που διαδίδεται ακτινικά στο διαπλανητικό χώρο. Τότε έχουμε αύξηση της αζιμουθιακής συνιστώσας του μαγνητικού πεδίου πίσω από το μέτωπο κρούσεως. Αυτή η μεταβολή δημιουργεί έναν κόμβο (link) σε κάθε δυναμική γραμμή του μαγνητικού πεδίου. Η παρουσία του ισχυρού μαγνητικού πεδίου θωρακίζει το εσωτερικό της σφαίρας, διότι οι δυναμικές γραμμές είναι σχεδόν παράλληλες προς την επιφάνεια της σφαίρας και συνεπώς ανακλούν τα φορτισμένα σωματίδια της Κοσμικής Ακτινοβολίας προς τα έξω γιατί δεν μπορούν να περάσουν κάθετα στις δυναμικές γραμμές και επομένως ανακλώνται με αποτέλεσμα τη δημιουργία μιας μείωσης Forbush.

Ανάλογα του τρόπου μεταβολής της ταχύτητας του ηλιακού ανέμου συναρτήσει του χρόνου, έχουμε διάφορες μορφές ωστικών κυμάτων. Συνήθως, το κανονικό σπειροειδές μαγνητικό πεδίο συμπιέζεται από το ωστικό κύμα κατά δέκα φορές. Έτσι, εμποδίζει σημαντικά την είσοδο Κοσμικών Ακτίνων στην όπισθεν του κύματος περιοχή. Ο λόγος των πυκνοτήτων της Κοσμικής Ακτινοβολίας εντός και εκτός του κελύφους του ωστικού κύματος είναι:

$$\frac{\eta'}{\eta} = 1 - \frac{4fV}{v}$$

όπου η' η πυκνότητα εντός και η η πυκνότητα εκτός της εκτονούμενης περιοχής, f παράγων συμπίεσεως, V η ταχύτητα του ωστικού κύματος και v η ταχύτητα σωματιδίων ($v=c$).

Η παράμετρος παραμόρφωσης $\lambda=Mg(a)/kT(a)$ εξαρτάται από την ενέργεια λόγω βαρύτητας και τη θερμική ενέργεια.



Εικόνα 4: Παραμόρφωση του διαπλανητικού μαγνητικού πεδίου για τρεις διάφορες τιμές της λ

3.3 Ανισότροπες Μεταβολές

3.3.1 Η ημερήσια μεταβολή

Ήδη από το 1938 είχε αναφερθεί η ύπαρξη ενός μεγίστου στην ένταση της Κοσμικής Ακτινοβολίας κατά τις πρώτες απογευματινές ώρες. Είναι μεταβολή περιοδικότητας 24 hr και τοπικού χρόνου. Τα συμπεράσματα που μπορούμε να εξάγουμε για την ανισοτροπία της πρωτογενούς Κοσμικής Ακτινοβολίας, από την οποία προήλθε η ημερήσια μεταβολή στη Γη, είναι ότι έχει μεταβλητό χαρακτήρα και τα μέσα ετήσια χαρακτηριστικά παρουσιάζουν εντυπωσιακή συσχέτιση με τον 11-ετή κύκλο.

Το μέσο πλάτος της ημερήσιας ανισοτροπίας είναι 0.4%, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να φθάσει και το 1.5%.

Ένα ενδιαφέρον φαινόμενο είναι η αύξηση του πλάτους και συγχρόνως η μετατόπιση της φάσης επί σειρά ημερών κατά τη διάρκεια τόσο διαταραγμένων όσο και ήσυχων περιόδων (large amplitude wave trains).

Η θεωρία μεταφοράς-διάχυσης όπως έχει επεκταθεί σήμερα και στις γαλαξιακές Κοσμικές Ακτίνες δίνει μια ικανοποιητική εξήγηση στις μεταβολές και την ποικιλία των χρόνων της μέγιστης έντασης της αυξημένης ημερήσιας ανισοτροπίας.

3.3.2 Η ημήμερησια μεταβολή

Είναι μεταβολή περιοδικότητας 12 hr. Δεν έχει αποδειχθεί πλήρως η εξωγήινη προέλευση.

Τα κυριότητα χαρακτηριστικά της είναι:

1. Το ετήσιο πλάτος της ημήμερησιας ανισοτροπίας στον διαπλανητικό χώρο είναι $0.11 \pm 0.02\%$ με μέγιστο τη διεύθυνση της 3.00 hr που είναι κάθετη στη διεύθυνση του μέσου ανύσματος του ΕΜΠ.
2. Το πλάτος και η φάση της είναι χρονικά ανεξάρτητες.
3. Η ανισοτροπία εξαρτάται από τη μαγνητική δυσκαμψία κατά το νόμο R^γ όπου γ ο ενεργειακός εκθέτης με τιμές 1.0 ± 0.1 . Η παρατηρούμενη ημήμερησια συνιστώσα στους ισημερινούς σταθμούς θα είναι μεγαλύτερη από την παρατηρούμενη στους σταθμούς ψηλού και μέσου πλάτους.
4. Το πλάτος της ανισοτροπίας εξαρτάται από το $\cos^4 \Lambda$, όπου $n \geq 2$ και Λ το μέσο ασυμπτωτικό πλάτος του σταθμού. Τα πειραματικά δεδομένα δείχνουν μια σαφή εξάρτηση από το $\cos^2 \Lambda$.
5. Οι πειραματικές παρατηρήσεις δείχνουν ότι υπάρχει ένα άνω όριο μαγνητικής δυσκαμψίας R_{\max} πέραν του οποίου τα σωματίδια δεν δείχνουν ημήμερησια ανισοτροπία. Οι Rao και Agrawal υπολογίζουν ότι είναι $R_{\max} = 200 \text{ GV}$ για το 1966.

Η ημήμερησια μεταβολή προέρχεται από μια βαθμίδα πυκνοτήτων των σωματιδίων σ'ένα επίπεδο κάθετο στο επίπεδο της εκλειπτικής, με αποτέλεσμα ένας επίγειος μετρητής σωματιδίων που κοιτάζει κατά μήκος των δυναμικών γραμμών του ΕΜΠ (garden-hose direction) να μετρά ροή χαρακτηριστική του ισημερινού επιπέδου του Ήλιου. Αντίθετα, ο μετρητής που κοιτάζει σε διεύθυνση κάθετη προς το μαγνητικό πεδίο μετρά σωματίδια που φθάνουν από ψηλότερα ηλιογραφικά πλάτη. Αυτά υφίστανται μικρότερη διαμόρφωση από τα σωματίδια του ισημερινού επιπέδου του Ήλιου λόγω της σπειροειδούς μορφής του μαγνητικού πεδίου. Όσο μεγαλύτερη είναι η ενέργεια των σωματιδίων, τόσο μεγαλύτερο είναι το ηλιογραφικό πλάτος απ'όπου προέρχονται. Συνεπώς, η θετική βαθμίδα πυκνότητας των κοσμικών ακτίνων με το αυξανόμενο ηλιογραφικό πλάτος δίνει ένα ημήμερησιο μέγιστο με διεύθυνση κάθετη στη διεύθυνση του ΕΜΠ. Αυτό προκύπτει από το ότι η γη καθώς περιστρέφεται περί τον άξονά της κατά την διάρκεια μιας μέρας, μετρά την ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας δυο φορές κατά μήκος και δυο φορές κάθετα προς τη διεύθυνση του μαγνητικού πεδίου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ IV

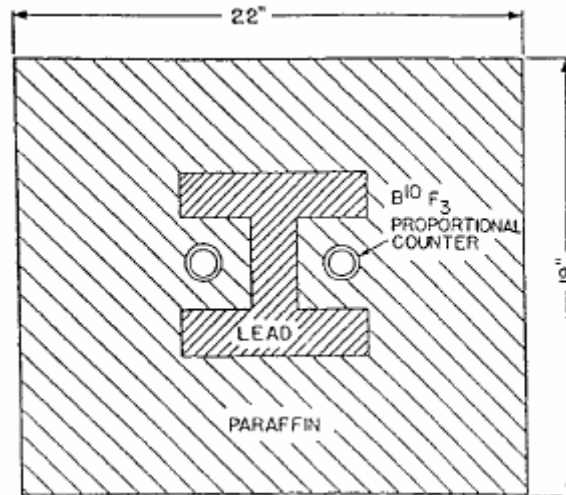
Μετρητής Νετρονίων

4.1 Ο μετρητής νετρονίων

Ο μετρητής νετρονίων αποτελεί το πιο διαδεδομένο όργανο επίγειας καταμέτρησης της κοσμικής ακτινοβολίας. Παρακάτω θα αναφερθούμε στην ανάπτυξη, το σχεδιασμό και τα χαρακτηριστικά του στη διάρκεια των ~ 56 χρόνων λειτουργίας του.

4.1.1 Ανάπτυξη των μετρητών νετρονίων

Ο πρώτος μετρητής νετρονίων κατασκευάστηκε μέσα στο διάστημα 1948-1949 από τον J. Simpson (2000), ο οποίος πραγματοποίησε ένα πλήθος πειραμάτων προκειμένου να επιλέξει το καταλληλότερο απορροφητικό υλικό καθώς και να προσδιορίσει τη γεωμετρία που θα έπρεπε να είχε το μετρητικό σύστημα ώστε οι καταγραφόμενες εντάσεις της κοσμικής ακτινοβολίας να είναι σε συμφωνία με τις προβλέψεις της θεωρίας (Simpson and Uretz, 1953). Ο Simpson κατασκεύασε τον μετρητή νετρονίων προκειμένου να αποδείξει την ύπαρξη μιας δυναμικής ηλιόσφαιρας, η οποία διαμορφώνει τη ροή των γαλαξιακών κοσμικών ακτίνων (Simpson, 2000). Το πρώτο βασικό πρότυπο-σχέδιο ενός μετρητή νετρονίων παρουσίαζε ένα σύστημα οι καταγραφές του οποίου είχαν αποκλειστικά εξάρτηση από τη βαρομετρική πίεση και το οποίο μπορούσε να επεκταθεί σε μέγεθος έτσι ώστε να πολλαπλασιαστεί ο ρυθμός με τον οποίο κατέγραφε σωμάτια (Simpson, 1953; Simpson et al., 1953). Έτσι, το σύστημα των 12 μετρητών αποτέλεσε αρχικά ένα πρότυπο για το σχεδιασμό των μετρητικών συστημάτων στο Climax και στο Chicago το 1949, το οποίο στη συνέχεια υιοθετήθηκε από περισσότερους από 50 σταθμούς κοσμικής ακτινοβολίας παγκοσμίως στα πλαίσια του διεθνούς γεωφυσικού έτους (International Geophysical Year (1957-1958)) (Simpson, 1958). Για το λόγο αυτό, οι πρώτοι αυτοί μετρητές νετρονίων ονομάζονται και IGY μετρητές. Το πρώτο δίκτυο μετρητών νετρονίων τύπου IGY λειτούργησε από τον Ιούλιο του 1957 μέχρι το Δεκέμβριο του 1958 και έπαιξε καθοριστικό ρόλο στη σημερινή γνώση γύρω από το διαπλανητικό περιβάλλον και ειδικότερα το ηλιακό μαγνητικό πεδίο και την αλληλεπίδρασή του με τα σωμάτια της κοσμικής ακτινοβολίας (Hatton, 1971).



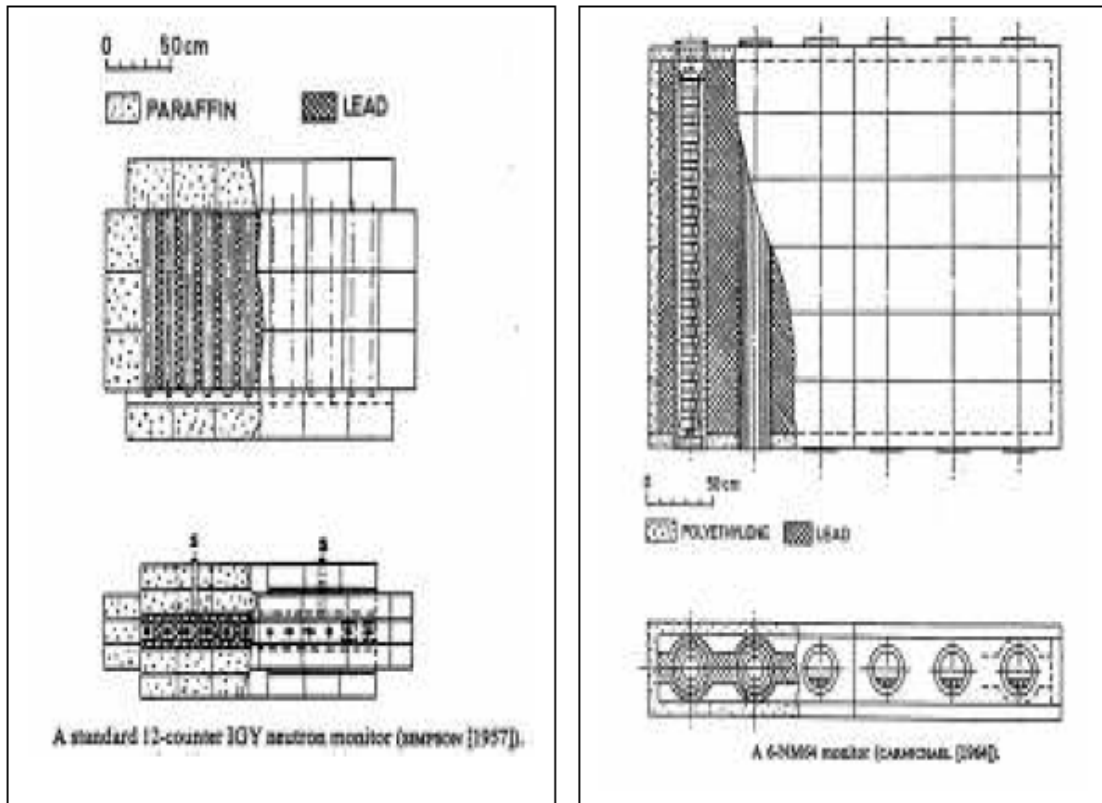
Εικόνα 1: Διατομή του πρώτου μετρητικού συστήματος που χρησιμοποιήθηκε στους μετρητές νετρονίων του Climax Chicago (Simpson, 1953)

Οι προσπάθειες για την κατασκευή ενός μετρητικού συστήματος μεγαλύτερης στατιστικής ακρίβειας δεν σταμάτησαν το 1958. Το 1959 κατασκευάστηκαν από την ερευνητική ομάδα του πυρηνικού εργαστηρίου του Chalk River αρκετοί αναλογικοί μετρητές τριφθοριούχου βορίου, οι οποίοι είχαν ασυνήθιστα μεγαλύτερο μέγεθος (6 inches διάμετρος και 68 inches μήκος) από αυτό των μετρητών IGY, προκειμένου να χρησιμοποιηθούν στο σταθμό κοσμικής ακτινοβολίας του Deep River (Hatton and Carmichael, 1964). Η απόδοση των καινούριων αυτών μετρητών έδειχνε να είναι αρκετά καλή με αποτέλεσμα να ξεκινήσει από την ερευνητική ομάδα του Chalk River μια σειρά πειραμάτων προκειμένου να προσδιοριστεί ο βέλτιστος σχεδιασμός ενός μετρητικού συστήματος με μέγεθος πολύ μεγαλύτερο από αυτό που μέχρι τότε συνίστατο για παγκόσμια χρήση κατά τη διάρκεια του διεθνούς γεωφυσικού έτους (Simpson, 1959). Τα νέα μετρητικά συστήματα είχαν μεγαλύτερους ρυθμούς καταγραφής σωματίων, γεγονός που φάνηκε έντονα όταν κατά τη διάρκεια του ηλιακού γεγονότος κοσμικής ακτινοβολίας της 20ης Ιουλίου 1961 παρατηρήθηκε μια μικρή επαύξηση στην ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας στο μετρητή νετρονίων του Deep River. Τα αποτελέσματα των παρατηρήσεων των καινούργιων μετρητών νετρονίων αναφέρθηκαν το Σεπτέμβριο του 1961 στην Επιτροπή Διακυμάνσεων της Έντασης της Κοσμικής Ακτινοβολίας (Subcommittee on Cosmic Ray Intensity Variations ή SCRIV) η οποία και συνέστησε ότι τόσο για τους μετρητές νετρονίων όσο και για τους μετρητές μεσονίων ήταν επιθυμητοί υψηλότεροι ρυθμοί καταγραφής σωματίων (Hatton and Carmichael, 1964). Ο ρυθμός καταγραφής σωματίων για έναν μετρητή IGY ήταν ήδη πολύ χαμηλός: $\sim 25000/h$ (Hatton, 1971). Προκειμένου να βελτιωθεί η στατιστική ακρίβεια των δεδομένων ήταν απαραίτητο ο ρυθμός καταγραφής σωματίων να ανέλθει στα $\sim 106/h$. Οι νέοι μετρητές που κατασκευάστηκαν στο Chalk River είχαν ρυθμούς καταγραφής σωματίων που έφταναν τα $\sim 750000/hour$ και για αυτό το λόγο ονομάστηκαν υπερ-μετρητές (“super monitors”) σε αντίθεση με τους ήδη υπάρχοντες, μικρότερους σε μέγεθος, μετρητές νετρονίων IGY. Ανατέθηκε επιπλέον στην ομάδα του Chalk River να τελειοποιήσει το σχεδιασμό των υπερ-μετρητών έτσι ώστε να κατασκευαστεί ένας μεγάλος αριθμός από αυτούς, προορισμένος για παγκόσμια χρήση.

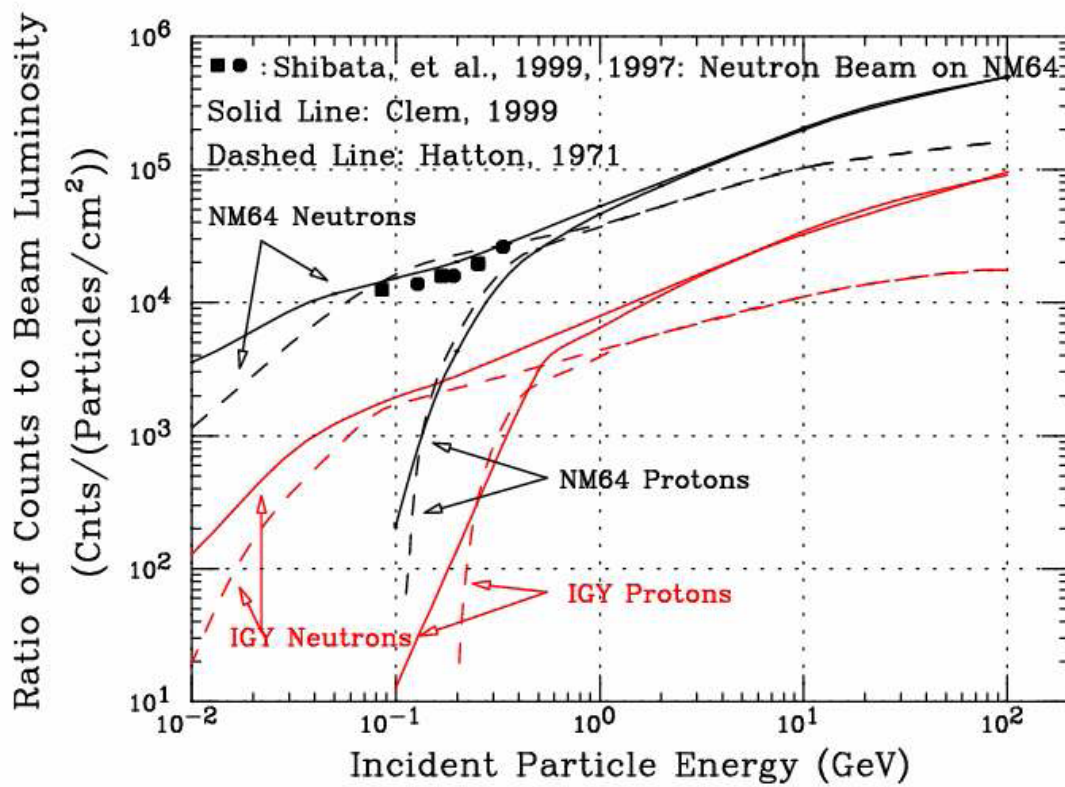
Μια σημαντική καινοτομία πριν την απόκτηση της τελικής μορφής των νέων μετρητών νετρονίων ήταν η αντικατάσταση της παραφίνης του εξωτερικού τμήματος του μετρητή από πολυαιθυλένιο. Τον μετρητή τώρα περιστοιχίζει ένας πολυαιθυλενικός σωλήνας, ο οποίος δρούσε προστατευτικά ως προς το μετρητή χωρίς να κινδυνεύει να σπάσει. Επιπλέον, ο ανακλαστήρας του νέου μετρητικού συστήματος μπορούσε να εγκατασταθεί πολύ πιο εύκολα απ' ότι ο παλιός. Όσον αφορά την αποδοτικότητα, το πολυαιθυλένιο δε δρούσε καλύτερα από την παραφίνη. Εντούτοις για να περιστοιχιστεί ένας μετρητής από παραφίνη απαιτείτο μια αρκετά μεγάλη κατασκευή με αποτέλεσμα την αναπόφευκτη απορρόφηση κάποιου ποσοστού νετρονίων.

Τα πειράματα πάνω στο σχεδιασμό των νέων υπερ-μετρητών συνεχίστηκαν έως το διεθνές Έτος Ήρεμου Ηλίου (1964-1965) ή IQSY (International Quiet Sun Year), πότε και καθιερώθηκε το πρότυπο του μετρητή νετρονίων που υπάρχει μέχρι και σήμερα. Ο νέος μετρητής νετρονίων ονομάστηκε υπερ-μετρητής 64 (Super Neutron Monitor-64 ή sNM64. Από το 1970 και μετά, οι περισσότεροι σταθμοί κοσμικής ακτινοβολίας χρησιμοποιούν τους μετρητές sNM64, όμως υπάρχουν και ορισμένοι που έχουν διατηρήσει μετρητές IGY, όπως π.χ. ο σταθμός του Potchefstroom. Παρακάτω θα χρησιμοποιούμε την ονομασία NM64 αντί της sNM64.

Η κατασκευή του πρώτου μετρητή νετρονίων NM64 ολοκληρώθηκε το 1963 και η δομή του φαίνεται στην Εικόνα 2. Οι Hatton και Carmichael (1964) υπολόγισαν την ολική απόδοση καταγραφής σωματίων ενός μετρητή NM64 ως $(5.7 \pm 0.6)\%$. Η ολική απόδοση καταγραφής σωματίων ενός μετρητή IGY είναι 3 φορές μικρότερη $(1.9 \pm 0.3)\%$. Στην εικόνα φαίνεται επίσης και η δομή του παλαιότερου μετρητή IGY, που είχε κατασκευάσει ο Simpson. Τα χαρακτηριστικά των δύο διαφορετικών τύπων μετρητικών συστημάτων παρουσιάζονται αναλυτικά στον Πίνακα 1. Τόσο ο μετρητής NM64 όσο και ο IGY είναι εφοδιασμένοι με τριφθοριούχο βόριο. Στον Πίνακα 1 έχουν συμπεριληφθεί και τα χαρακτηριστικά ενός νέου τύπου μετρητή NM64, του LND25373, ο οποίος ουσιαστικά διαφοροποιείται από τον κλασικό τύπο NM64 στο ότι έχει χρησιμοποιηθεί το ^3He αντί του BF_3 . Για τους καινούριους αυτούς μετρητές θα γίνει λόγος στην παράγραφο 4.1.2.1. Μια σύγκριση της απόδοσης στην καταγραφή των σωματίων μεταξύ των μετρητών νετρονίων NM64 και IGY πραγματοποιήθηκε και από τον Clem (2004). Τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης παρουσιάζονται στην Εικόνα 3 σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα των Shibata et al. (1999) και Hatton (1971). Τα κυκλικά σύμβολα είναι οι πειραματικές μετρήσεις με έναν μετρητή NM64 των Shibata et al (1999). Οι διακεκομμένες γραμμές αντιπροσωπεύουν τα αποτελέσματα των υπολογισμών του Hatton (1971), ενώ οι κανονικές γραμμές είναι τα αποτελέσματα των Clem et al. (1997). Από την Εικόνα 3 φαίνεται ξεκάθαρα ότι στην περιοχή των πειραματικών μετρήσεων τα δύο μοντέλα βρίσκονται σε συμφωνία, συνεπώς η συγκεκριμένη περιοχή αποτελεί την περιοχή μέγιστης απόκρισης ενός μετρητή νετρονίων.



Εικόνα 2: Αριστερή εικόνα : δομή του μετρητικού συστήματος IGY (Stoker et al., 2000). Δεξιά εικόνα: δομή του μετρητικού συστήματος sNM64 (Hatton and Carmichael, 1964).



Εικόνα 3: Σύγκριση μετρητών NM64 και IGY (Clem, 1999)

ΠΙΝΑΚΑΣ 1

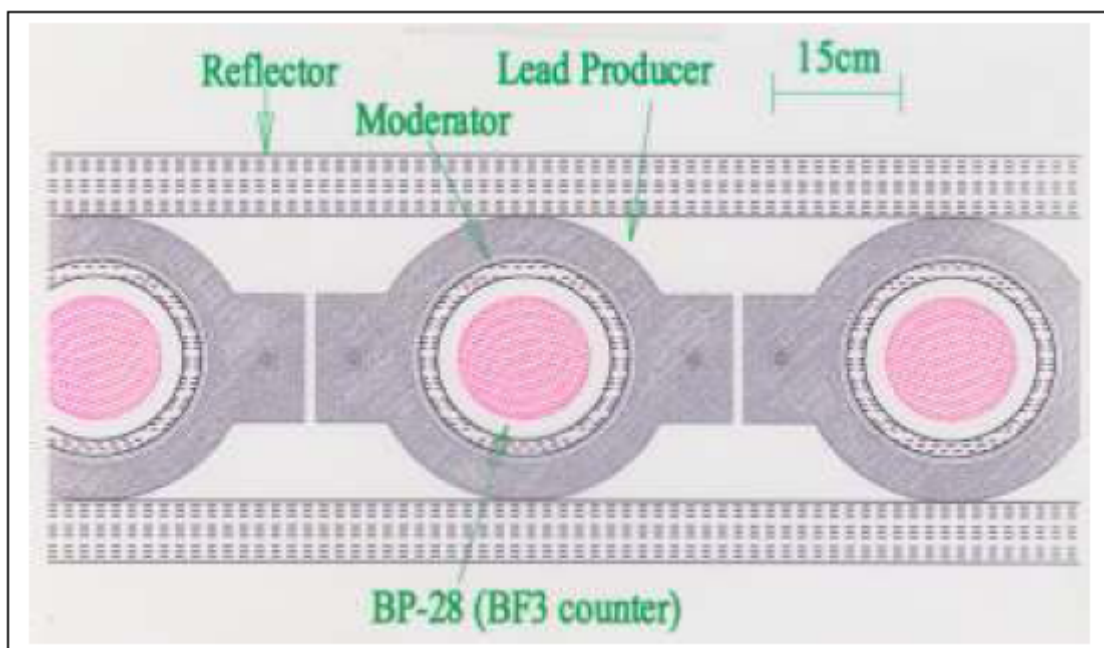
Σύγκριση τεχνικών χαρακτηριστικών των μετρητών NM64 και IGY
 Τα στοιχεία είναι από Hatton and Carmichael (1964), Pyle et al. (1999) και Stoker et al. (2000).

	6NM64	6NM64	IGY
Μετρητής			
Είδος	BP28	LND25373	NW G-15-34A
Αέριο	$^{10}\text{BF}_3$	$97\% \text{}^3\text{He} + 3\% \text{CO}_2$	$^{10}\text{BF}_3$
Αριθμός μετρητών	6	6	12
Διάμετρος (cm)	14.8	4.9	3.8
Απόσταση μετρητών (cm)	50.0	50.0	15.2
Ενεργό μήκος (cm)	191	190.8	86.4
Πίεση (mmHg)	200	3040	450
Τάση λειτουργίας (V)	2800	1300	1950
Μήκος απορρόφησης θερμικών νετρονίων (cm)	41	1.9	18.2
Επιβραδυντής			
Υλικό	Πολυαιθυλένιο		Παραφίνη
Μέση ποκνότητα (g / cm^2)	1.84		2.95
Μέσο πάχος (cm)	2		3.7
Παραγωγός			
Υλικό	Lead		Lead
Μέση ποκνότητα g / cm^2	156		153
Μήκος (cm)	207		102
Επιφάνεια (m^2)	6.21		1.9
Ανακλαστήρας			
Υλικό	Πολυαιθυλένιο		Παραφίνη
Μέση ποκνότητα g / cm^2	7.0		25.8
Μέσο πάχος (cm)	7.5		30.5
Μήκος (cm)	222		168

Ρυθμός καταγραφής (σωμάτια/ m^2 παραγωγού)	42000/h	12800/h
--	---------	---------

4.1.2 Σχεδιασμός των μετρητών νετρονίων

Ένας μετρητής νετρονίων αποτελείται από έναν αναλογικό μετρητή αερίου (gas-filled proportional counter), ο οποίος περιβάλλεται από ένα σύστημα τριών εξαρτημάτων: α) τον επιβραδυντή των νετρονίων (moderator), β) τον παραγωγό σωματίων (lead producer) και γ) τον ανακλαστήρα σωματίων (reflector). Η δομή ενός μετρητή παρουσιάζεται στην Εικόνα 4. Τα νετρόνια επιβραδύνονται από υλικά με χαμηλό ατομικό αριθμό και κατόπιν πολλαπλασιάζονται από το υλικό του παραγωγού σωματίων που περιβάλλει τους μετρητές. Πολλά πειράματα έχουν πραγματοποιηθεί προκειμένου να βρεθεί το βέλτιστο πρότυπο κατασκευής ενός μετρητή νετρονίων τύπου IGY ή NM64. Ο σχεδιασμός και η λειτουργία καθενός από τα εξαρτήματα που συνιστούν ένα μετρητή νετρονίων θα περιγραφούν παρακάτω.



Εικόνα 4: Η δομή ενός μετρητή νετρονίων (Clem, 2004).

4.1.2.1 Αναλογικός μετρητής αερίου (gas-filled proportional counter)

Οι μετρητές νετρονίων πρέπει να είναι κατασκευασμένοι με τέτοιο τρόπο ώστε να ανιχνεύουν, ως επί το πλείστον, νετρόνια. Τα ελεύθερα νετρόνια, όμως, δεν δύνανται να ιονίσουν ή να διεγείρουν τα άτομα. Αλληλεπιδρούν με την ύλη κυρίως μέσω των συγκρούσεών τους με τα άτομα ή τους πυρήνες. Τα προϊόντα των πυρηνικών αντιδράσεων που πραγματοποιούν τα νετρόνια μέσω των διαδικασιών της διάχυσης (scattering) ή της απορρόφησης (absorption) είναι αυτά που έχουν φορτίο και έτσι δύνανται να ανιχνευτούν και να καταγραφούν. Καθοριστικής σημασίας για τους μετρητές αυτούς είναι η μικροσκοπική ενεργή διατομή (σ) των πυρήνων, η οποία αποτελεί την ενεργό επιφάνεια ενός πυρήνα τη στιγμή που βομβαρδίζεται από το νετρόνιο κατά τη συγκεκριμένη αντίδραση. Εξαρτάται από το είδος του πυρήνα όπως επίσης και από την ενέργεια του προσπίπτοντος νετρονίου και εκφράζει την πιθανότητα αλληλεπίδρασης των δυο τους.

Στην περίπτωση των αναλογικών μετρητών νετρονίων, προκειμένου να παρατηρήσει κανείς παλμούς πρέπει να πραγματοποιηθεί σημαντική ενίσχυση του σήματος. Κατά τη διάρκεια που η τάση αυξάνεται, τα επιταχυνόμενα ηλεκτρόνια δύνανται να πραγματοποιήσουν ανελαστικές συγκρούσεις και να ιονίσουν τα ουδέτερα άτομα της ύλης. Η ταχεία ενίσχυση μέσω των δευτερογενών ιονισμών ονομάζεται χιονοστιβάδα (avalanche). Παρά το γεγονός ότι υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός δευτερογενών γεγονότων που αντιστοιχούν σε κάθε πρωτογενές ιόν, ο αναλογικός μετρητής λειτουργεί με τέτοιο τρόπο ώστε να θεωρεί ότι ο αριθμός των δευτερογενών γεγονότων είναι ανάλογος με τον αριθμό των πρωτογενών γεγονότων. Το ύψος του εξαγόμενου παλμού είναι ανάλογο της ενέργειας που εναποτίθεται μέσω της ακτινοβολίας που εκπέμπεται μετά τον πρωτογενή ιονισμό. Η ενεργός αποδοτικότητα καταγραφής των νετρονίων (effective efficiency) εξαρτάται από την ενέργειά τους. Συγκεκριμένα, η αποδοτικότητα για την καταγραφή νετρονίων ενέργειας E σε ένα μετρητή πάχους d , ο οποίος περιέχει N άτομα ανά μονάδα όγκου υλικού απορροφητή ενεργού διατομής σ (E) είναι:

$$\text{Efficiency} = f[1 - \exp(-N\sigma d)]$$

Ο όρος $1 - \exp(-N\sigma d)$ δίνει το ποσοστό των πρωτογενών νετρονίων που απορροφάται από το μετρητή, ενώ ο πολλαπλασιαστικός παράγοντας f δίνει το ποσοστό αυτών των σωματιών που συνεισφέρει στον παλμό που εξέρχεται από τον ανιχνευτή. Στους μετρητές αερίου ο παράγοντας f είναι πολύ κοντά στην μονάδα, με αποτέλεσμα η αποδοτικότητά τους να καθορίζεται αποκλειστικά από τον αριθμό των πυρήνων που απορροφούν τα νετρόνια κατά το πέρασμα τους μέσα από τον ανιχνευτή. Με κριτήριο την ενέργειά τους, τα νετρόνια κατατάσσονται σε 6 κατηγορίες: ψυχρά, θερμικά, επιθερμικά, βραδέα, ενδιάμεσα και ταχέως κινούμενα νετρόνια (Πίνακας 2).

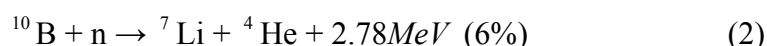
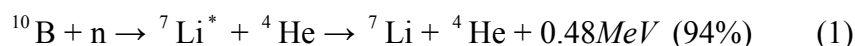
ΠΙΝΑΚΑΣ 2

Κατηγοριοποίηση νετρονίων με κριτήριο την ενέργειά τους.

Νετρόνια	Ενέργεια
Ψυχρά	< 0.025 eV
Θερμικά	≈ 0.025 eV
Επιθερμικά	~ 1 eV
Βραδέα	~ 1 keV
Ενδιάμεσα	≈ 100-500 keV
Ταχέα νετρόνια	E >500 keV

Τα ψυχρά, τα θερμικά και τα επιθερμικά νετρόνια έχουν ενεργό διατομή πυρηνικής αλληλεπίδρασης ανάλογη της ποσότητας $1/E^{1/2}$ ή $1/v$, όπου E,v η ενέργεια και η ταχύτητά τους αντίστοιχα. Όταν τα νετρόνια υψηλής ενέργειας διαδίδονται μέσω της ύλης, η ταχύτητά τους ελαττώνεται εξαιτίας των συγκρούσεων που λαμβάνουν χώρα. Ύστερα από έναν αριθμό συγκρούσεων με πυρήνες, οι ενέργειες των νετρονίων γίνονται θερμικές, δηλαδή περίπου 0.025 eV.

Για την ανίχνευση των νετρονίων χρησιμοποιείται το ισότοπο ^{10}B . Οι ανιχνευτές των βραδέων και των θερμικών νετρονίων περιέχουν BF_3 και η λειτουργία τους στηρίζεται στις αντιδράσεις (Hatton, 1971):



Όπως φαίνεται από την αντίδραση (1) το Li παράγεται κατά το μεγαλύτερο ποσοστό του σε διεγερμένη κατάσταση και κατόπιν αποδιεγείρεται εκλύοντας στο περιβάλλον ενέργεια 0.48 MeV. Το φυσικό βόριο (B) αποτελείται κατά 20% από ^{10}B και κατά 80% από ^{11}B . Το ^{10}B έχει μεγάλη ενεργή διατομή (3820 barns για θερμικά νετρόνια) συγκριτικά με το φυσικό βόριο, για το οποίο η αντίστοιχη τιμή είναι 755 barns ($1 \text{ barn} \sim 10^{-24} \text{ cm}^2$). Επομένως, το να εμπλουτίσει κανείς το αέριο με ισότοπα ^{10}B έχει ουσιαστική επίδραση στην αύξηση της αποδοτικότητας του ανιχνευτή.

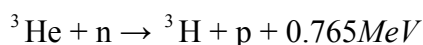
Οι μετρητές νετρονίων χρησιμοποιούν αναλογικούς μετρητές γεμισμένους με $^{10}\text{BF}_3$ εμπλουτισμένο με ^{10}B κατά 96%, σε πίεση 0.25 atm, οι οποίοι ονομάζονται BP28 Chalk River Neutron Counters, επειδή κατασκευάστηκαν στο Chalk River του Καναδά το 1959 (Hatton and Carmichael, 1964). Επανασχεδιάστηκαν το 1962, οπότε και στις καθόδους χρησιμοποιήθηκε ανοξειδωτο ατσάλι αντί για χαλκό (Hatton and Carmichael, 1964). Με αυτόν τον τρόπο μειώθηκε η απορρόφηση ηλεκτρονίων από

τα τοιχώματα των σωλήνων, με αποτέλεσμα να αυξηθεί η αποδοτικότητα του μετρητή. Η ενεργός διάμετρος για τους μετρητές IGY είναι μόλις το 0.225 της μέσης ελεύθερης διαδρομής των θερμικών νετρονίων μέσα στο βόριο. Αντιθέτως, για τους μετρητές NM64 η ενεργός διάμετρος είναι το 0.375 της μέσης ελεύθερης διαδρομής των θερμικών νετρονίων μέσα στο βόριο. Σύμφωνα με τα στοιχεία αυτά, οι Hatton και Carmichael υπολόγισαν ότι οι μετρητές NM64 είναι 1.37 πιο αποδοτικοί από τους μετρητές IGY (Hatton and Carmichael, 1964).

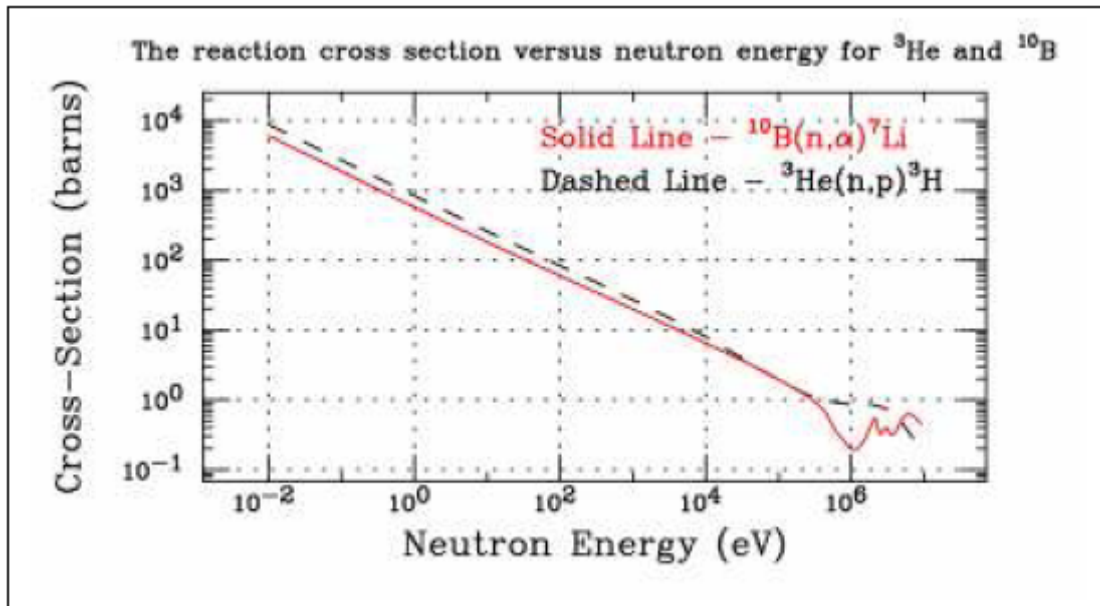
Καθώς ένα νετρόνιο αντιδρά με έναν πυρήνα ^{10}B , παράγονται ενεργητικά ιόντα ^4He και ^7Li , τα οποία απορροφούν ηλεκτρόνια από τα ουδέτερα άτομα του μετρητή, παράγοντας φορτίο. Ένα λεπτό καλώδιο τοποθετημένο κατά μήκος του κεντρικού άξονα του μετρητή συνδέεται με έναν ενισχυτή και έναν διευκρινητή (discriminator). Το φορτίο ανιχνεύεται από τον ενισχυτή και καταγράφεται ως μία μέτρηση. Στους αναλογικούς ανιχνευτές το πλάτος του παλμού εξαιτίας των παραγόμενων ακτίνων-γ είναι μικρό σε σχέση με το πλάτος εξαιτίας της ανίχνευσης των νετρονίων.

Στους αναλογικούς ανιχνευτές το πλάτος των παραγόμενων παλμών ακτινοβολίας-γ είναι σχετικά μικρό αν συγκριθεί με το πλάτος των παλμών που παράγεται από την ανίχνευση των νετρονίων. Περίπου το 6% των νετρονίων συλλαμβάνεται από τα άτομα του ^{10}B . Υπάρχουν επίσης γεγονότα κατά τα οποία περισσότερα από ένα νετρόνια συλλαμβάνονται από τους μετρητές. Αν ο νεκρός χρόνος μεταξύ των καταγραφών είναι πολύ μικρότερος από το μέσο χρόνο ζωής ενός νετρονίου τότε ένα σημαντικό ποσοστό της εισερχόμενης στον ανιχνευτή κοσμικής ακτινοβολίας μπορεί να προκαλέσει περισσότερα από ένα γεγονότα. Η συνθήκη αυτή ικανοποιείται δεδομένου ότι ο μέσος χρόνος ζωής ενός νετρονίου είναι 300μs, ενώ ο νεκρός χρόνος καταγραφής είναι περίπου 20μs. Έτσι, κάθε γεγονός μπορεί και καταγράφεται χωριστά. Ο ρυθμός καταγραφής στους μετρητές νετρονίων προκύπτει ότι είναι μεγαλύτερος από την εμφάνιση στατιστικά ανεξάρτητων γεγονότων κοσμικής ακτινοβολίας (Hatton and Carmichael, 1964).

Μετά το 1990, στους αναλογικούς μετρητές αερίου κάποιων μετρητών νετρονίων έχει χρησιμοποιηθεί το ^3He . Το αέριο αυτό δεν είχε χρησιμοποιηθεί νωρίτερα εξαιτίας του υψηλού οικονομικού του κόστους (Stoker et al., 2000). Η αντίστοιχη εξώθερμη αντίδραση που λαμβάνει χώρα είναι:



Η θερμότητα που εκλύεται στο περιβάλλον είναι μικρότερη από αυτήν στην περίπτωση των μετρητών ^{10}B , όμως η ενεργή διατομή είναι μεγαλύτερη (~5330 barns για θερμικά νετρόνια) (Εικόνα 5). Το ήλιο μπορεί να βρίσκεται σε μεγάλη πίεση και η ηλεκτρική τάση να είναι αρκετά μικρή (μικρότερη από 1500V στο ηλεκτρόδιο). Η απορρόφηση των νετρονίων σε ένα μετρητή ηλίου είναι μεγαλύτερη απ' ό,τι στην περίπτωση ενός μετρητή τριφθοριούχου βορίου ίδιου μήκους σε ίδια πίεση, π.χ. για μετρητή μήκους 10cm, σε πίεση 1atm, η απορρόφηση είναι 75% για το ^3He και 62% για το $^{10}\text{BF}_3$ (Egelstaff, 1965). Οι μετρητές ^3He διατίθενται στην αγορά με το όνομα LND25373.



Εικόνα 5: Ενεργές διατομές των νετρονίων κατά την αλληλεπίδρασή τους με άτομα ^{10}B και άτομα ^3He (Clem, 2004).

Οι αναλογικοί μετρητές αερίου είναι πιο αποδοτικοί για την περίπτωση θερμικών νετρονίων. Μπορούν, όμως, να σηματοδοτήσουν και την ύπαρξη ενεργητικών νετρονίων, αν περιβληθούν από ένα στρώμα υλικού που περιέχει υδρογόνο, όπως παραφίνη (paraffin wax) ή πολυαιθυλένιο. Σε αυτήν την περίπτωση, οι ελαστικές κρούσεις των ενεργητικών νετρονίων με τους πυρήνες του υδρογόνου προκαλούν την επιβράδυνσή τους μέχρι το όριο των θερμικών ενεργειών. Κατόπιν είναι δυνατόν να καταγραφούν αποδοτικά από τους μετρητές.

4.1.2.2 Επιβραδυντής

Η διαδικασία με την οποία η ενέργεια ενός νετρονίου μειώνεται μέχρι να γίνει θερμική ονομάζεται θερμοαλισμός (thermalisation) ή μετριασμός (moderation). Ένας καλός επιβραδυντής (moderator) ελαττώνει την ταχύτητα των νετρονίων μετά από ένα μικρό αριθμό συγκρούσεων και δεν τα απορροφά σε μεγάλο ποσοστό. Κάθε μετρητής αερίου σε έναν μετρητή νετρονίων περιβάλλεται από έναν εσωτερικό επιβραδυντή (Εικόνα 2).

Ως επιβραδυντές χρησιμοποιούνται συνήθως υλικά που περιέχουν στοιχεία με χαμηλό ατομικό αριθμό A (συνήθως περιέχουν υδρογόνο ή παραφίνη ή νερό και πολυαιθυλένιο). Το ποσοστό ενεργειακής απώλειας ανά ελαστική κρούση νετρονίου-ατόμου ελαττώνεται καθώς αυξάνεται ο ατομικός αριθμός του υλικού:

$$\frac{dE}{E} = 4 \cos^2 \theta \frac{A}{(1+A)^2}$$

όπου θ είναι η γωνία ανάκρουσης του πυρήνα.

