

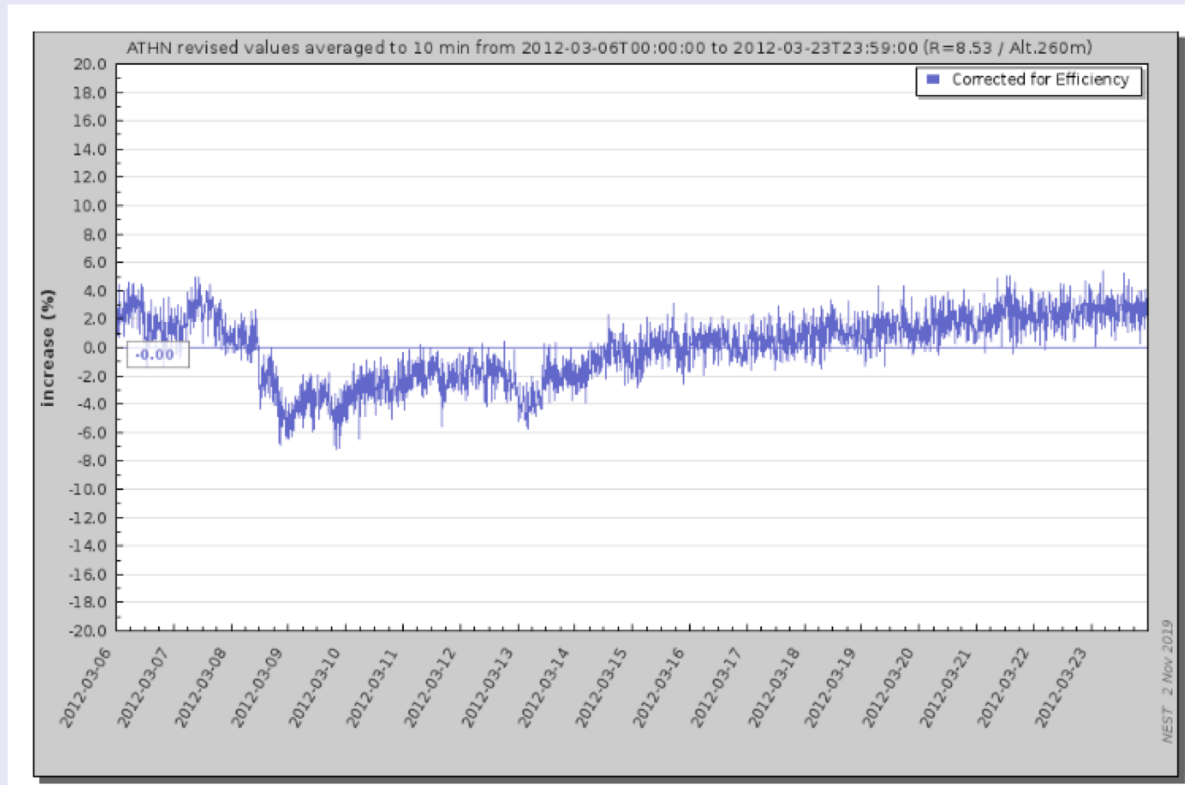
Μάθημα Επιλογής: Αστροσωματιδιακή και Κοσμική Ακτινοβολία

ΓΕΓΟΝΟΤΑ ΚΟΣΜΙΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ (Μειώσεις FORBUSH, Επίγειες
Επαυξήσεις Κοσμικής _ GLEs, Μαγνητοσφαιρικά γεγονότα)

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

ΜΕΙΩΣΕΙΣ FORBUSH

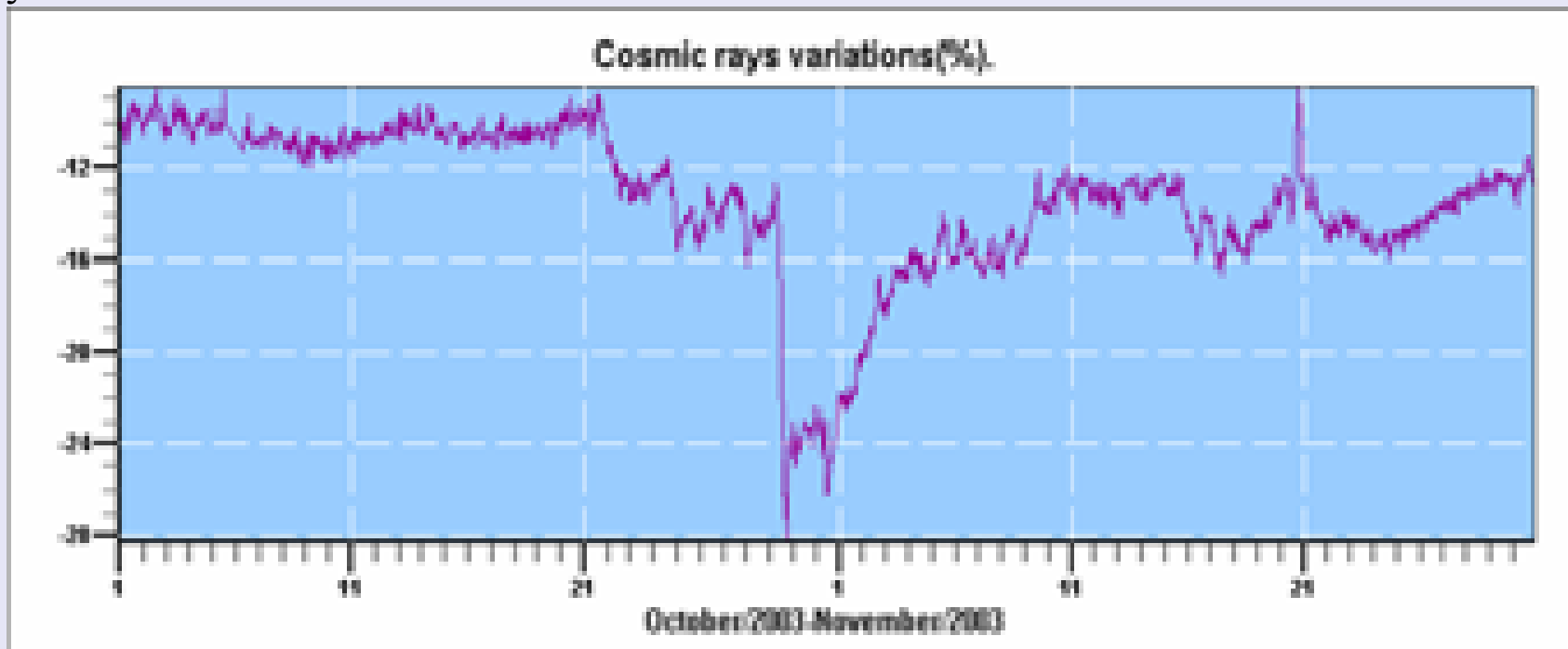
Ελάττωση της έντασης της ΚΑ κατά περίπου 5% σε διάστημα λίγων ωρών μέχρι 2 μέρες. (Lockwood, 1971). Η επάνοδος της κοσμικής ακτινοβολίας στα αρχικά επίπεδα της μείωσης Forbush πραγματοποιείται σε μερικές μέρες.



Μείωση Forbush όπως καταγράφηκε από το Μετρητή Νετρονίων της Αθήνας στις 09/03/2012
(<http://www.nmdb.eu>)

ΜΕΙΩΣΕΙΣ FORBUSH

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



Μεγαλου πλάτους μείωση Forbush όπως καταγράφηκε από το Μετρητή Νετρονίων της Αθήνας στις
28/10/2003