Η αλληλεπίδραση κατά την κρούση μεταφέρει ένα μέρος της κινητικής ενέργειας του νετρονίου στον πυρήνα. Το μήκος της ελεύθερης διαδρομής μεταξύ δύο διαδοχικών ελαστικών κρούσεων ενός νετρονίου κινούμενου ανάμεσα σε πυρήνες υδρογόνου είναι $\sim 1\text{cm}$ όταν η ενέργειά του είναι $\leq 1\text{MeV}$. Ο μέσος αριθμός κρούσεων που απαιτείται για να θερμαλιστεί ένα νετρόνιο αρχικής κινητικής ενέργειας 4MeV , κινούμενο μέσα σε παραφίνη, είναι 20. Το πάχος του επιβραδυντή παραφίνης, στην περίπτωση ενός μετρητή IGY είναι 3.7cm , ενώ εντός του επιβραδυντή πολυαιθυλενίου, στην περίπτωση ενός μετρητή NM64 είναι 2cm .

Προκειμένου να καταγράφονται από τον ανιχνευτή μεγάλες εντάσεις, είναι απαραίτητο να είναι αυξημένο το πλήθος των νετρονίων που φτάνει στον επιβραδυντή και κατόπιν στο μετρητή αερίου. Για το λόγο αυτό, ο επιβραδυντής περιβάλλεται από ένα στρώμα το οποίο δρα ως παραγωγός σωματίων.

4.1.2.3 Παραγωγός σωματίων

Όταν υπο-ατομικά σωματάρια, όπως πρωτόνια και νετρόνια, συγκρούονται ή αλληλεπιδρούν με τον πυρήνα ενός ατόμου, π.χ. μολύβδου, τότε λαμβάνει χώρα το φαινόμενο του βομβαρδισμού (spallation). Ο πυρήνας του ατόμου εκπέμπει διάφορα δευτερογενή σωματάρια ανάμεσα στα οποία και πολλά νετρόνια (Shen, 1968). Η διαδικασία εκπομπής των νετρονίων πραγματοποιείται σε δύο διαδοχικά στάδια: α) κατά τη σύγκρουση νουκλεονίου-νουκλεονίου μεταξύ των πρωτογενών σωματίων και των νουκλεονίων των πυρήνων-στόχων (target nuclei) και β) κατά την αποδιέγερση των θυγατρικών διεγερμένων πυρήνων.

A) Σύγκρουση νουκλεονίου-νουκλεονίου

Κατά το στάδιο αυτό, τα πρωτογενή νουκλεόνια συγκρούονται με τα νουκλεόνια του πυρήνα-στόχου του ατόμου. Τα νουκλεόνια είτε δραπετεύουν από τον πυρήνα είτε αλληλεπιδρούν ξανά προκαλώντας την παραγωγή νέων δευτερογενών σωματίων. Έτσι, είναι δυνατόν μέσα στον πυρήνα να λάβει χώρα μια αλυσίδα αλληλεπιδράσεων, η οποία ονομάζεται καταιγισμός (cascade shower). Από τον καταιγισμό εκπέμπονται άμεσα κάποια πρωτόνια και νετρόνια που ονομάζονται άμεσα πρωτόνια/νετρόνια αντίστοιχα (prompt protons/neutrons), επειδή απελευθερώνονται σχεδόν ακαριαία ($\sim 10^{-13}\text{s}$) σε μια αντίδραση. Ένα μέρος της ενέργειας των πρωτογενών σωματίων εναποτίθεται στον πυρήνα, ενώ το υπόλοιπο μοιράζεται στα άμεσα πρωτόνια και νετρόνια που δραπετεύουν από τον πυρήνα.

B) Αποδιέγερση των θυγατρικών διεγερμένων πυρήνων

Ο θυγατρικός πυρήνας που προκύπτει μετά τις συγκρούσεις νουκλεονίου-νουκλεονίου αφήνεται σε διεγερμένη κατάσταση. Κατά την αποδιέγερσή του εκπέμπονται χαμηλής ενέργειας πρωτόνια και νετρόνια, που ονομάζονται πρωτόνια/νετρόνια εξάτμισης αντίστοιχα (evaporation protons/neutrons). Η ενέργεια αυτών των νουκλεονίων εξαρτάται από την ενέργεια του διεγερμένου πυρήνα μετά τις συγκρούσεις νουκλεονίου-νουκλεονίου.

Στην περίπτωση ενός μετρητή IGY, ο παραγωγός σωματίων αποτελείται από κατακόρυφα τούβλα μολύβδου. Στην περίπτωση ενός μετρητή NM64, μολύβδινοι σωλήνες περιβάλλουν τον μετρητή, ενώ μολύβι υπάρχει και μεταξύ των διαφορετικών μετρητών. Το υλικό αυτό επιλέχθηκε διότι έχει μεγάλο ατομικό αριθμό

με αποτέλεσμα οι πυρήνες-στόχοι να είναι μεγάλοι προκαλώντας έτσι την παραγωγή πολλών νουκλεονίων εξάτμισης. Ο ρυθμός παραγωγής των σωματίων είναι $\sim A^{0.7}$ για νουκλεόνια αρχικής ενέργειας 100-700 MeV και ελαττώνεται για μεγαλύτερες ενέργειες (Clem and Dorman, 2000). Το μολύβι έχει επίσης σχετικά μικρή ενεργή διατομή θερμικής απορρόφησης ($\sim 0,17$ barn).

Ο μέσος αριθμός νετρονίων με ενέργεια μέσα στο εύρος στο οποίο είναι ευαίσθητος ο ανιχνευτής παραγόμενα ταυτόχρονα από το βομβαρδισμό ενός πυρήνα-στόχου από ένα νετρόνιο ονομάζεται πολλαπλότητα ν (multiplicity). Σύμφωνα με τους Bieber et al. (2001) η πολλαπλότητα ακολουθεί νόμο δύναμης ως προς την ενέργεια του αρχικού νετρονίου:

$$\nu = 25 \cdot E^{0.4} (GeV)$$

4.1.2.4 Ανακλαστήρας σωματίων

Είναι απαραίτητο για έναν μετρητή νετρονίων να προστατεύεται από το περιβάλλον. Για το λόγο αυτό, ο παραγωγός σωματίων περικλείεται από έναν ανακλαστήρα, ο οποίος απορροφά και ανακλά τα ανεπιθύμητα νετρόνια χαμηλής ενέργειας του περιβάλλοντος. Ο σκοπός του ανακλαστήρα είναι επίσης να μετριάξει τις ενέργειες των νετρονίων που ανακλά. Έτσι, κατασκευάζεται από ένα υλικό που να περιέχει στοιχεία με χαμηλό ατομικό αριθμό, όπως το υδρογόνο. Για το λόγο αυτό, χρησιμοποιείται συνήθως η παραφίνη ή το πολυαιθυλένιο. Ο ανακλαστήρας έχει σχήμα ορθογώνιου κουτιού το οποίο περικλείει τα υπόλοιπα τμήματα του μετρητή. Στους μετρητές NM64 χρησιμοποιείται το πολυαιθυλένιο ενώ στους μετρητές IGY η παραφίνη.

4.2 Η νέα τεχνολογία «πραγματικού χρόνου»

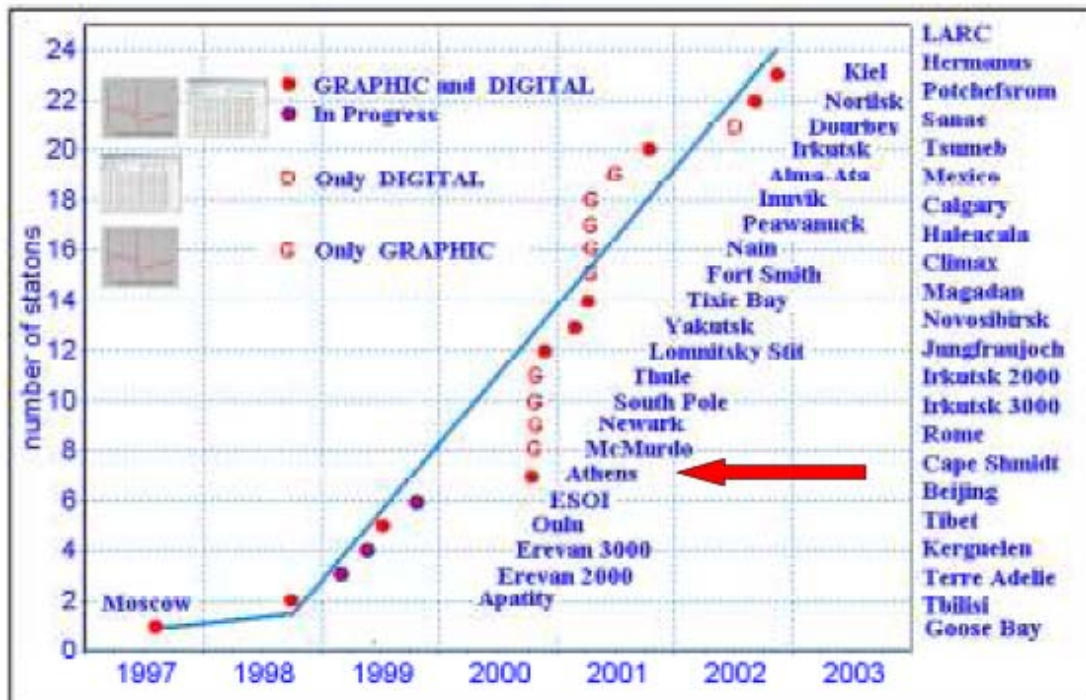
Μέχρι το 1997, οι σταθμοί καταμέτρησης ακτινοβολίας του παγκόσμιου δικτύου μετρητών νετρονίων μπορούσαν να δώσουν αξιόπιστη πληροφορία για τις κοσμικές ακτίνες περίπου ένα έτος μετά τις παρατηρήσεις. Η χρήση αυτών των δεδομένων σε τόσο καθυστερημένο στάδιο καθιστούσε αδύνατη την άμεση παρακολούθηση της κοσμικής ακτινοβολίας και των χαρακτηριστικών της (ανισοτροπία, πυκνότητα, κτλ.). Το αρχικό βήμα προς τη λύση του προβλήματος έγινε το 1997 με την πραγματοποίηση της εγκατάστασης σύγχρονων σταθμών κοσμικής ακτινοβολίας, στους οποίους συλλέγονται, αναλύονται και παρέχονται οι μεταβολές της κοσμικής ακτινοβολίας σε πραγματικό χρόνο (real time). Η χρήση δεδομένων πραγματικού χρόνου είναι τελείως διαφορετική από αυτή των αρχειοθετημένων δεδομένων και πιο αποδοτική.

Η τεχνολογία πραγματικού χρόνου αφορά στην απευθείας επεξεργασία, διόρθωση, γνωστοποίηση και διάθεση των δεδομένων ενός μετρητή νετρονίων στην ευρύτερη επιστημονική κοινότητα και μη, μέσα από το διαδίκτυο. Αποτελεί μια τεχνολογία που μέχρι σήμερα έχει εφαρμοστεί μόνο σε ένα μέρος από το σύνολο των μετρητών νετρονίων του παγκόσμιου δικτύου (~ 22 σταθμοί). Ο σταθμός κοσμικής ακτινοβολίας της Αθήνας ήταν ο 7^{ος} στον κόσμο που αναβάθμισε το σύστημα καταγραφής του έτσι ώστε να ενσωματώσει την τεχνολογία πραγματικού χρόνου (Εικόνα 6).

Τα βασικά πλεονεκτήματα της τεχνολογίας πραγματικού χρόνου αφορούν στη δυνατότητα:

- Άμεσου και συνεχούς ελέγχου όλων των καναλιών του μετρητή
- Άμεσης διόρθωσης των δεδομένων από διάφορους παράγοντες (μετεωρολογική επίδραση, σφάλμα οργάνου κτλ.)
- Άμεσης αξιολόγησης της ποιότητας των εξαγόμενων δεδομένων
- Άμεσου ελέγχου καθώς και διόρθωσης των μεταβολών των οργάνων
- Απευθείας σύγκρισης των δεδομένων με αυτά από άλλους σταθμούς

Ειδικότερα, η απευθείας σύγκριση των δεδομένων ενός μετρητή με αυτά ενός άλλου δίνει στους ερευνητές στους διάφορους σταθμούς μετρητών νετρονίων τη δυνατότητα της άμεσης αντίληψης κάποιας πιθανής δυσλειτουργίας των οργάνων και της κατ' επέκταση διόρθωσης των εσφαλμένων τιμών μέσα σε σύντομο χρονικό διάστημα. Αρκεί να τονίσουμε ότι για κάποιους σταθμούς αυτή η σύγκριση των δεδομένων είναι υψίστης σημασίας αφού είναι απαραίτητη η πραγματοποίηση διορθώσεων από παράγοντες όπως π.χ. το χιόνι.



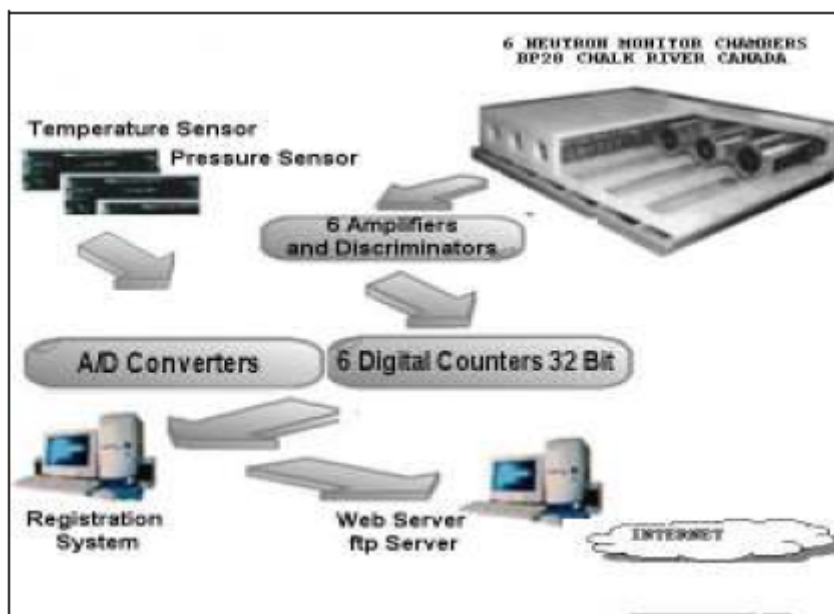
Εικόνα 6: Οι σταθμοί κοσμικής ακτινοβολίας πραγματικού χρόνου σε χρονολογική σειρά λειτουργίας τους

Εξαιτίας όλων των παραπάνω πλεονεκτημάτων της νέας τεχνολογίας, ο εκσυγχρονισμός των παλαιότερων συστημάτων καταγραφής νετρονίων και η ταυτόχρονη επεξεργασία των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο γίνεται ιδιαίτερα σημαντικός για κάθε σταθμό καταμέτρησης κοσμικής ακτινοβολίας, καθώς σήμερα όλο και περισσότερα πειραματικά δεδομένα εμφανίζονται στο διαδίκτυο σε πραγματικό χρόνο.

4.2.1 Σχεδιασμός νέων συστημάτων

Το σχηματικό διάγραμμα ενός σύγχρονου συστήματος καταγραφής δεδομένων κοσμικής ακτινοβολίας σε πραγματικό χρόνο φαίνεται στην Εικόνα 7. Προκειμένου να περιγράψουμε τη λειτουργία ενός τέτοιου συστήματος θα αναφερθούμε σε μια σειρά διαδικασιών που λαμβάνουν χώρα στο σταθμό πραγματικού χρόνου της Αθήνας, από τη στιγμή που καταγράφονται οι μετρήσεις μέχρι να διατεθούν σε ψηφιακή και γραφική μορφή στο διαδίκτυο.

Έξι ξεχωριστοί ανιχνευτές νετρονίων συνδέονται με το σύστημα καταγραφής με ειδικούς προ-ενισχυτές και διευκρινιστές μεγάλης σταθερότητας. Η θερμοκρασία και η ατμοσφαιρική πίεση καταγράφονται με αισθητήρες MPX4115A της εταιρείας MOTOROLA που παρέχουν μετρήσεις μεγάλης ακρίβειας και σταθερότητας. Το σύνολο των μετρήσεων συλλέγεται με κατάλληλες ψηφιακές κάρτες σε τοπικό δίκτυο υπολογιστών. Εκεί, τα δεδομένα αναλύονται, ελέγχονται, επεξεργάζονται και διορθώνονται.



Εικόνα 7: Σχηματικό διάγραμμα ενός σταθμού κοσμικής ακτινοβολίας πραγματικού χρόνου.

Η διαδικασία του ελέγχου των δεδομένων σε αυτή τη φάση είναι ιδιαίτερα σημαντική καθώς οι διορθωμένες μετρήσεις ανακοινώνονται άμεσα στο διαδίκτυο, όπου οι απαιτήσεις για την ποιότητά τους είναι εξαιρετικά μεγάλες. Για το λόγο αυτό, για κάθε ανιχνευτή ξεχωριστά, τρέχει ένα πρόγραμμα επεξεργασίας των πρωταρχικών δεδομένων και υπολογισμού της ποιότητάς τους. Τα βήματα που πραγματοποιούνται προκειμένου να λάβει χώρα η διόρθωση σε πραγματικό χρόνο στο σταθμό της Αθήνας είναι τα εξής:

Βήμα 1ο: Υπολογισμός της αποδοτικότητας κάθε καναλιού i του μετρητή, από τη σχέση:

$$\varepsilon_i = \frac{N_i}{N_i^0}$$

όπου N_i , N_i^0 οι εντάσεις της κοσμικής ακτινοβολίας που καταγράφει το κανάλι i τις χρονικές στιγμές t και t_0 αντίστοιχα.

Θεωρώντας ότι η ένταση που καταγράφεται τη χρονική στιγμή t αποτελείται από δύο συνεισφορές: α) τις διακυμάνσεις της δευτερογενούς κοσμικής ακτινοβολίας κοινές για όλα τα κανάλια και β) τις διακυμάνσεις εξαιτίας του οργάνου που είναι εν γένει διαφορετικές από κανάλι σε κανάλι, η παραπάνω σχέση μπορεί να γραφτεί ως εξής:

$$\varepsilon_i = (1 + \delta)(1 + \delta_i^{device})$$

όπου με δ συμβολίζουμε τις διακυμάνσεις της δευτερογενούς κοσμικής ακτινοβολίας και με δ_i^{device} αυτές του οργάνου.

Βήμα 2ο: Αξιολόγηση της ποιότητας καταγραφής του καναλιού με τη μέθοδο των λογαρίθμων των λόγων των αποδόσεων

Ο λόγος των αποδοτικότητας, r_{ij} , δύο διαφορετικών καναλιών i, j του ανιχνευτή ορίζεται ως εξής:

$$r_{ij} = \frac{\varepsilon_i}{\varepsilon_j}, \quad i \neq j \quad (3)$$

Χρησιμοποιώντας τις δύο παραπάνω σχέσεις παίρνουμε:

$$r_{ij} = \frac{(1 + \delta_i^{device})}{(1 + \delta_j^{device})}$$

Με την εισαγωγή της παραμέτρου r_{ij} έχουμε κατορθώσει να απομακρύνουμε την επίδραση του παράγοντα των διακυμάνσεων της δευτερογενούς κοσμικής ακτινοβολίας, επιτρέποντας να έρθουν στην επιφάνεια μόνο εκείνες οι διακυμάνσεις που οφείλονται στα μετρητικά όργανα. Συγχρόνως, η αποδοτικότητα κάθε καναλιού μπορεί απλά να προσδιοριστεί από το r_{ij} από τη σχέση $\varepsilon_i = r_{ij} \cdot \varepsilon_j$.

Η μέθοδος των λόγων των αποδοτικότητας έχει ένα βασικό μειονέκτημα: θεωρεί γραμμική τη σχέση μεταξύ της αποδοτικότητας και του ρυθμού καταγραφής σωματίων. Κάτι τέτοιο δεν είναι σωστό διότι μπορεί να οδηγήσει σε εσφαλμένα συμπεράσματα όπως το ακόλουθο: αν σταματήσει να λειτουργεί το κανάλι j (δηλαδή $\varepsilon_j = 0$), τότε με βάση τη σχέση (3) η αποδοτικότητα απειρίζεται. Για τον λόγο αυτό, είναι απαραίτητο να χρησιμοποιηθεί μια μέθοδος που να θεωρεί μια μη γραμμική επίδραση της αποδοτικότητας του ενός καναλιού στο άλλο. Έτσι, εισάγουμε τη μέθοδο των λογαρίθμων των λόγων των αποδόσεων:

$$l_{ij} = \ln r_{ij} = \ln \frac{(1 + \delta_i^{device})}{(1 + \delta_j^{device})} = \ln \varepsilon_i - \ln \varepsilon_j$$

Υπολογίζοντας το λογάριθμο του λόγου της αποδοτικότητας των δύο διαφορετικών καναλιών του ανιχνευτή, κατορθώνουμε δύο σημαντικά επιτεύγματα:

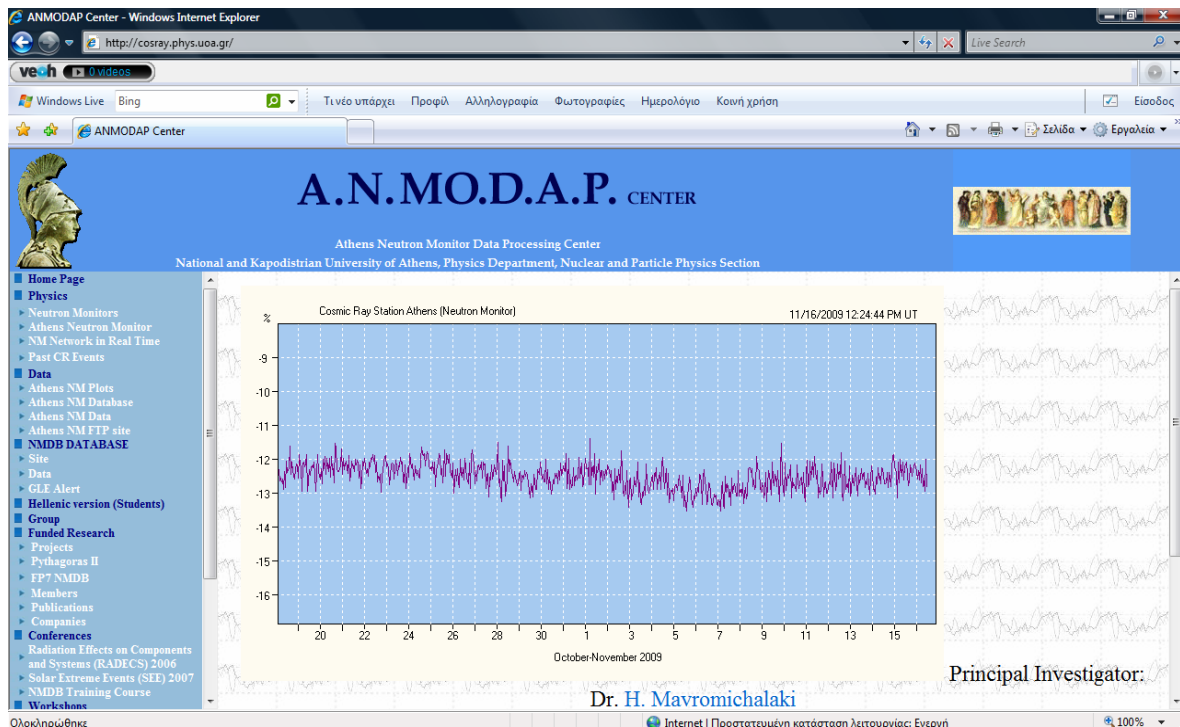
- 1) Απομακρύνουμε τις διακυμάνσεις της κοσμικής ακτινοβολίας που οφείλονται σε κάποιο φυσικό φαινόμενο και κρατάμε μόνο αυτές που οφείλονται στα όργανα καταγραφής.
- 2) Αποκτούμε μια απλή σχέση υπολογισμού της αποδοτικότητας, συνδέοντας τις μετρούμενες διακυμάνσεις με αυτές που οφείλονται στο όργανο αυτό καθ' αυτό.

Βήμα 3ο: Προσδιορισμός των κατάλληλων και των μη-κατάλληλων καναλιών για τη δεδομένη στιγμή και διόρθωση των δεδομένων

Αφού υπολογιστεί η απόδοση του κάθε καναλιού αποφασίζεται με βάση την τιμή της, μέσα από ειδικά κατασκευασμένο λογισμικό, αν το κανάλι χαρακτηρίζεται κατάλληλο, έτσι ώστε τα αντίστοιχα δεδομένα να μπορούν να χρησιμοποιηθούν στον υπολογισμό της συνολικής ροής. Στην συνέχεια, τα δεδομένα των καναλιών που δεν έχουν τεθεί εκτός λειτουργίας από το λογισμικό εξαιτίας μιας πιθανής χαμηλής απόδοσης του καναλιού από το οποίο έχουν προέρθει, διορθώνονται αφενός με βάση την απόδοση, αφετέρου ως προς την πίεση.

Βήμα 4ο: Αναπαράσταση των δεδομένων και διάθεσή τους στο διαδίκτυο

Τα δεδομένα αναπαρίστανται σε διαγράμματα και καταχωρούνται σε ψηφιακή μορφή μέσα σε αρχεία. Τέλος, ένας Web Server προβάλλει τα διορθωμένα δεδομένα στο διαδίκτυο σε ψηφιακή και σχηματική μορφή δίνοντας τη δυνατότητα χρησιμοποίησής τους στη διεθνή επιστημονική κοινότητα (Εικόνα 8).

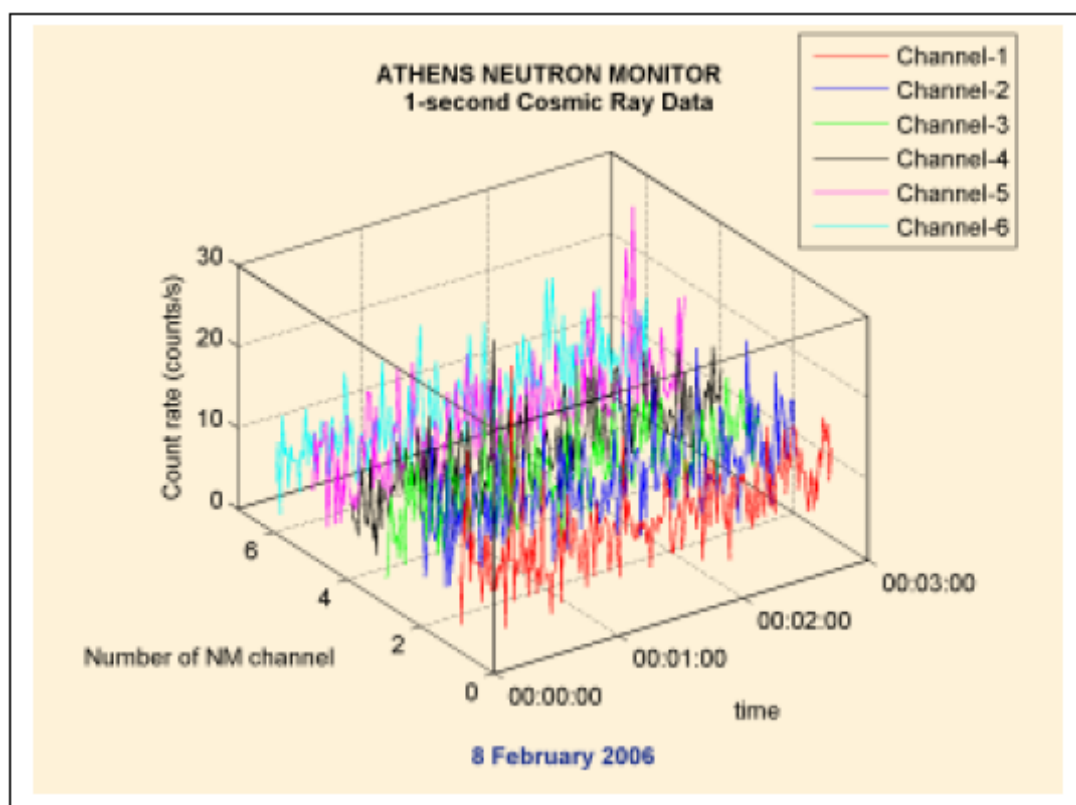


Εικόνα 8: Αναπαράσταση δεδομένων κοσμικής ακτινοβολίας του σταθμού πραγματικού χρόνου της Αθήνας στο διαδίκτυο

Είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι στο σταθμό της Αθήνας τα δεδομένα λαμβάνονται από το μετρητή με ανάλυση 1-sec (Εικόνα 9). Σε κανέναν άλλο σταθμό στον κόσμο δεν καταγράφονται μετρήσεις με τόσο υψηλή ανάλυση. Τα δεδομένα του σταθμού της Αθήνας καθίστανται συνεπώς ιδιαίτερα σημαντικά για την ακριβή πρόγνωση του διαστημικού καιρού.

4.2.2 Τεχνολογία «πραγματικού χρόνου» και διαστημικός καιρός

Οι σταθμοί κοσμικής ακτινοβολίας που είναι εφοδιασμένοι με τη νέα τεχνολογία πραγματικού χρόνου έχουν πολλές δυνατότητες που αφορούν πλήθος ερευνητικών δραστηριοτήτων, με κυριότερη αυτή της παρακολούθησης και πρόγνωσης των φαινομένων που λαμβάνουν χώρα στο διάστημα και επηρεάζουν άμεσα ή έμμεσα την ανθρώπινη ζωή.



Εικόνα 9: Δεδομένα 1-sec του Σταθμού Κοσμικής Ακτινοβολίας της Αθήνας

Η ανάλυση των δεδομένων της κοσμικής ακτινοβολίας σε πραγματικό χρόνο θα είναι χρήσιμη για την πρόγνωση φαινομένων του διαστήματος που είναι επικίνδυνα για τα ηλεκτρονικά των δορυφόρων, όπως επίσης και για την ανθρώπινη υγεία και την τεχνολογία πάνω στη Γη. Η λειτουργία συνεπώς ενός δικτύου μετρητών νετρονίων πραγματικού χρόνου αποτελεί ένα από τα πιο ουσιαστικά εργαλεία για την παρακολούθηση και την πρόγνωση του διαστημικού καιρού, ο οποίος αποτελεί τη μετεωρολογία του διαστήματος. Για λόγους πληρότητας, παραθέτουμε τον ορισμό του διαστημικού καιρού σύμφωνα με το US National Space Weather Program του 1995: «Διαστημικός καιρός είναι το σύνολο από τις συνθήκες στον Ήλιο και τον ηλιακό άνεμο, τη μαγνητόσφαιρα, την ιονόσφαιρα και τη θερμόσφαιρα, που μπορούν

να επιδράσουν στην λειτουργία και την αξιοπιστία των διαστημικών και επίγειων τεχνολογικών συστημάτων και να θέσουν σε κίνδυνο την ανθρώπινη ζωή και υγεία». Ουσιαστική πρόοδος προς την κατεύθυνση πρόγνωσης του διαστημικού καιρού αναμένεται από τις μετρήσεις δικτύων μετρητών νετρονίων μεγάλου πλάτους. Την πρωτοβουλία αυτή, κατόπιν συμφωνίας με τους άλλους συνεργαζόμενους σταθμούς, ανέλαβε η ομάδα μας και εγκατέστησε στο σταθμό της Αθήνας το παγκόσμιο δίκτυο μετρητών νετρονίων πραγματικού χρόνου, ANMODAP, με σκοπό την πρόβλεψη φαινομένων του διαστημικού καιρού. Για το δίκτυο ANMODAP γίνεται λόγος στην παράγραφο 4.3.

Όσον αφορά την παρακολούθηση και την πρόγνωση του διαστημικού καιρού, ένα δίκτυο μετρητών νετρονίων δίνει τη δυνατότητα:

- της πρόβλεψης γεωμαγνητικών καταιγίδων
- της πρόγνωσης γεγονότων ηλιακών ενεργητικών σωματίων και μαγνητοσφαιρικών γεγονότων
- του προσδιορισμού του ενεργειακού φάσματος της πρωτογενούς κοσμικής ακτινοβολίας
- του προσδιορισμού της ανισοτροπίας της πρωτογενούς κοσμικής ακτινοβολίας στα όρια της ατμόσφαιρας

Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι η τεχνολογία πραγματικού χρόνου ξεπερνά τα όρια των μετρητών νετρονίων και εφαρμόζεται και σε άλλα συστήματα που έχουν έναν εξίσου καθοριστικό ρόλο στην πρόγνωση του διαστημικού καιρού. Ένα παράδειγμα αποτελούν οι γεωσύγχρονοι δορυφόροι GOES, οι οποίοι παρέχουν μετρήσεις ροών πρωτονίων, ηλεκτρονίων και ακτινοβολίας-X σε πραγματικό χρόνο, δίνοντας μια εικόνα του διαπλανητικού χώρου κοντά στη Γη. Ένα δεύτερο παράδειγμα αποτελεί το μαγνητικό παρατηρητήριο στο ρωσικό σταθμό IZMIRAN, που είναι και το μοναδικό στη Ρωσία, που παρουσιάζει δεδομένα σε πραγματικό χρόνο στο διαδίκτυο. Ο συνδυασμός συνεπώς των δύο ή περισσότερων διαφορετικών μετρητικών συστημάτων πραγματικού χρόνου (του δικτύου μετρητών νετρονίων και των δορυφόρων) μπορεί να δίνει άμεση πληροφορία για τη ροή της κοσμικής ακτινοβολίας σε όλο το εύρος του φάσματος (από τις μικρές ενέργειες ανά σωματίο που καλύπτονται από τους δορυφόρους μέχρι τις μεγάλες που καλύπτονται από επίγειους μετρητές), καθώς και για την εξέλιξη άλλων σημαντικών παραμέτρων όπως το μαγνητικό πεδίο.

Σήμερα, υπάρχουν διάφορα κέντρα πρόγνωσης διαστημικού καιρού που παρέχουν σε πραγματικό χρόνο πληροφορία για την εξέλιξη των φαινομένων που λαμβάνουν χώρα στον Ήλιο και στο διαπλανητικό χώρο κοντά στη Γη.

Ενδεικτικά αναφέρουμε τα σημαντικότερα από αυτά:

- Κέντρο διαστημικού περιβάλλοντος (SEC ή Space Environment Center, NOAA, USA) → <http://sec.noaa.gov/today.html>
- Αυστραλιανή αντιπροσωπεία διαστημικού καιρού (IPS ή Australian Space Weather Agency) → <http://www.ips.gov.au/>
- Κέντρο Ανάλυσης δεδομένων Ηλιακής Επίδρασης (SIDC ή Solar Influence Data Analysis Center- RWC, Belgium) → <http://sidc.oma.be/index.php3>
- Κέντρο πρόγνωσης γεωφυσικών συνθηκών (FCGC-IZMIRAN Forecasting Center of Geophysical Conditions, Russia) → <http://forecast.izmiran.rssi.ru/>

4.3 Παγκόσμιο δίκτυο μετρητών νετρονίων πραγματικού χρόνου της Αθήνας (ANMODAP Center)

Πρόσφατα, ο Σταθμός Καταμέτρησης Κοσμικής Ακτινοβολίας της Αθήνας έγινε το κέντρο του παγκόσμιου δικτύου μετρητών νετρονίων πραγματικού χρόνου, με σκοπό την πρόβλεψη μεγάλων πρωτονικών γεγονότων και μαγνητικών καταιγίδων (Mavromichalaki et al., 2005b) στα γενικότερα πλαίσια της πρόβλεψης του διαστημικού καιρού (Dorman et al., 1999, Kudela et al., 2000). Το δίκτυο μετρητών νετρονίων της Αθήνας δημιουργήθηκε από τις ομάδες κοσμικής ακτινοβολίας του Πανεπιστημίου Αθηνών και του IZMIRAN και ονομάστηκε ANMODAP Center (Athens Neutron Monitor Data Processing Center).

Το δίκτυο ANMODAP περιλαμβάνει σήμερα 21 σταθμούς μετρητών νετρονίων πραγματικού χρόνου, ενώ παράλληλα υπάρχει η δυνατότητα μελλοντικής πρόσθεσης ακόμα περισσότερων σταθμών (Εικόνα 10). Ανάμεσα στους σταθμούς που αποτελούν το δίκτυο ANMODAP είναι και αυτός της Αθήνας, η γεωγραφική θέση του οποίου έχει ιδιαίτερη σημασία, αφού είναι ο μοναδικός σταθμός που βρίσκεται στην περιοχή των Βαλκανίων και της Ανατολικής Μεσογείου, καλύπτοντας μεγάλο ενεργειακό κενό (8.53 GV) από το σταθμό της Ρώμης (6.32GV) μέχρι το σταθμό του ESOI (10.80GV), στο Ισραήλ. Το σύστημα συλλογής και επεξεργασίας των δεδομένων της κοσμικής ακτινοβολίας σε πραγματικό χρόνο από μετρητές νετρονίων που βρίσκονται σε διάφορα σημεία της Γης επιτυγχάνεται μέσα από μια σειρά προγραμμάτων λήψης μετρήσεων λεπτού και ώρας. Η μέθοδος λήψης των δεδομένων εξαρτάται άμεσα από την υποδομή του εκάστοτε σταθμού. Έχουν υλοποιηθεί προγράμματα συλλογής μέσω FTP, μέσω ASP ιστοσελίδων και μέσω της πρόσβασης σε βάσεις δεδομένων. Στη συνέχεια, κατασκευάζονται συγκριτικά διαγράμματα και διατίθενται στην επιστημονική κοινότητα μέσα από το διαδίκτυο (Εικόνα 11). Πέρα όμως από την γραφική απεικόνιση των δεδομένων κοσμικής ακτινοβολίας σε πραγματικό χρόνο και τη διάθεσή τους στο διαδίκτυο, οι ερευνητικές ομάδες του Πανεπιστημίου Αθηνών και του IZMIRAN στοχεύουν στη χρήση του ANMODAP για την πρόγνωση του διαστημικού καιρού.

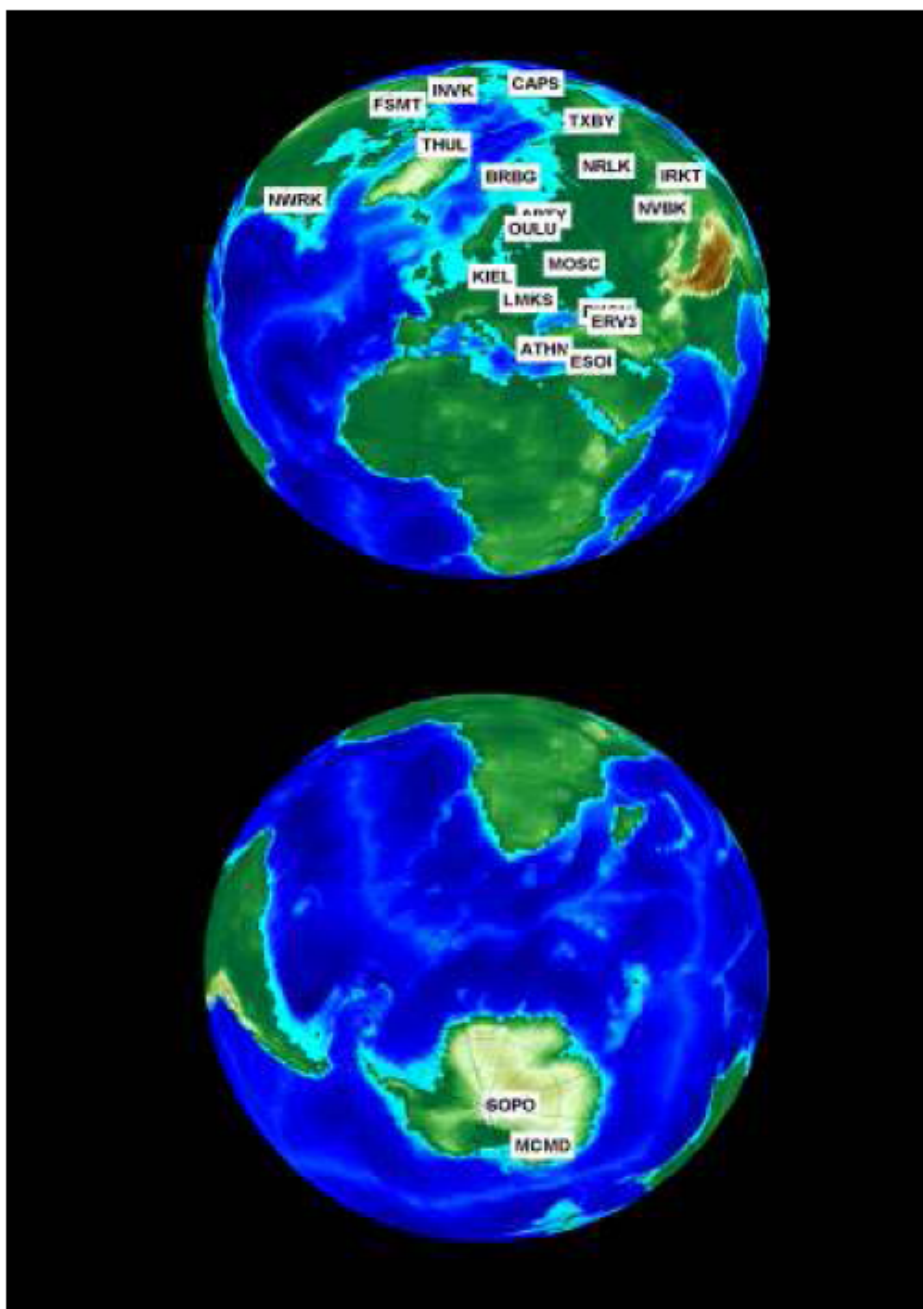
Η μέθοδος πρόβλεψης έχει δύο σκέλη:

- α) προσδιορισμό του χρόνου έναρξης των επίγειων επαυξήσεων της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας, και
- β) πρόβλεψη των μαγνητικών καταιγίδων και μαγνητοσφαιρικών φαινομένων.

Η βασική ιδέα του πρώτου σκέλους στηρίζεται στο πρότυπο Dorman et al. (2004), κατά το οποίο σωματίδια πολύ υψηλών ενεργειών ($> 0.5\text{GeV/nucleon}$) που οφείλονται σε μεγάλες ηλιακές εκλάμψεις, έχουν πολύ μεγαλύτερο συντελεστή διάχυσης και φθάνουν στη γη 8-20min μετά την επιτάχυνσή τους, ενώ ο μεγάλος όγκος των σωματιδίων μικρής και μεσαίας ενέργειας, που προκαλούν επικίνδυνες καταστάσεις στα ηλεκτρονικά συστήματα, φθάνουν 30-60min αργότερα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, η πρόγνωση του χρόνου άφιξης των να είναι εφικτή. Το δεύτερο σκέλος στηρίζεται στις προσπάθειες που έχουν γίνει από την ομάδα του IZMIRAN για πρόβλεψη των μειώσεων Forbush μελετώντας την ανισοτροπία των κοσμικών ακτίνων που εμφανίζεται πριν από αυτά τα γεγονότα (predcrease και preincrease effects), χρησιμοποιώντας την μέθοδο της ολικής φασματογραφικής επισκόπησης (global spectrographic survey) (Belov et al, 1995).

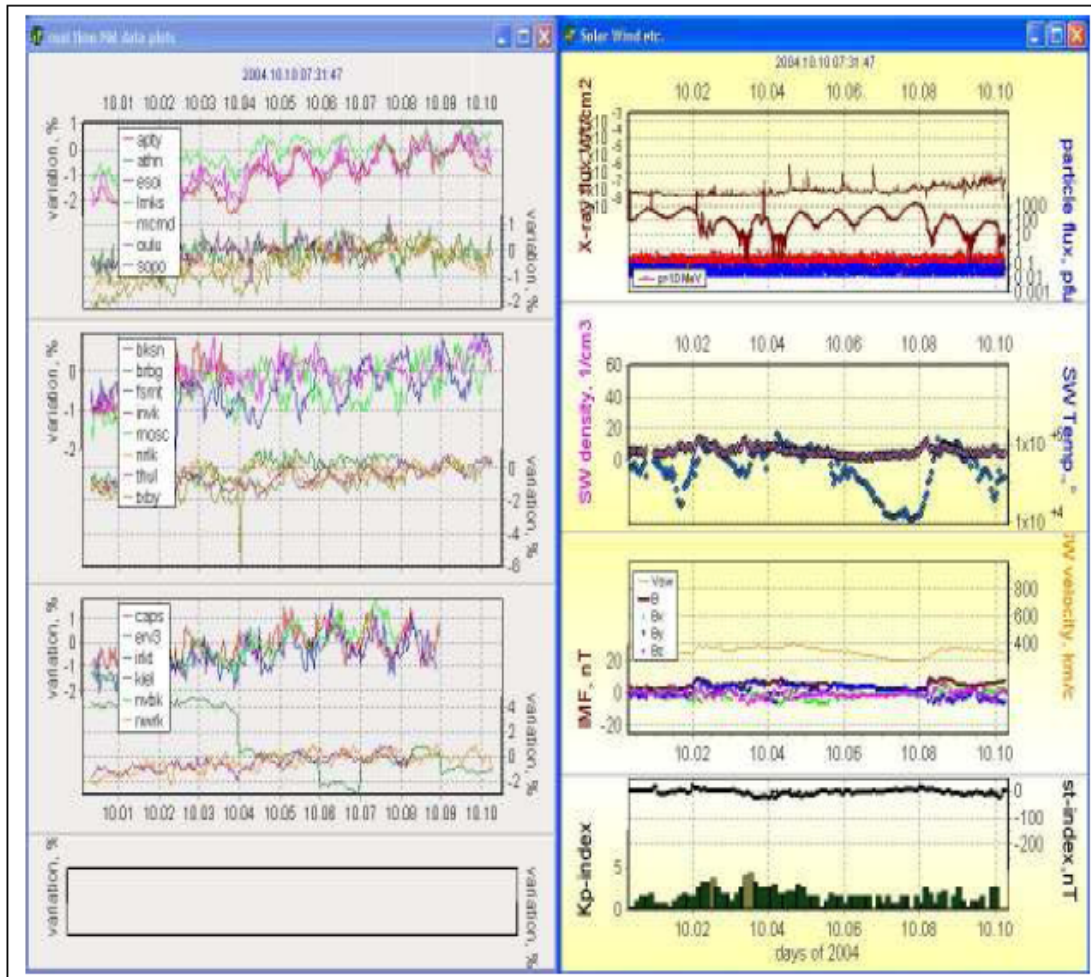
Στην πλήρη του ανάπτυξη, το πρόγραμμα πρόγνωσης των επίγειων επαυξήσεων της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας, που έχει ήδη αρχίσει να υλοποιείται στην

Αθήνα, θα λαμβάνει υπόψη του τα δεδομένα τουλάχιστον τριών σταθμών μέτρησης νετρονίων πραγματικού χρόνου (δύο υψηλού γεωγραφικού πλάτους και ενός χαμηλότερου), καθώς επίσης και δύο ξεχωριστών δορυφορικών καναλιών, τα οποία στην περίπτωση των ακτίνων-X ή της πρωτονικής ροής προέρχονται από τις μετρήσεις των δορυφόρων GOES-10 και GOES-12. Το παραγόμενο σήμα έγκαιρης προειδοποίησης λαμβάνει υπόψη του τα δεδομένα της συμπεριφοράς των τελευταίων τουλάχιστον 5min και κάνει πρόγνωση του χρόνου έναρξης των μεγάλων πρωτονικών γεγονότων. Αντίστοιχα, για την πρόγνωση των γεωμαγνητικών καταιγίδων, πέρα από τα δεδομένα των μετρητών νετρονίων, θα λαμβάνεται υπόψη και το επίπεδο μαγνητικής δραστηριότητας εκφρασμένο μέσα από την τιμή του δείκτη Dst.