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

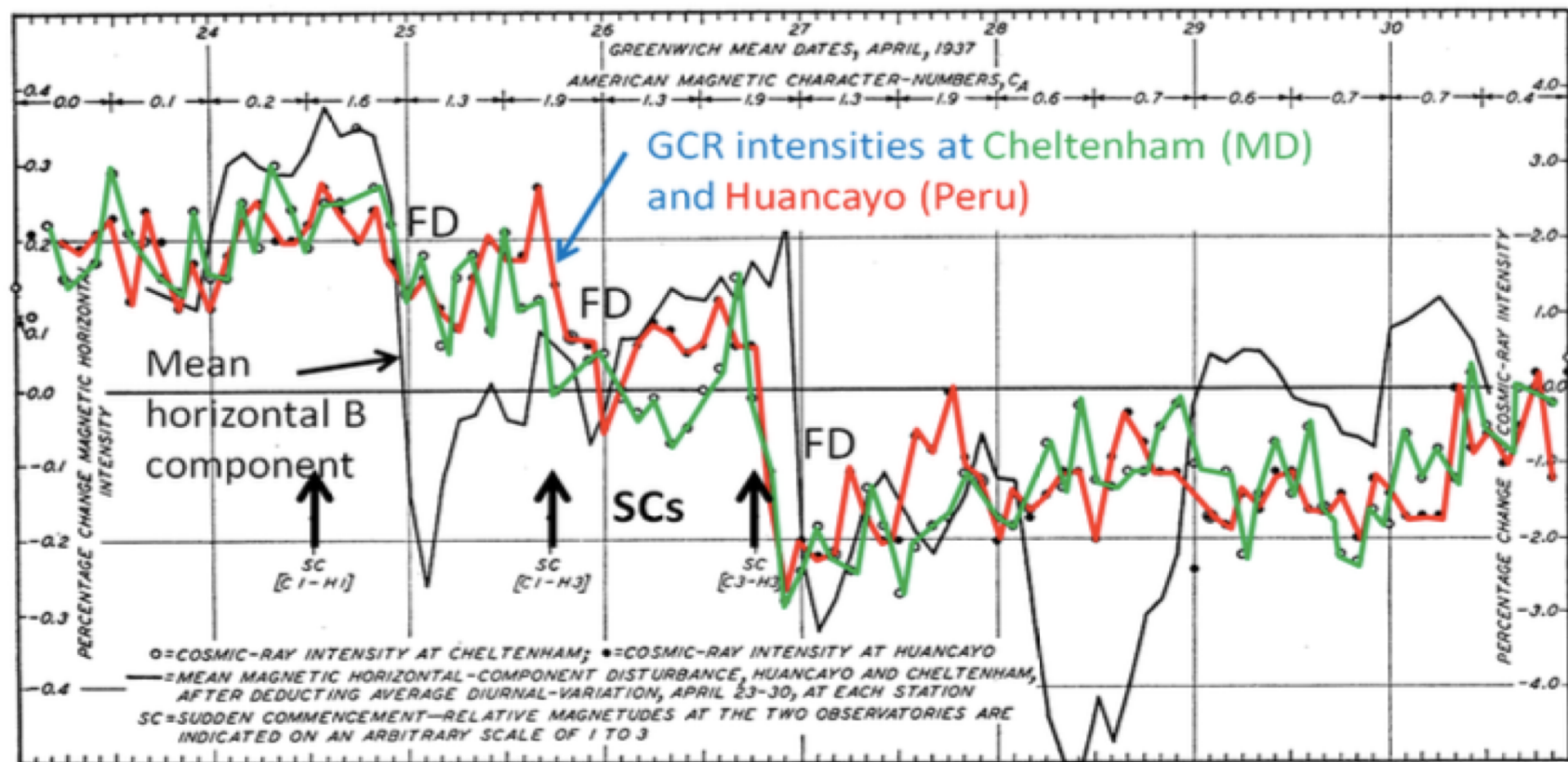
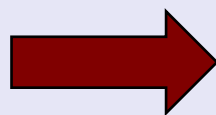