Εικόνα 10: Οι σταθμοί κοσμικής ακτινοβολίας του παγκόσμιου δικτύου μετρητών νετρονίων της Αθήνας (ANMODAP Center).

Κατά συνέπεια, το δίκτυο μετρητών νετρονίων πραγματικού χρόνου της Αθήνας θα δίνει μια μοναδική ευκαιρία για την πρόγνωση επικίνδυνων ροών σωματιδίων στο διάστημα και θα εκπέμπει προειδοποιητικό σήμα (~30-40min πριν την άφιξή τους) σε κάθε ενδιαφερόμενο φορέα με αξιόλογη ακρίβεια.



Εικόνα 11: Γραφική απεικόνιση σε πραγματικό χρόνο των δεδομένων του παγκόσμιου δικτύου μετρητών νετρονίων της Αθήνας (ANMODAP Center)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ V

Χαρτογράφηση των γεγονότων της κοσμικής ακτινοβολίας σε σχέση με τις ηλιακές εκλάμψεις και τις στεμματικές εκπομπές μάζας

5.1 Επιλογή Δεδομένων

Επιλέχθηκαν τα δεδομένα της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας για την περίοδο 2003-2005, σε ωριαίες τιμές, από τον Σταθμό Κοσμικής Ακτινοβολίας του Πανεπιστημίου Αθηνών (<http://cosray.phys.uoa.gr>).

Στη συνέχεια, φτιάχτηκαν οι πίνακες των Στεμματικών Εκπομπών Μάζας Ολικής και Μερικής Άλως (Full and Partial Halo CMEs) βάσει του καταλόγου του Φασματομετρικού Στεμματογράφου LASCO, που είναι ταξινομημένος κατά έτος και μήνα (http://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME_list/).

Τέλος, τα δεδομένα των Ηλιακών Εκλάμψεων ελήφθησαν από το site: <http://www.ngdc.noaa.gov/stp/SOLAR/ftpsolarflares.html>.

Ηλιακές εκλάμψεις

2003

Ημερομηνία	Ωρα Έναρξης	Ωρα μεγίστου	Ωρα λήξης	Θέση πάνω στον ηλιακό δίσκο	Μέγεθος έκλαμψης
17/ 03/ 2003	18:50	19:05	19:16	S14W39	X 1.5
18/ 03/ 2003	11:51	12:08	12:20	S15W46	X 1.5
23/ 04/ 2003	00:39	01:06	01:15	N22W25	M 5.1
26/ 04/ 2003	08:01	08:07	08:09	---	M 7.0
27/ 05/ 2003	22:56	23:07	23:13	S07W17	X 1.3
28/ 05/ 2003	00:17	00:27	00:39	---	X 3.6
29/ 05/ 2003	00:51	01:05	01:12	S06W37	X 1.2
31/ 05/ 2003	02:13	02:24	02:40	S07W65	M 9.3
02/ 06/ 2003	00:07	00:22	00:43	---	M 6.5
09/ 06/ 2003	21:31	21:39	21:43	---	X 1.7
10/ 06/ 2003	10:55	11:12	11:15	N11W45	M 5.1
10/ 06/ 2003	18:08	18:15	18:26	---	M 5.6
10/ 06/ 2003	23:19	00:02	00:12	N10W40	X 1.3
11/ 06/ 2003	20:01	20:14	20:27	N14W57	X 1.6
12/ 06/ 2003	01:04	01:30	01:52	---	M 7.3
15/ 06/ 2003	23:25	23:56	00:25	S07E80	X 1.3
17/ 06/ 2003	22:27	22:55	23:12	---	M 6.8
19/ 10/ 2003	16:29	16:50	17:04	N08E58	X 1.1

22/ 10/ 2003	19:47	20:07	20:28	---	M 9.9
23/ 10/ 2003	08:19	08:35	08:49	S21E88	X 5.4
23/ 10/ 2003	19:50	20:04	20:14	S17E84	X 1.1
24/ 10/ 2003	02:27	02:54	03:14	S19E72	M 7.6
26/ 10/ 2003	05:57	06:54	07:33	S15E44	X 1.2
26/ 10/ 2003	17:21	18:19	19:21	N02W38	X 1.2
26/ 10/ 2003	21:34	21:40	21:48	N01W38	M 7.6
27/ 10/ 2003	09:21	09:27	09:32	S16E26	M 5.0
27/ 10/ 2003	12:27	12:43	12:52	S17E25	M 6.7
28/ 10/ 2003	09:51	11:10	11:24	S16E08	X 17.2
29/ 10/ 2003	20:37	20:49	21:01	S15W02	X 10.0
02/ 11/ 2003	17:03	17:25	17:39	S14W56	X 8.3
03/ 11/ 2003	01:09	01:30	01:45	N10W83	X 2.7
03/ 11/ 2003	09:43	09:55	10:19	N08W77	X 3.9
04/ 11/ 2003	19:29	19:50	20:06	S19W83	X 28.0
05/ 11/ 2003	10:46	10:52	10:56	S16W90	M 5.3
20/ 11/ 2003	07:35	07:47	07:53	N01W08	M 9.6
20/ 11/ 2003	23:42	23:53	23:58	N02W17	M 5.8

2004

Ημερομηνία	Ωρα Έναρξης	Ωρα μεγίστου	Ωρα λήξης	Θέση πάνω στον ηλιακό δίσκο	Μέγεθος έκλαμψης
07/ 01/ 2004	10:14	10:27	10:33	N06E75	M 8.3
17/ 01/ 2004	17:35	17:50	17:59	S15E19	M 5.0
20/ 01/ 2004	07:29	07:43	07:47	S15W13	M 6.1
26/ 02/ 2004	01:50	02:03	02:10	N14W14	X 1.1
26/ 02/ 2004	22:14	22:30	22:39	N14W26	M 5.7
21/ 05/ 2004	23:35	23:52	23:59	S10E54	M 2.6
13/ 07/ 2004	00:09	00:17	00:23	N14W45	M 6.7
13/ 07/ 2004	08:40	08:48	08:55	N14W51	M 5.4
13/ 07/ 2004	19:24	19:32	19:36	N14W56	M 6.2
14/ 07/ 2004	05:02	05:23	05:27	N14W63	M 6.2
15/ 07/ 2004	01:30	01:41	01:48	S10E54	X 1.8
15/ 07/ 2004	18:15	18:24	18:28	S11E45	X 1.6
16/ 07/ 2004	01:43	02:06	02:12	S11E41	X 1.3
16/ 07/ 2004	10:32	10:41	10:46	S10E36	X 1.1
16/ 07/ 2004	13:49	13:55	14:01	S10E35	X 3.6
17/ 07/ 2004	07:51	07:57	07:59	S11E24	X 1.0
20/ 07/ 2004	12:22	12:32	12:45	N10E35	M 8.6
22/ 07/ 2004	00:14	00:32	00:43	N03E17	M 9.1
25/ 07/ 2004	05:39	05:51	05:58	N10W30	M 7.1
13/ 08/ 2004	18:07	18:12	18:15	S13W23	X 1.0
14/ 08/ 2004	05:36	05:44	05:52	S13W29	M 7.4
14/ 08/ 2004	13:31	13:43	13:50	S13W34	M 5.6
15/ 08/ 2004	12:34	12:41	12:43	S13W46	M 9.4

18/ 08/ 2004	17:29	17:40	17:54	S14W90	X 1.8
30/ 10/ 2004	11:38	11:46	11:50	N13W25	X 1.2
30/ 10/ 2004	16:18	16:33	16:37	N13W28	M 5.9
03/ 11/ 2004	15:35	15:47	15:55	N09E38	M 5.0
04/ 11/ 2004	22:53	23:09	23:26	N08E18	M 5.4
06/ 11/ 2004	00:11	00:34	00:42	N09E05	M 9.3
06/ 11/ 2004	00:44	00:57	01:10	---	M 5.9
07/ 11/ 2004	15:42	16:06	16:15	N09W17	X 2.0
09/ 11/ 2004	16:59	17:19	17:32	N08W51	M 8.9
10/ 11/ 2004	01:59	02:13	02:20	N09W49	X 2.5

2005

Ημερομηνία	Ωρα Έναρξης	Ωρα μεγίστου	Ωρα λήξης	Θέση πάνω στον ηλιακό δίσκο	Μέγεθος έκλαμψης
01/ 01/ 2005	00:01	00:31	00:39	N06E34	X 1.7
15/ 01/ 2005	00:22	00:43	01:02	N14E08	X 1.2
15/ 01/ 2005	04:26	04:31	04:36	N14E06	M 8.4
15/ 01/ 2005	05:54	06:38	07:17	N16E04	M 8.6
15/ 01/ 2005	22:25	23:02	23:31	N15W05	X 2.6
17/ 01/ 2005	06:59	09:52	10:07	N15W25	X 3.8
19/ 01/ 2005	06:58	07:31	07:55	N16W53	M 6.7
19/ 01/ 2005	08:03	08:22	08:40	N15W51	X 1.3
20/ 01/ 2005	06:36	07:01	07:26	N14W61	X 7.1
13/ 05/ 2005	16:13	16:57	17:28	N12E11	M 8.0
13/ 07/ 2005	14:01	14:49	15:38	N11W90	M 5.0
14/ 07/ 2005	05:57	07:25	07:43	N09W90	M 9.1
14/ 07/ 2005	10:16	10:55	11:29	N11W90	X 1.2
30/ 07/ 2005	06:17	06:35	07:01	N12E60	X 1.3
22/ 08/ 2005	16:46	17:27	18:02	S13W65	M 5.6
25/ 08/ 2005	04:31	04:40	04:45	N09E80	M 6.4
07/ 09/ 2005	17:17	17:40	18:03	S11E77	X 17.0
08/ 09/ 2005	20:52	21:06	21:17	S12E75	X 5.4
09/ 09/ 2005	02:43	03:00	03:07	S12E68	X 1.1
09/ 09/ 2005	05:32	05:48	06:00	S13E71	M 6.2
09/ 09/ 2005	09:42	09:59	10:08	S11E66	X 3.6
09/ 09/ 2005	19:13	20:04	20:36	S12E67	X 6.2
10/ 09/ 2005	16:34	16:43	16:51	S11E47	X 1.1
10/ 09/ 2005	21:30	22:11	22:43	S13E47	X 2.1
12/ 09/ 2005	08:37	09:03	09:20	---	M 6.1
13/ 09/ 2005	19:19	19:27	20:57	---	X 1.5
13/ 09/ 2005	23:15	23:22	23:30	---	X 1.7
15/ 09/ 2005	08:30	08:38	08:46	---	X 1.1
17/ 09/ 2005	05:58	06:05	06:15	---	M 9.8
02/ 12/ 2005	02:42	02:52	03:00	S03E19	M 6.5
02/ 12/ 2005	10:05	10:12	10:25	S03E14	M 7.8

Στεμματικές Εκπομπές Μάζας (CMEs)

2003

Ημερομηνία	Ώρα	Εύρος
06/ 01/ 2003	10:06	Partial Halo CME
06/ 01/ 2003	13:31	Partial Halo CME
07/ 01/ 2003	08:30	Partial Halo CME
17/ 01/ 2003	02:30	Partial Halo CME
20/ 01/ 2003	21:30	Partial Halo CME
21/ 01/ 2003	15:30	Partial Halo CME
23/ 01/ 2003	23:30	Partial Halo CME
27/ 01/ 2003	22:23	Partial Halo CME
30/ 01/ 2003	10:06	Partial Halo CME
06/ 02/ 2003	10:30	Partial Halo CME
14/ 02/ 2003	18:33	Partial Halo CME
15/ 02/ 2003	08:06	Partial Halo CME
16/ 02/ 2003	23:08	Partial Halo CME
21/ 02/ 2003	11:30	Partial Halo CME
03/ 03/ 2003	21:08	Partial Halo CME
14/ 03/ 2003	18:06	Partial Halo CME
15/ 03/ 2003	21:54	Partial Halo CME
17/ 03/ 2003	18:30	Partial Halo CME
18/ 03/ 2003	12:30	Partial Halo CME
18/ 03/ 2003	13:54	Full Halo CME
19/ 03/ 2003	02:30	Full Halo CME
04/ 04/ 2003	21:50	Partial Halo CME
21/ 04/ 2003	13:36	Partial Halo CME
22/ 04/ 2003	02:48	Partial Halo CME
22/ 04/ 2003	07:36	Partial Halo CME
23/ 04/ 2003	01:27	Partial Halo CME
24/ 04/ 2003	13:27	Partial Halo CME
25/ 04/ 2003	05:50	Partial Halo CME
26/ 04/ 2003	21:50	Partial Halo CME
02/ 05/ 2003	23:50	Partial Halo CME
05/ 05/ 2003	10:26	Partial Halo CME
06/ 05/ 2003	15:50	Partial Halo CME
11/ 05/ 2003	20:58	Partial Halo CME
26/ 05/ 2003	18:06	Partial Halo CME
27/ 05/ 2003	06:50	Full Halo CME
27/ 05/ 2003	22:06	Partial Halo CME
27/ 05/ 2003	23:50	Full Halo CME
28/ 05/ 2003	00:50	Full Halo CME
29/ 05/ 2003	01:27	Full Halo CME
31/ 05/ 2003	02:30	Full Halo CME
02/ 06/ 2003	00:30	Partial Halo CME
02/ 06/ 2003	08:54	Partial Halo CME

02/ 06/ 2003	19:31	Partial Halo CME
05/ 06/ 2003	20:06	Partial Halo CME
10/ 06/ 2003	06:30	Full Halo CME
14/ 06/ 2003	01:54	Partial Halo CME
14/ 06/ 2003	05:30	Partial Halo CME
15/ 06/ 2003	14:30	Partial Halo CME
15/ 06/ 2003	23:54	Full Halo CME
17/ 06/ 2003	23:18	Full Halo CME
18/ 06/ 2003	13:31	Partial Halo CME
19/ 06/ 2003	08:54	Partial Halo CME
04/ 07/ 2003	15:30	Partial Halo CME
17/ 07/ 2003	08:54	Partial Halo CME
23/ 07/ 2003	12:30	Partial Halo CME
03/ 08/ 2003	00:30	Full Halo CME
14/ 08/ 2003	20:06	Full Halo CME
17/ 08/ 2003	17:54	Partial Halo CME
20/ 09/ 2003	04:30	Partial Halo CME
21/ 09/ 2003	08:30	Full Halo CME
21/ 09/ 2003	20:59	Full Halo CME
28/ 09/ 2003	13:00	Partial Halo CME
05/ 10/ 2003	02:06	Partial Halo CME
17/ 10/ 2003	16:06	Partial Halo CME
18/ 10/ 2003	15:30	Full Halo CME
18/ 10/ 2003	21:30	Partial Halo CME
19/ 10/ 2003	17:08	Partial Halo CME
21/ 10/ 2003	03:54	Full Halo CME
22/ 10/ 2003	08:30	Partial Halo CME
22/ 10/ 2003	20:06	Partial Halo CME
23/ 10/ 2003	08:54	Partial Halo CME
24/ 10/ 2003	02:54	Partial Halo CME
26/ 10/ 2003	06:54	Partial Halo CME
26/ 10/ 2003	17:54	Partial Halo CME
27/ 10/ 2003	08:30	Partial Halo CME
28/ 10/ 2003	10:54	Partial Halo CME
28/ 10/ 2003	11:30	Full Halo CME
29/ 10/ 2003	20:54	Full Halo CME
01/ 11/ 2003	21:30	Partial Halo CME
02/ 11/ 2003	09:30	Full Halo CME
02/ 11/ 2003	17:30	Full Halo CME
04/ 11/ 2003	12:06	Full Halo CME
04/ 11/ 2003	19:54	Full Halo CME
06/ 11/ 2003	17:30	Full Halo CME
07/ 11/ 2003	15:54	Full Halo CME
09/ 11/ 2003	06:30	Full Halo CME
11/ 11/ 2003	02:30	Full Halo CME
11/ 11/ 2003	13:54	Full Halo CME
11/ 11/ 2003	15:54	Partial Halo CME

12/ 11/ 2003	10:54	Full Halo CME
13/ 11/ 2003	09:30	Partial Halo CME
15/ 11/ 2003	17:50	Partial Halo CME
17/ 11/ 2003	09:26	Partial Halo CME
18/ 11/ 2003	08:50	Full Halo CME
18/ 11/ 2003	09:50	Partial Halo CME
20/ 11/ 2003	08:06	Full Halo CME
02/ 12/ 2003	10:50	Partial Halo CME
25/ 12/ 2003	02:30	Partial Halo CME

2004

Ημερομηνία	Ωρα	Εύρος
06/ 01/ 2004	08:53	Partial Halo CME
07/ 01/ 2004	04:06	Partial Halo CME
07/ 01/ 2004	10:30	Partial Halo CME
07/ 01/ 2004	16:54	Partial Halo CME
08/ 01/ 2004	05:06	Partial Halo CME
08/ 01/ 2004	14:54	Partial Halo CME
11/ 01/ 2004	20:30	Partial Halo CME
20/ 01/ 2004	00:06	Full Halo CME
21/ 01/ 2004	04:54	Full Halo CME
26/ 01/ 2004	15:30	Full Halo CME
13/ 02/ 2004	02:54	Partial Halo CME
15/ 02/ 2004	03:54	Partial Halo CME
17/ 02/ 2004	00:06	Partial Halo CME
19/ 02/ 2004	10:30	Partial Halo CME
29/ 02/ 2004	12:30	Partial Halo CME
07/ 03/ 2004	10:34	Partial Halo CME
25/ 03/ 2004	13:20	Partial Halo CME
29/ 03/ 2004	00:40	Partial Halo CME
05/ 04/ 2004	06:06	Partial Halo CME
06/ 04/ 2004	13:31	Full Halo CME
08/ 04/ 2004	10:30	Full Halo CME
09/ 04/ 2004	20:30	Partial Halo CME
11/ 04/ 2004	04:30	Partial Halo CME
11/ 04/ 2004	11:54	Full Halo CME
13/ 04/ 2004	02:26	Partial Halo CME
29/ 04/ 2004	19:27	Full Halo CME
01/ 05/ 2004	16:50	Partial Halo CME
02/ 05/ 2004	03:26	Partial Halo CME
07/ 05/ 2004	14:50	Partial Halo CME
10/ 05/ 2004	04:26	Partial Halo CME
11/ 05/ 2004	20:50	Partial Halo CME
15/ 05/ 2004	13:27	Partial Halo CME
23/ 05/ 2004	11:06	Full Halo CME

24/ 05/ 2004	21:26	Partial Halo CME
01/ 06/ 2004	10:06	Partial Halo CME
02/ 06/ 2004	23:15	Partial Halo CME
03/ 06/ 2004	09:50	Partial Halo CME
03/ 06/ 2004	15:06	Partial Halo CME
03/ 06/ 2004	16:50	Partial Halo CME
04/ 06/ 2004	07:50	Partial Halo CME
05/ 06/ 2004	09:06	Partial Halo CME
05/ 06/ 2004	18:26	Partial Halo CME
07/ 06/ 2004	00:50	Full Halo CME
10/ 06/ 2004	10:50	Partial Halo CME
15/ 06/ 2004	07:50	Partial Halo CME
16/ 06/ 2004	04:36	Partial Halo CME
26/ 06/ 2004	23:12	Partial Halo CME
28/ 06/ 2004	01:12	Partial Halo CME
29/ 06/ 2004	17:48	Partial Halo CME
02/ 07/ 2004	05:00	Full Halo CME
02/ 07/ 2004	21:24	Partial Halo CME
05/ 07/ 2004	23:06	Full Halo CME
06/ 07/ 2004	20:06	Full Halo CME
12/ 07/ 2004	08:06	Partial Halo CME
13/ 07/ 2004	00:54	Partial Halo CME
13/ 07/ 2004	09:30	Full Halo CME
19/ 07/ 2004	11:30	Partial Halo CME
20/ 07/ 2004	13:31	Full Halo CME
22/ 07/ 2004	07:31	Partial Halo CME
22/ 07/ 2004	08:30	Partial Halo CME
23/ 07/ 2004	07:31	Partial Halo CME
23/ 07/ 2004	16:06	Full Halo CME
23/ 07/ 2004	17:54	Partial Halo CME
25/ 07/ 2004	14:54	Full Halo CME
28/ 07/ 2004	03:30	Partial Halo CME
29/ 07/ 2004	12:06	Full Halo CME
31/ 07/ 2004	05:54	Partial Halo CME
08/ 08/ 2004	08:54	Full Halo CME
10/ 08/ 2004	16:54	Partial Halo CME
14/ 08/ 2004	21:54	Partial Halo CME
17/ 08/ 2004	06:06	Partial Halo CME
20/ 08/ 2004	15:54	Partial Halo CME
25/ 08/ 2004	13:31	Partial Halo CME
01/ 09/ 2004	15:38	Full Halo CME
03/ 09/ 2004	00:30	Full Halo CME
03/ 09/ 2004	00:54	Full Halo CME
03/ 09/ 2004	10:30	Full Halo CME
04/ 09/ 2004	06:54	Full Halo CME
05/ 09/ 2004	07:54	Partial Halo CME
05/ 09/ 2004	20:58	Partial Halo CME

06/ 09/ 2004	17:30	Partial Halo CME
07/ 09/ 2004	15:30	Partial Halo CME
07/ 09/ 2004	19:31	Partial Halo CME
09/ 09/ 2004	07:31	Partial Halo CME
12/ 09/ 2004	00:36	Full Halo CME
14/ 09/ 2004	10:12	Full Halo CME
13/ 10/ 2004	21:33	Partial Halo CME
20/ 10/ 2004	11:06	Partial Halo CME
22/ 10/ 2004	08:30	Partial Halo CME
27/ 10/ 2004	10:30	Full Halo CME
30/ 10/ 2004	06:54	Full Halo CME
30/ 10/ 2004	12:30	Full Halo CME
30/ 10/ 2004	16:54	Full Halo CME
01/ 11/ 2004	03:54	Partial Halo CME
01/ 11/ 2004	06:06	Partial Halo CME
03/ 11/ 2004	03:54	Partial Halo CME
03/ 11/ 2004	16:06	Full Halo CME
04/ 11/ 2004	09:54	Full Halo CME
04/ 11/ 2004	23:30	Partial Halo CME
06/ 11/ 2004	01:31	Full Halo CME
06/ 11/ 2004	02:06	Partial Halo CME
07/ 11/ 2004	16:54	Full Halo CME
08/ 11/ 2004	03:54	Full Halo CME
09/ 11/ 2004	17:26	Full Halo CME
10/ 11/ 2004	02:26	Full Halo CME
01/ 12/ 2004	07:31	Partial Halo CME
03/ 12/ 2004	00:26	Full Halo CME
08/ 12/ 2004	20:26	Full Halo CME
15/ 12/ 2004	17:36	Full Halo CME
29/ 12/ 2004	16:45	Partial Halo CME
30/ 12/ 2004	10:57	Partial Halo CME
30/ 12/ 2004	22:30	Full Halo CME
31/ 12/ 2004	15:30	Partial Halo CME

2005

Ημερομηνία	Ωρα	Εύρος
01/ 01/ 2005	00:54	Full Halo CME
03/ 01/ 2005	05:30	Partial Halo CME
04/ 01/ 2005	13:54	Partial Halo CME
05/ 01/ 2005	15:30	Full Halo CME
08/ 01/ 2005	16:30	Partial Halo CME
09/ 01/ 2005	09:06	Partial Halo CME
13/ 01/ 2005	17:54	Full Halo CME
13/ 01/ 2005	23:54	Partial Halo CME
14/ 01/ 2005	17:06	Full Halo CME

15/ 01/ 2005	06:30	Full Halo CME
15/ 01/ 2005	14:54	Partial Halo CME
15/ 01/ 2005	23:06	Full Halo CME
17/ 01/ 2005	09:30	Full Halo CME
17/ 01/ 2005	09:54	Full Halo CME
19/ 01/ 2005	08:29	Full Halo CME
19/ 01/ 2005	09:28	Partial Halo CME
20/ 01/ 2005	06:54	Full Halo CME
30/ 01/ 2005	15:54	Partial Halo CME
31/ 01/ 2005	07:31	Partial Halo CME
01/ 02/ 2005	11:06	Full Halo CME
05/ 02/ 2005	13:31	Partial Halo CME
13/ 02/ 2005	11:06	Partial Halo CME
16/ 02/ 2005	07:31	Partial Halo CME
17/ 02/ 2005	00:06	Full Halo CME
28/ 02/ 2005	22:30	Partial Halo CME
01/ 03/ 2005	00:06	Partial Halo CME
18/ 03/ 2005	02:12	Partial Halo CME
21/ 03/ 2005	14:36	Partial Halo CME
04/ 04/ 2005	11:06	Partial Halo CME
09/ 04/ 2005	08:26	Partial Halo CME
09/ 04/ 2005	13:50	Partial Halo CME
19/ 04/ 2005	22:06	Full Halo CME
22/ 04/ 2005	06:26	Partial Halo CME
25/ 04/ 2005	23:06	Partial Halo CME
29/ 04/ 2005	10:50	Partial Halo CME
30/ 04/ 2005	14:26	Full Halo CME
01/ 05/ 2005	00:50	Full Halo CME
01/ 05/ 2005	09:50	Partial Halo CME
02/ 05/ 2005	05:26	Full Halo CME
02/ 05/ 2005	22:26	Partial Halo CME
03/ 05/ 2005	17:26	Partial Halo CME
05/ 05/ 2005	20:30	Full Halo CME
06/ 05/ 2005	11:54	Partial Halo CME
06/ 05/ 2005	17:28	Full Halo CME
10/ 05/ 2005	16:06	Full Halo CME
11/ 05/ 2005	20:13	Full Halo CME
13/ 05/ 2005	17:12	Full Halo CME
15/ 05/ 2005	23:26	Partial Halo CME
16/ 05/ 2005	13:50	Partial Halo CME
17/ 05/ 2005	03:26	Partial Halo CME
20/ 05/ 2005	06:26	Partial Halo CME
21/ 05/ 2005	06:26	Partial Halo CME
21/ 05/ 2005	13:27	Partial Halo CME
24/ 05/ 2005	12:50	Partial Halo CME
26/ 05/ 2005	15:06	Full Halo CME
26/ 05/ 2005	21:26	Partial Halo CME

27/ 05/ 2005	00:26	Partial Halo CME
30/ 05/ 2005	13:32	Partial Halo CME
31/ 05/ 2005	15:32	Partial Halo CME
01/ 06/ 2005	03:32	Partial Halo CME
03/ 06/ 2005	03:32	Partial Halo CME
03/ 06/ 2005	12:32	Full Halo CME
08/ 06/ 2005	07:48	Partial Halo CME
09/ 06/ 2005	14:36	Partial Halo CME
12/ 06/ 2005	02:36	Partial Halo CME
14/ 06/ 2005	07:24	Full Halo CME
25/ 06/ 2005	08:06	Full Halo CME
26/ 06/ 2005	07:54	Full Halo CME
28/ 06/ 2005	17:06	Full Halo CME
05/ 07/ 2005	15:30	Full Halo CME
06/ 07/ 2005	21:26	Partial Halo CME
07/ 07/ 2005	11:50	Partial Halo CME
07/ 07/ 2005	13:26	Partial Halo CME
07/ 07/ 2005	17:06	Full Halo CME
09/ 07/ 2005	22:30	Full Halo CME
10/ 07/ 2005	08:54	Partial Halo CME
12/ 07/ 2005	16:54	Full Halo CME
13/ 07/ 2005	14:30	Full Halo CME
14/ 07/ 2005	10:54	Full Halo CME
15/ 07/ 2005	21:08	Partial Halo CME
16/ 07/ 2005	19:54	Partial Halo CME
17/ 07/ 2005	11:30	Full Halo CME
21/ 07/ 2005	03:54	Full Halo CME
21/ 07/ 2005	18:30	Partial Halo CME
22/ 07/ 2005	17:07	Full Halo CME
22/ 07/ 2005	23:54	Full Halo CME
23/ 07/ 2005	23:30	Partial Halo CME
24/ 07/ 2005	11:30	Full Halo CME
24/ 07/ 2005	13:54	Full Halo CME
24/ 07/ 2005	22:30	Full Halo CME
25/ 07/ 2005	11:06	Full Halo CME
25/ 07/ 2005	21:54	Partial Halo CME
26/ 07/ 2005	04:54	Full Halo CME
26/ 07/ 2005	09:30	Partial Halo CME
27/ 07/ 2005	04:54	Full Halo CME
28/ 07/ 2005	22:06	Partial Halo CME
30/ 07/ 2005	06:50	Full Halo CME
05/ 08/ 2005	08:54	Partial Halo CME
19/ 08/ 2005	23:06	Partial Halo CME
20/ 08/ 2005	10:09	Partial Halo CME
20/ 08/ 2005	21:30	Partial Halo CME
22/ 08/ 2005	01:31	Full Halo CME
22/ 08/ 2005	17:30	Full Halo CME

23/ 08/ 2005	14:54	Full Halo CME
25/ 08/ 2005	04:54	Partial Halo CME
29/ 08/ 2005	10:54	Full Halo CME
31/ 08/ 2005	07:31	Partial Halo CME
31/ 08/ 2005	10:06	Partial Halo CME
31/ 08/ 2005	11:30	Full Halo CME
31/ 08/ 2005	22:30	Full Halo CME
01/ 09/ 2005	11:30	Partial Halo CME
02/ 09/ 2005	00:30	Full Halo CME
03/ 09/ 2005	03:12	Full Halo CME
05/ 09/ 2005	09:48	Full Halo CME
06/ 09/ 2005	20:00	Partial Halo CME
09/ 09/ 2005	19:48	Full Halo CME
10/ 09/ 2005	21:52	Full Halo CME
11/ 09/ 2005	13:00	Full Halo CME
13/ 09/ 2005	20:00	Full Halo CME
28/ 09/ 2005	01:54	Partial Halo CME
06/ 10/ 2005	14:26	Partial Halo CME
22/ 10/ 2005	06:30	Full Halo CME
24/ 10/ 2005	15:54	Partial Halo CME
07/ 11/ 2005	23:06	Partial Halo CME
16/ 11/ 2005	16:30	Partial Halo CME
19/ 11/ 2005	05:54	Partial Halo CME
19/ 11/ 2005	14:54	Partial Halo CME
20/ 11/ 2005	21:54	Partial Halo CME
23/ 11/ 2005	23:54	Partial Halo CME
24/ 11/ 2005	13:31	Partial Halo CME
29/ 11/ 2005	17:30	Partial Halo CME
02/ 12/ 2005	11:06	Partial Halo CME
07/ 12/ 2005	19:12	Full Halo CME
17/ 12/ 2005	05:48	Partial Halo CME
18/ 12/ 2005	03:00	Partial Halo CME
28/ 12/ 2005	03:30	Partial Halo CME

5.2 Πειραματική Διαδικασία

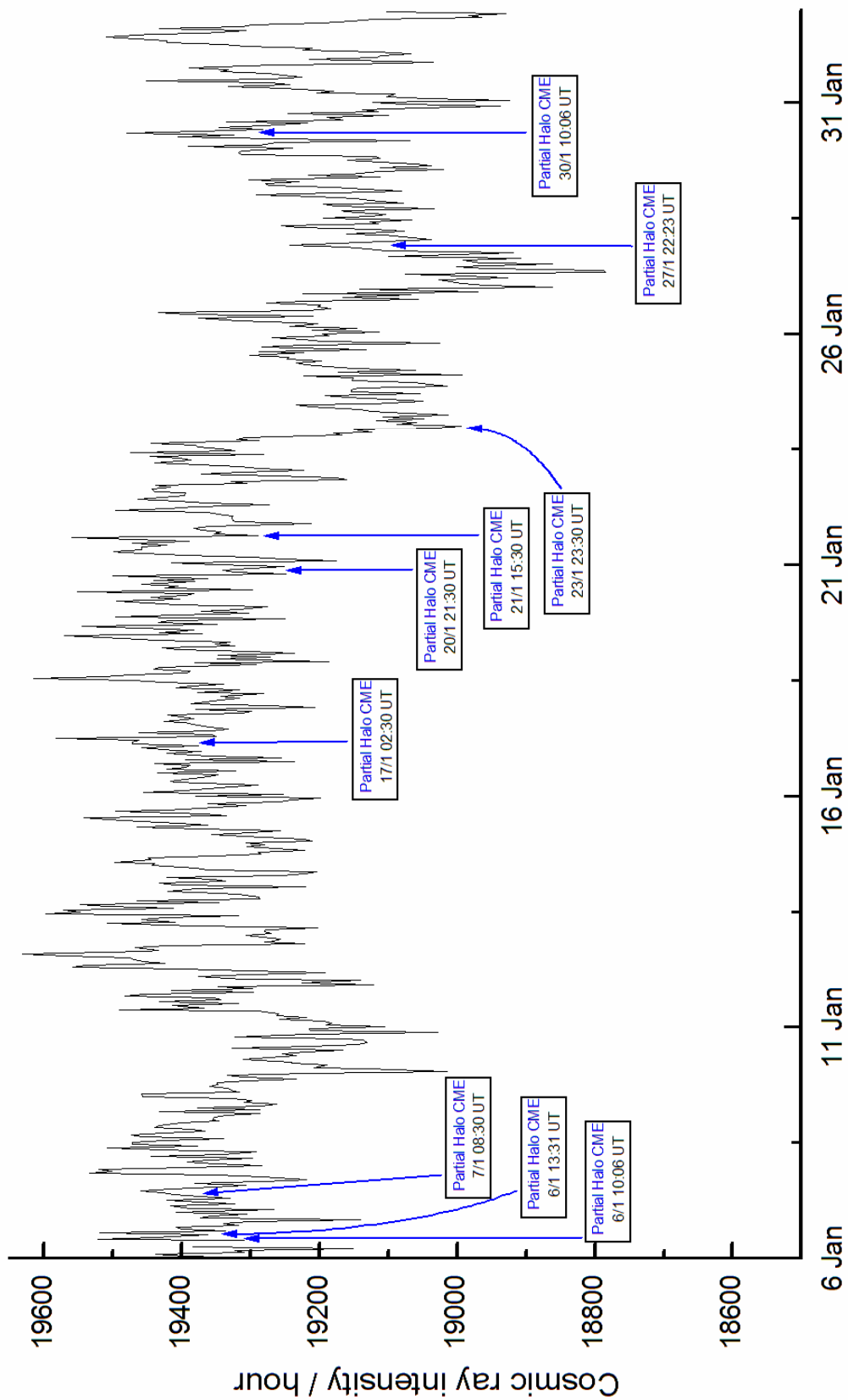
Χρησιμοποιώντας τα δεδομένα της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας φτιάχτηκαν τα αντίστοιχα χρονικά διαγράμματα 27 ημερών για την περίοδο 2003-2005 (BR 2313-2353).

Στη συνέχεια, έγινε χαρτογράφηση των γεγονότων της ηλιακής δραστηριότητας, πιο συγκεκριμένα για τις ηλιακές εκλάμψεις της τάξης $M > 5.0$ και των στεμματικών εκπομπών μάζας, πάνω στα αντίστοιχα χρονικά διαγράμματα.

5.3 Χαρτογράφηση

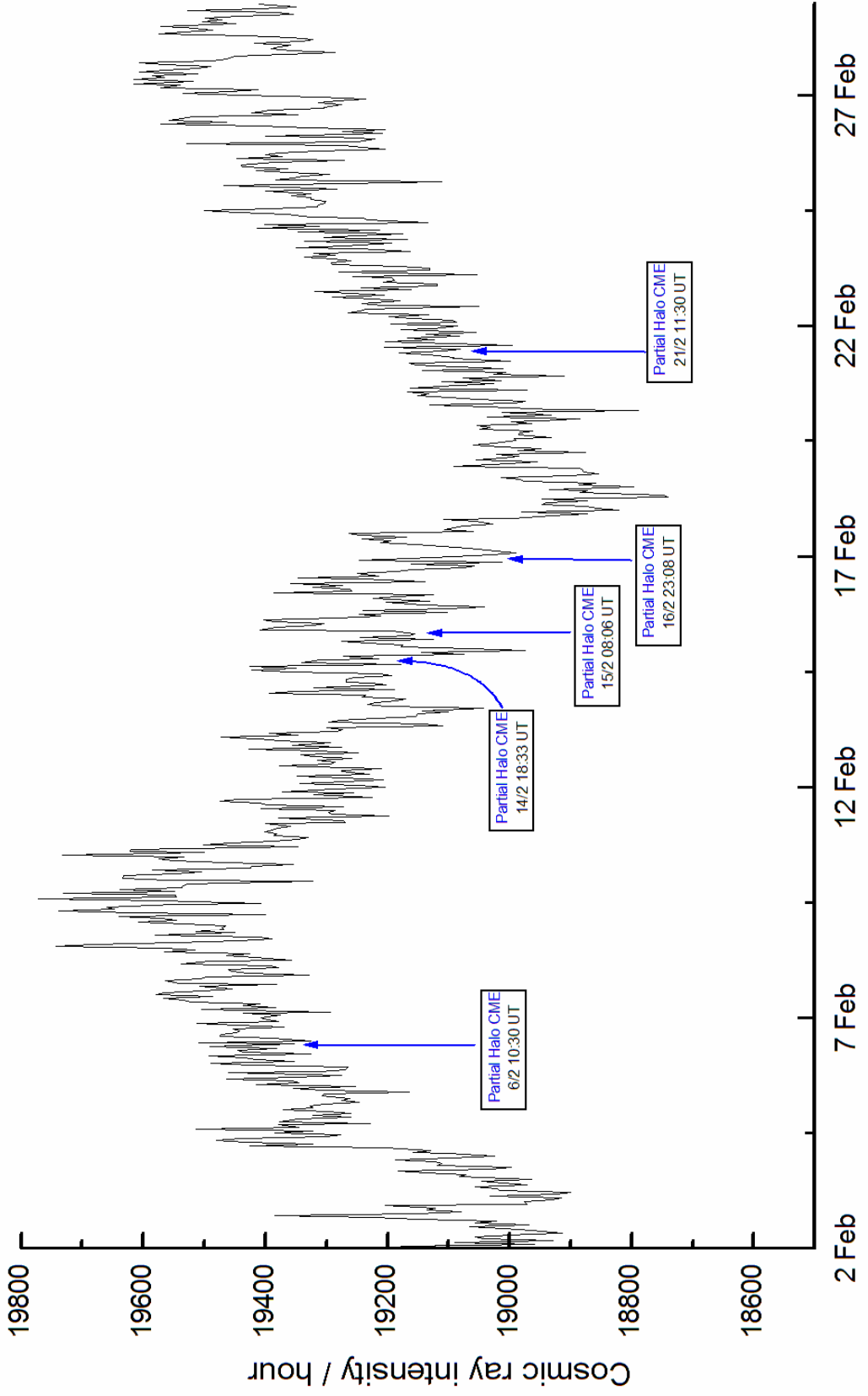
Παρακάτω παρουσιάζονται τα σχετικά διαγράμματα.

ATHENS NEUTRON MONITOR
BARTELS ROTATION 2313



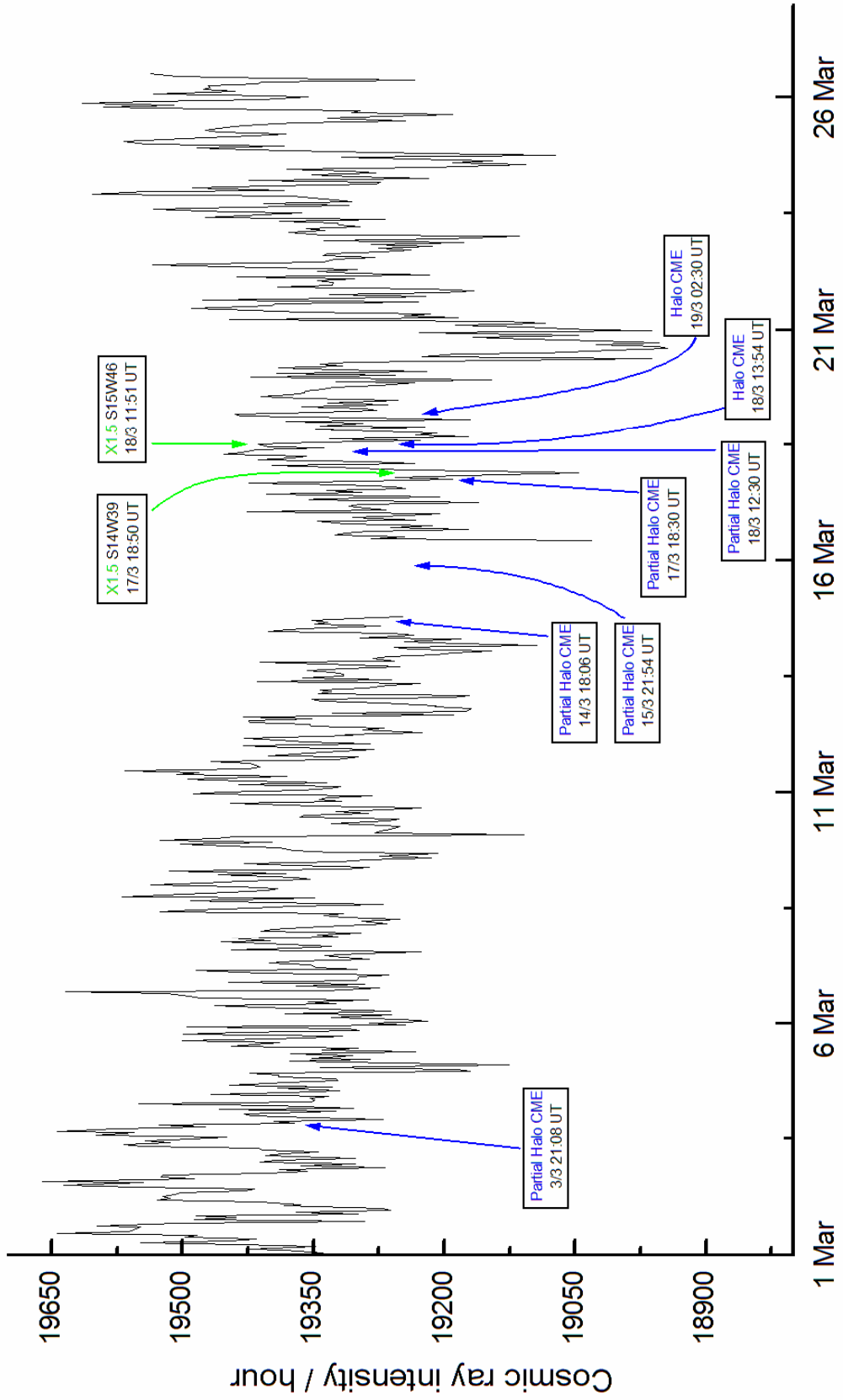
From Jan.6, 2003 to Feb.1, 2003

ATHENS NEUTRON MONITOR
BARTELS ROTATION 2314



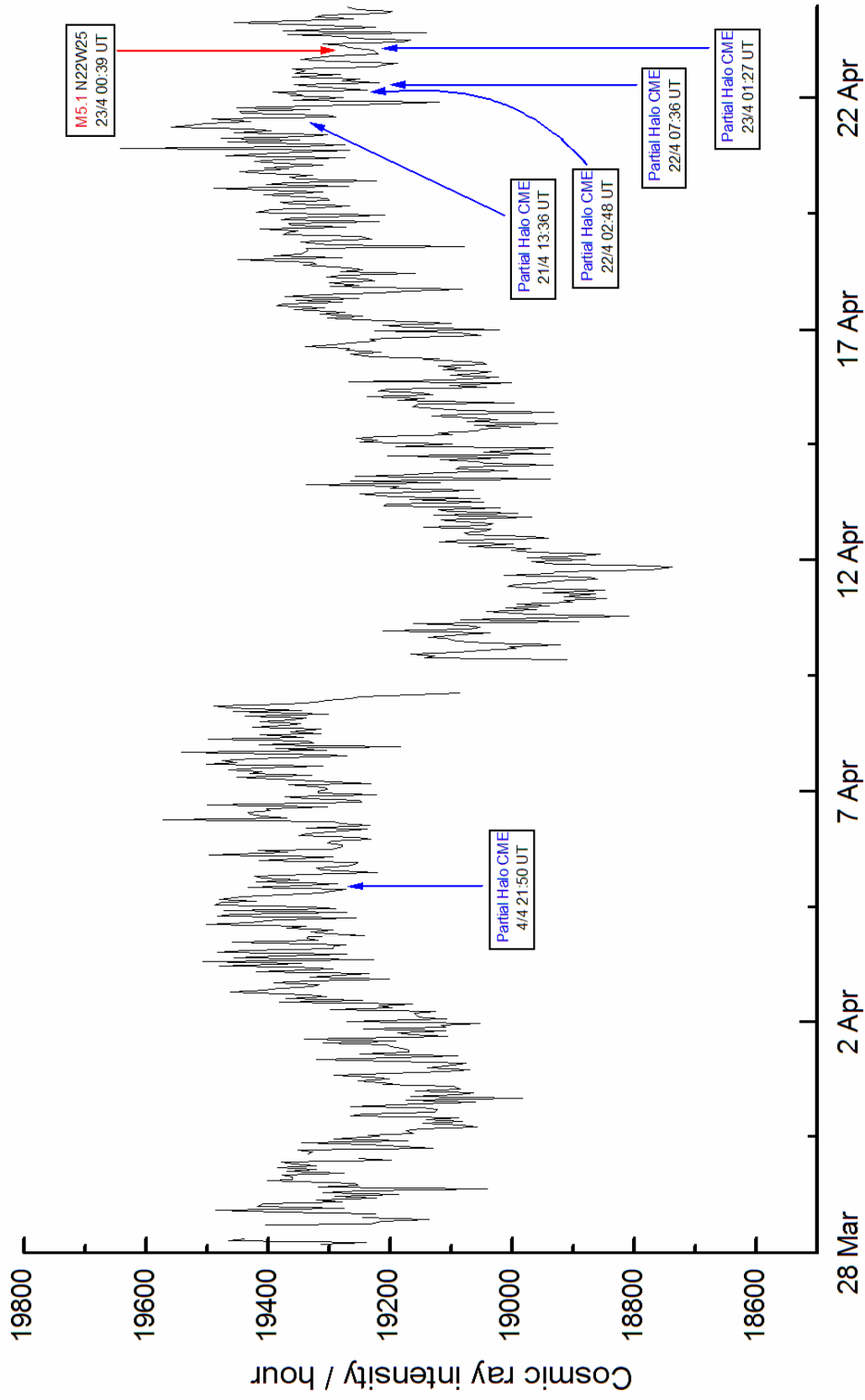
From Feb.2, 2003 to Feb.28, 2003

**ATHENS NEUTRON MONITOR
BARTELS ROTATION 2315**



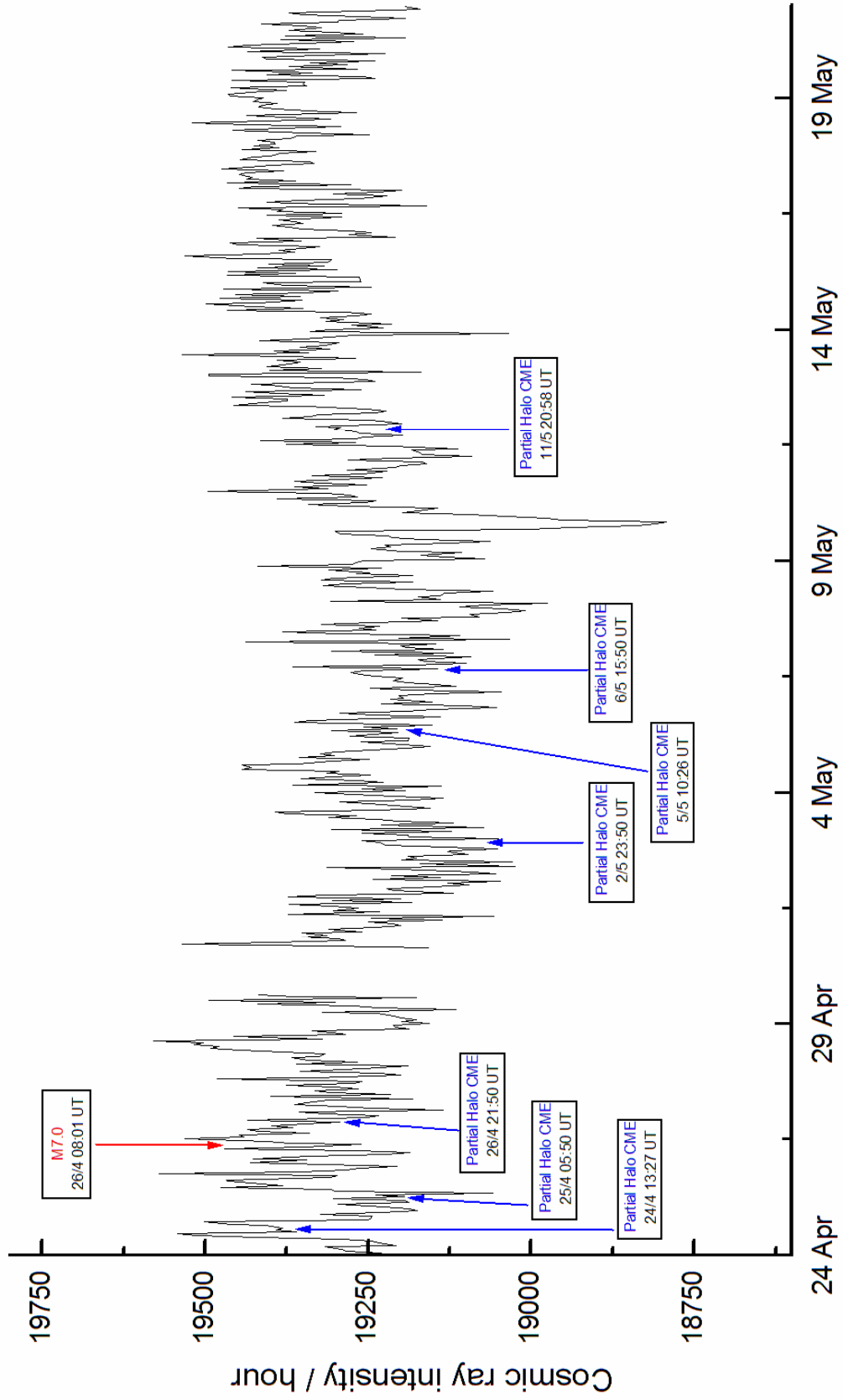
From Mar.1, 2003 to Mar.27, 2003

ATHENS NEUTRON MONITOR
BARTELS ROTATION 2316



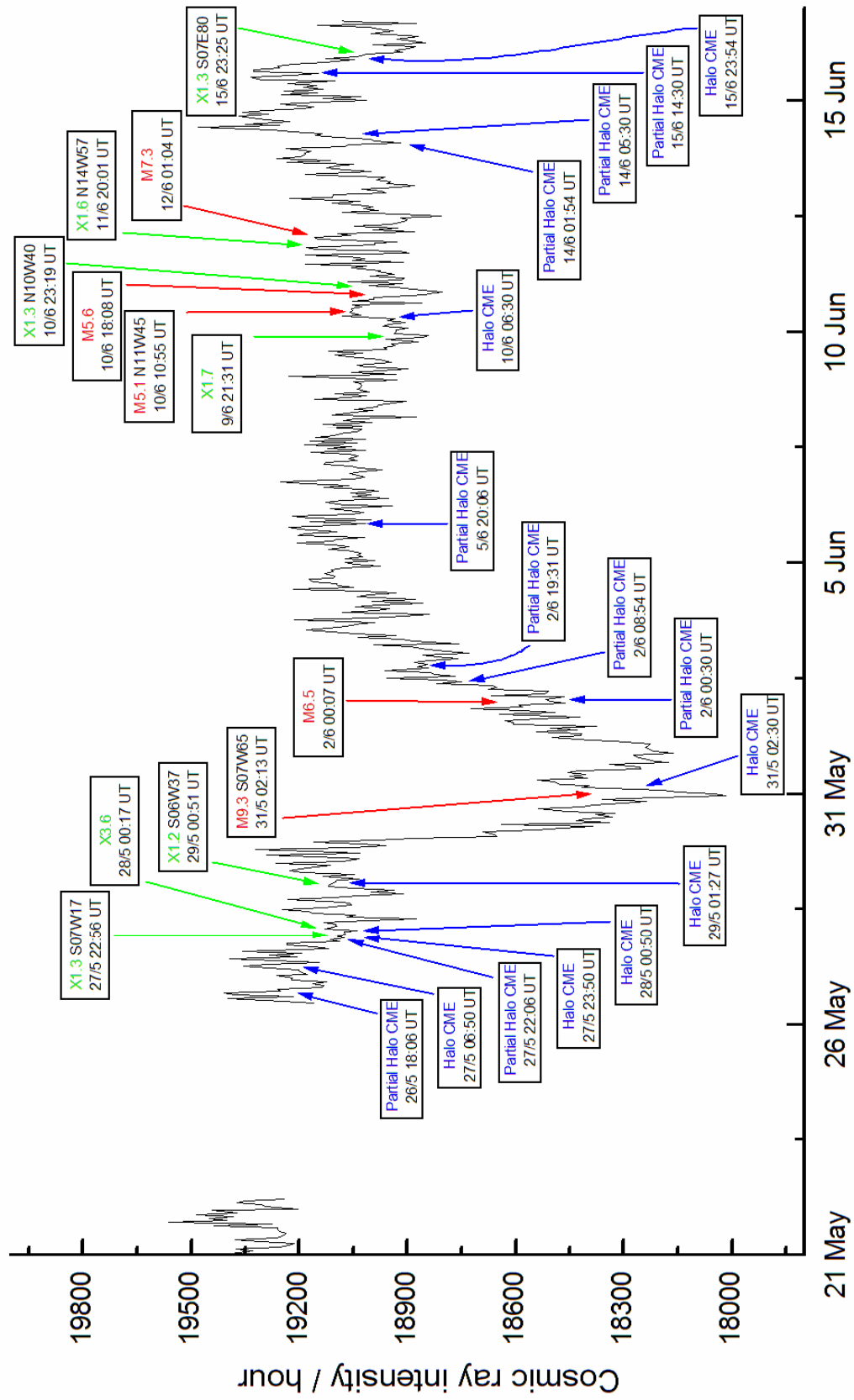
From Mar.28, 2003 to Apr.23, 2003

ATHENS NEUTRON MONITOR
BARTELS ROTATION 2317



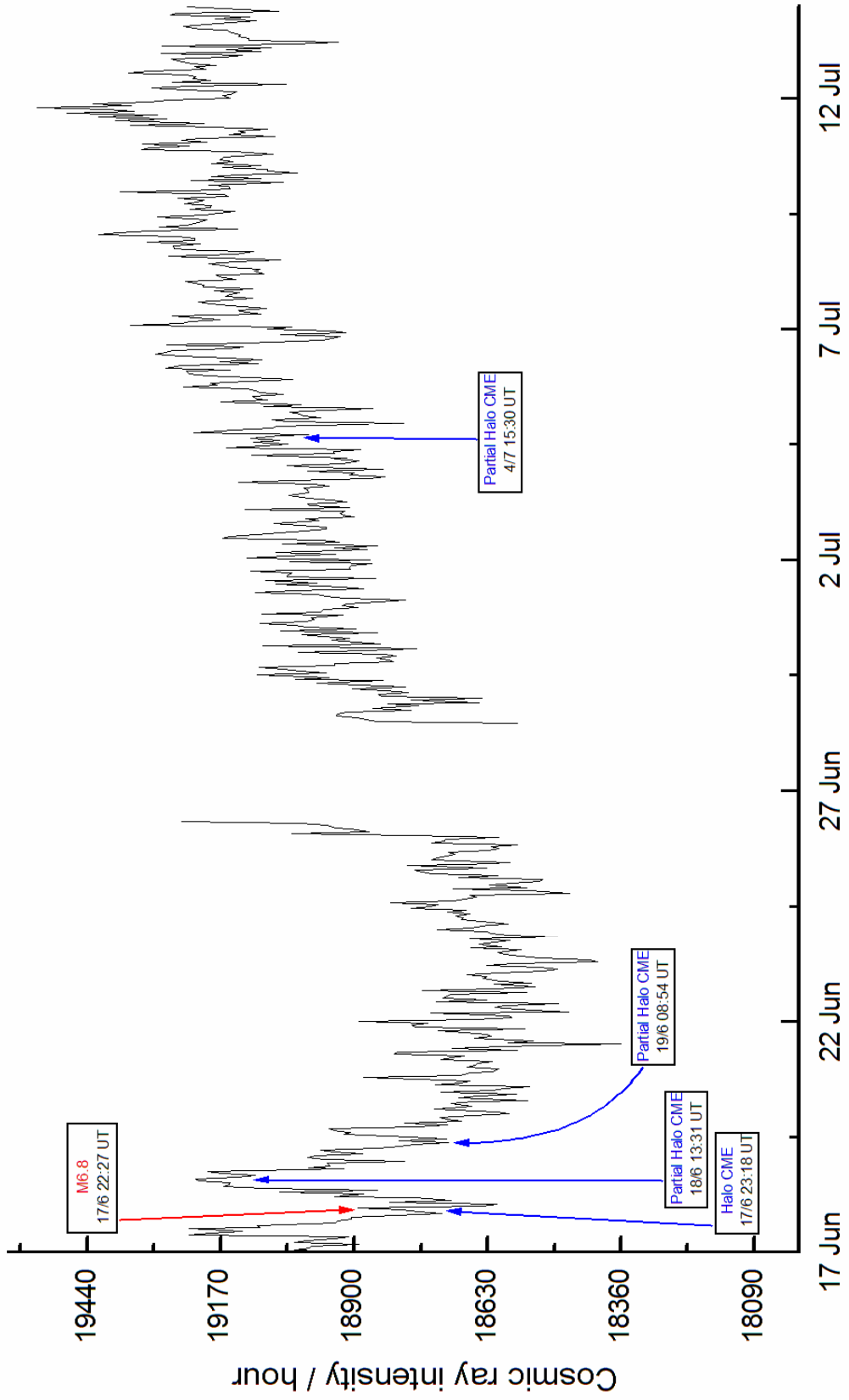
From Apr.24, 2003 to May 20, 2003

ATHENS NEUTRON MONITOR BARTELS ROTATION 2318



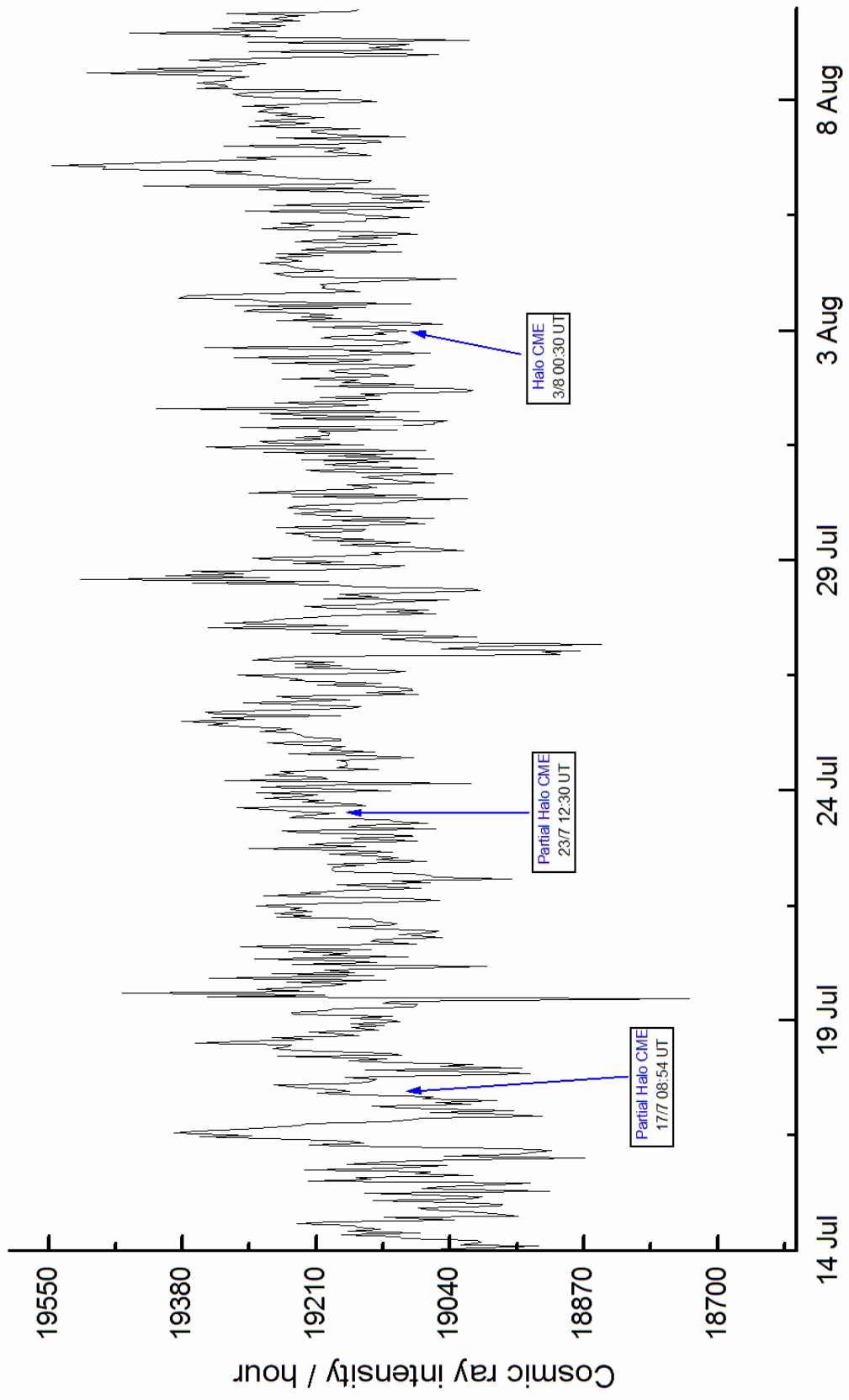
From May 21, 2003 to Jun.16, 2003

ATHENS NEUTRON MONITOR
BARTELS ROTATION 2319



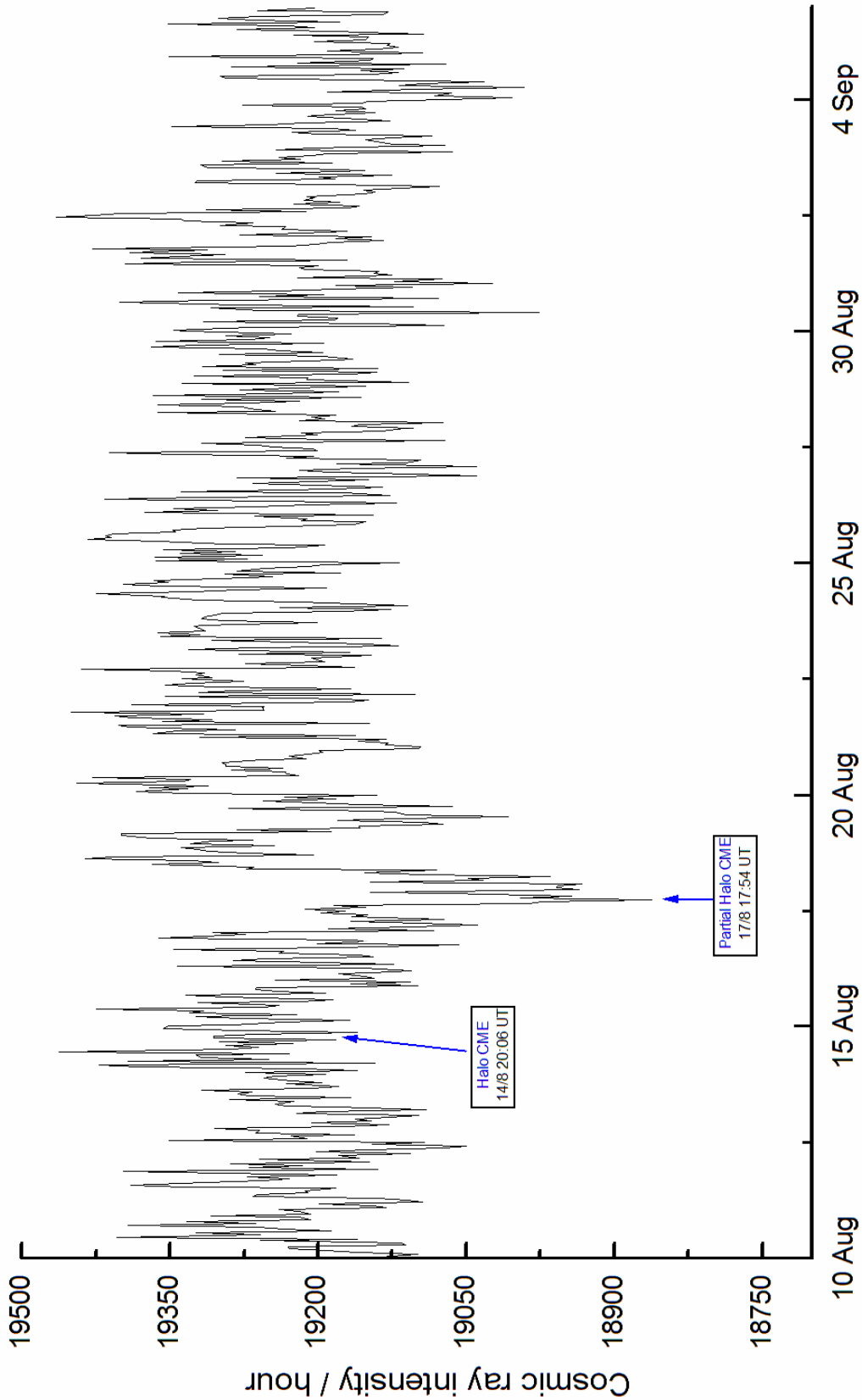
From Jun.17, 2003 to Jul.13, 2003

ATHENS NEUTRON MONITOR
BARTELS ROTATION 2320



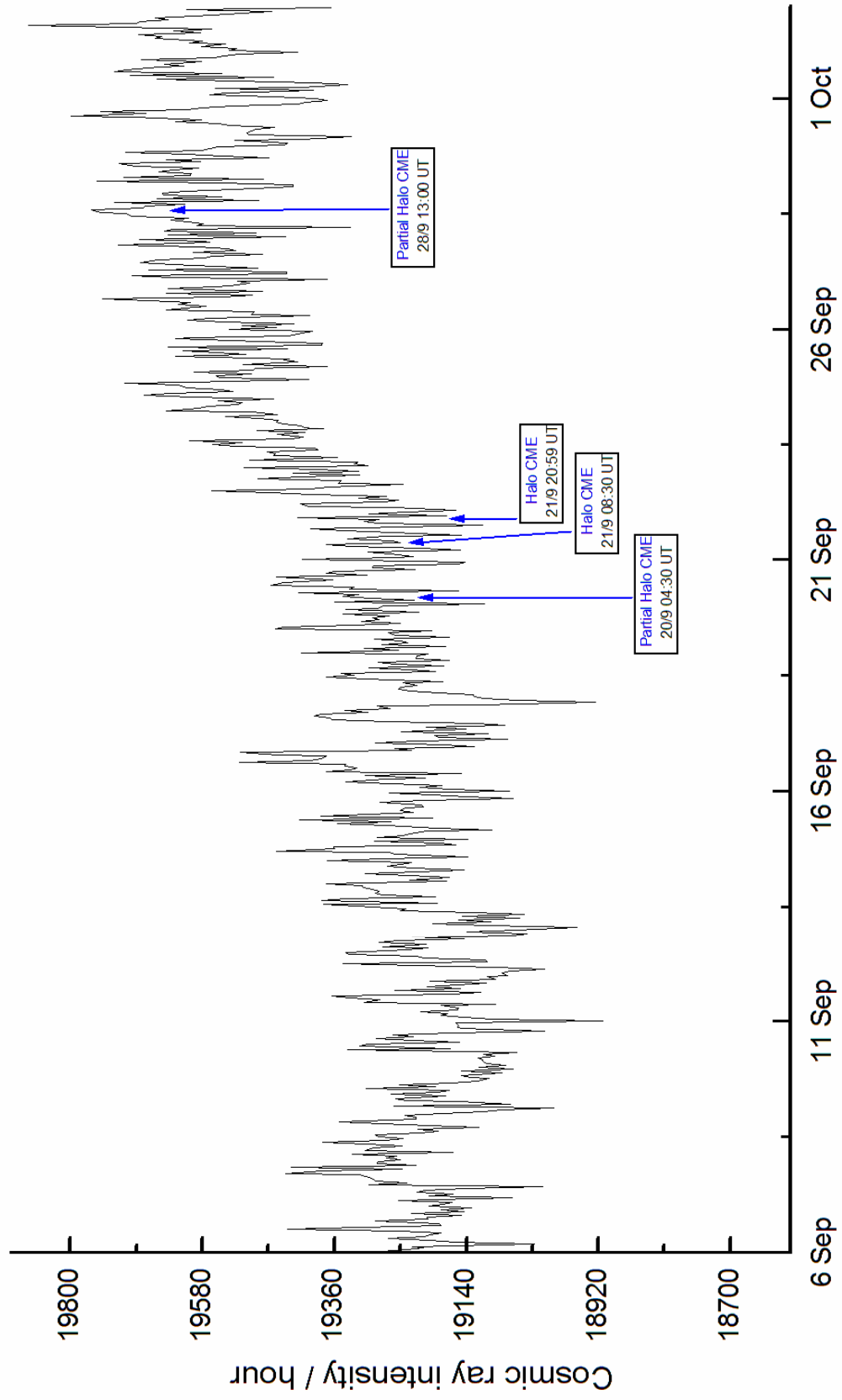
From Jul.14, 2003 to Aug.9, 2003

ATHENS NEUTRON MONITOR
BARTELS ROTATION 2321



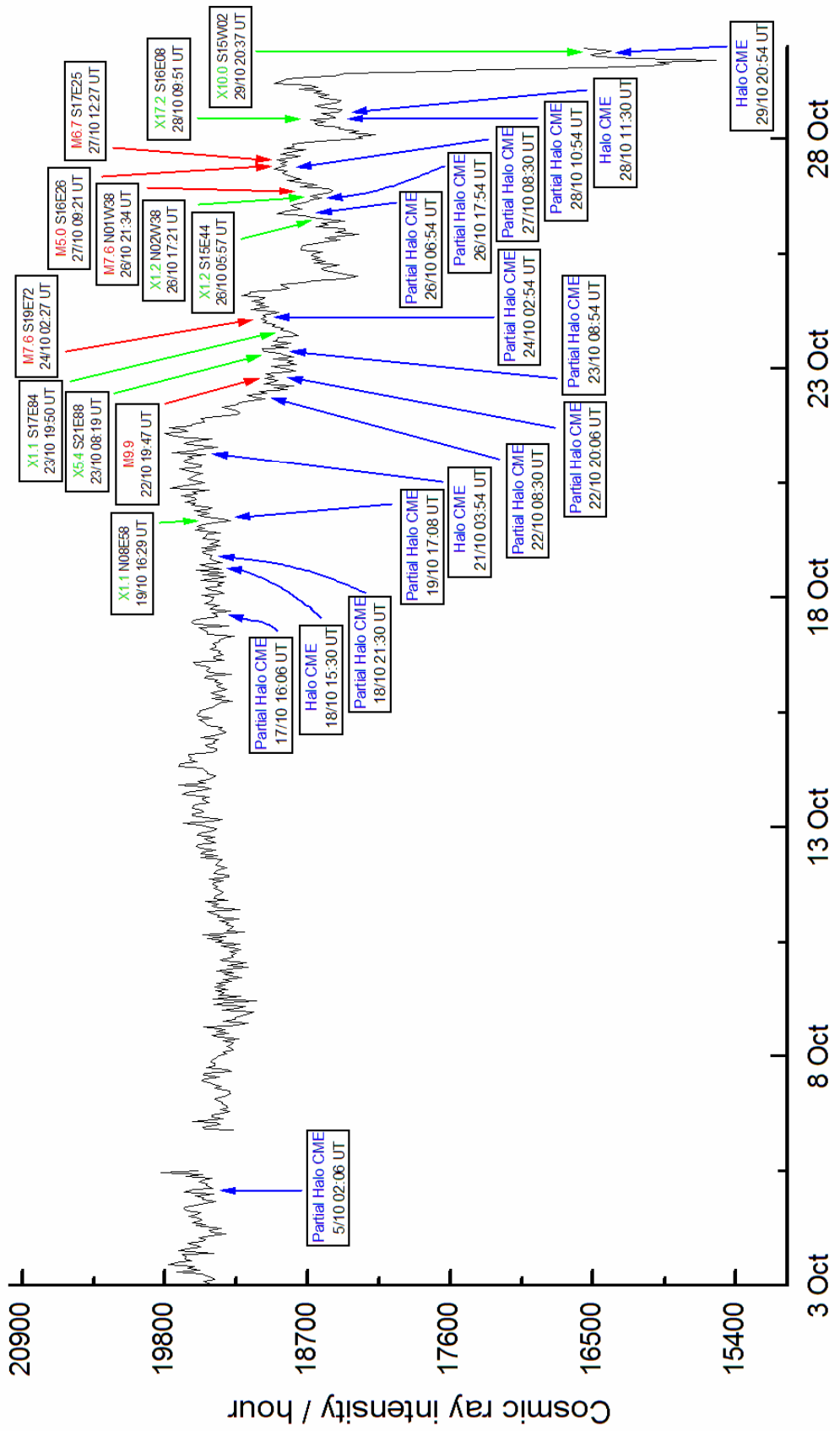
From Aug.10, 2003 to Sep.5, 2003

ATHENS NEUTRON MONITOR
BARTELS ROTATION 2322



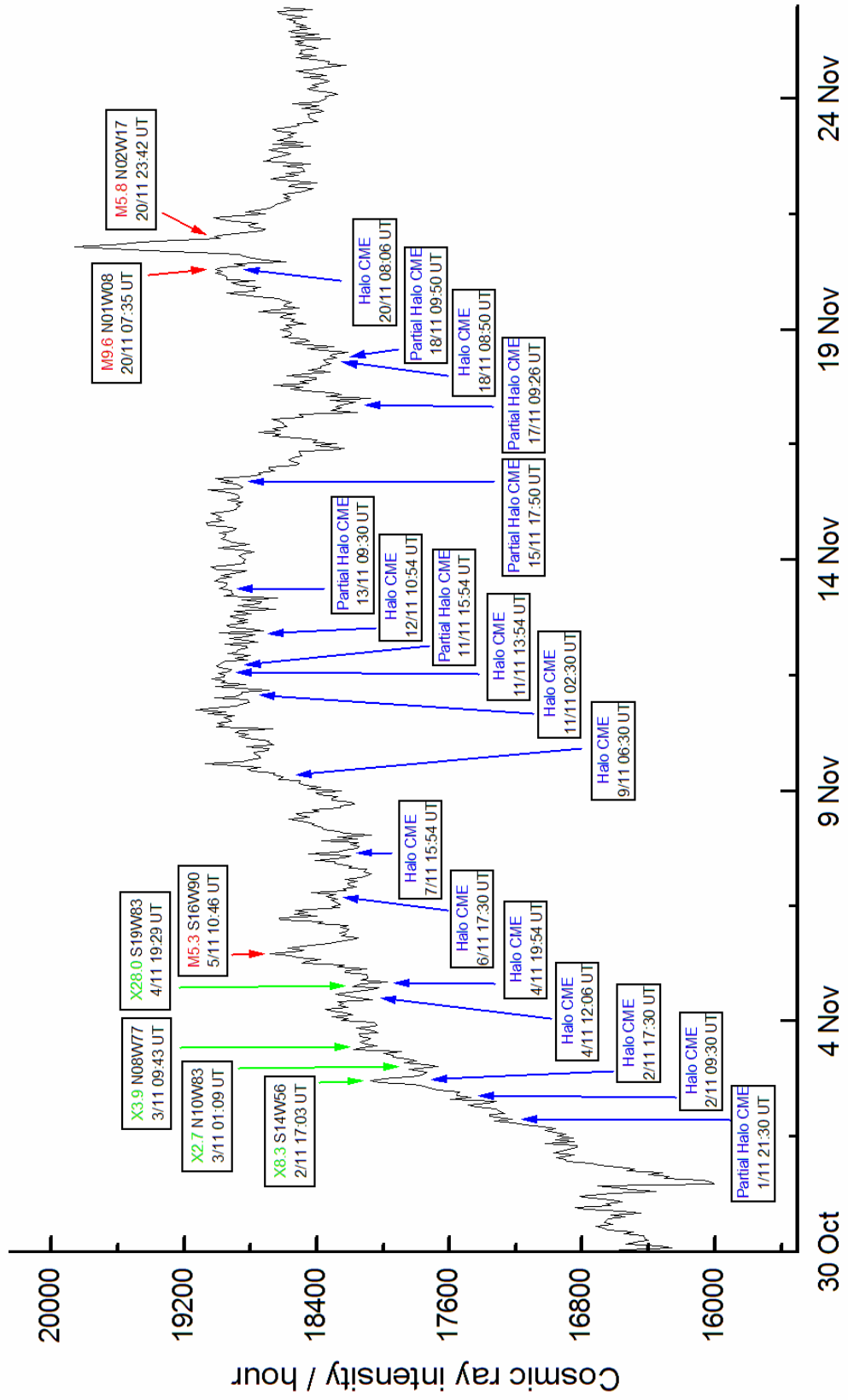
From Sep.6, 2003 to Oct.2, 2003

ATHENS NEUTRON MONITOR BARTELS ROTATION 2323



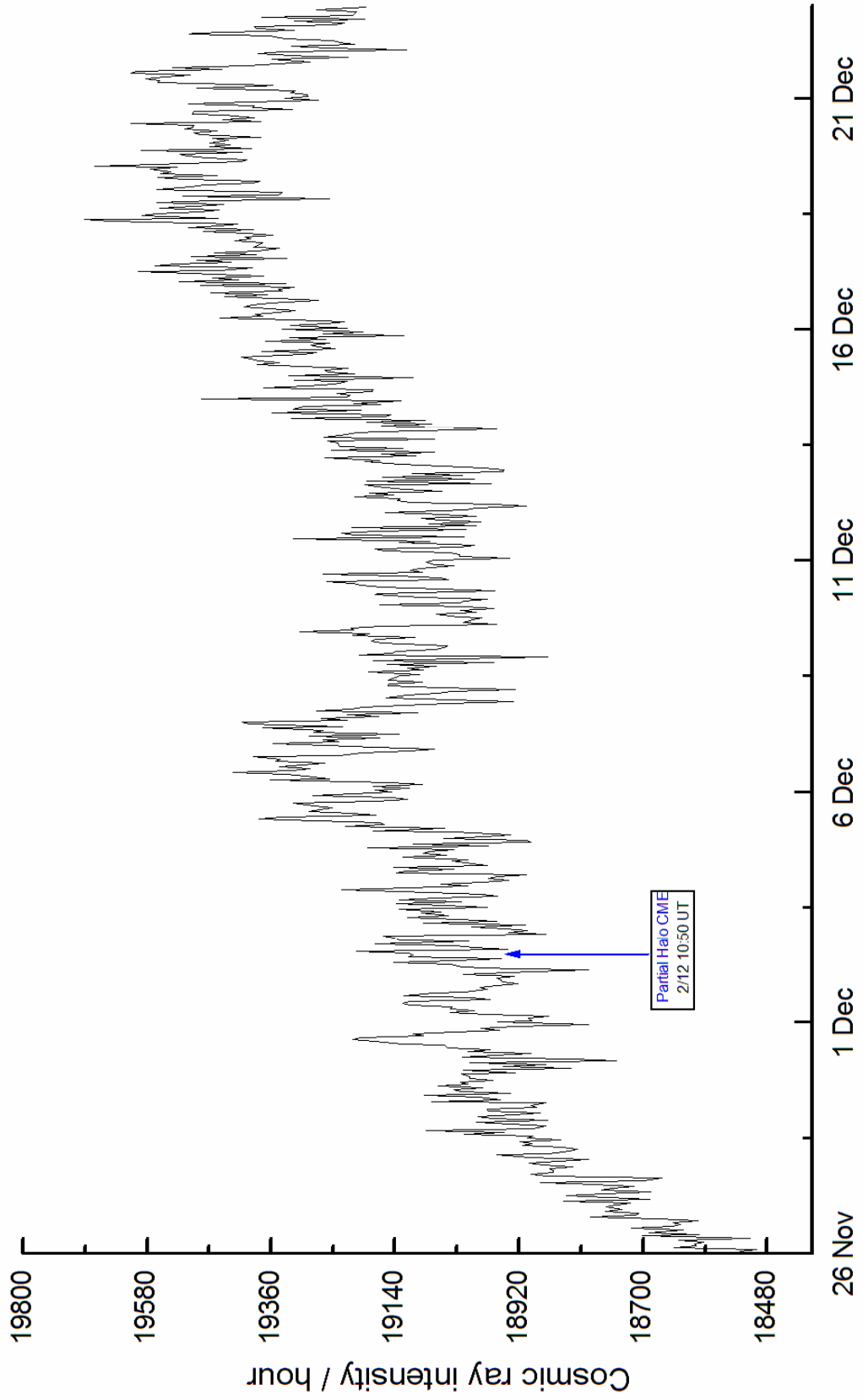
From Oct.3, 2003 to Oct.29, 2003

ATHENS NEUTRON MONITOR
BARTELS ROTATION 2324



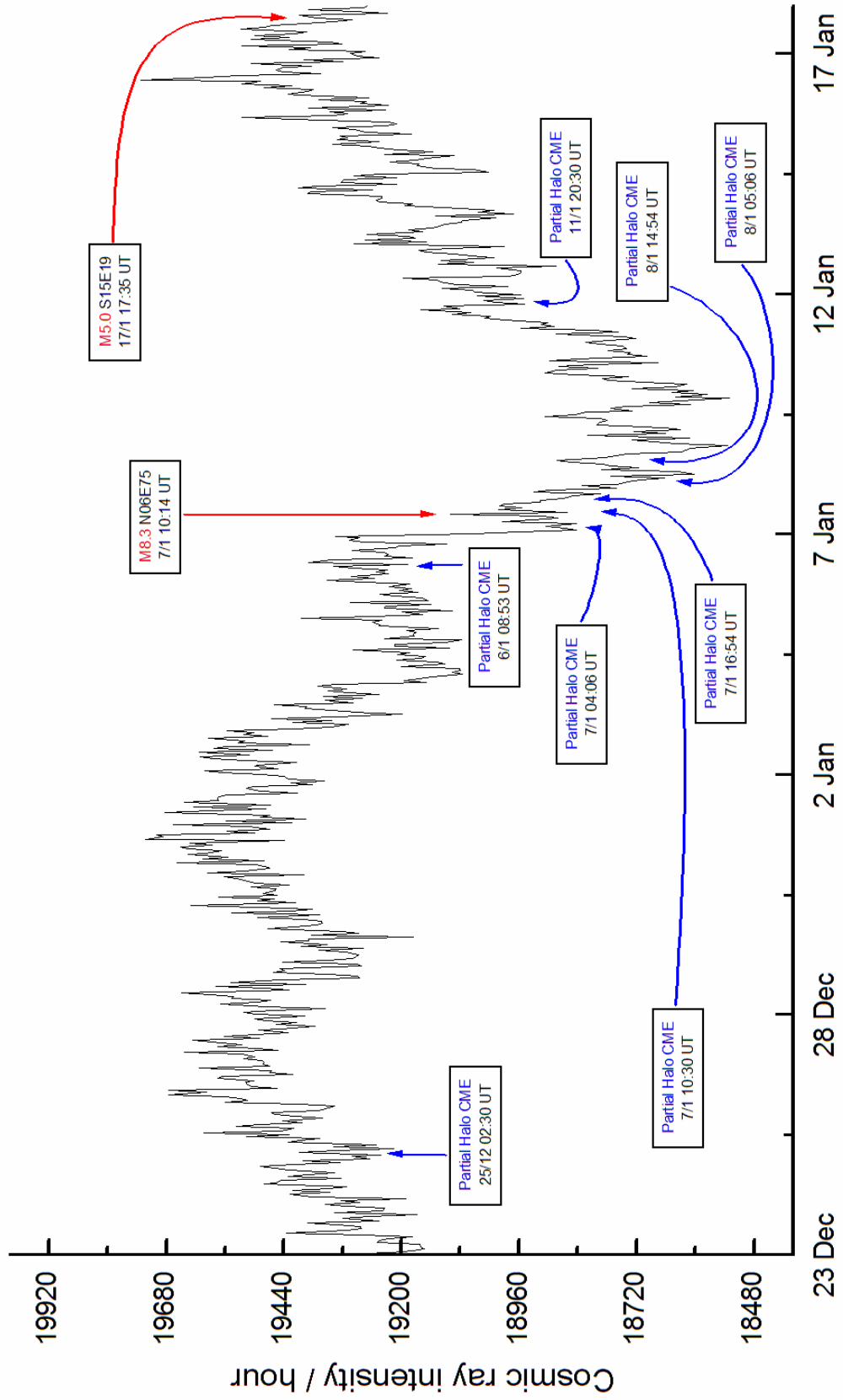
From Oct.30, 2003 to Nov.25, 2003

ATHENS NEUTRON MONITOR
BARTELS ROTATION 2325



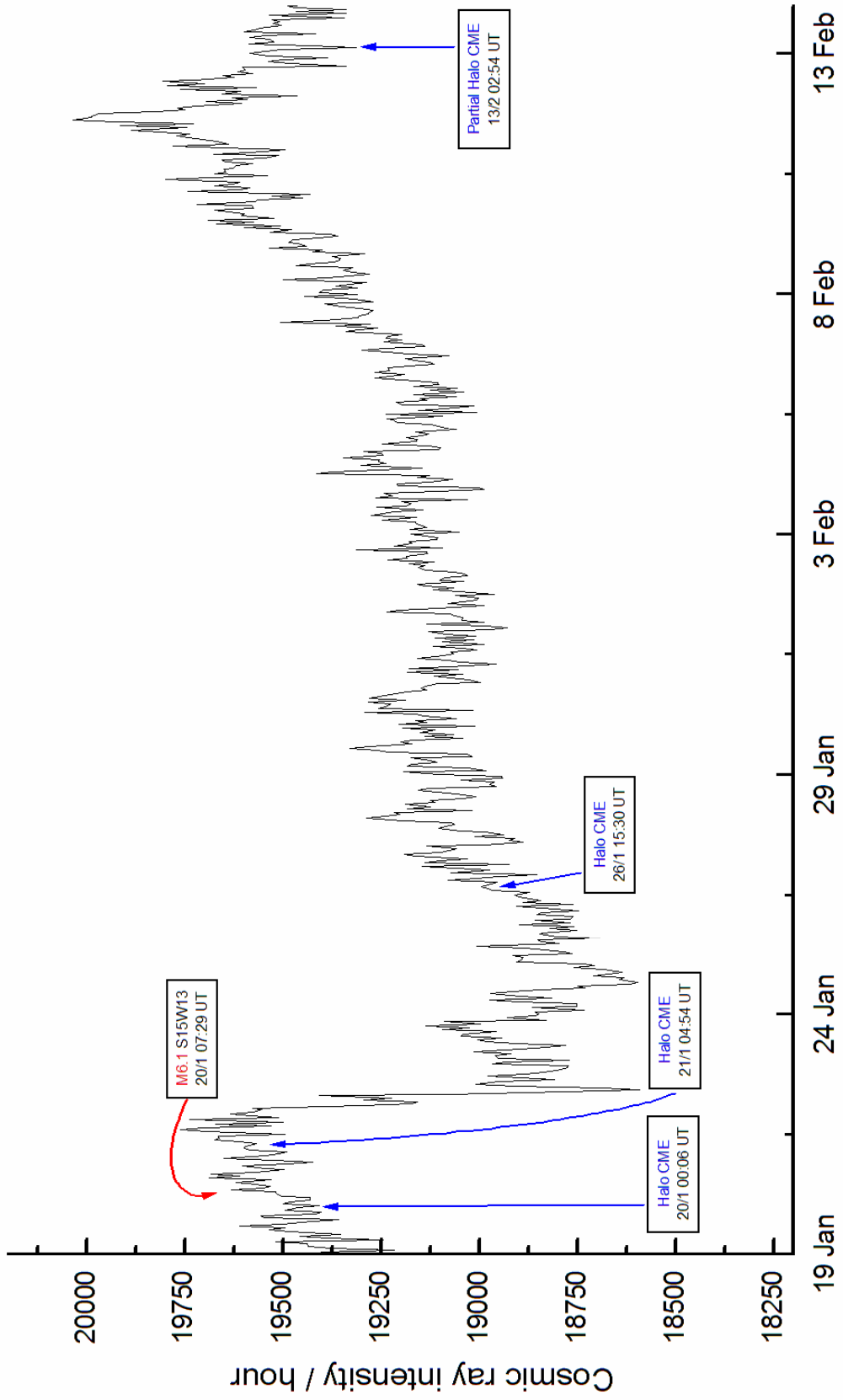
From Nov.26, 2003 to Dec.22, 2003

ATHENS NEUTRON MONITOR
BARTELS ROTATION 2326



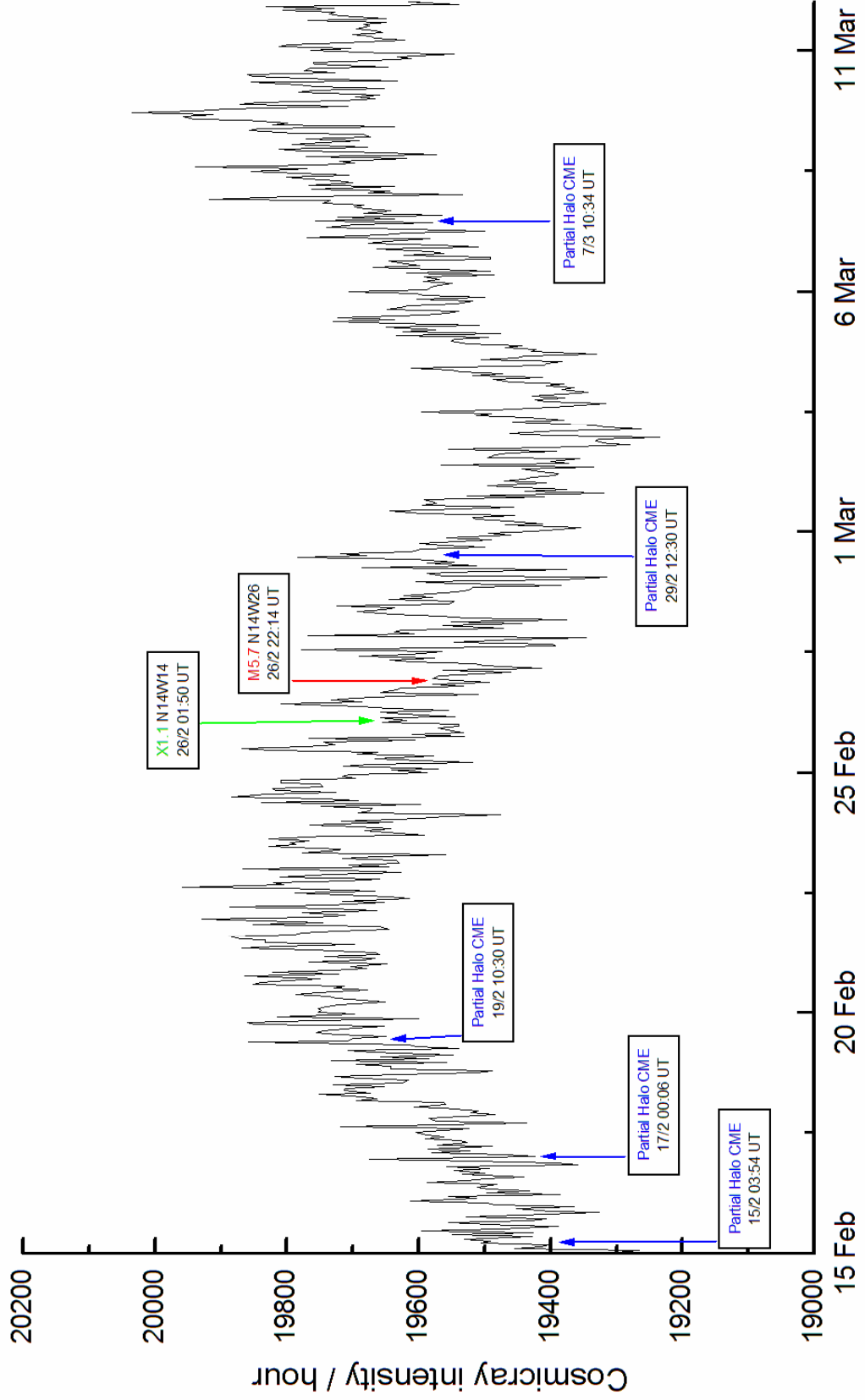
From Dec.23, 2003 to Jan.18, 2004

ATHENS NEUTRON MONITOR
BARTELS ROTATION 2327



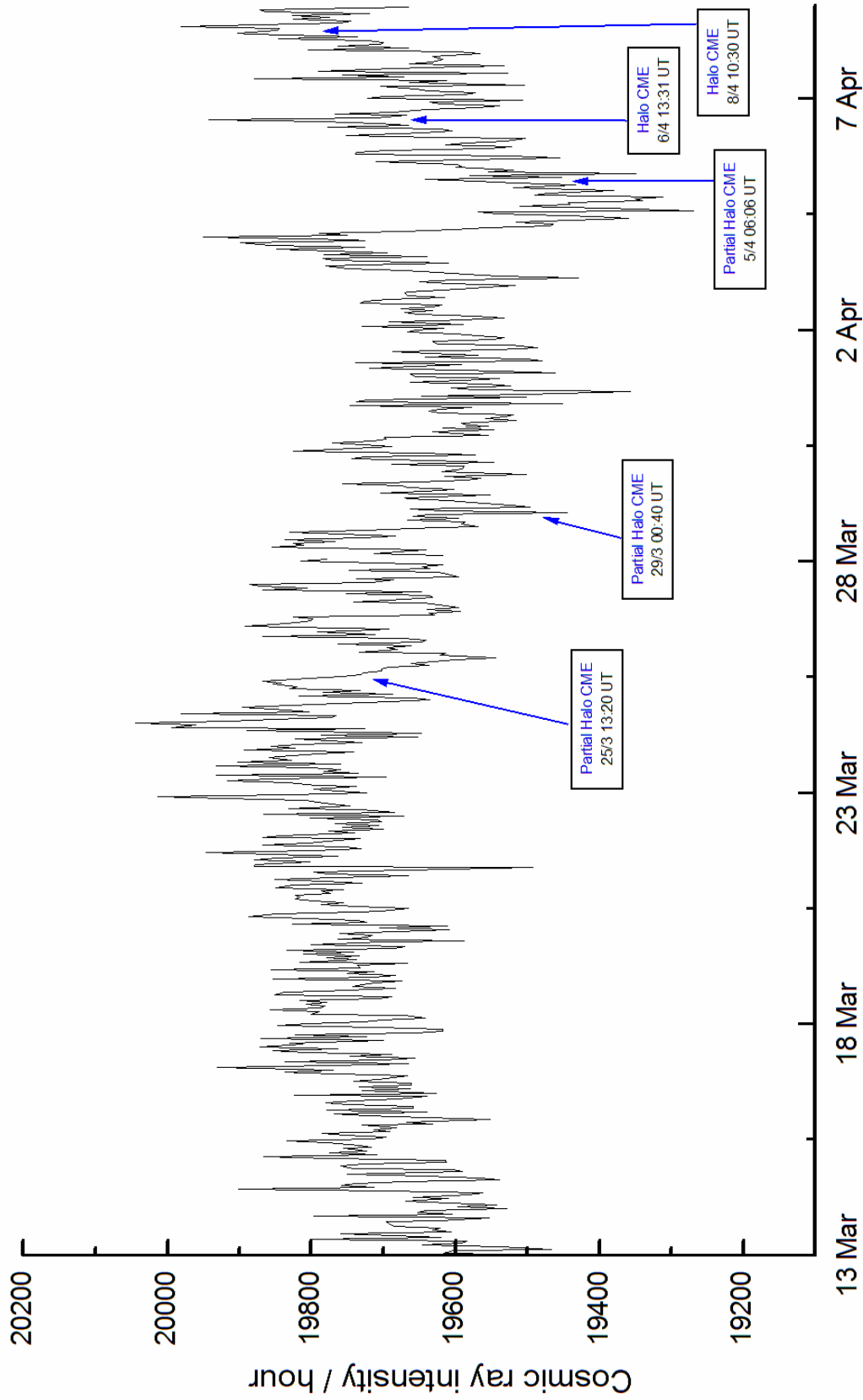
From Jan. 19, 2004 to Feb. 14, 2004

ATHENS NEUTRON MONITOR
 BARTELS ROTATION 2328



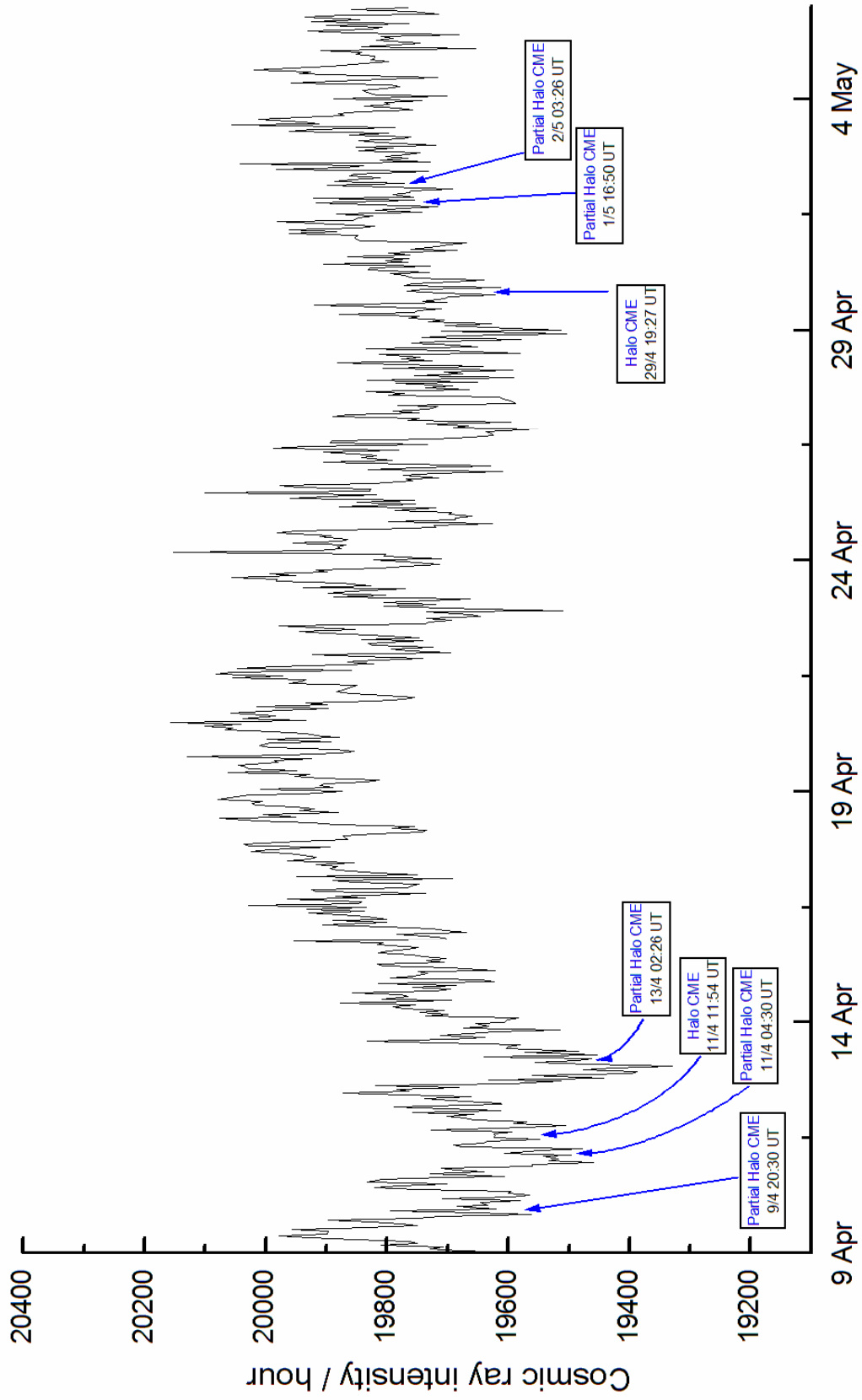
From Feb. 15, 2004 to Mar. 12, 2004

ATHENS NEUTRON MONITOR
BARTELS ROTATION 2329



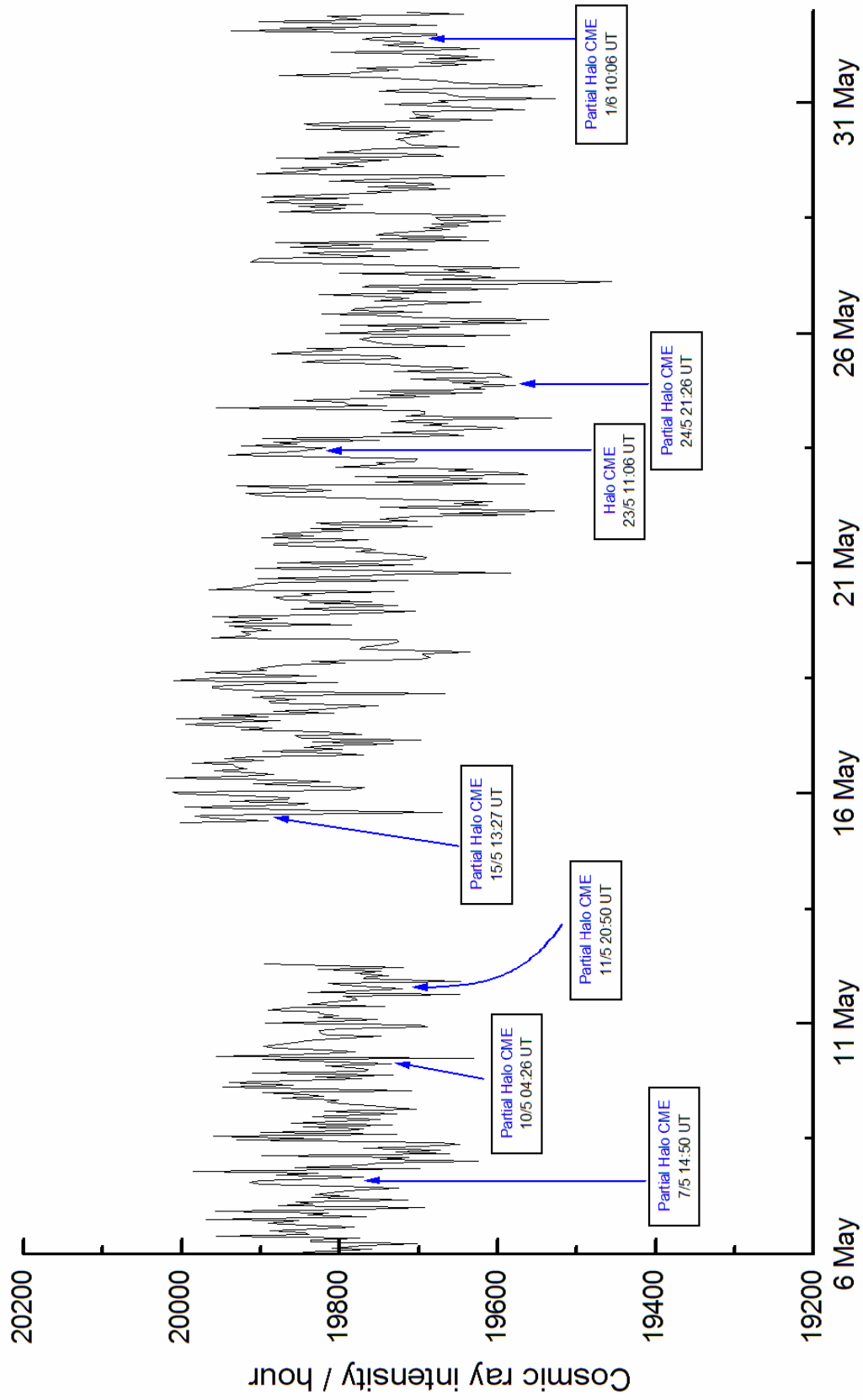
From Mar.13, 2004 to Apr.8, 2004

ATHENS NEUTRON MONITOR
BARTELS ROTATION 2330



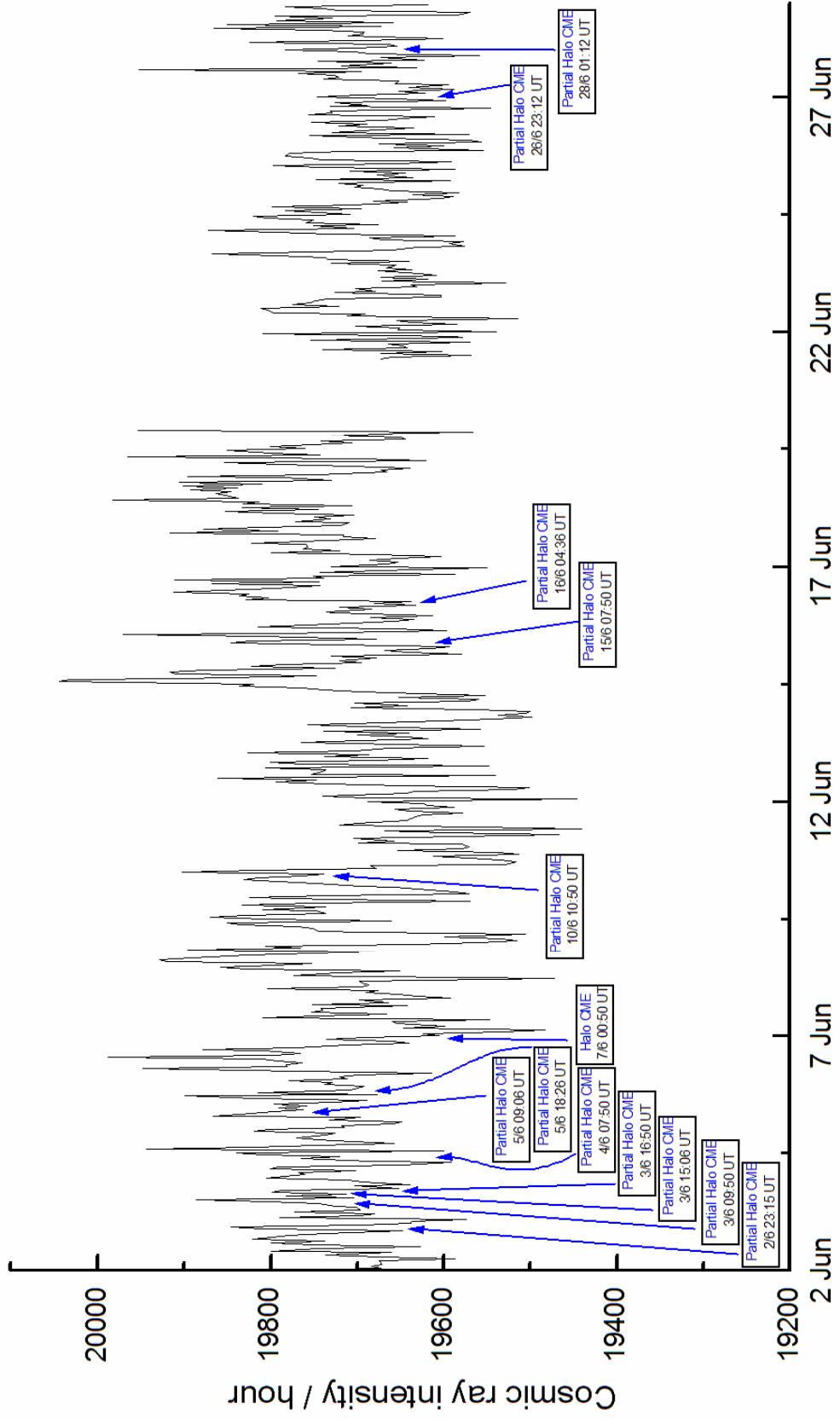
From Apr.9, 2004 to May 5, 2004

ATHENS NEUTRON MONITOR
BARTELS ROTATION 2331



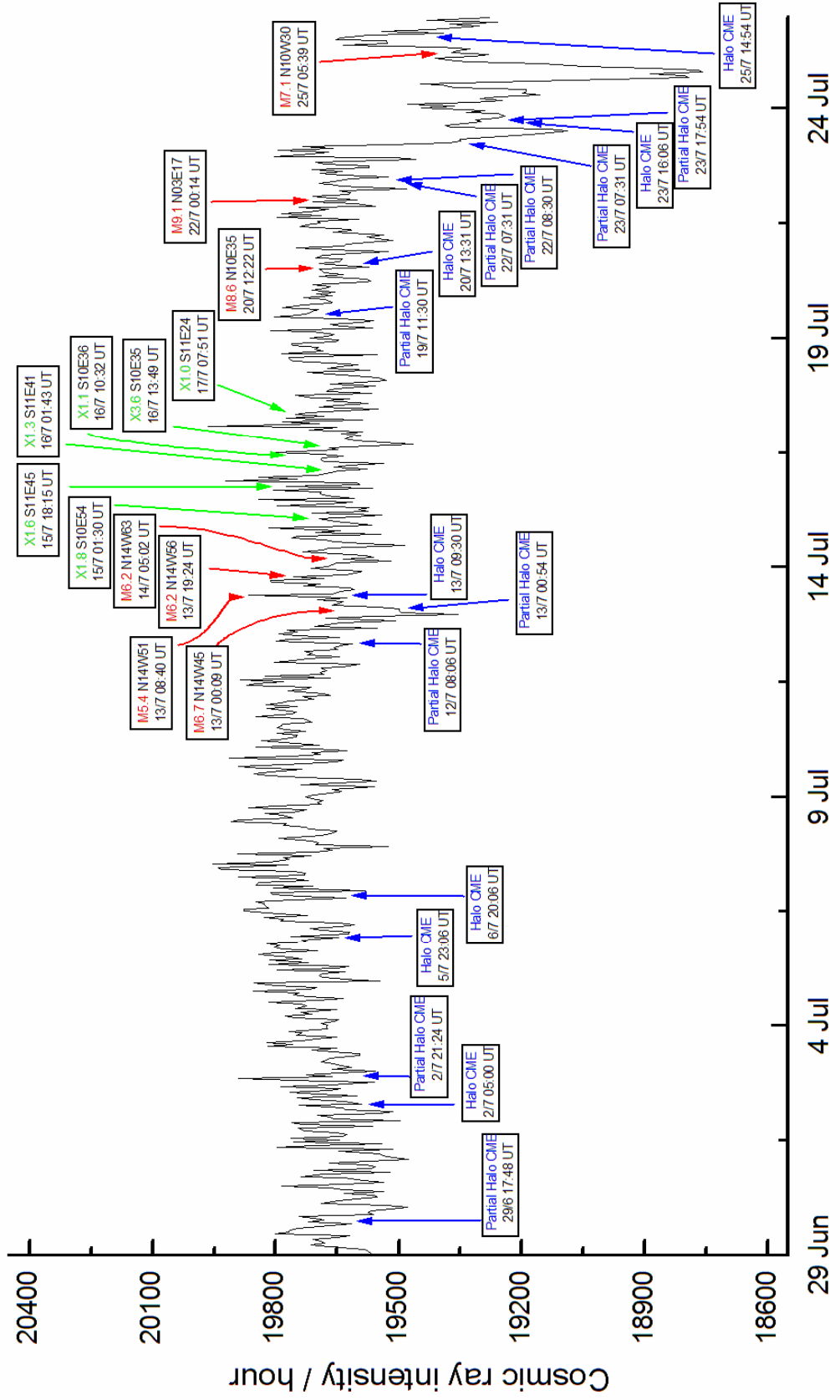
From May 6, 2004 to Jun.1, 2004

ATHENS NEUTRON MONITOR
 BARTELS ROTATION 2332



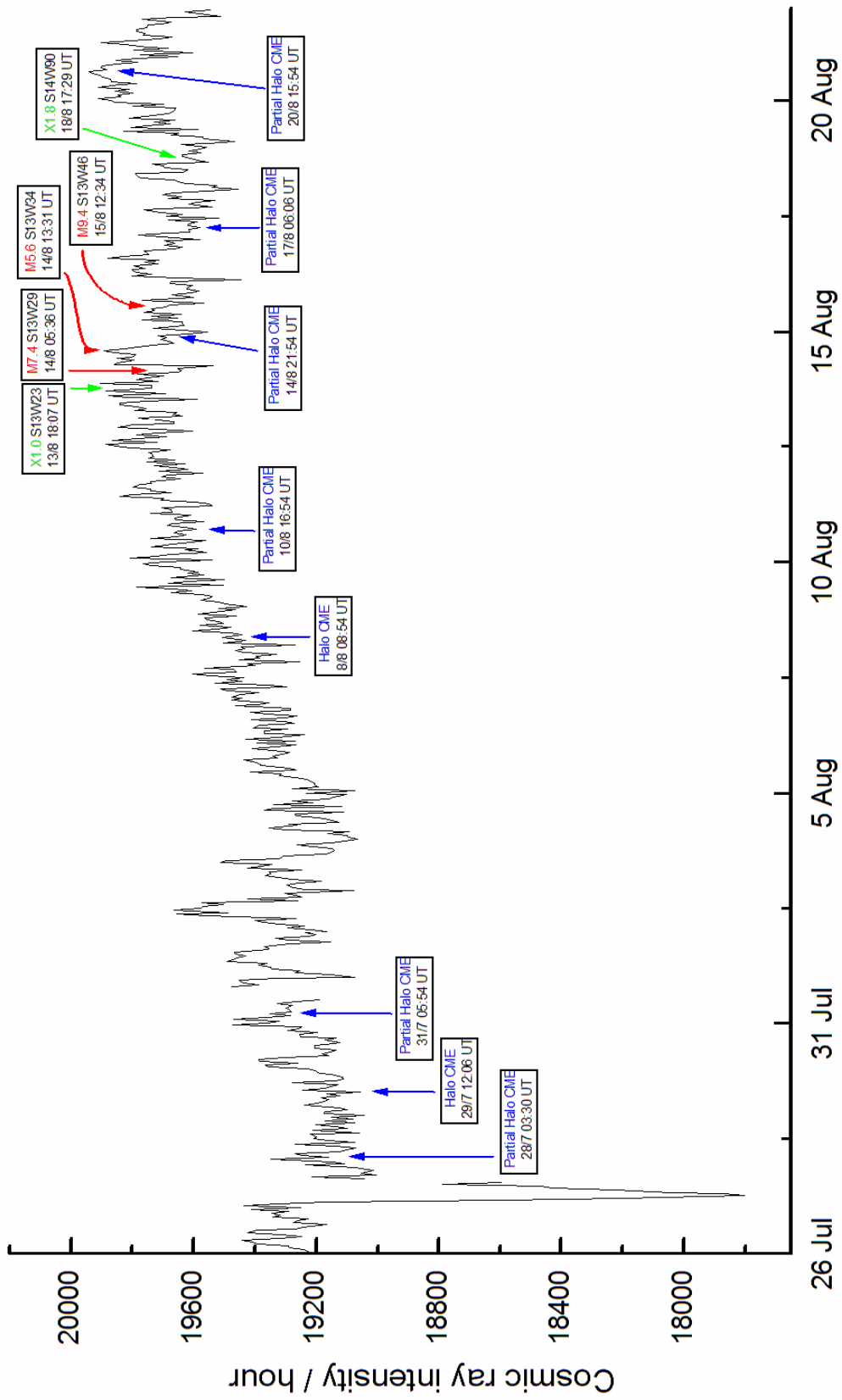
From Jun.2, 2004 to Jun.28, 2004

ATHENS NEUTRON MONITOR BARTELS ROTATION 2333



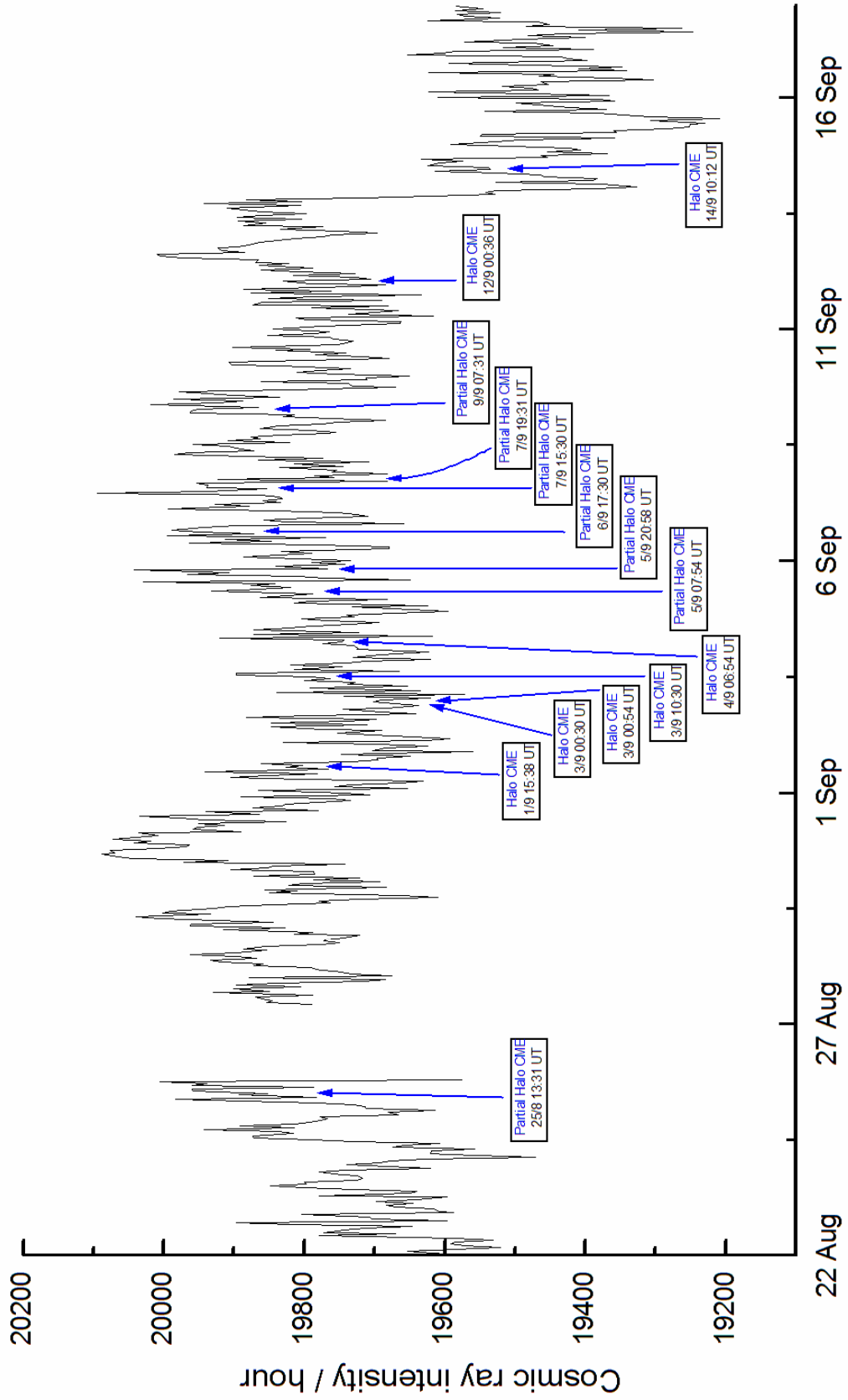
From Jun.29, 2004 to Jul.25, 2004

ATHENS NEUTRON MONITOR
BARTELS ROTATION 2334



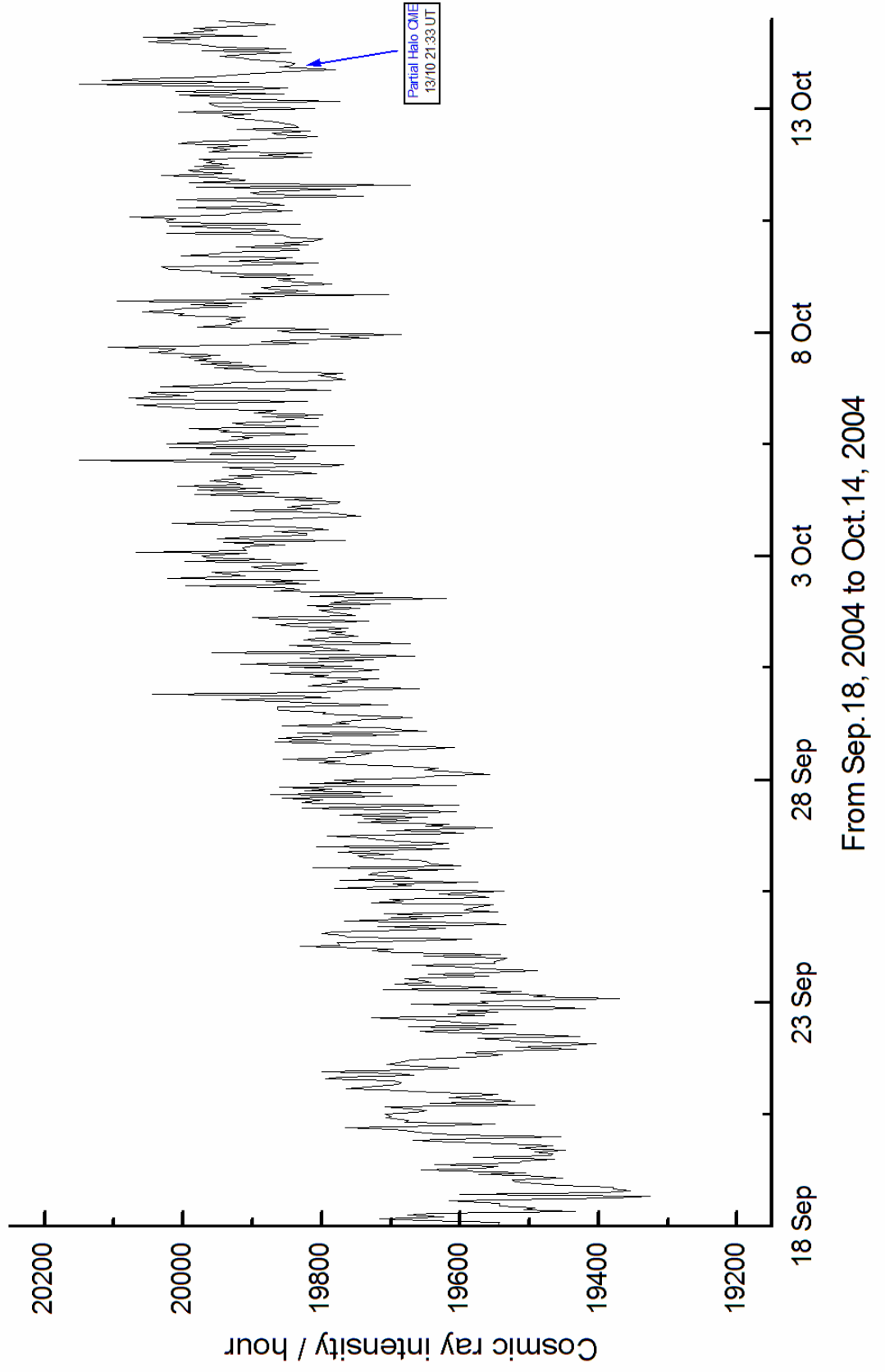
From Jul.26, 2004 to Aug.21, 2004

ATHENS NEUTRON MONITOR
BARTELS ROTATION 2335

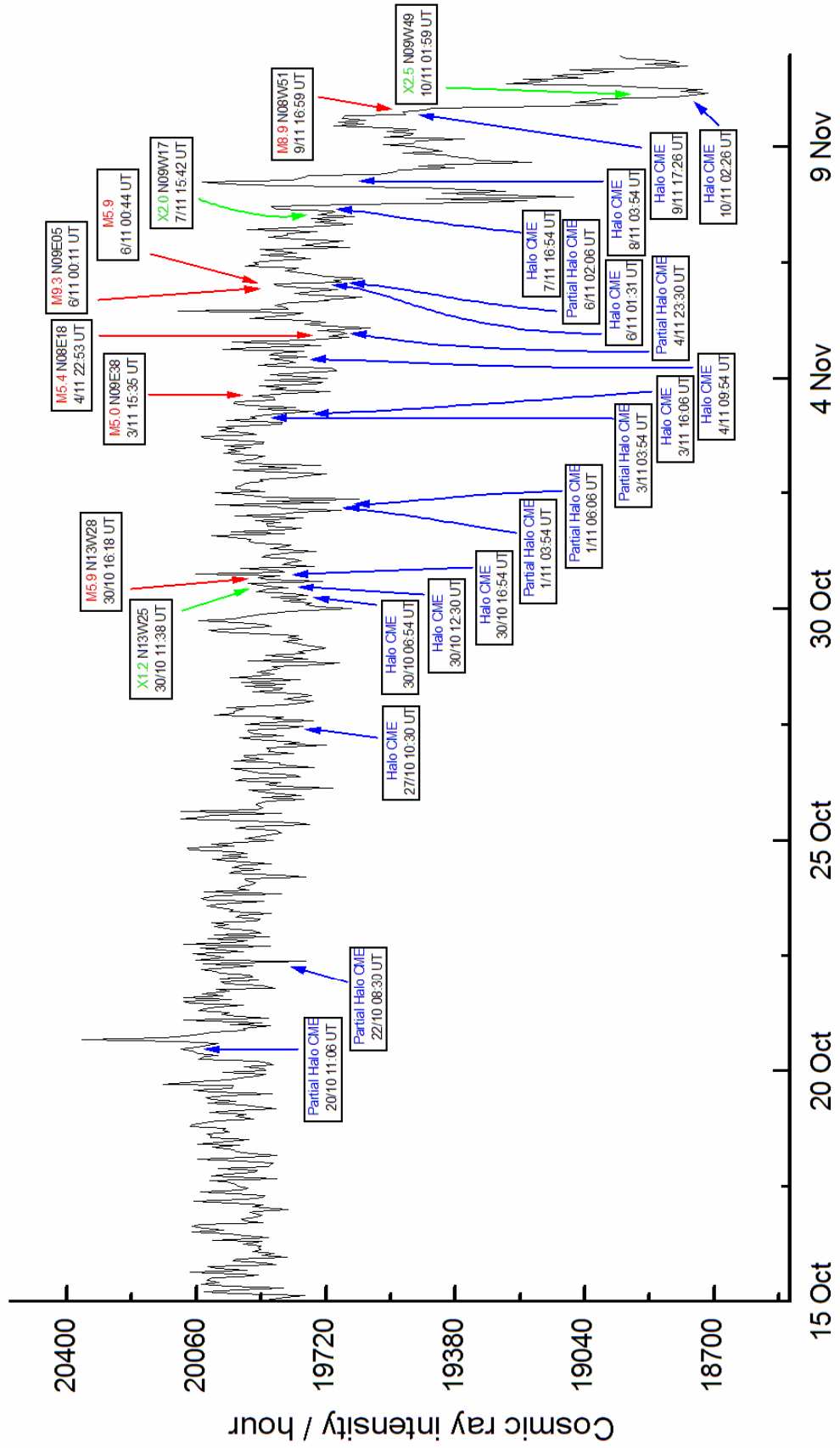


From Aug.22, 2004 to Sep.17, 2004

ATHENS NEUTRON MONITOR
BARTELS ROTATION 2336

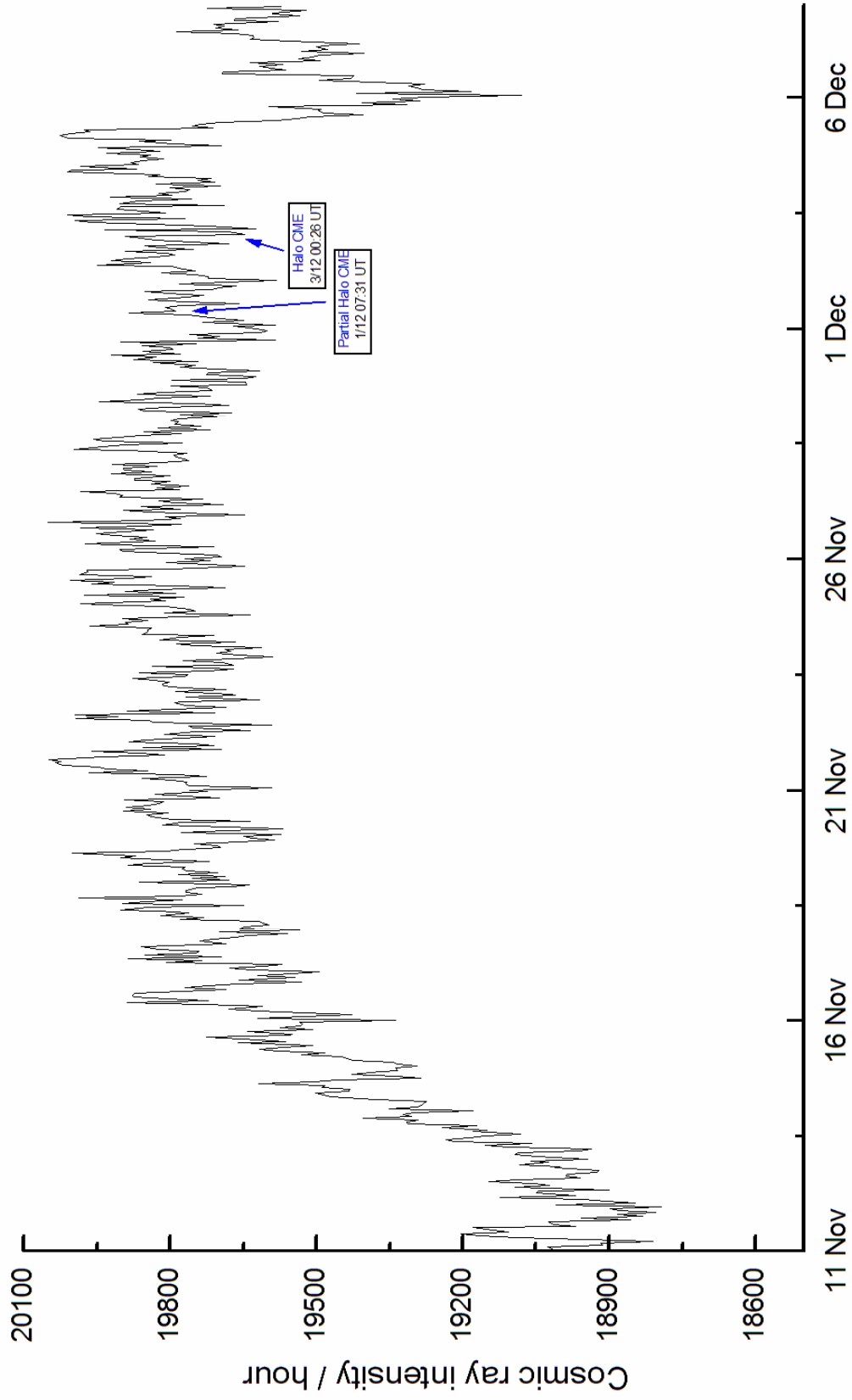


ATHENS NEUTRON MONITOR BARTELS ROTATION 2337



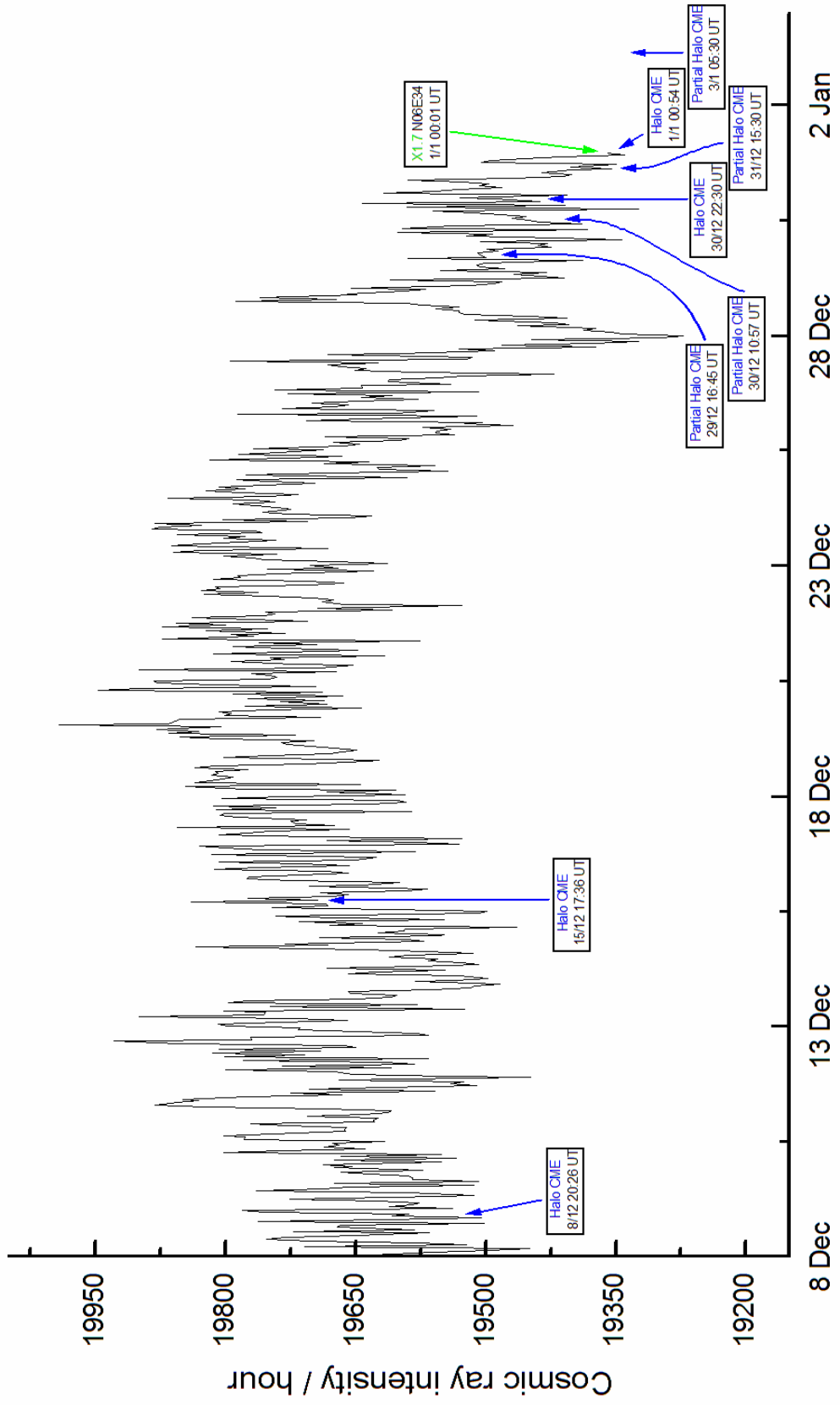
From Oct.15, 2004 to Nov.10, 2004

ATHENS NEUTRON MONITOR
BARTELS ROTATION 2338



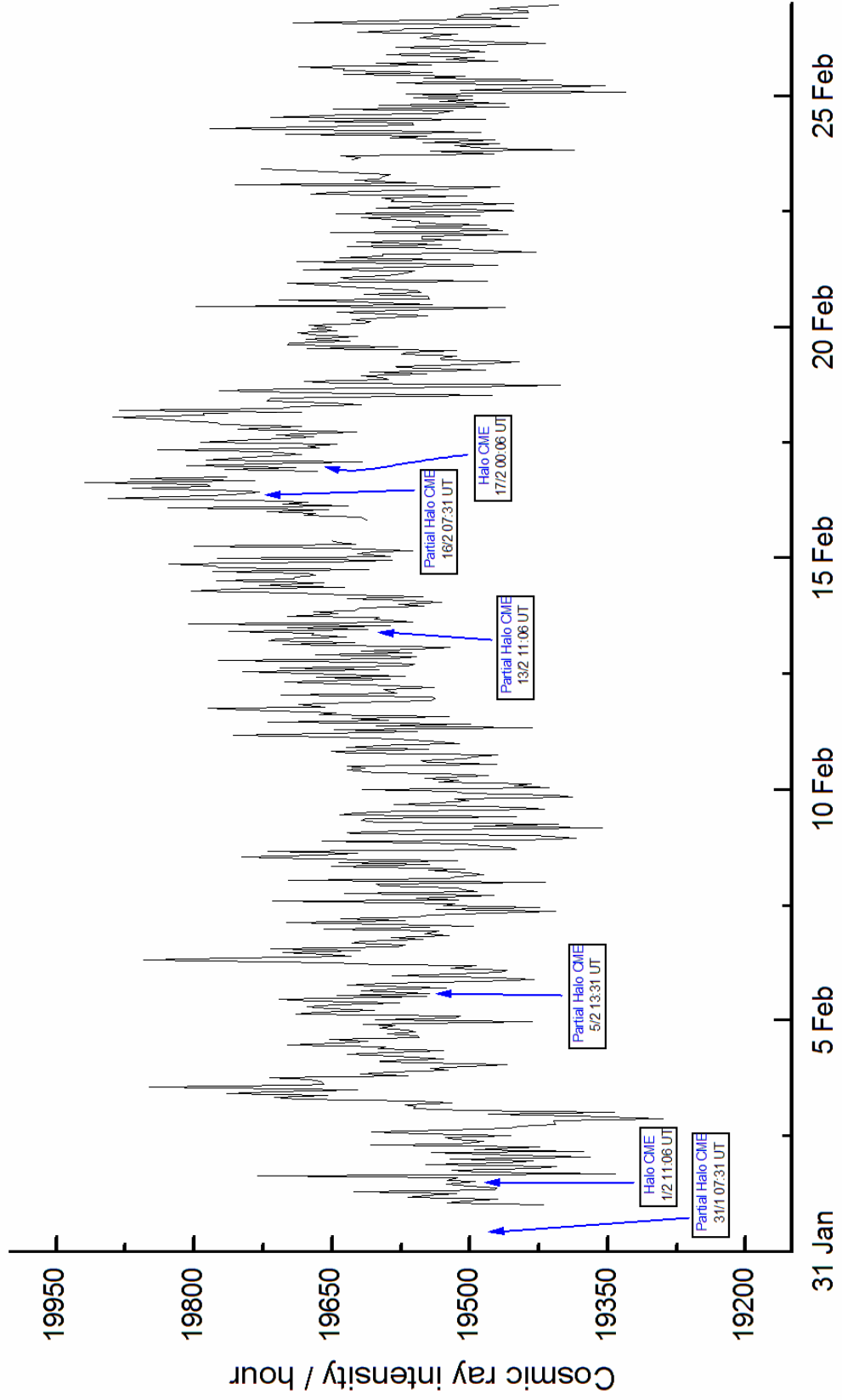
From Nov.11, 2004 to Dec.7, 2004

ATHENS NEUTRON MONITOR
 BARTELS ROTATION 2339

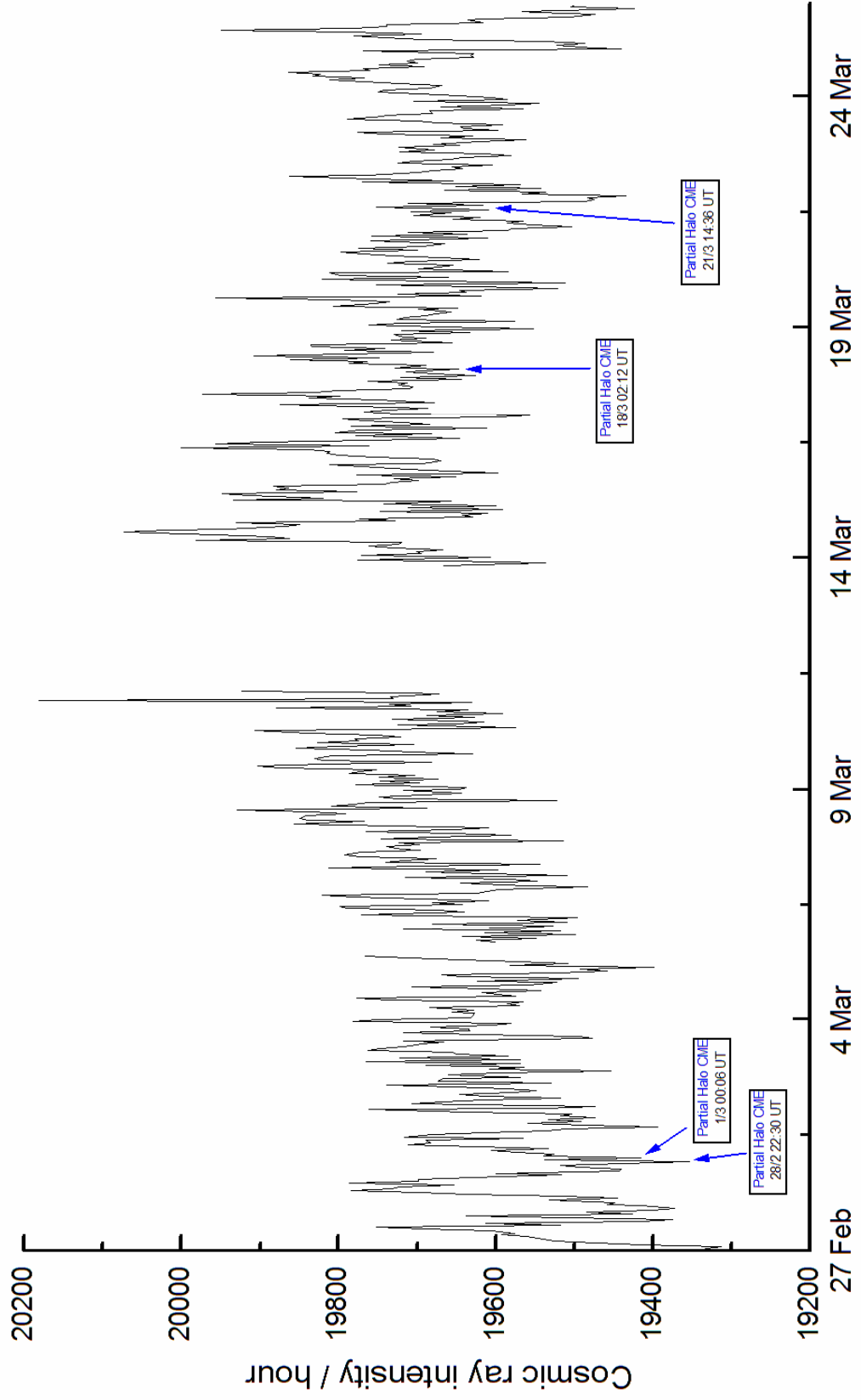


From Dec.8, 2004 to Jan.3, 2005

ATHENS NEUTRON MONITOR
BARTELS ROTATION 2341

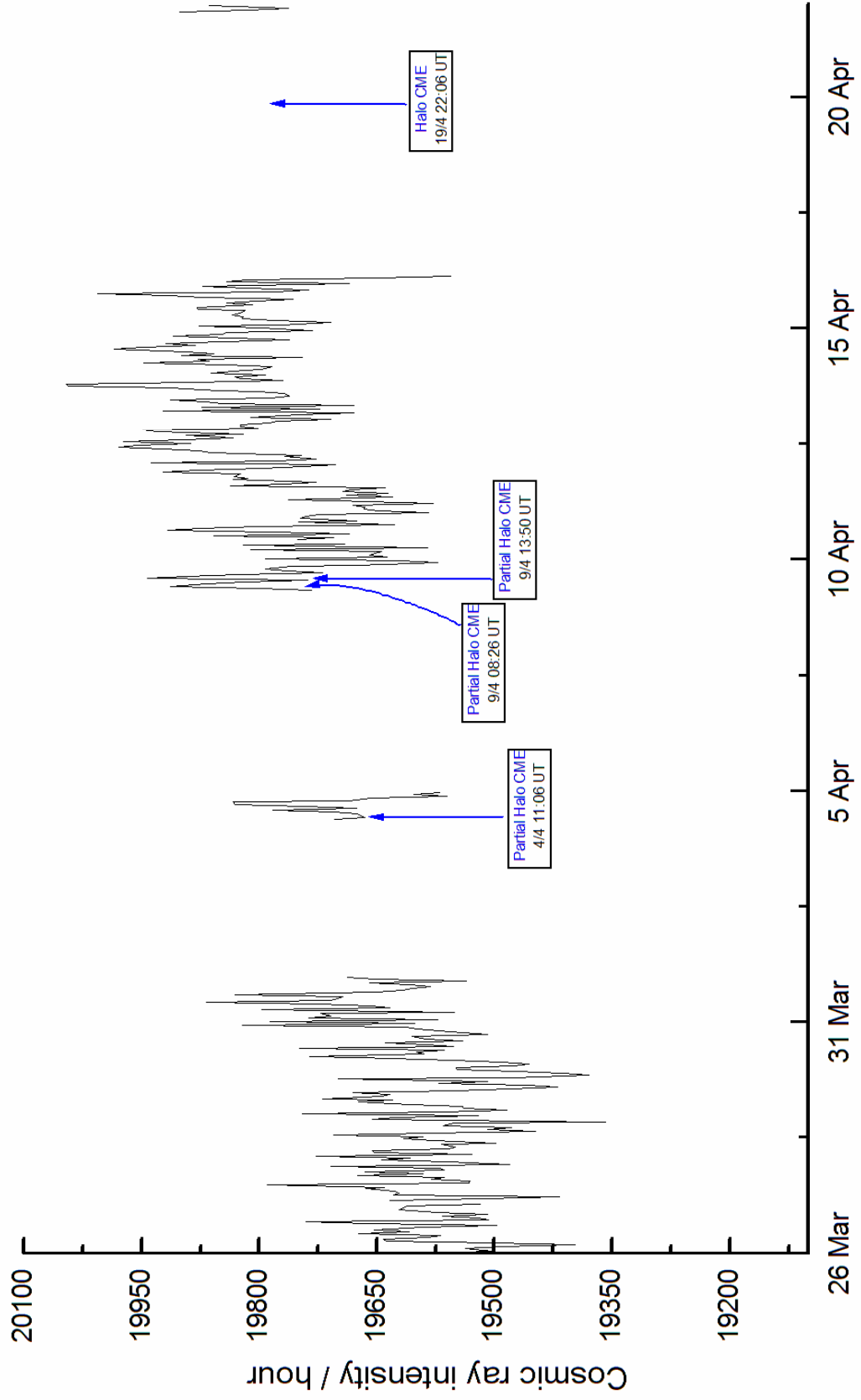


ATHENS NEUTRON MONITOR
BARTELS ROTATION 2342