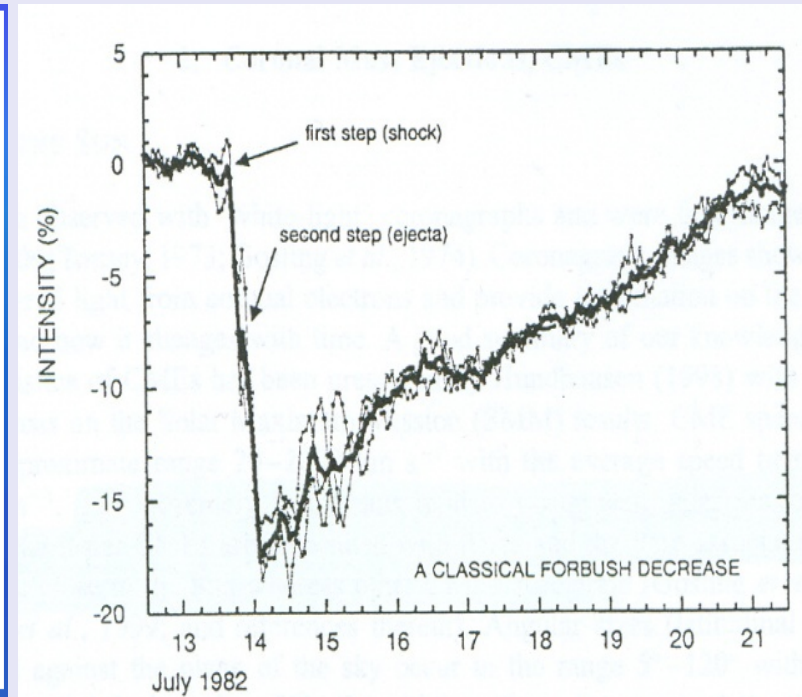
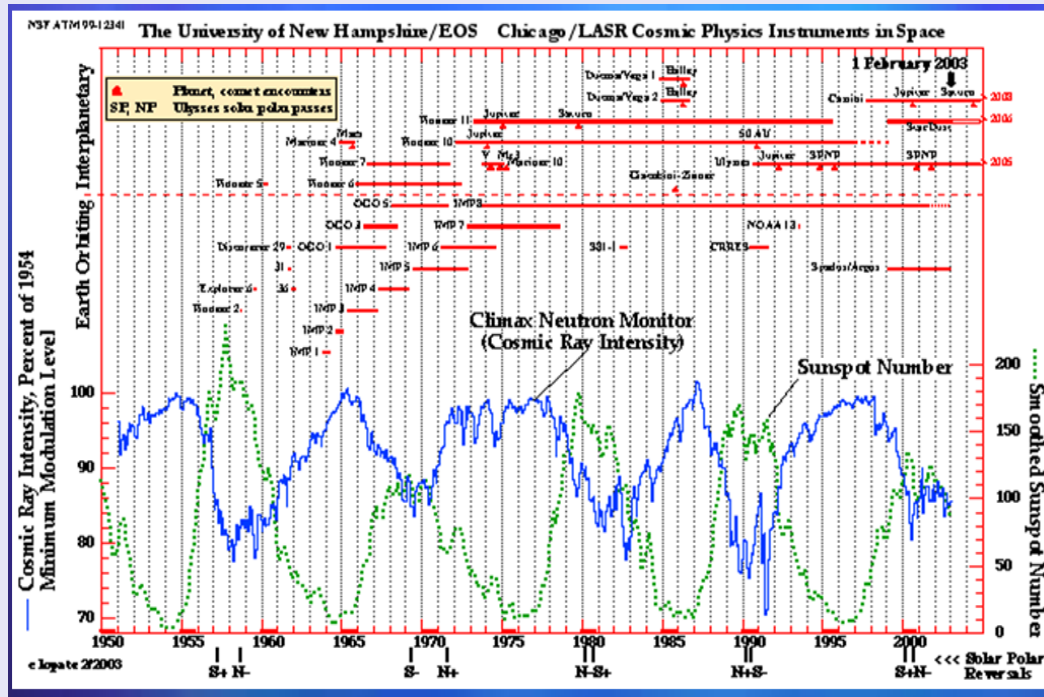
FIG. 1. Bi-hourly departures expressed in percentage of absolute values for cosmic-ray intensity and for disturbance of horizontal magnetic component April 23-30, 1937, Huancayo and Cheltenham magnetic observatories.

TAYTOXPONEΣ ΜΕΙΩΣΕΙΣ ΤΗΣ
ΕΝΤΑΣΗΣ ΤΗΣ Κ.Α. ($\approx 3\%$)
Meryland ΚΑΙ ΣΤΟ Peru



ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ
ΠΑΓΚΟΣΜΙΑΣ
ΚΛΙΜΑΚΑΣ

ΠΟΥ ΟΦΕΙΛΕΤΑΙ?



Μείωση Forbush μηχανισμό ανάλογο με την 11-ετή μεταβολή.

Διαφορά στη χρονική διάρκεια των φαινομένων και στη γεωμετρική έκταση και μορφή τους στο χώρο του διαστήματος.