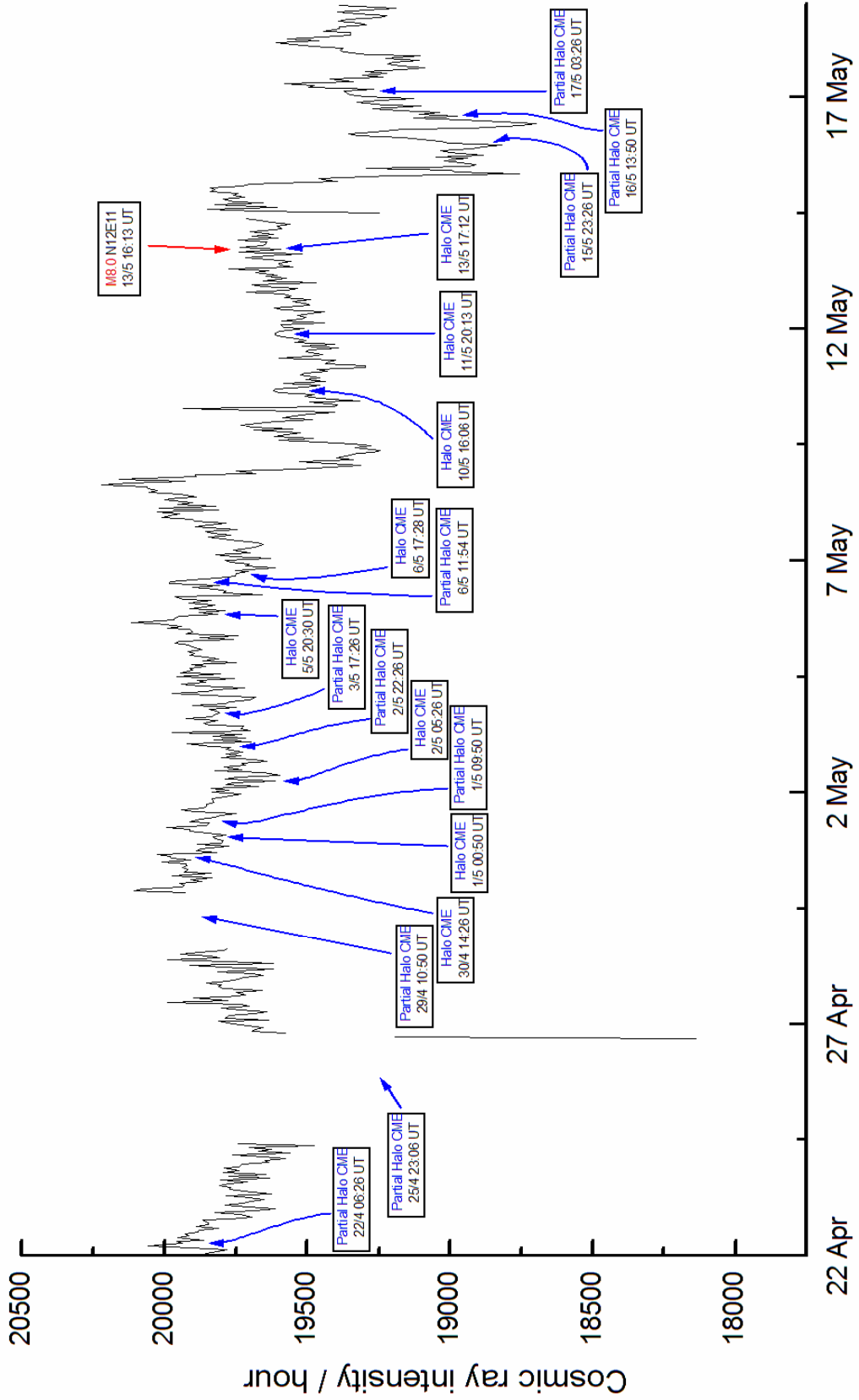
From Feb.27, 2005 to Mar.25, 2005

ATHENS NEUTRON MONITOR
BARTELS ROTATION 2343



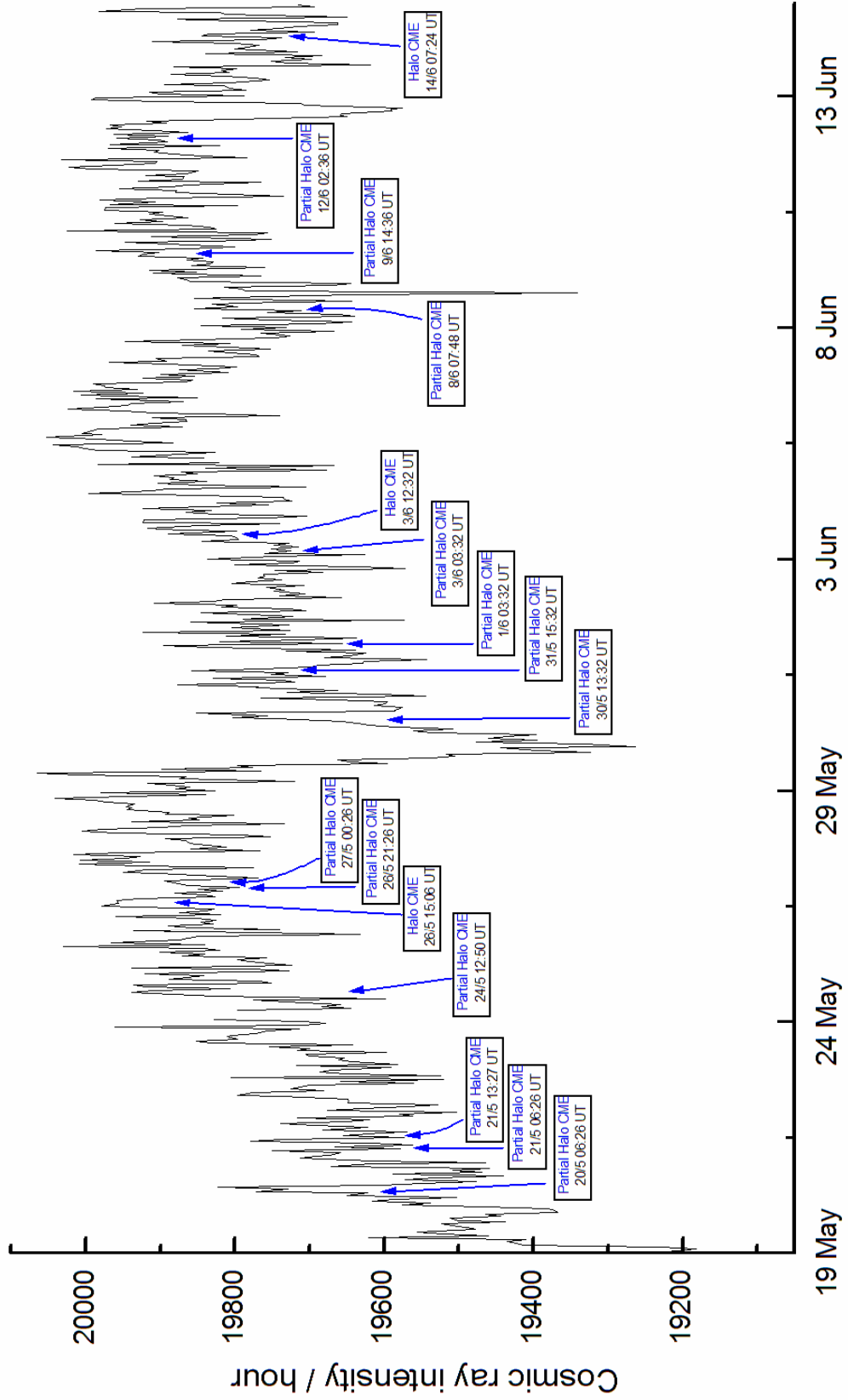
From Mar.26, 2005 to Apr.21, 2005

ATHENS NEUTRON MONITOR
BARTELS ROTATION 2344



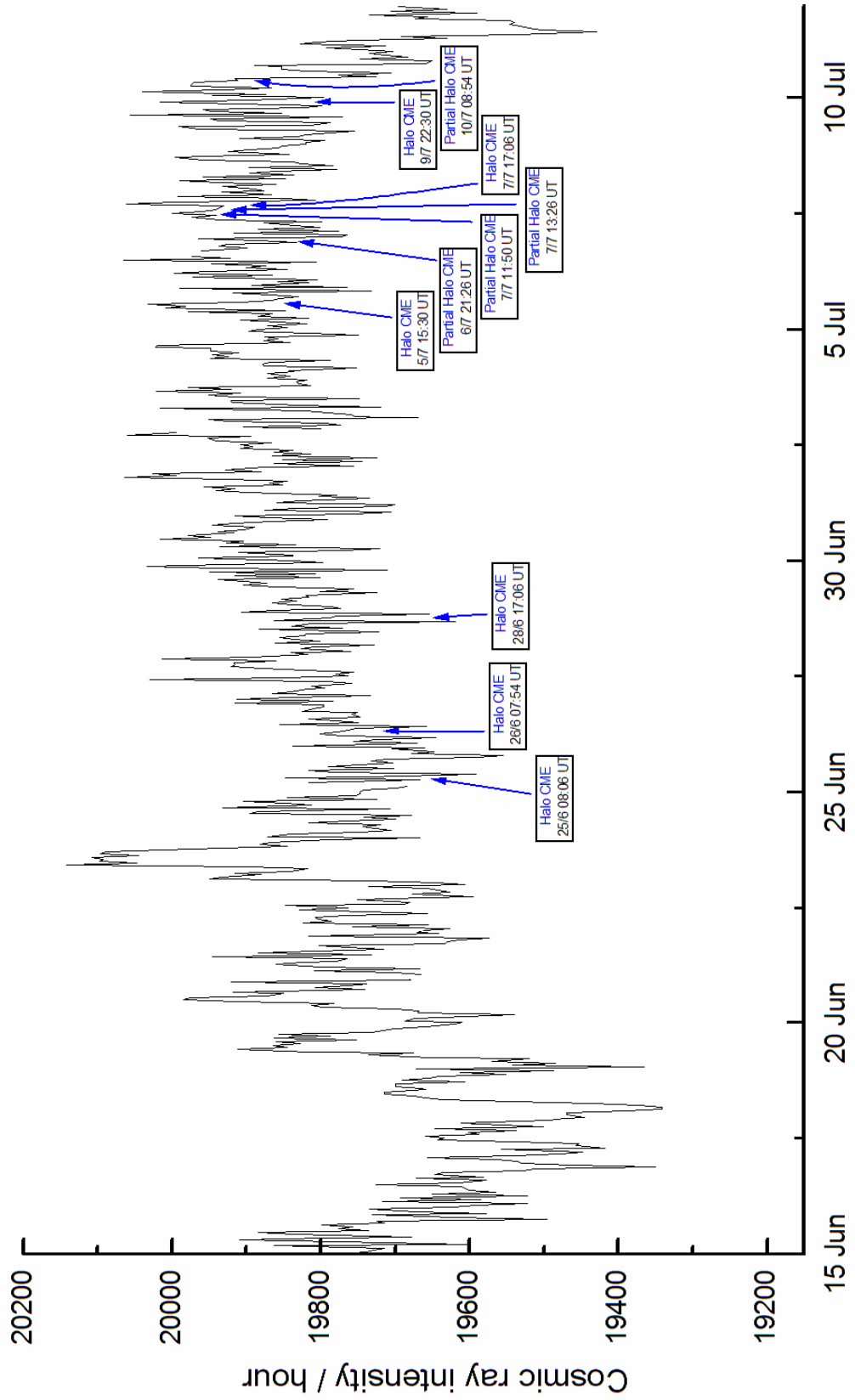
From Apr.22, 2005 to May 18, 2005

ATHENS NEUTRON MONITOR
 BARTELS ROTATION 2345



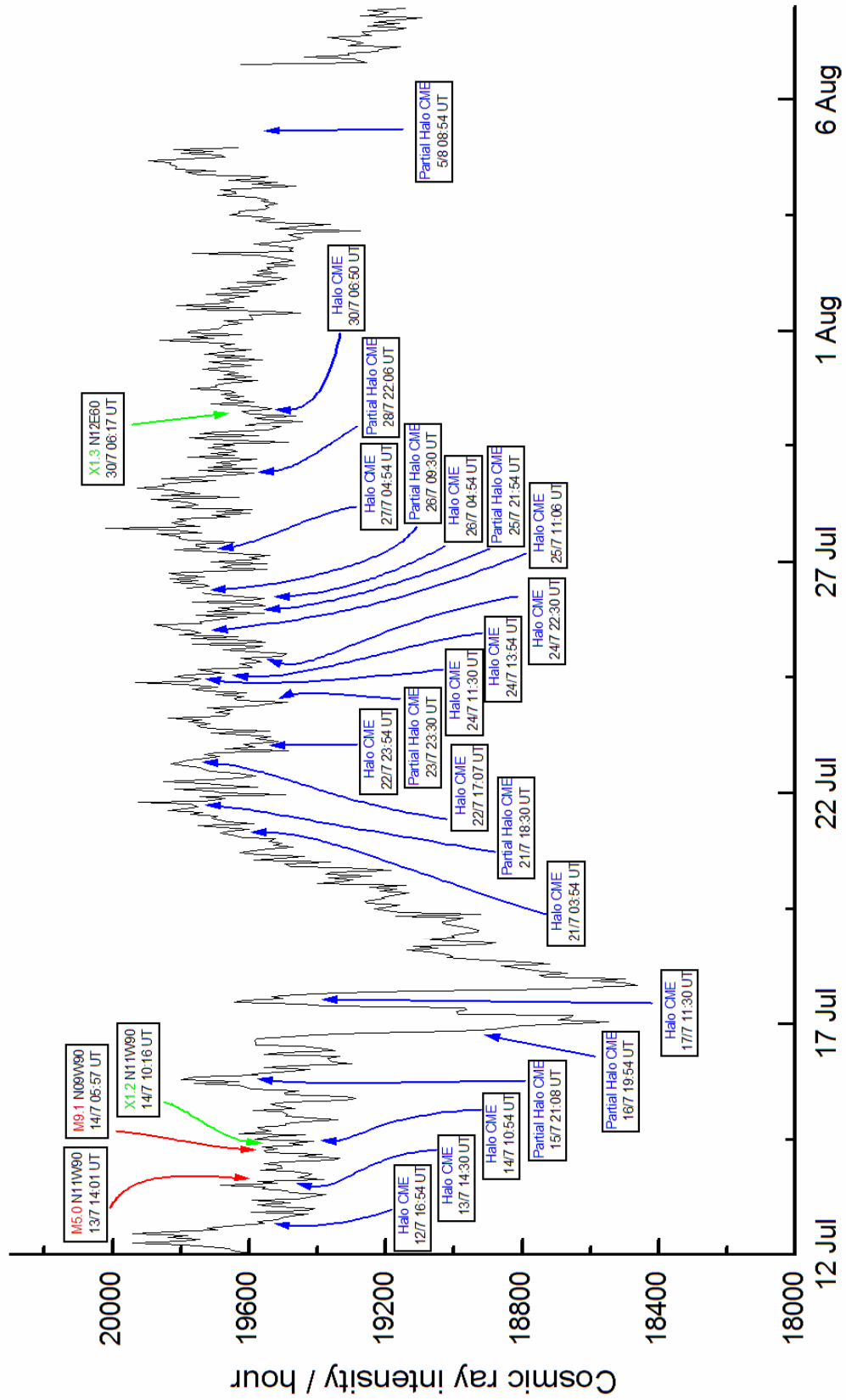
From May 19, 2005 to Jun.14, 2005

ATHENS NEUTRON MONITOR
BARTELS ROTATION 2346



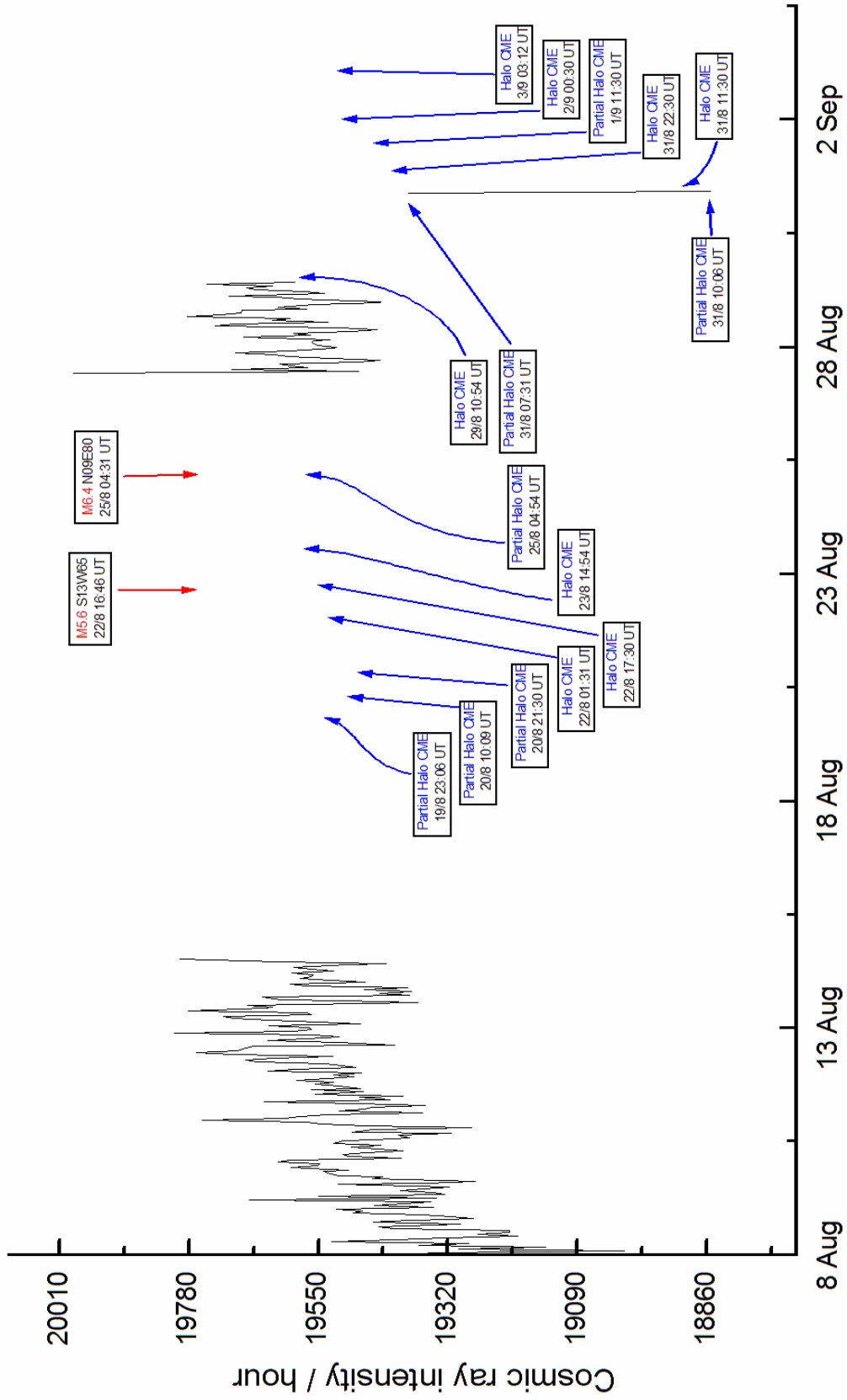
From Jun.15, 2005 to Jul.11, 2005

**ATHENS NEUTRON MONITOR
BARTELS ROTATION 2347**



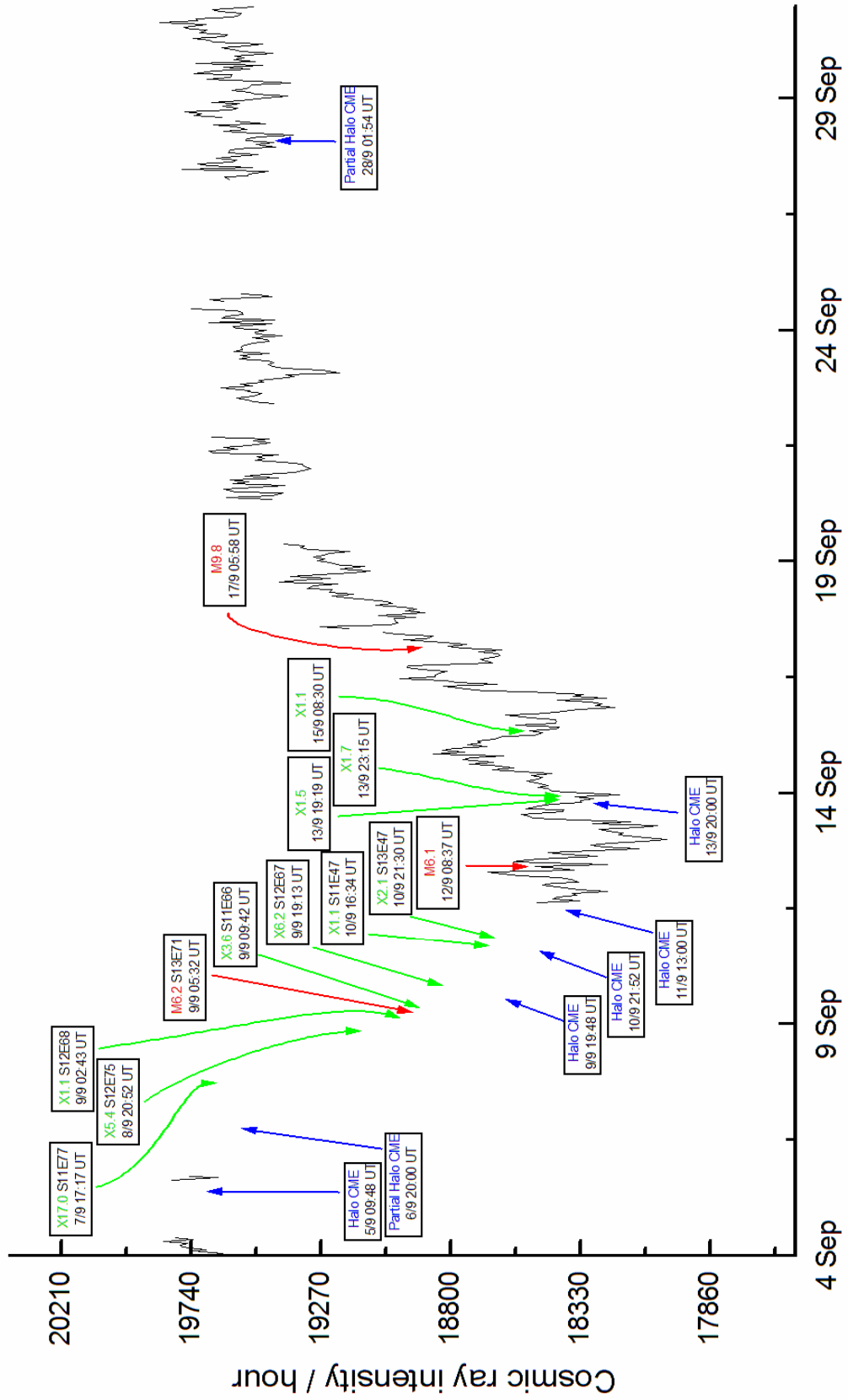
From Jul.12, 2005 to Aug.7, 2005

ATHENS NEUTRON MONITOR
BARTELS ROTATION 2348



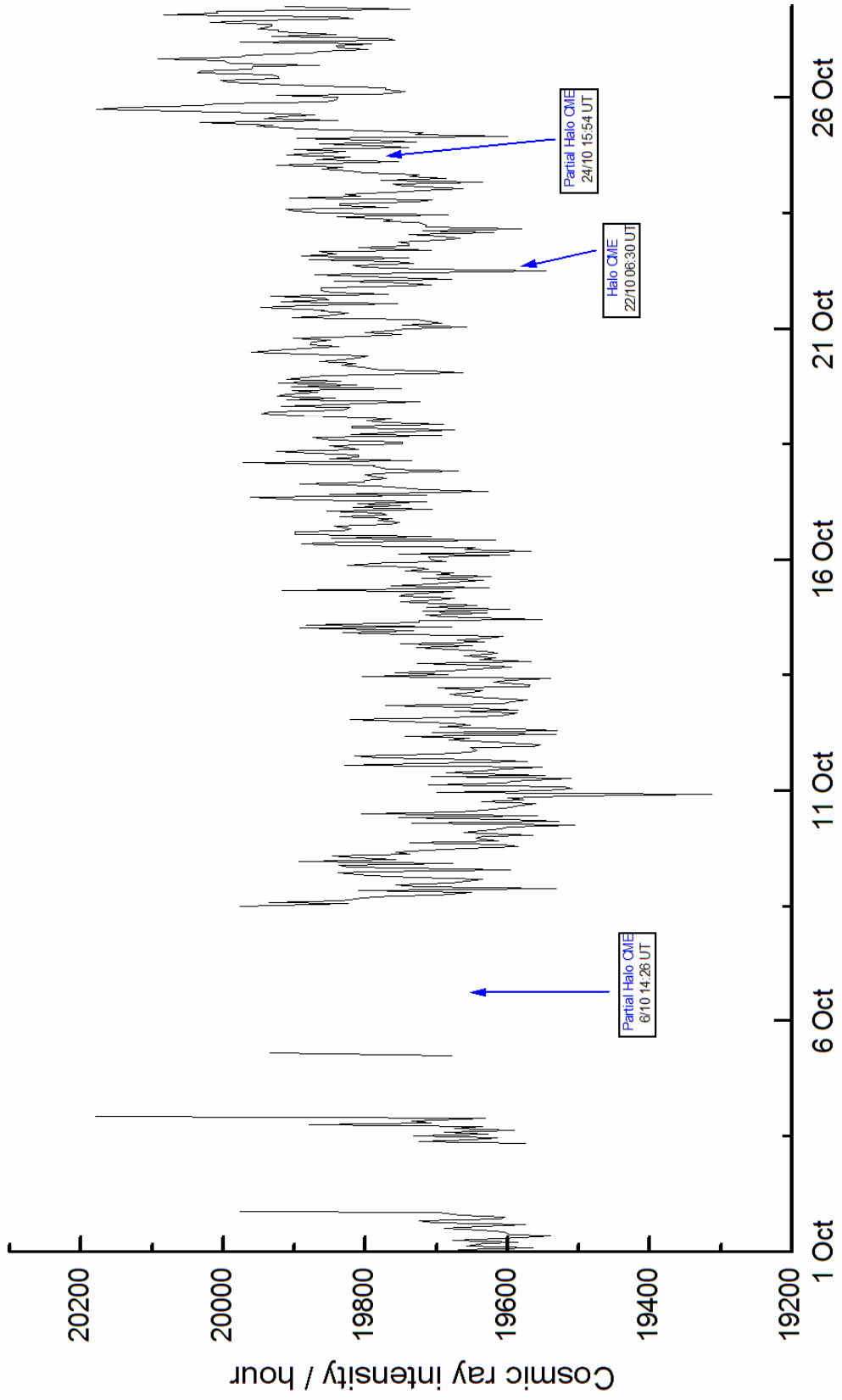
From Aug.8, 2005 to Sep.3, 2005

ATHENS NEUTRON MONITOR BARTELS ROTATION 2349



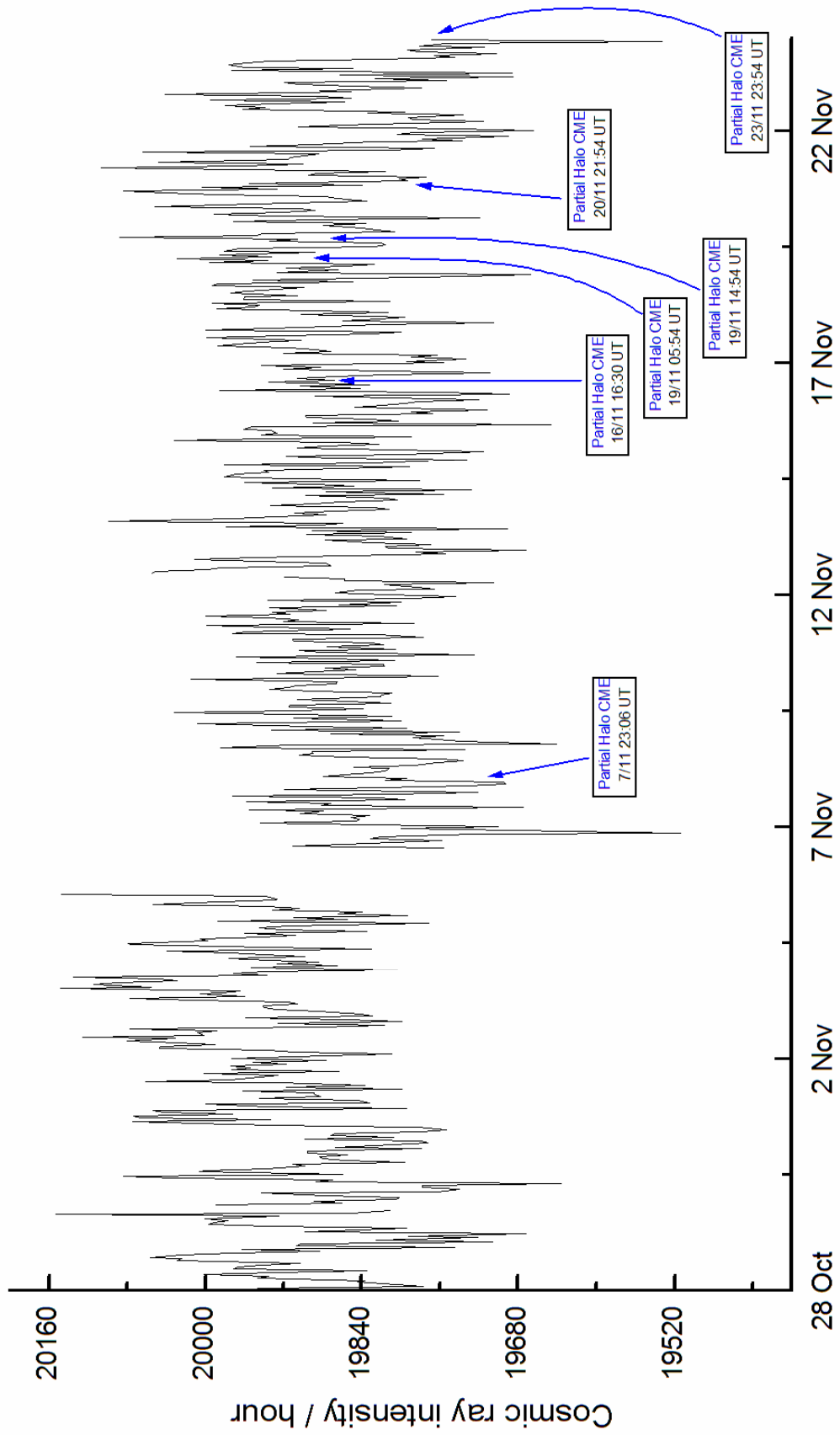
From Sep.4, 2005 to Sep.30, 2005

**ATHENS NEUTRON MONITOR
BARTELS ROTATION 2350**



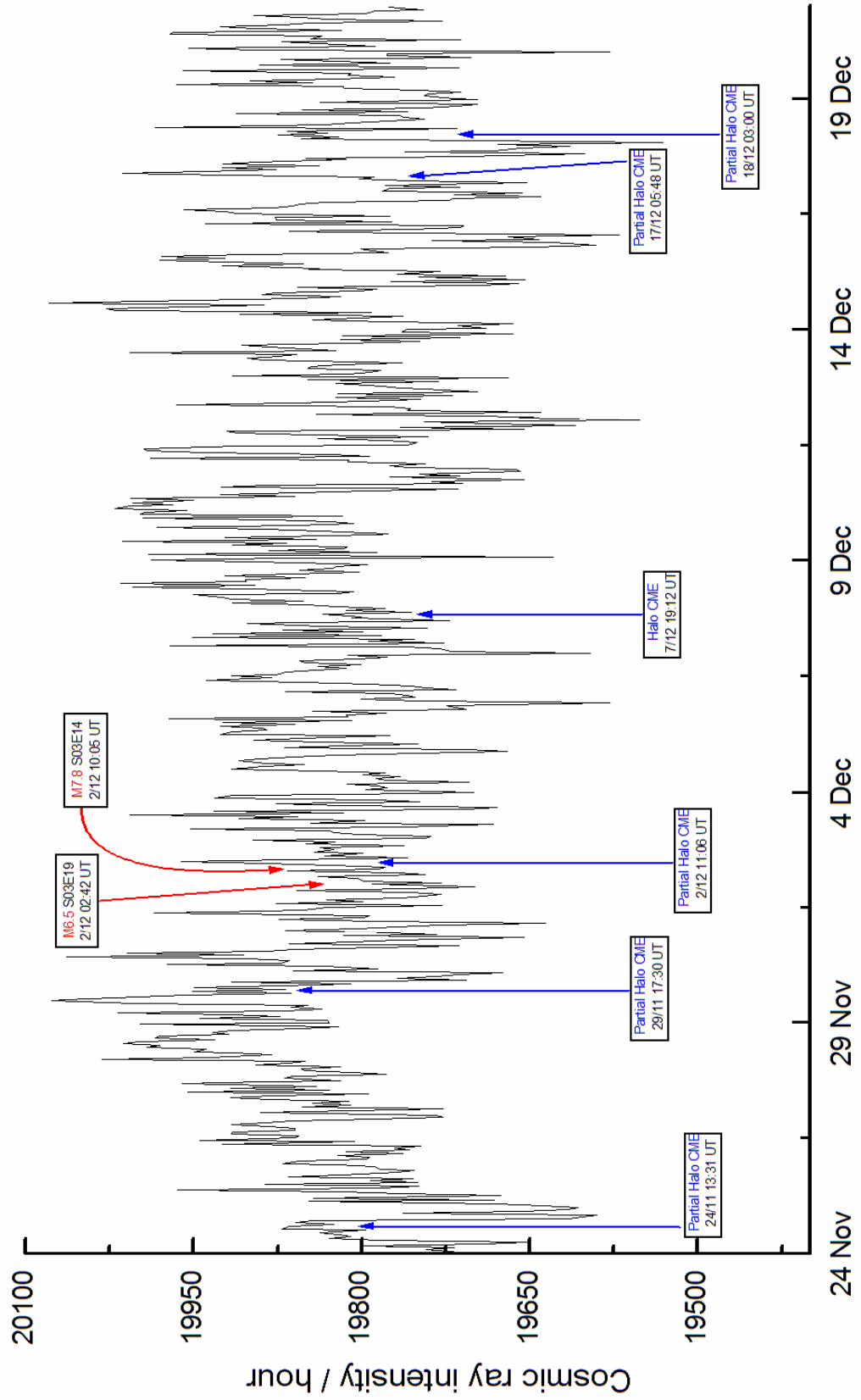
From Oct.1, 2005 to Oct.27, 2005

ATHENS NEUTRON MONITOR
BARTELS ROTATION 2351



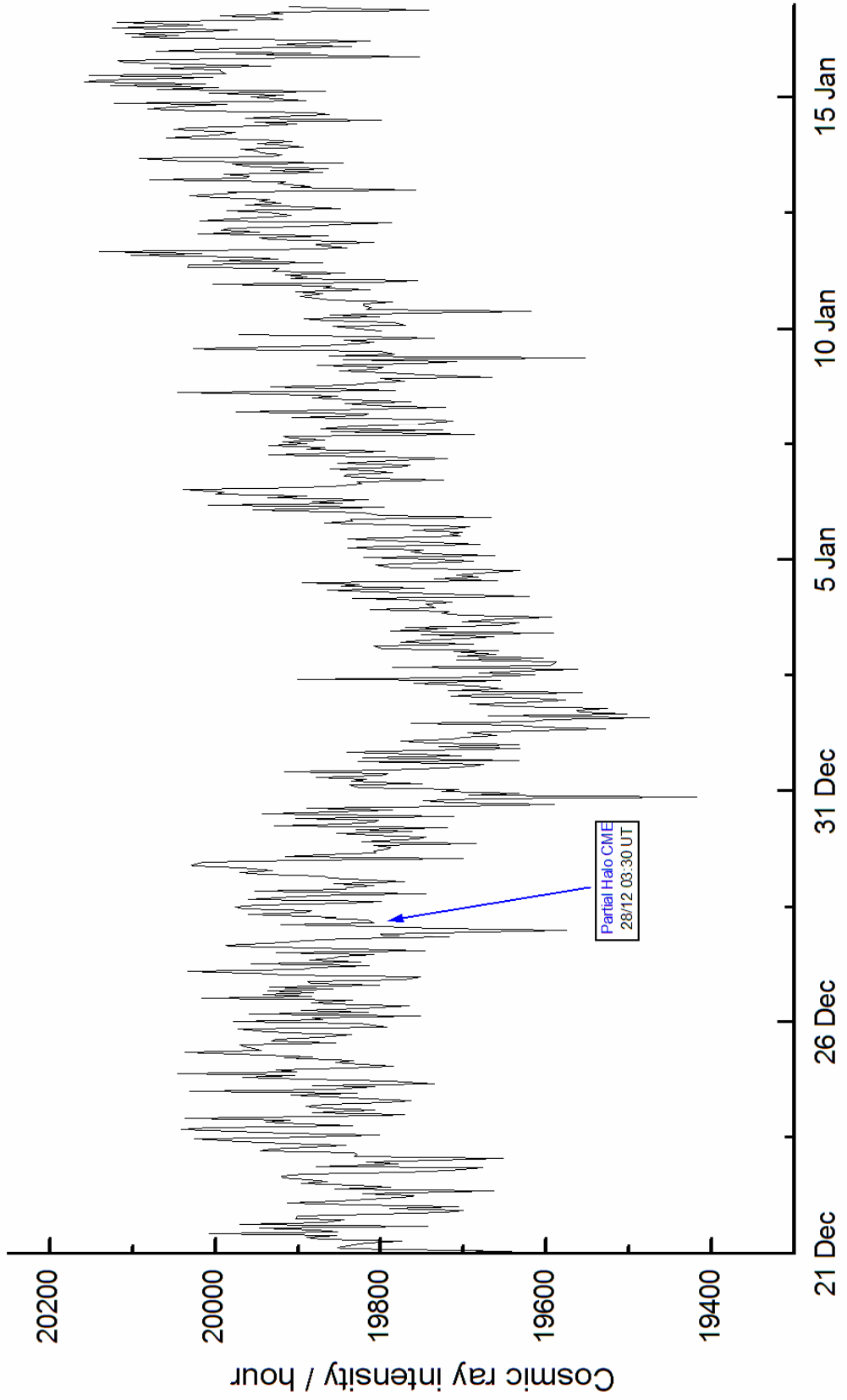
From Oct.28, 2005 to Nov.23, 2005

ATHENS NEUTRON MONITOR
BARTELS ROTATION 2352



From Nov.24, 2005 to Dec.20, 2005

ATHENS NEUTRON MONITOR
BARTELS ROTATION 2353



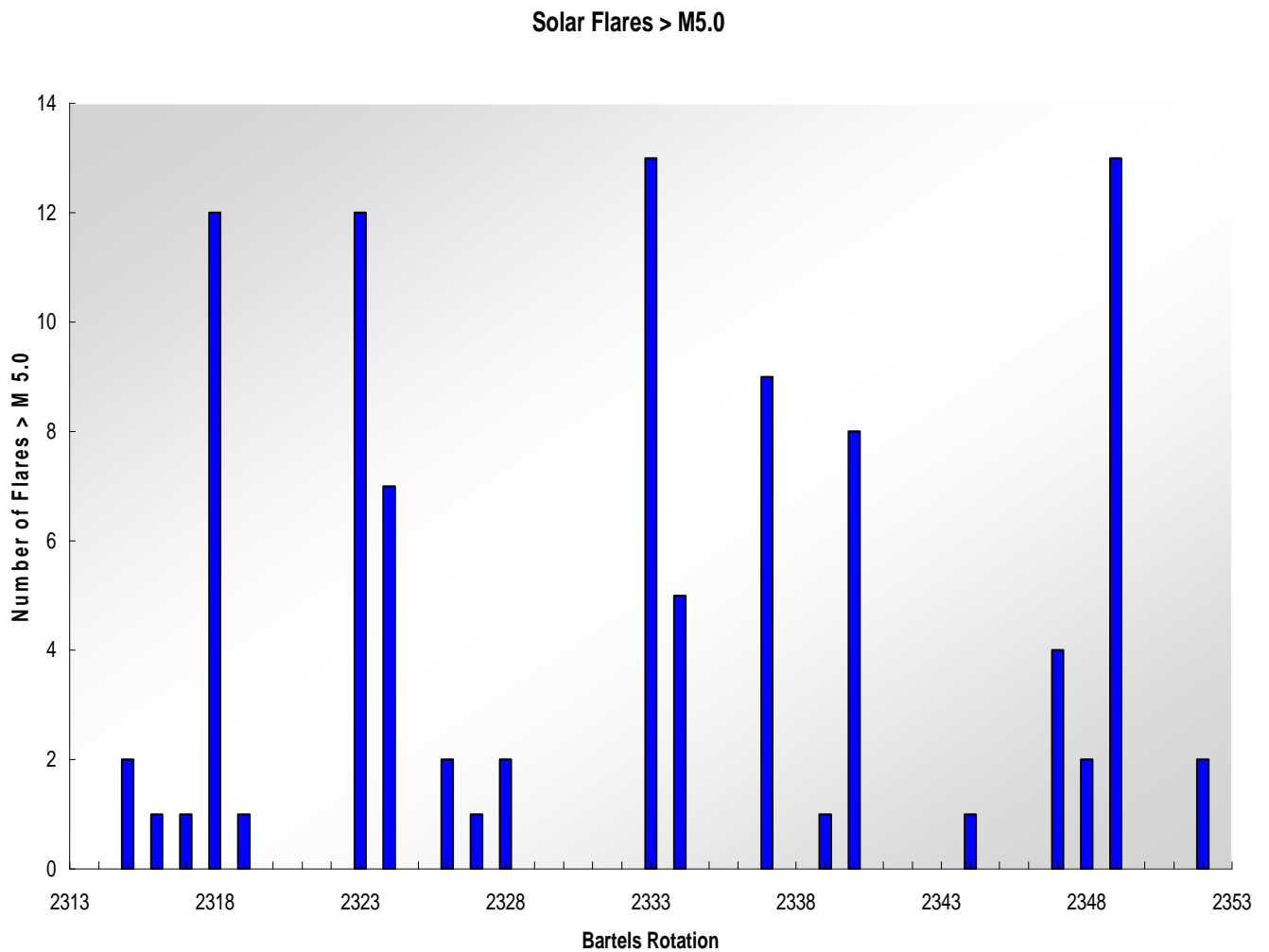
From Dec.21, 2005 to Jan.16, 2006

ΚΕΦΑΛΑΙΟ VI

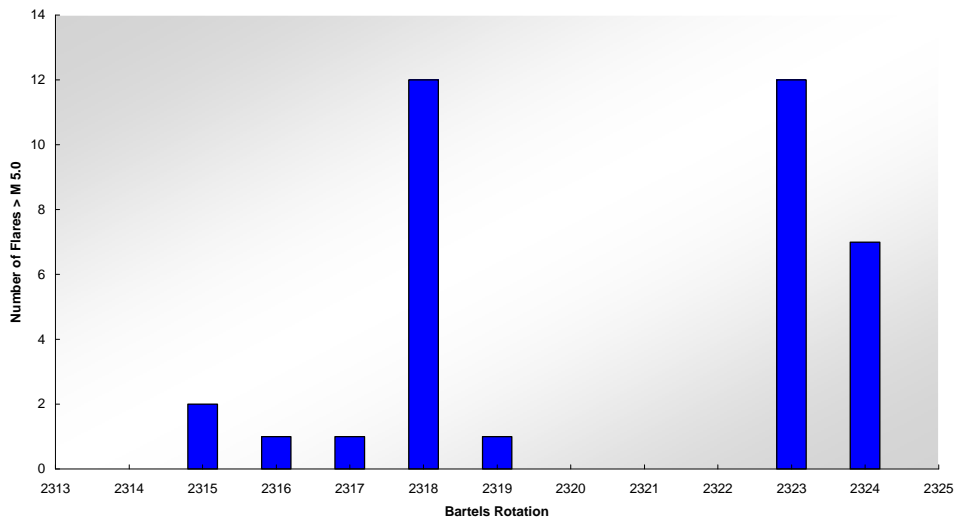
Στατιστική ανάλυση - Συμπεράσματα

6.1 Στατιστική ανάλυση

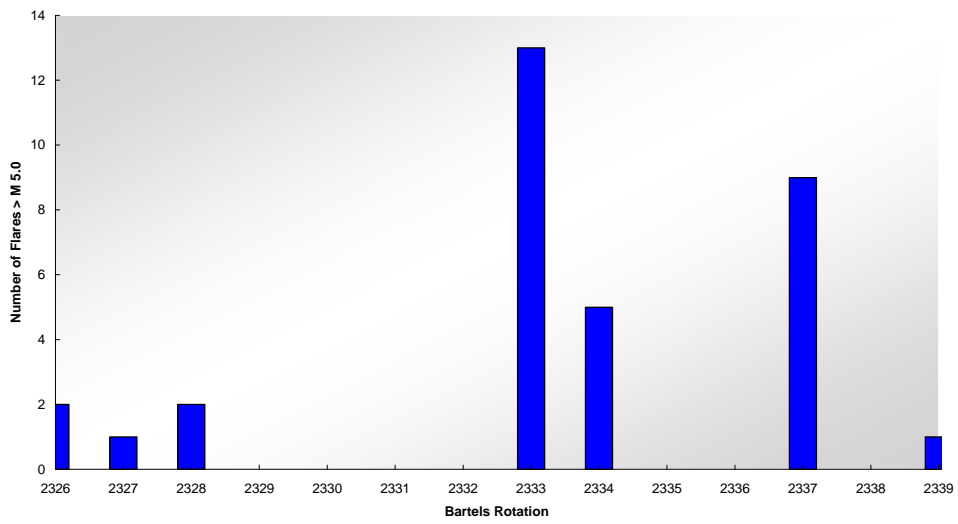
Βάσει των δεδομένων που παραθέτονται στο Κεφάλαιο V της παρούσης εργασίας δημιουργήθηκαν τα παρακάτω στατιστικά διαγράμματα. Στα ιστογράμματα αυτά αποτυπώνεται ο αριθμός των ηλιακών εκλάμψεων (με σπουδαιότητα $M > 5.0$) και των στεμματικών εκπομπών μάζας (CMEs και ICMEs) σε σχέση με τις Bartels περιστροφές 2313 ως 2353 που αντιστοιχούν στο χρονικό διάστημα 2003 ως 2005.



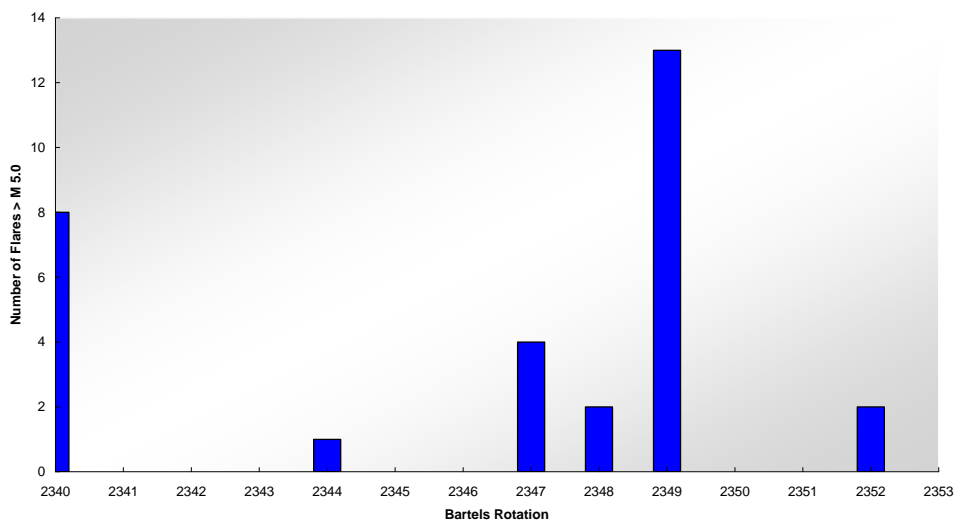
Solar Flares > M5.0



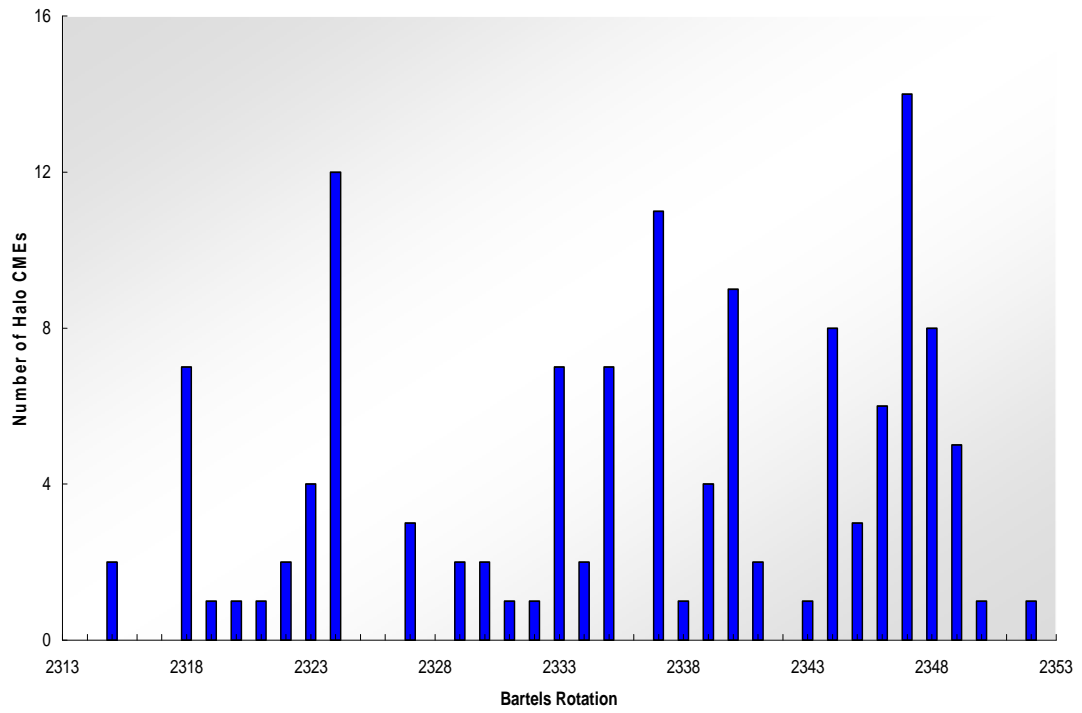
Solar Flares > M5.0



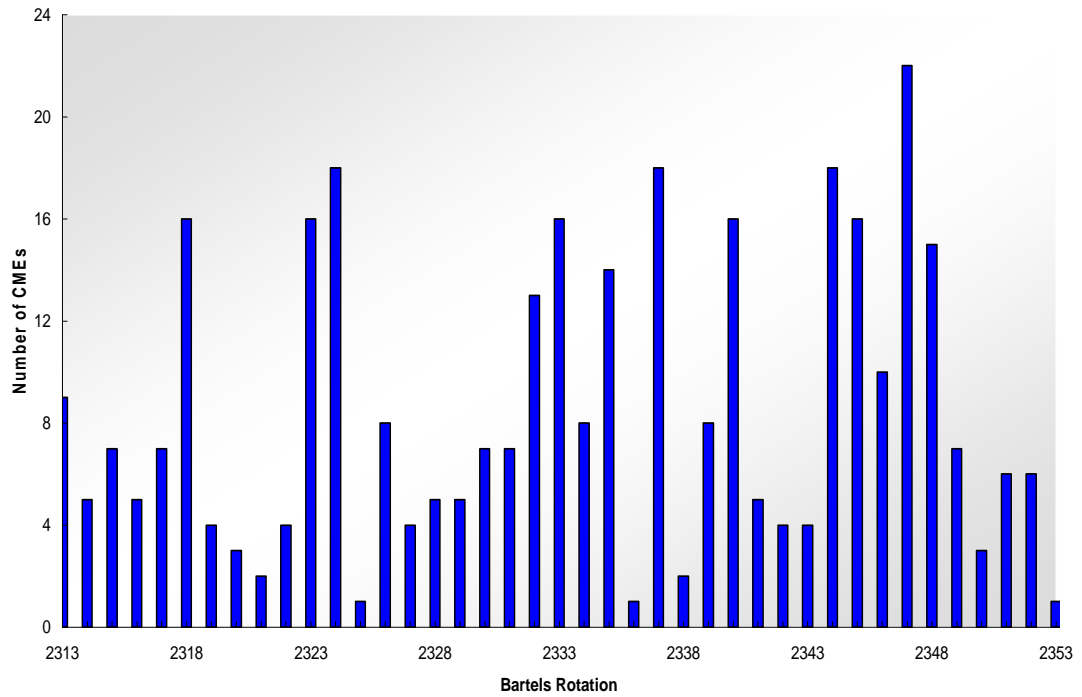
Solar Flares > M5.0

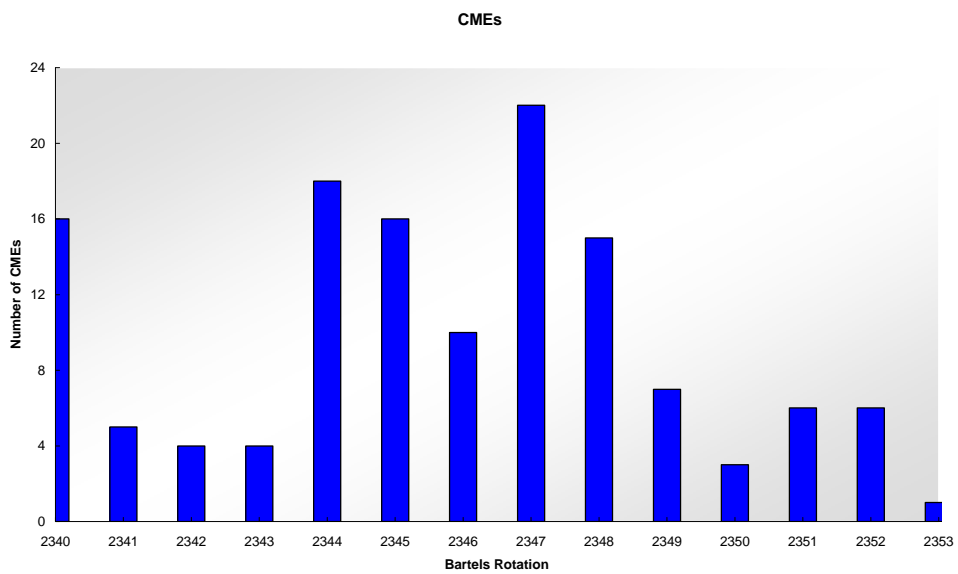
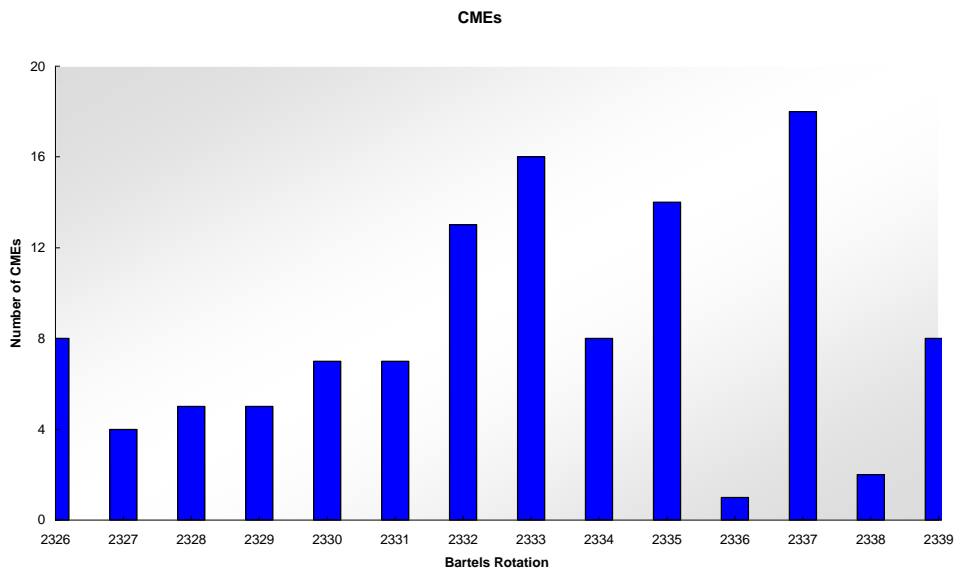
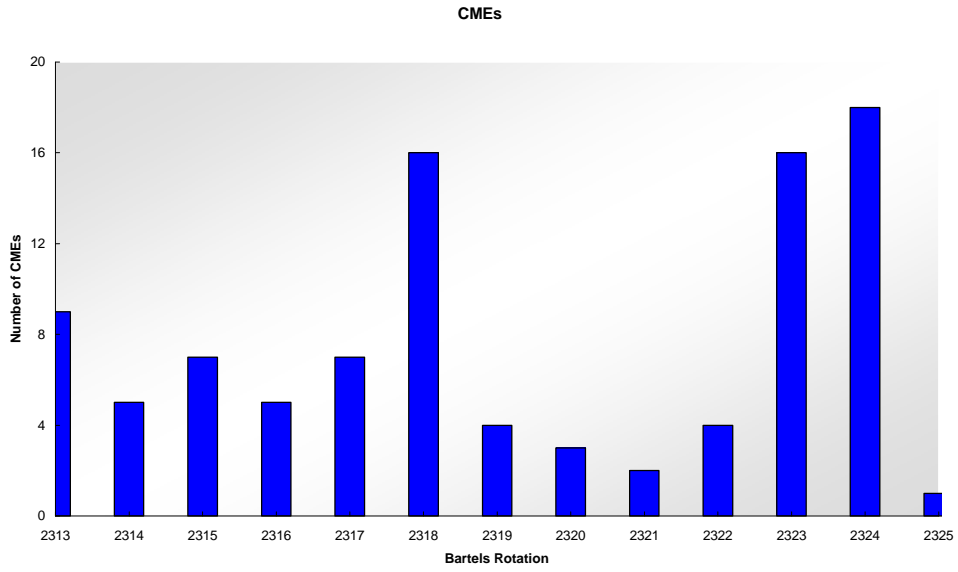


Halo CMEs



CMEs





6.2 Συμπεράσματα

1. Επιβεβαιώθηκαν οι θεωρητικές απόψεις σχετικά με τη συσχέτιση ηλιακών εκρηκτικών γεγονότων (ηλιακές εκλάμψεις, στεμματικές εκπομπές μάζας) και της μεταβολής της έντασης κοσμικής ακτινοβολίας. Η ηλιακή διαμόρφωση των κοσμικών ακτίνων αποτυπώθηκε στο σύνολο των πειραματικών διαγραμμάτων.
2. Ο 23^{95} κύκλος ηλιακής δραστηριότητας εμφάνισε ιδιότυπα χαρακτηριστικά. Ειδικότερα προς το τέλος του όπου και εμφανίστηκαν πολύ ισχυρά γεγονότα (Papaioannou et al, 2009a,b). Όλες αυτές οι διακυμάνσεις αποτυπώθηκαν επιτυχώς στα δεδομένα κοσμικής ακτινοβολίας του Πανεπιστημίου Αθηνών.

6.2.1 Οκτώβριος-Νοέμβριος 2003

Την περίοδο Οκτώβριος-Νοέμβριος 2003 το παγκόσμιο δίκτυο μετρητών νετρονίων κατέγραψε μέσα σε χρονικό διάστημα 6 ημερών στα τέλη Οκτωβρίου-αρχές Νοεμβρίου 2003 τρία γεγονότα επίγειων επαυξήσεων της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας (Ground Level Enhancements).

Οι ηλιακές κοσμικές ακτίνες παρήχθησαν κατά τη διάρκεια τριών μεγάλων εκλάμψεων (στις 28, 29 Οκτωβρίου και στις 2 Νοεμβρίου), επιταχύνθηκαν, διαδόθηκαν στο διαπλανητικό χώρο και τελικά εισέβαλαν στη γήινη ατμόσφαιρα ενεργοποιώντας μια σειρά καταιγισμών. Τα τρία αυτά γεγονότα που εμφανίστηκαν την περίοδο Οκτώβριος-Νοέμβριος 2003 είναι εκδηλώσεις της ασυνήθιστα έντονης ηλιακής δραστηριότητας που έλαβε χώρα τη δεδομένη περίοδο.

Τα χαρακτηριστικά γεωμαγνητικά γεγονότα της 29^{ης} Νοεμβρίου 2003 καταγράφηκαν με μέγιστο πλάτος 5% και 7% αντίστοιχα στο σταθμό της Αθήνας. Το τελευταίο θεωρείται και το μεγαλύτερο στην ιστορία των Μετρητών Νετρονίων (Belov, 2005).

6.2.1.1 Ηλιακή δραστηριότητα

Η περίοδος 19 Οκτωβρίου-5 Νοεμβρίου 2003 χαρακτηρίζεται ως η περίοδος με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση ηλιακών εκλάμψεων όλου του 23^{ου} ηλιακού κύκλου, καθώς με τη μία, τρεις μεγάλες ενεργές συστοιχίες ηλιακών κηλίδων πέρασαν στον ορατό ηλιακό δίσκο: μία στο νότιο ημισφαίριο (συστοιχία No.10486 με την μεγαλύτερη έκταση στην ηλιακή δραστηριότητα του παρόντος κύκλου) και δύο στο βόρειο ημισφαίριο (No.10484 και 10488).

Η ενεργός περίοδος Οκτώβριος-Νοέμβριος 2003 ξεκίνησε στις 17 Οκτωβρίου με την εμφάνιση –πίσω από το ανατολικό χείλος– και την γρήγορη κλιμάκωση, κατά την διάρκεια των πρώτων ημερών, μιας συστοιχίας ηλιακών κηλίδων στον τομέα AR10484. Τη δεύτερη μέρα (19 Οκτωβρίου) σε αυτήν την περιοχή έλαβε χώρα η πρώτη ηλιακή έκλαμψη σπουδαιότητας X1.1/1N. Μέχρι τις 26 Οκτωβρίου παρατηρήθηκαν μόνο μέτριες ηλιακές εκλάμψεις σπουδαιότητας όχι μεγαλύτερης από M. Μετά την εμφάνιση μιας νέας ισχυρής μαγνητικής ροής στις 26 Οκτωβρίου, δύο ακόμα πολύ ισχυρές εκλάμψεις, X1.2/2N και M7.6/2N, συνέβησαν στην ίδια περιοχή, αμέσως έπειτα ο τομέας AR10484, κατά την περιστροφή του Ήλιου πέρασε πίσω από το δυτικό χείλος του Ήλιου ενώ βρισκόταν σε πλήρη εξέλιξη, στις 29 Οκτωβρίου.

Τα φαινόμενα αυτά ακολούθησαν ισχυρές στεμματικές εκπομπές μάζας, οι οποίες διαδόθηκαν μέσα στην ηλιόσφαιρα. Το αποτέλεσμα των γεγονότων αυτών, αν και είχαν τη δυνατότητα να είναι εξαιρετικά γεωμαγνητικά, δεν ήταν τόσο σημαντικά όσο αναμενόταν, σε σχέση με παρόμοια γεγονότα.

Η επόμενη περίοδος δυνατών εκρηκτικών γεγονότων σε αυτήν την ενεργό περιοχή, ξεκίνησε στις 2 Νοεμβρίου με μια ηλιακή έκλαμψη X8.3/2B και συνέχισε στις 4 Νοεμβρίου με μια έκλαμψη X28.0/3B, η οποία ήταν και η πιο έντονη αυτού του ηλιακού κύκλου στις μαλακές ακτίνες-X. Οι εκλάμψεις αυτές έλαβαν χώρα κοντά στο δυτικό χείλος του Ήλιου, γι' αυτό και, παρά την ύπαρξη ηλιακών πρωτονικών γεγονότων τάξης S3 και S2, δεν είχαν σημαντική επίδραση στις γεωμαγνητικές συνθήκες.

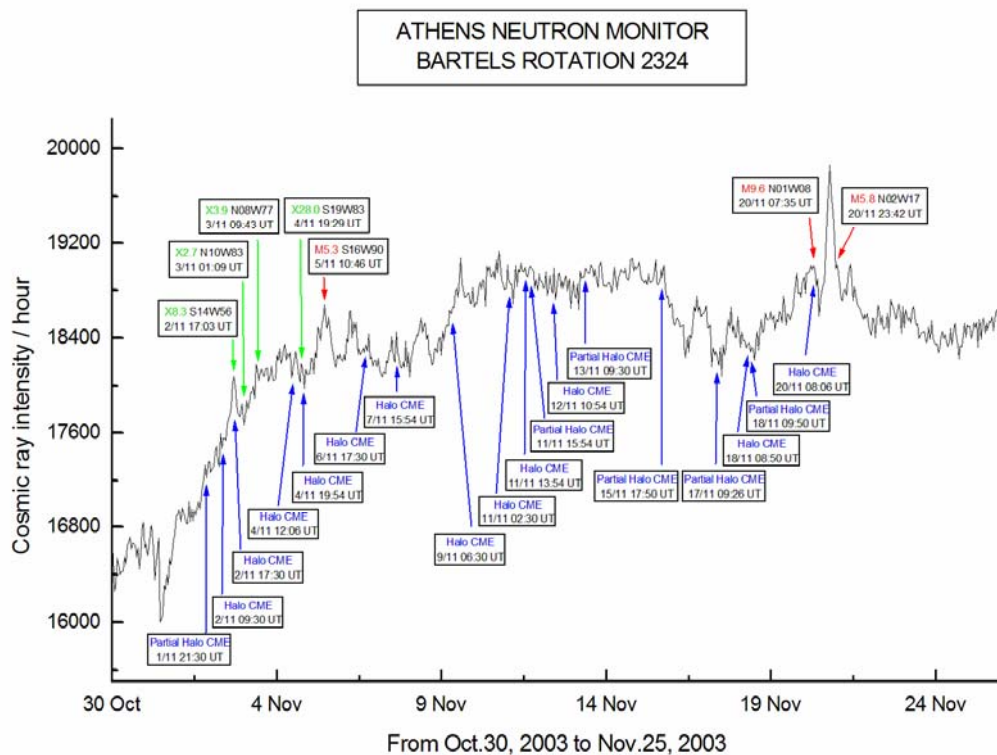
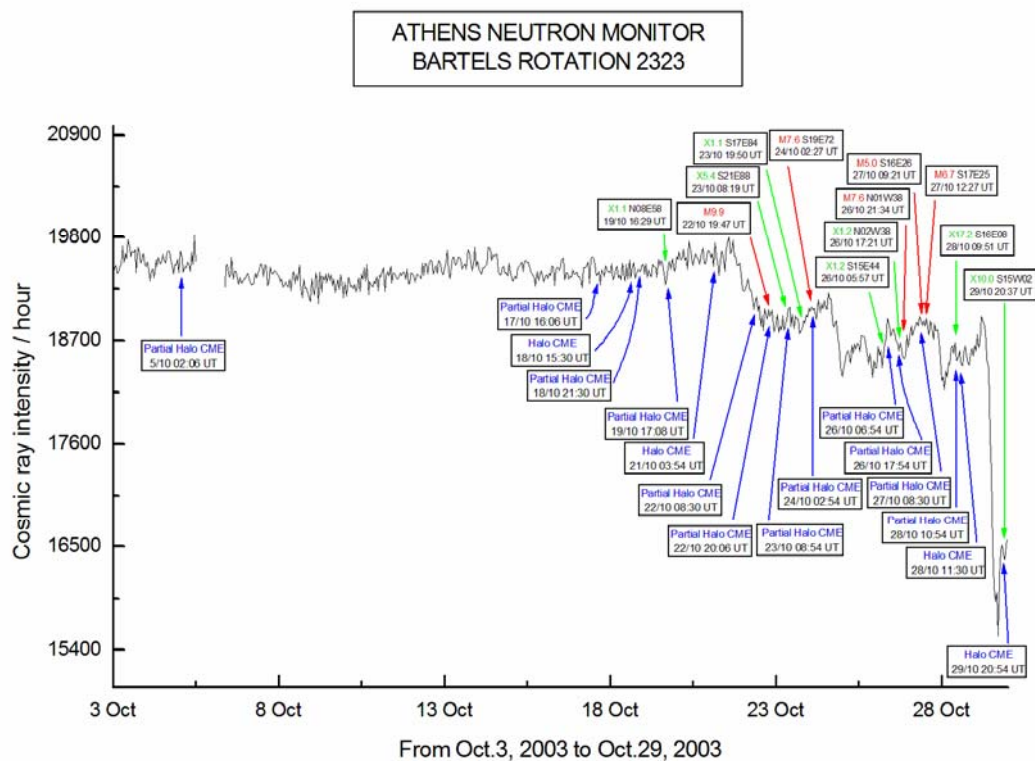
Η ενεργός περιοχή AR10488 σχηματίστηκε στις 27 Οκτωβρίου στο κέντρο του ηλιακού δίσκου. Παρά τη γρήγορη κλιμάκωσή της, παράγαγε μόνο μέτριας έντασης εκλάμψεις, και μόνο στις 3 Νοεμβρίου συνέβησαν δύο εκλάμψεις, X2.7/2B και X3.9/2F. Συνολικά, για 16 ημέρες σε τρεις ενεργούς περιοχές συνέβησαν 16 δυνατές ηλιακές εκλάμψεις, 11 από τις οποίες είχαν στις ακτίνες-X σπουδαιότητα X.

Η περίοδος των εκλάμψεων στα μέσα Νοεμβρίου συσχετίστηκε με την ενεργό περιοχή AR10501, η οποία προέκυψε απ' την επόμενη περιστροφή της AR10484. Ξεκίνησε στις 17 Νοεμβρίου και συνέχισε για 94 ώρες. Στην περίοδο αυτή, συνέβησαν δύο δυνατές ηλιακές εκλάμψεις και πέντε εκλάμψεις μέτριας σπουδαιότητας M. Το εκρηκτικό γεγονός στις 18 Νοεμβρίου είχε την ισχυρότερη επιρροή στο διαπλανητικό χώρο κοντά στη Γη. Κατά τη διάρκεια της εξέλιξής του, έλαβαν χώρα δύο εκλάμψεις στις ακτίνες-X με σπουδαιότητα M3.2 και M3.9 και ισχυρές στεμματικές εκπομπές μάζας. Φτάνοντας κοντά στη Γη, οι διαταραχές από αυτά τα εκρηκτικά φαινόμενα παράγαγαν μια από τις ισχυρότερες μαγνητικές καταιγίδες, εντάσεως G5, του παρόντος ηλιακού κύκλου.

6.2.1.2 Κοσμική ακτινοβολία

Η περίοδος Οκτώβριος-Νοέμβριος 2003 εξελίχθηκε στην πλουσιότερη σε αριθμό και σε ισχύ γεγονότων που καταγράφηκαν από τους επίγειους μετρητές νετρονίων κατά την διάρκεια του 23^{ου} ηλιακού κύκλου. Από τα διαγράμματα της Εικόνας 1 μπορούμε να πάρουμε μια γενική ιδέα σχετικά με αυτά τα γεγονότα όπως αυτά καταγράφηκαν από τον μετρητή νετρονίων της Αθήνας.

Η αρχή αυτής της περιόδου συμπίπτει με την εμφάνιση στον ηλιακό δίσκο της συστοιχίας ηλιακών κηλίδων 10484, ενώ το τέλος της αντιστοιχεί στην επιστροφή της συστοιχίας 10486 στον δίσκο κατά την επόμενη περιστροφή.



Εικόνα 1: Χαρτογράφηση των γεγονότων της ηλιακής δραστηριότητας πάνω στα χρονικά διαγράμματα της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας για τον Οκτώβριο 2003 (πάνω) και το Νοέμβριο 2003 (κάτω)

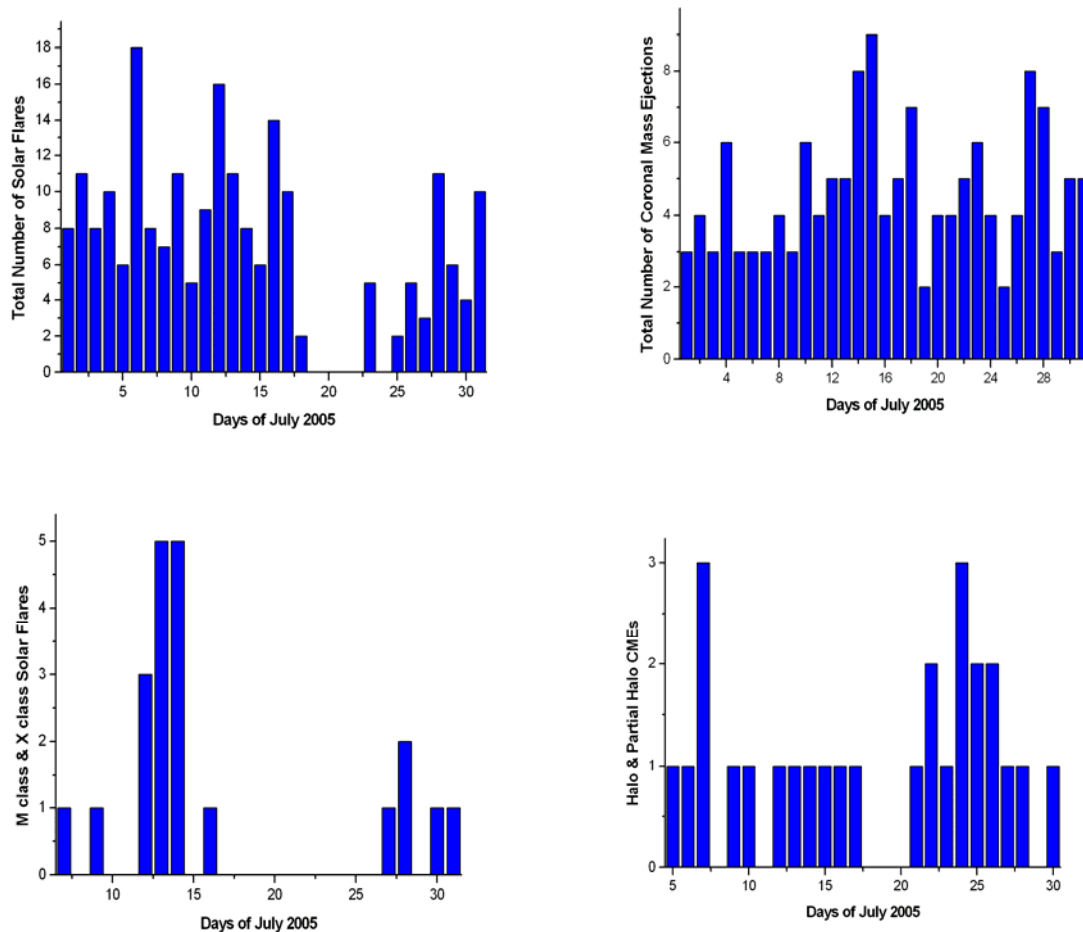
6.2.2 Ιούλιος 2005

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, 2007). 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 ακολουθήθηκε 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 ~ -70 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 (Παπαϊωάννου, 2007).

6.2.2.1 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 (Εικόνα 2) 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 M και 2 τύπου X, επέφεραν σημαντικές διαταραχές στο διαπλανητικό χώρο οι οποίες και απεικονίστηκαν στη Γη.



Εικόνα 2: Συνολική εικόνα της ηλιακής δραστηριότητας που καταγράφηκε τον Ιούλιο του 2005. Τα επάνω ιστογράμματα απεικονίζουν την συνολική δραστηριότητα, ενώ τα κάτω υπερτονίζουν τα πιο σημαντικά γεγονότα.

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, όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 3. 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 M και 2 ηλιακές εκλάμψεις τύπου X, με πολλαπλές συσχετισμένες στεμματικές εκπομπές μάζας (Caroubalos et al., 2008), 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 M 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 M 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 M. 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.

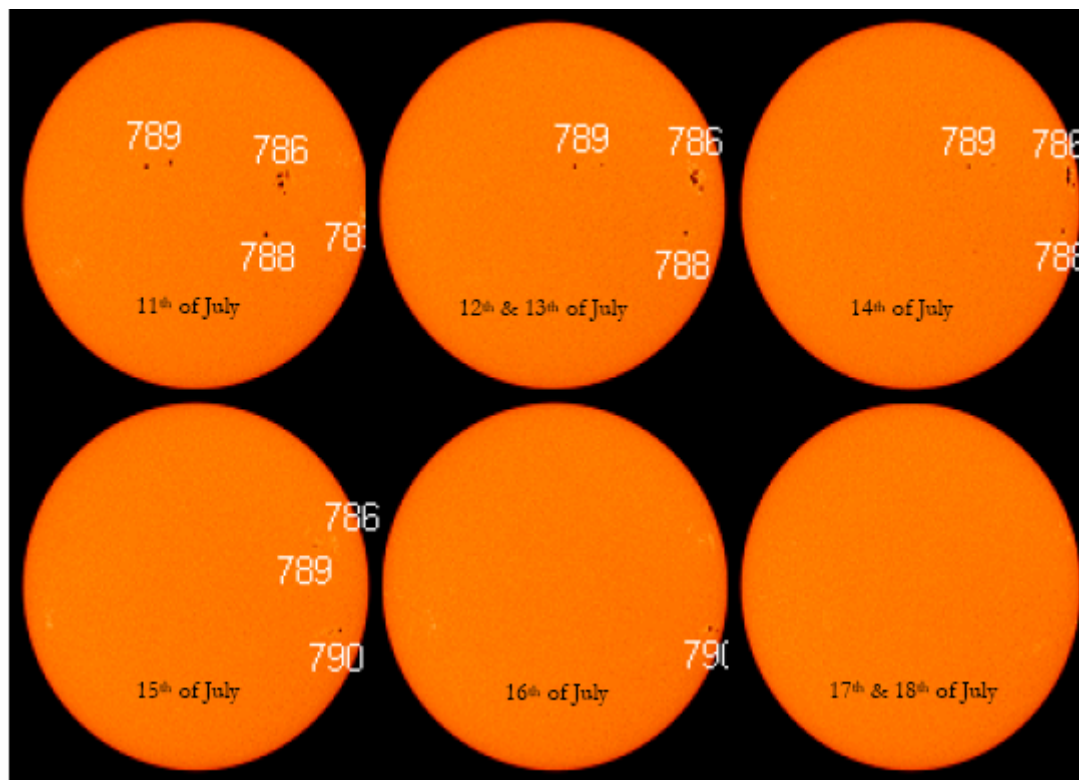
Κατόπιν εμφανίστηκε κλιμάκωση της ηλιακής δραστηριότητας από τις 11 Ιουλίου μέχρι και τις 14, πέρα από όπου παρατηρήθηκε ύφεση της δραστηριότητας. Η ηλιακή δραστηριότητα κυριαρχήθηκε από τον τομέα AR786 στο βόρειο ημισφαίριο, μέχρις ότου η περιοχή αυτή περιστράφηκε πίσω από το δυτικό χείλος του Ήλιου, στις 14 Ιουλίου. Από τις 12 μέχρι και τις 14 Ιουλίου, αυτή η συστοιχία ηλιακών κηλίδων παρήγαγε 12 ηλιακές εκλάμψεις τύπου M και μια τύπου X (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 ισχνή μερικής άλως στεμματική εκροή μάζας. Αργότερα την ίδια ημέρα παρήχθησαν δύο 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, δύο στεμματικές εκροές μάζας τύπου άλως συνέβησαν σε συσχέτιση με δύο 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.

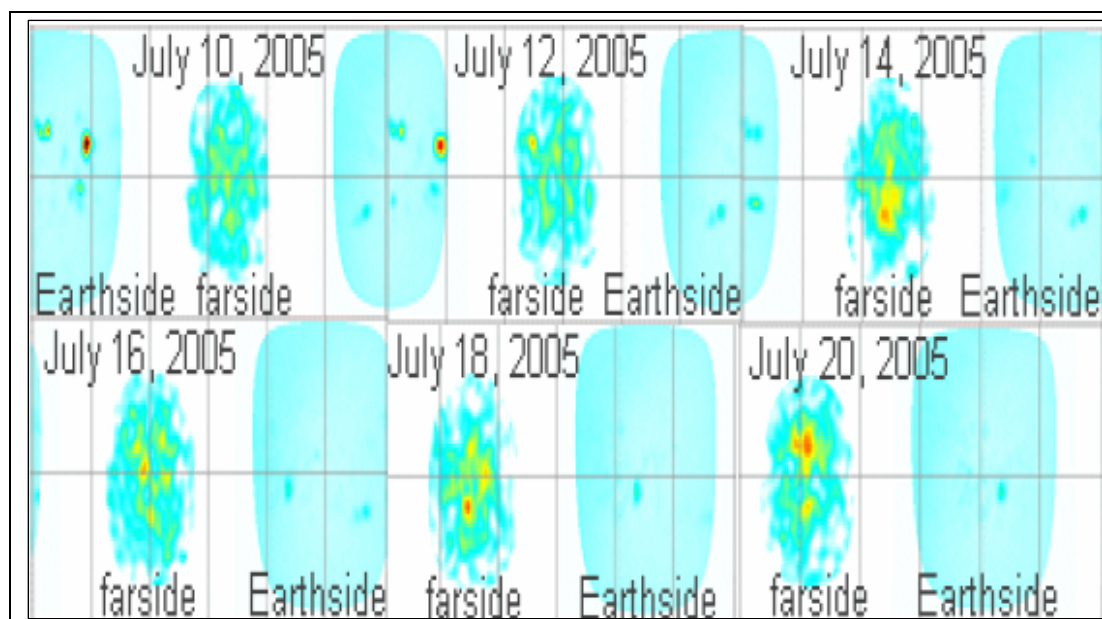
Η ενεργός περιοχή AR786 συνέχισε την δραστηριότητά της στις 14 Ιουλίου προκαλώντας δύο ισχυρά γεγονότα. Κατά πρώτον, μια ηλιακή έκλαμψη σημαντικότητας M9.1 σημειώθηκε στις 07:25 UT συσχετιζόμενη με μια στεμματική εκροή μάζας. Μια αξιόλογα πιο ισχυρή και με μεγαλύτερη διάρκεια ηλιακή έκλαμψη σημαντικότητας 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 (Εικόνα 4).



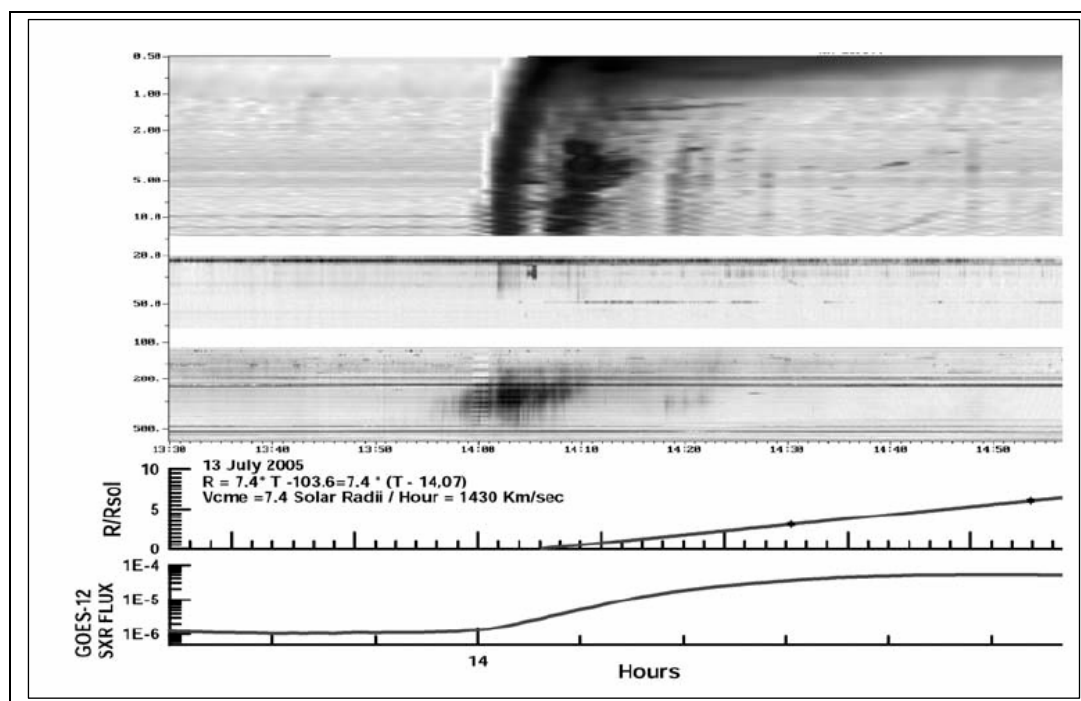
Εικόνα 3: Η εξέλιξη των ηλιακών κηλίδων από τις 11 μέχρι και τις 18 Ιουλίου 2005



Εικόνα 4: Ολογραφική απεικόνιση της πλευράς του Ήλιου που είναι στραμμένη προς τη Γη καθώς και της αντίθετης πλευράς του

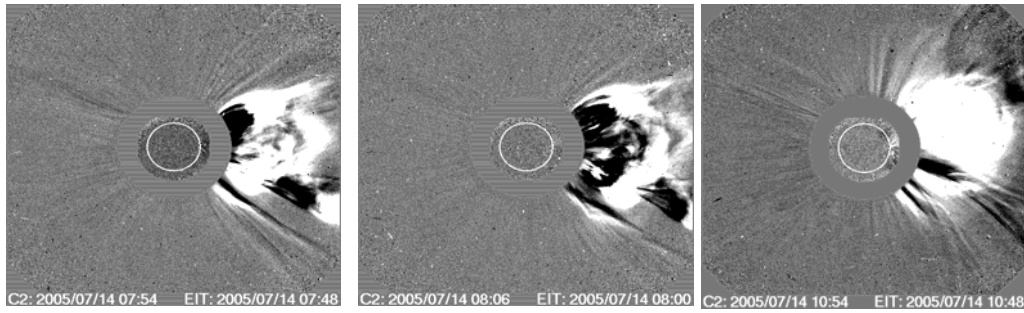
Τα σημαντικότερα γεγονότα της περιόδου αυτής καταγράφηκαν στις 12, 13 και 14 Ιουλίου με αποτέλεσμα την ισχυρή διαμόρφωση του διαπλανητικού χώρου, όπως αυτή αποτυπώθηκε από τους επίγειους μετρητές νετρονίων. Ειδικότερα:

- 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 5) (Caroubalos et al., 2008).



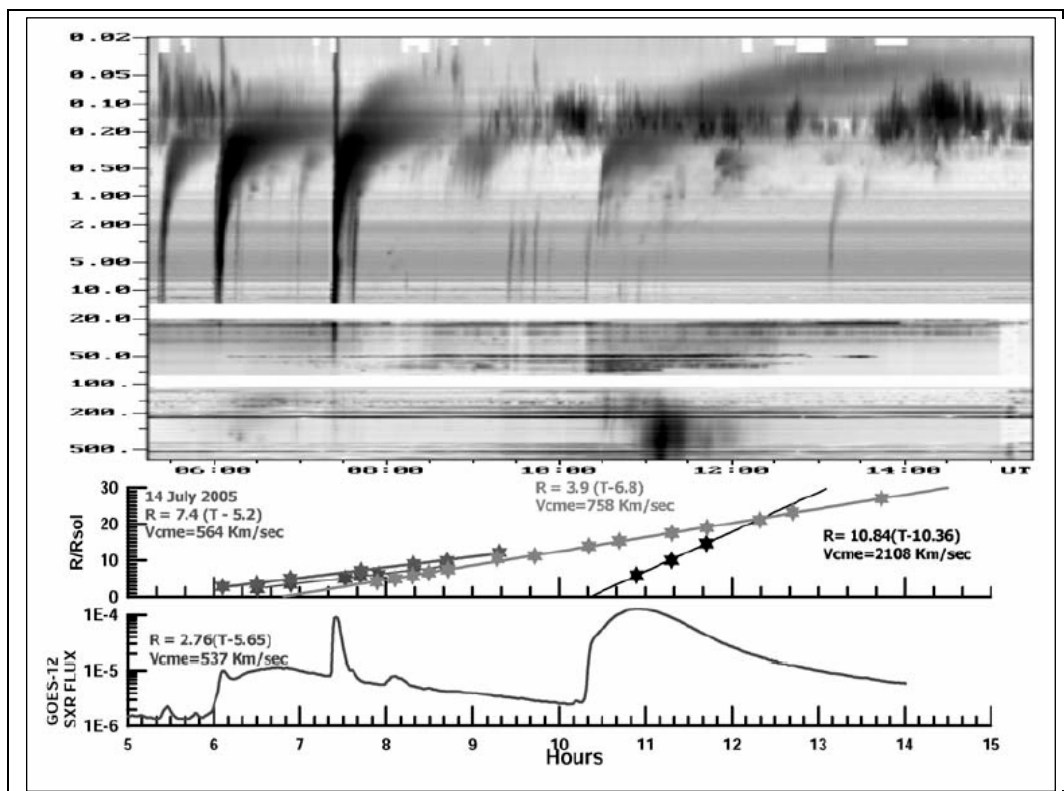
Εικόνα 5: Το δυναμικό φάσμα της έκλαμψης στις 13 Ιουλίου 2005 (επάνω εικόνα), όπου φαίνεται η ραδιοέξαρση τύπου IV. Στο δεύτερο πλαίσιο (μεσαία εικόνα) αποτυπώνεται η εξέλιξη ύψους-χρόνου για τη στεμματική εκροή μάζας και στο τρίτο πλαίσιο (κάτω εικόνα) παρουσιάζονται τα SXR από τους δορυφόρους GOES

- 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 6), (Caroubalos et al., 2009).



Εικόνα 6: Οι στεμματικές εκροές μάζας που εμφανίστηκαν μετά την ηλιακή έκλαμψη M9.1

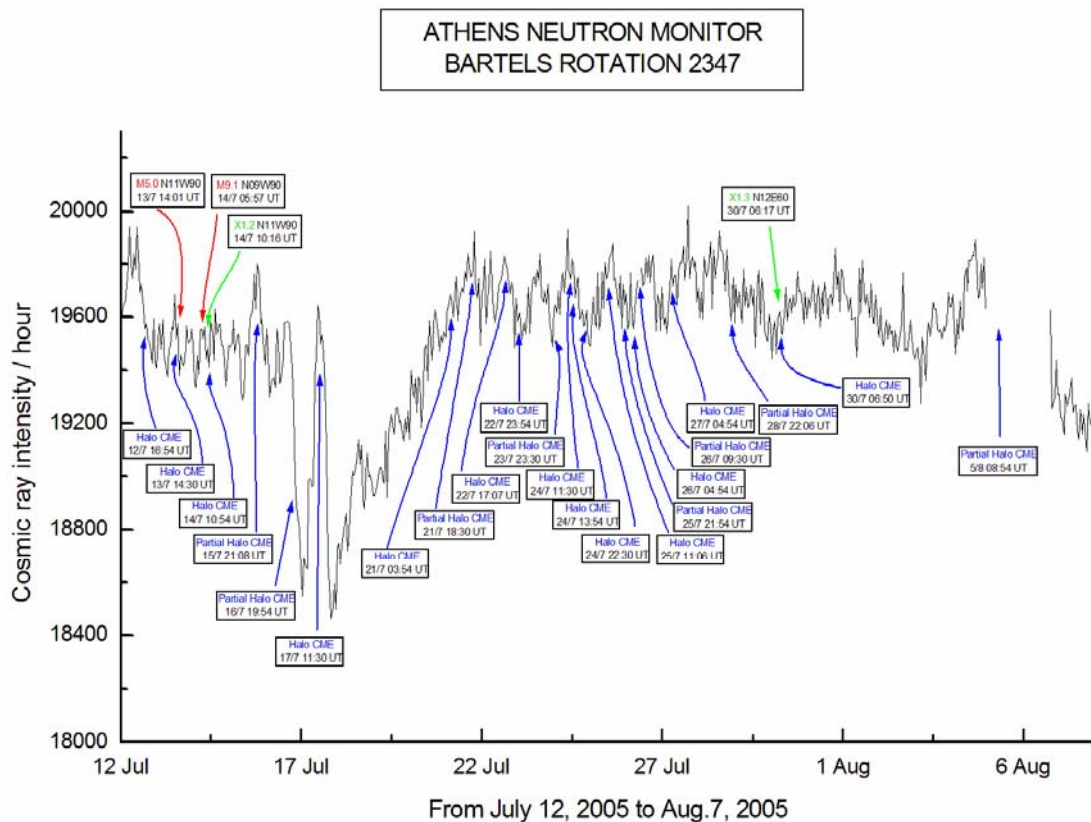
- Το σπουδαιότερο ηλιακό γεγονός που καταγράφηκε στις 14 Ιουλίου ήταν η στεμματική εκροή μάζας τύπου άλως με ταχύτητα 2108 km/sec, η οποία και εμφανίστηκε στις 10:27 UT, συσχετιζόμενη με τη δεύτερη ισχυρή ηλιακή έκλαμψη X1.2 και συμπαρέσυρε τις τρεις προηγούμενες στεμματικές εκροές μάζας. Επιπρόσθετα, η στεμματική αυτή εκροή μάζας συνοδεύτηκε από ραδιοέξαρση τύπου III καθώς και ένα συνεχές τύπου IV (Εικόνα 7).



Εικόνα 7: 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.

6.2.2.2 Κοσμική ακτινοβολία

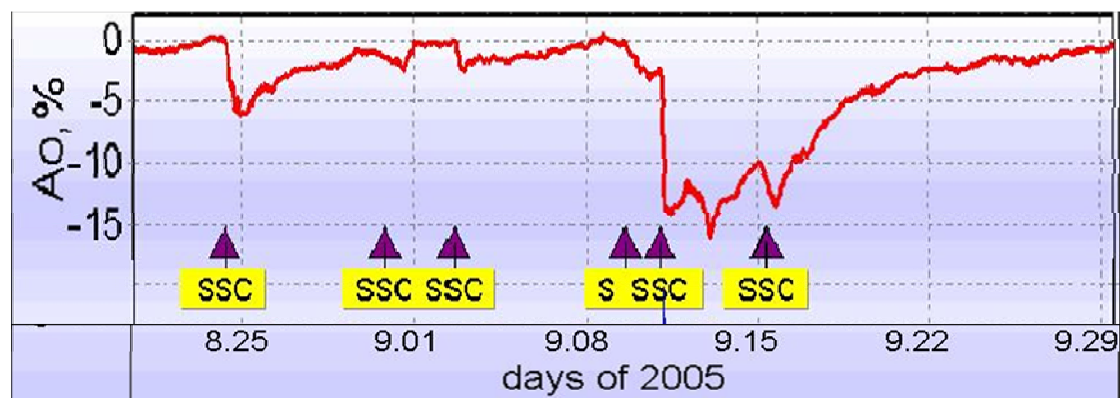
Η συνεχώς αυξανόμενη ηλιακή δραστηριότητα δημιούργησε διαταραγμένες καταστάσεις στον διαπλανητικό χώρο, οι οποίες και επηρέασαν την συμπεριφορά της κοσμικής ακτινοβολίας. Η πυκνότητα των γαλαξιακών κοσμικών ακτίνων άρχισε να υποχωρεί από τις 10 μέχρι και τις 16 Ιουλίου, όπου και καταγράφηκε μια μείωση 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 ανένηψε 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 (βλέπε Κεφάλαιο 3).



Εικόνα 8: Χαρτογράφηση των γεγονότων της ηλιακής δραστηριότητας πάνω στα χρονικά διαγράμματα της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας όπως καταγράφηκαν τον Ιούλιο 2005

6.2.3 Αύγουστος-Σεπτέμβριος 2005

Την περίοδο Αυγούστου – Σεπτεμβρίου 2005, και ενώ βρισκόμασταν στην εκπονή του 23^{ου} ηλιακού κύκλου, μια σειρά από εξαιρετικά γεγονότα καταγράφηκαν από το παγκόσμιο δίκτυο μετρητών νετρονίων. Ειδικότερα, μια τυπική μείωση Forbush της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας παρατηρήθηκε στις 24 Αυγούστου 2005 και παρουσίασε όλα τα αναμενόμενα χαρακτηριστικά – αποδείξεις ηλιακής διαμόρφωσης. Ουσιαστικότερα γεγονότα καταγράφηκαν το Σεπτέμβριο του 2005 (Παπαϊωάννου, 2007).



Εικόνα 9: Μεταβολές της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας κατά τον Αύγουστο-Σεπτέμβριο 2005, υπολογισμένες στα 10 GV από το δίκτυο των μετρητών νετρονίων. Διακρίνονται τρεις σημαντικές μειώσεις Forbush: (α) 24-25 Αυγούστου με πλάτος 6.4 %, (β) 11 Σεπτεμβρίου με πλάτος 12.1 % και (γ) 15 Σεπτεμβρίου με πλάτος 5.1 %

6.2.3.1 Ηλιακή δραστηριότητα

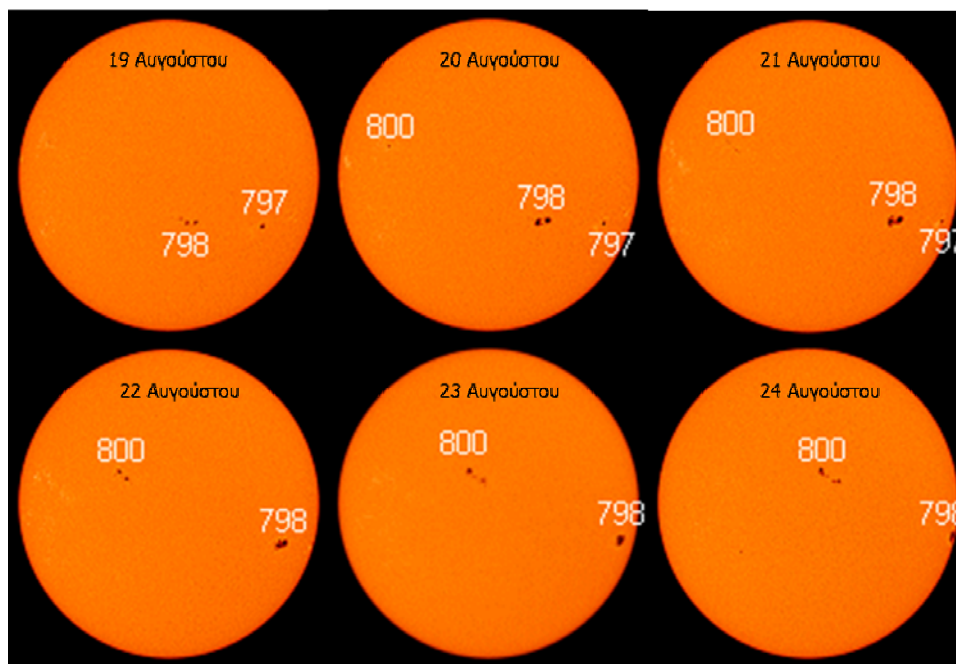
- Αύγουστος 2005

Στο ξεκίνημα του μήνα Αυγούστου, η επίδραση από την ισχυρή ηλιακή έκλαμψη X1.3 που καταγράφηκε στις 30 Ιουλίου ήταν ακόμη αισθητή. Η ηλιακή δραστηριότητα μπορεί να χωριστεί σε δύο περιόδους: (α) από την 1-3 Αυγούστου, οπότε και καταγράφηκαν τρεις ηλιακές εκλάμψεις τάξης M και (β) από τις 22-28 Αυγούστου όπου έλαβαν χώρα πέντε ηλιακές εκλάμψεις τάξης M.

Η πρώτη περίοδος χαρακτηρίστηκε από την καταγραφή τριών ισχυρών ηλιακών εκλάμψεων. Ειδικότερα, μια έκλαμψη M1.0 καταγράφηκε στην ενεργό περιοχή AR792, την 1^η Αυγούστου στις 13:00 UT (N13° E32°). Η ενεργός περιοχή AR794 ήταν υπεύθυνη για μια ηλιακή έκλαμψη M4.2 στις 2 Αυγούστου, ενώ την επόμενη ημέρα, στην ίδια περιοχή, καταγράφηκε μια ακόμη έκλαμψη (M3.4). Και οι δυο ηλιακές εκλάμψεις συνοδεύονται από στεμματικές εκροές μάζας. Η περιοχή AR792 εξασθένησε από τις 4 Αυγούστου και έπειτα, αν και διατήρησε αρκετές δυνάμεις ώστε να παράγει μια έκλαμψη C2.8 μεγάλης διάρκειας στις 5 του μήνα, στις 06:59 UT. Ύστερα από μια τελευταία έκλαμψη C, στις 7 Αυγούστου, υπήρξε σημαντική αδράνεια στον Ήλιο αφού καμία ηλιακή έκλαμψη δεν καταγράφηκε. Από τις 18 του μήνα όμως διαφάνηκε αλλαγή. Συγκεκριμένα, η ενεργός περιοχή AR798 (Εικόνα 20), που εμφανίστηκε στις 15 Αυγούστου και ολοκλήρωσε τη διαδρομή του στις 24 του μήνα, προτού ξεπεράσει το δυτικό χείλος του ηλιακού δίσκου παράγαγε μια σειρά ισχυρών ηλιακών εκλάμψεων. Μια M2.6 έκλαμψη καταγράφηκε στις 22 Αυγούστου

στις 01:33 UT, η οποία συνοδεύτηκε αργότερα την ίδια ημέρα, στις 17:27 UT, από μια δεύτερη ισχυρότερη έκλαμψη M5.6. Τέλος, την επόμενη ημέρα – στις 23 Αυγούστου – μια ηλιακή έκλαμψη M2.7 εμφανίστηκε στις 14:44 UT. Το σύνολο των εκλάμψεων αυτών συνοδεύεται από στεμματικές εκπομπές μάζας τύπου Άλως με ταχύτητες: 637, 726 και 801 km/s, αντίστοιχα.

Η ενεργός περιοχή AR798 συνέχισε την δραστηριότητά της και στη μη-ορατή πλευρά του Ήλιου, όπου και ήταν υπεύθυνη για την εμφάνιση πολύ ισχυρών ηλιακών εκλάμψεων, όπως μιας X17, μιας X5.4 και μιας X1.1 αποδεικνύοντας ότι ο σχηματισμός αυτός ισχυροποιήθηκε κατά την παραμονή του σε αυτή την πλευρά του Ήλιου. Μια ακόμη ενεργός περιοχή (AR803) παρήγαγε δύο M ηλιακές εκλάμψεις.

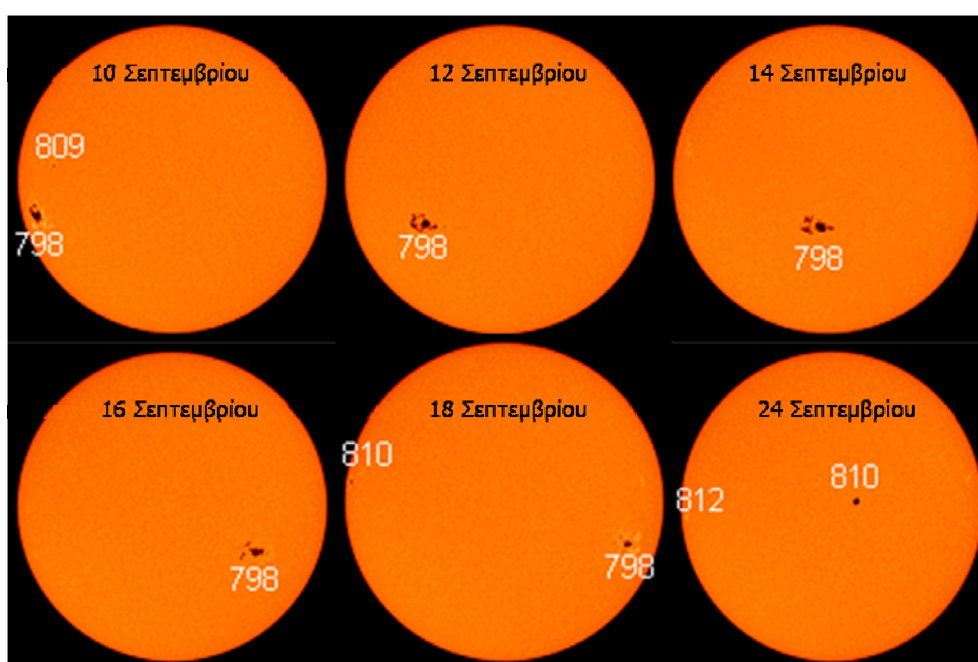


Εικόνα 10: Η εξέλιξη του ενεργού τομέα AR798 από τις 19-24 Αυγούστου 2005

- Σεπτέμβριος 2005

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 Ηλίου. 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. Ταυτόχρονα, καταγράφηκε ραδιοέξαρση τύπου II, υποδεικνύοντας την παρουσία μιας στεμματικής εκπομπής μάζας –ωστόσο, ο LASCO δεν ήταν διαθέσιμος τη στιγμή αυτή και δεν υπάρχει καταγραφή της ταχύτητας και της ισχύος του γεγονότος αυτού. Συνυπολογίζοντας τη θέση του ενεργού τομέα την ημέρα αυτή γνωρίζουμε ότι κατά κύριο λόγο είχε κατεύθυνση προς τη Γη.

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.



Εικόνα 11: Η εξέλιξη των ηλιακών κηλίδων από 10-24 Σεπτεμβρίου 2005

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 αντίστοιχως, 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 11).

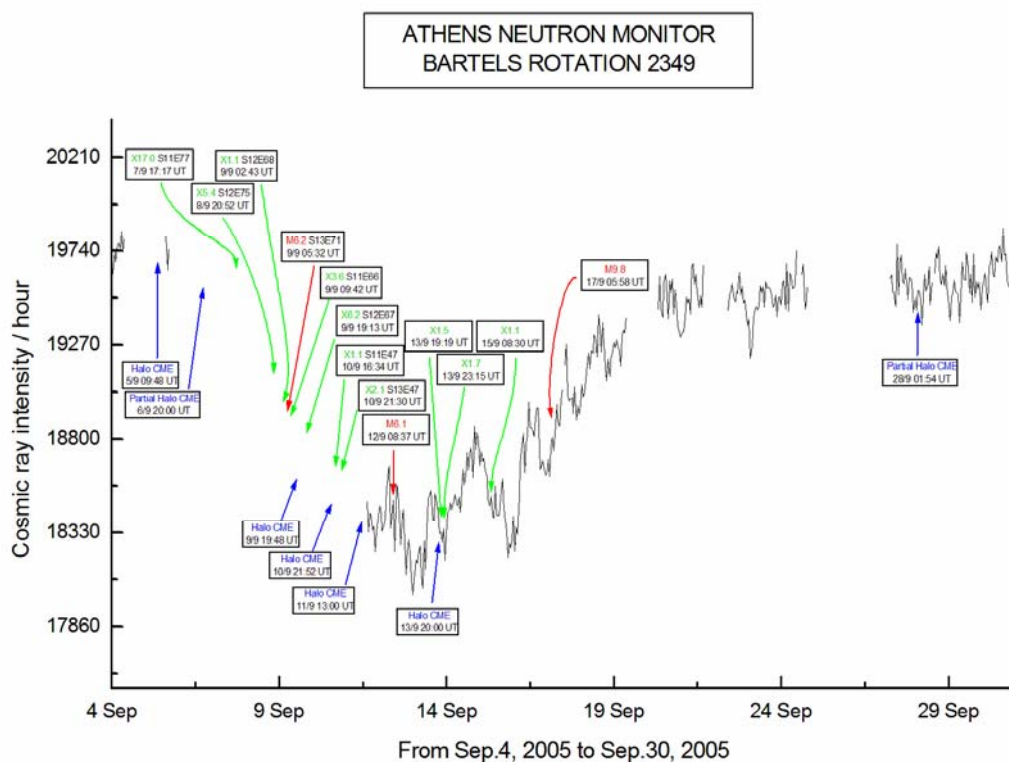
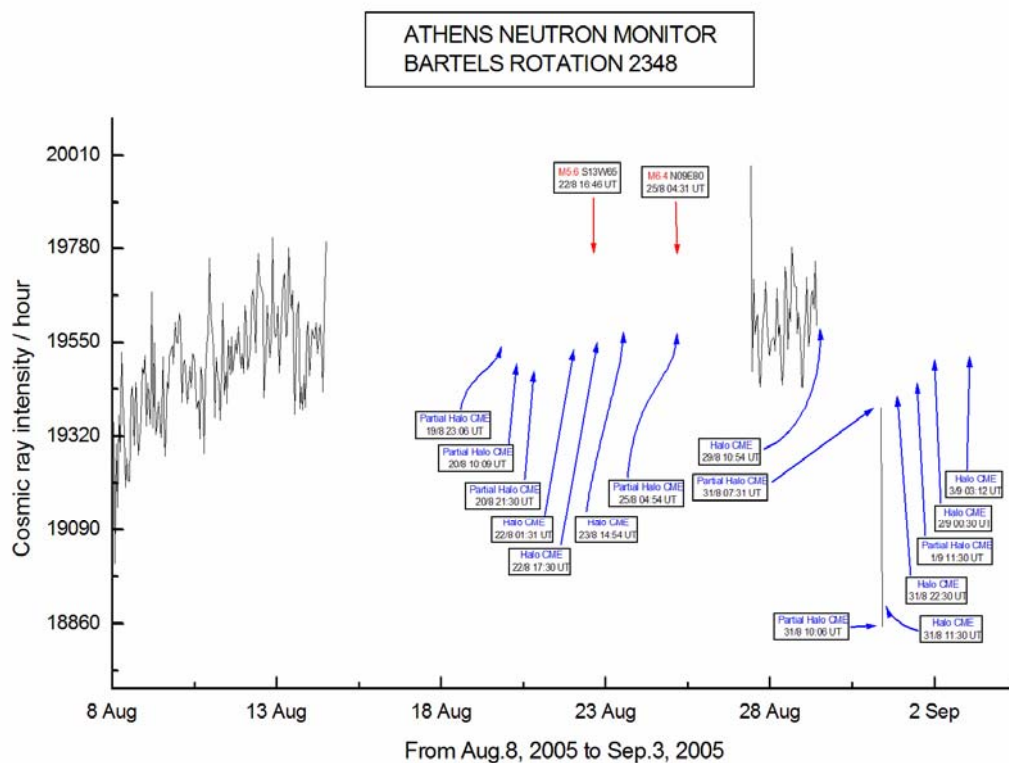
6.2.3.2 Κοσμική ακτινοβολία

Αξιοσημείωτες μεταβολές στην ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας καταγράφηκαν την περίοδο αυτή (Papaioannou, 2009b). Ειδικότερα, ενδιαφέρον παρουσιάζουν τρεις μειώσεις Forbush: (α) στις 24-25 Αυγούστου (πλάτος 6.4% για κοσμικές ακτίνες στα 10 GV), (β) στις 11 Σεπτεμβρίου (πλάτος 12.1%) και (γ) στις 15 Σεπτεμβρίου (με πλάτος 5.1%).

Σε ό,τι αφορά την περίπτωση (α), το κρουστικό κύμα της 24^{ης} Αυγούστου και η συνολική ηλιακή δραστηριότητα δικαιολογεί πλήρως την εμφάνιση της μη-περιοδικής αυτής μείωσης Forbush. Εμφάνισε γρήγορη μείωση σε μια μόλις ημέρα και κατόπιν εισήλθε στην τυπική φάση ανάκαμψης η οποία διήρκησε αρκετές ημέρες. Η μείωση αυτή οφειλόταν στη συσχετισμένη δράση μιας έκλαμψης M2.6, που καταγράφηκε στις 22 Αυγούστου στις 01:33 UT, και μιας δεύτερης ισχυρότερης έκλαμψης M5.6, που καταγράφηκε αργότερα την ίδια ημέρα. Σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση των διαπλανητικών συνθηκών μέσα από τις οποίες ταξίδεψαν οι κοσμικές ακτίνες διαδραμάτισε και μια έκλαμψη M2.7 η οποία πραγματοποιήθηκε στις 23 Αυγούστου. Το σύνολο των εκλάμψεων αυτών συνοδεύτηκε από στεμματικές εκπομπές μάζας τύπου Άλως με ταχύτητες: 637, 726 και 801 km/s, αντίστοιχα.

Η περίπτωση (β) δικαιολογείται επίσης από τις προηγηθείσες συνθήκες. Η ηλιακή έκλαμψη X6.2 (66°E) δημιούργησε μια ισχυρή γεωμαγνητική καταγίδα 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 ανισοτροπίας 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 καταγίδα εξελίχθηκε στη Γη.

Η τελευταία μείωση Forbush της σειράς, περίπτωση (γ), 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 (Belov et al., 2006).



Εικόνα 12: Χαρτογράφηση των γεγονότων της ηλιακής δραστηριότητας πάνω στα χρονικά διαγράμματα της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας όπως καταγράφηκαν τον Αύγουστο 2005 (πάνω) και το Σεπτέμβριο 2005 (κάτω)

6.3 Προοπτικές

Τελειώνοντας θα θέλαμε να τονίσουμε την χρησιμότητα αυτής της χαρτογράφησης των γεγονότων της ηλιακής δραστηριότητας και της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας για την περαιτέρω μελέτη των έντονων γεγονότων που δημιουργούν τα προβλήματα τόσο στα τεχνολογικά συστήματα, επίγεια και δορυφορικά, όσο και στις ανθρώπινες δραστηριότητες στη Γη μας. Η συνέχιση αυτής της εργασίας σε μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα θεωρείται απαραίτητη.

ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΗ

ASP Conference Series, 9th Hellenic Astronomical Conference

Mapping of the cosmic ray events related to the solar activity for the period 2003-2005

A. Papaioannou, P. Makrantonis, H. Mavromichalaki
*Nuclear and Particle Physics Section, National and Kapodistrian
University of Athens, Pan/polis 15771 Athens Greece*

Abstract. The relationship between cosmic ray intensity decreases and solar events is still an open field of space research. In this work a complete study of solar events occurred from January 2003 to December 2005, is considered. This three-years time period characterized by an unexpected activity of the Sun was divided into 27-day intervals starting from BR 2313 (06.01.2003) to 2353 (21.12.2005), generating diagrams of the cosmic ray intensity data recorded at the Athens Neutron Monitor Station. This station is working at an altitude of 260m and cut-off rigidity 8.53GV provided to the Internet high-resolution data in real-time. A mapping of all available solar and interplanetary events, such as solar flares with importance M and X, coronal mass ejections (Halo and Partial) was done. As we are going down from the solar maximum to the declining phase of the 23rd solar cycle, a statistical overview of the corresponding relationship among these phenomena, the significant percentage of the connection of Halo CMEs and solar flares and the respective connection to Forbush decreases on yearly and monthly basis are discussed. The close association, as well as a probable quantitative analysis, between solar events is being denoted. The role of extreme solar events occurred in October / November 2003 and January 2005 is also discussed. Obtained results may be useful for predictions of transient solar events and space weather forecasting.

1. Introduction

As the Sun is the driver of space weather, solar events such as solar flares, coronal mass ejections etc. are close related to the Forbush decreases (FDs) recorded at the ground based neutron monitor stations (Cane, 2000). Recent studies verified this aspect (Mavromichalaki et al., 2005).

2. Data selection

Cosmic ray measurements in Athens initiated in November 2000 with a standard super 6NM-64 neutron monitor (Mavromichalaki et al., 2009). Athens NM data are available in the on-line database at: <http://cosray.phys.uoa.gr>. CME Lists of the U.S. Naval Research Laboratory (NRL) on the Large Angle and Spectrometric Coronagraph (LASCO) are used. These lists represent a subset of the final LASCO dataset and can be accessed through the web at the site: <http://cdaw.gsfc.nasa.gov/>. Data for solar flares were taken from: <http://www.ngdc.noaa.gov/stp/SOLAR/ftpsolarflares.html>.

3. Mapping of Solar Activity on CR data

On the constructed diagrams all available data, such as: time of first observation, date the event occurred and its co-ordinates are recorded (Fig. 1). In this way an overall statistical picture of the relation between CMEs, SFs and FD is presented.

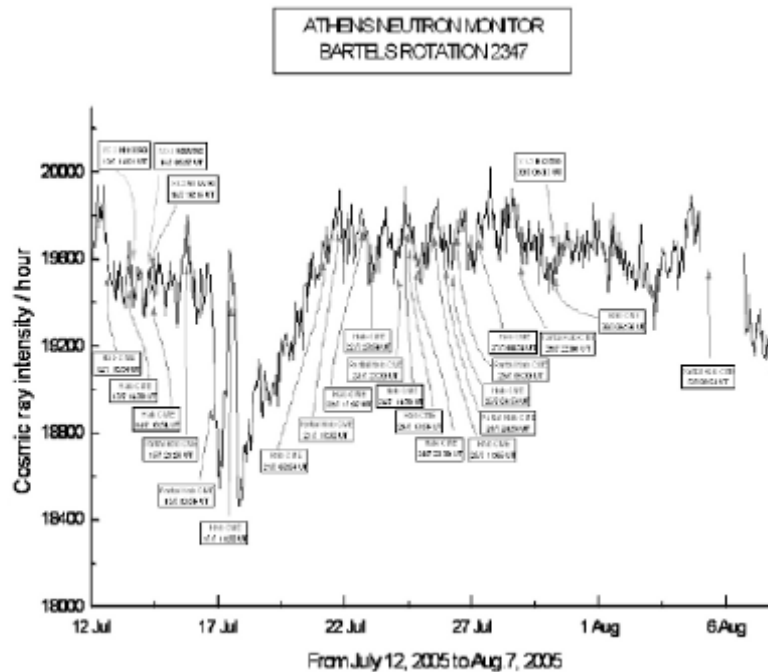


Figure 1. Mapping of solar activity on cosmic ray measurements for BR 2347

4. Discussion

All major events as those of October-November 2003, January 2005, July 2005 (Papaioannou et al., 2009a) and August-September 2005 (Papaioannou et al., 2009b) were successfully recorded. In most of these cases cosmic rays revealed crucial information on the development of the events.

References

- Cane H., 2000, Space Scie. Rev., 93, 55
- Mavromichalaki H., Papaioannou A., Petrides A., Assimakopoulos V., Sarlanis C., Souvatzoglou G., 2005, JIMPA, 1, 6714
- Mavromichalaki H., Gerontidou M., Mariatos G., Papailiou M., Papaioannou A., Plainaki C., Sarlanis C., Souvatzoglou G., 2009, Adv. Space Res., 44, 1237
- Papaioannou A., Mavromichalaki H., Erosheno E., Belov A., Oleneva V., 2009a, An. Geophys., 27, 1
- Papaioannou A., Belov A., Mavromichalaki H., Eroshenko E., Oleneva V., 2009b, Adv. Space Res., 43, 582

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΒΙΒΛΙΑ

Δανέζης Μάνος, Θεοδοσίου Στράτος: Το Σύμπαν που αγάπησα, Εισαγωγή στην Αστροφυσική, Τόμος Α', Εκδόσεις Δίαυλος, 1999

Δεληγιάννης Ιωάννης, Σταθοπούλου Μαρία: Σημειώσεις του μαθήματος «Εισαγωγή στην Ηλιακή Φυσική», 2003

Χριστοπούλου-Μαυρομιχαλάκη Ελένη: Κοσμική Ακτινοβολία, Εκδόσεις Συμμετρία, 2005

ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ

Belov A.V., Dorman L.I., Eroshenko E.A., Iucci N., Villaresi G., and Yanke V.G.: 'Search for predictors of Forbush decreases', Proc. 24th Intern. Cosmic Ray Conf., 4, 888, 1995.

Belov A.V., Eroshenko E.A., Oleneva V.A., Struminsky A.B. and Yanke V.G.: 'What determines the magnitude of forbush decreases?', Adv. Space Res., 27, pp. 625-630, 2001.

Belov A.V.: Forbush effects and their connection with solar interplanetary and geomagnetic phenomena, Proceedings of the International Astronomical Union, Volume 4, Symposium S257, pp 439-450, 2009.

Belov, A., Baisultanova L., Eroshenko E., Mavromichalaki H., Yanke V., Pchelkin V., Plainaki C., and Mariatos G.: Magnetospheric effects in cosmic rays during the unique magnetic storm on November 2003, J. Geophys. Res., 110, A09S20, doi:10.1029/2005JA011067, 2005.

Belov A., Eroshenko E., Mavromichalaki H., Oleneva V.A., Papaioannou A., Mariatos G., Yanke V.G.: 'Cosmic Ray Modulation in August – September 2005', Online Proc. 20th European Cosmic Ray Symposium, 2006.

Bieber J.W., Clem J., Evenson P., Duldig M.L., Humble J.E., and Pyle R.: New method of observing neutron monitor multiplicities, Proc. 27th Int. Cosmic Ray Conf., 4091-4094, 2001.

Cane H.V.: Coronal Mass Ejections and Forbush decreases, Space Science Reviews 93: 55–77, 2000.

Caroubalos C., Preka-Papadema P., Mavromichalaki H., Moussas X., Papaioannou A., Mitsakou E., Hilaris A.: 'Space storm measurements of the July 2005 solar extreme events from the Low Corona to the Earth', Adv. Space Res. , 43, 600-604, 2009.

Clem J.M.: Atmospheric yield functions and the response to secondary particles of neutron monitors, Proc. 26th Int. Cosmic Ray Conf., 7, 317-320, 1999.

Clem J.M.: Neutron Monitor Detection Efficiency, 2004 Annual CRONUS Collaboration Meeting, 2004.

Dorman L.I., Iucci N., Ptitsyna N.G., and Villorresi G.: 'Cosmic Ray Forbush decreases as Indicators of space dangerous Phenomena and Possible use of Cosmic Ray data for their Prediction', Proc. 26th Intern. Cosmic Ray Conf., 6, 476, 1999.

Dorman L.I., Pustilnik A., Sternlieb A., Zukerman I.G., Belov A., Eroshenko E., Yanke V., Mavromichalaki H., Sarlanis C., Souvatzoglou G., Iucci N., Villorresi G., Fedorov Yu., Shakhov B.A. and Murat M.: "Monitoring and Forecasting of great solar proton events using the Neutron Monitor Network in real time" IEEE for Plasma Science 32, 4, 1-8, 2004.

Egelstaff P.A.: Thermal neutron scattering, Academic Press, 1965.

Forbush S.E.: On the Effects in Cosmic-Ray Intensity Observed During the Recent Magnetic Storm, Phys. Rev. 51, 1108 – 1109, 1937.

Hiei, E., Hundhausen A.J., and Sime D.G.: Reformation of a coronal helmet streamer by magnetic reconnection after a coronal mass ejection, Geophys. Res. Lett., 20 (24), 2785–2788, 1993.

Harang L.: The Forbush-decrease in cosmic-rays and the transit time of the modulating cloud, Planetary and Space Science, Volume 16, Issue 9, Pages 1095-1101, September, 1968.

Hatton C.J., and Carmichael H.: Experimental investigation of the NM-64 neutron monitor, Canadian Journal of Physics, 42, 2443-2472, 1964.

Hatton C.J.: The neutron monitor, Progress in elementary particle and cosmic-ray physics, vol X, Ed J.G. Wilson en S.A. Wouthuysen, North Holland Publishing Co., Amsterdam, 1971.

Kudela K., Storini M., Hofer M.Y., and Belov A.V.: 'Cosmic Rays in Relation to Space weather', Space Sci. Rev., 93, 153, 2000.

Lockwood J.: Forbush Decreases in the Cosmic Radiation, Space Science Reviews, Volume 12, Issue 5, pp.658-715, 1972.

Mavromichalaki H., Belhaki A., Rafios X. and Tzagouri I.: Hale-Cycle effects in Cosmic-Ray intensity during the last four cycles, Astrophysics and Space Science 246: 7-14, 1997.

Mavromichalaki H., Papaioannou A., Petrides A., Assimakopoulos V., Sarlanis C., Souvatzoglou G.: 'Cosmic ray events related to solar activity recorded at the Athens Neutron Monitor station for the period 2000-2003', International Journal of Modern Physics A, 20, pp 6714-6716, 2005.

Mavromichalaki H., Souvatzoglou G., Sarlanis C., Mariatos G., Gerontidou M., Papaioannou A., Plainaki C., Tatsis S., Belov A., Eroshenko E., Yanke V.: 2005, The new Athens Center on data processing from the Neutron Monitor Network in real time, First European Space Weather Week 2004, ESA/ESTEC, The Netherlands, *Annales Geophysicae*, 23, 1-8, 2005b.

Papaioannou A., Belov A., Mavromichalaki H., Eroshenko E., Oleneva V.: 'The rare exclusion of the July 2005 cosmic ray variations resulted from western and behind the limb solar activity', Proc. of the Solar Extreme Events 2007 International Symposium, 160-165, 2007.

Papaioannou A., Belov A., Mavromichalaki H., Eroshenko E., Oleneva V.: 'The rare exclusion of the July 2005 cosmic ray variations resulted from western and behind the limb solar activity', *Adv. Space Res.*, 43, 582-588, 2009a.

Papaioannou A., Mavromichalaki H., Eroshenko E., Belov A., Oleneva V.: 'The burst of solar and geomagnetic activity in August-September 2005', *Ann. Geophys.*, 27, 1-8, 2009b.

Pomerantz M.: *Cosmic Rays*, Momentum Book #22, New York: Van Nostrand Reinhold Co. Library of Congress Catalog Card, 71-94017, 1971.

Pyle R., Evenson P., Bieber J.W., Clem J.M., Humble J.E., and Duldig M.L.: The use of ^3He tubes in a neutron monitor latitude survey, Proc. 26th Int. Cosmic Ray Conf., SaltLake City, 7, 386-389, 1999.

Simpson J.A: Flying Atomic "Piles", *University of Chicago Magazine* 45 (4), 5, 1953.

Simpson J.A. and Uretz R.B.: Cosmic-Ray Neutron Production in Elements as a Function of Latitude and Altitude, *Phys. Rev.* 90, 44, 1953.

Simpson J.A, Fonger W.H., Treiman S.B.: Cosmic radiation intensity-time variations and their origin, I. Neutron intensity variation method and meteorological factors, *Phys. Rev.* 90, 934, 1953.

Simpson J.A: Cosmic Radiation Neutron Intensity Monitor, *Annals of the Int. Geophysical Year IV, Part VII*, Pergamon Press, London, 351, 1958.

Simpson J.A: *Ann. Intern. Geophys. Yr.*, 4, 351, 1959.

Simpson J.A: The cosmic ray nucleonic component: The invention and scientific uses of the neutron monitor, *Space Sci. Rev.*, 93: 11-32, 2000.

Stoker P.H., Dorman L.I., and Clem J.M.: Neutron monitor design improvements, *Space Science Reviews*, 93, 361-380, 2000.

WEB-SITES

<http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%89%CE%BB%CE%B9%CE%BF%CF%82>

<http://www.physics4u.gr/news/2007/scnews3131.html>

http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_flares

<http://sohowww.nascom.nasa.gov>

<http://science.nasa.gov/spaceweather/glossary/flareclasses.html>

http://cse.ssl.berkeley.edu/SEGwayed/lessons/exploring_magnetism/in_Solar_Flares/in_Solar_Flares_images/fig_4p5.jpg

<http://cosray.phys.uoa.gr>

http://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME_list/

<http://www.ngdc.noaa.gov/stp/SOLAR/ftpsolarflares.html>

http://cosray.phys.uoa.gr/SEE2007/Presentations_files/Session%20B/Troitskaya_SEE_2007.pdf

<http://www.lip.pt/events/2006/ecrs/proc/>

<http://www.nmdb.eu>