Κίνηση σωματιδίων εντός της ηλιόσφαιρας – εξίσωση μεταφοράς (Parker)

$$\frac{\partial f}{\partial t} = -(V + \langle v_D \rangle) \nabla f + \nabla (\kappa_{(s)} \nabla f) + \frac{1}{3} (\nabla V) \frac{\partial f}{\partial \ln P} + Q$$

Προς τα έξω
μεταφορά

Διάχυση εξαιτίας
ανωμαλιών
ηλίσφ.μαγνητικού
πεδίου

Αδιαβατικές
απώλειες

Ολισθήση εξαιτίας της κλίσης του
ρευματοφλοιου (*heliospheric
current sheet*)

ΜΟΝΤΕΛΟ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ- ΔΙΑΧΥΣΗΣ ΣΤΗΝ ΗΛΙΟΣΦΑΙΡΑ

$$\frac{\partial f}{\partial t} = -\mathbf{V}\nabla f + \nabla(\kappa_{(s)}\nabla f)$$

ροή σωματιδίων προς τα έξω

ροή σωματιδίων προς τα μέσα

Οι ΚΑ διαχέονται προς τα μέσα (inward) σε μια σφαιρικά συμμετρική ηλιόσφαιρα καθώς διασκορπίζονται από τις ανωμαλίες του ηλιοσφαιρικού μαγνητικού πεδίου, οδηγώντας σε μια ροή σωματιδίων προς τα μέσα. Η ροή αυτή αναχετίζεται από μια άλλη ροή σωματιδίων προς τα έξω (outward), η οποία εμφανίζεται λόγω μεταφοράς, από τα παγωμένα μαγνητικά πεδία εντός του ηλιακού ανέμου.

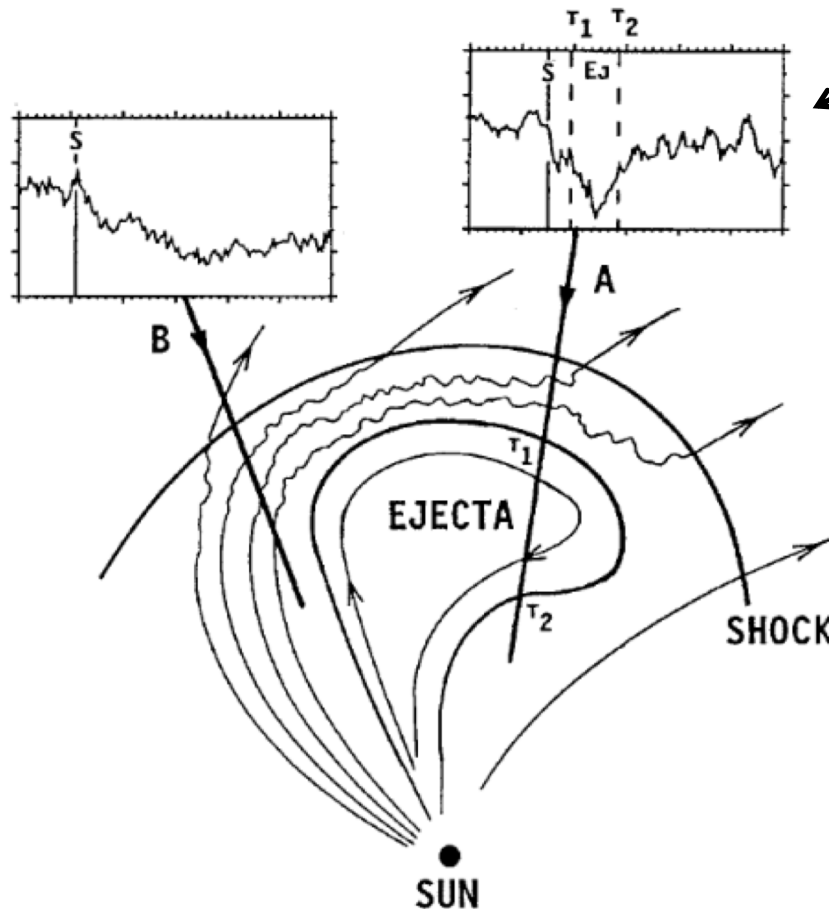
➤ ‘Μη περιοδικές’ που οφείλονται σε παροδικά διαπλανητικά γεγονότα σχετιζόμενα με CMEs από τον ήλιο. Παρουσιάζουν μια ξαφνική έναρξη, φθάνουν στο μέγιστο περίπου σε μια μέρα και έχουν μια πιο σταδιακή επαναφορά.

➤ ‘Περιοδικές’ (Lockwood, 1971) που έχουν ναι πιο σταδιακή έναρξη, είναι πιο συμμετρικές στο προφίλ και σχετίζονται με ηλιακό άνεμο μεγάλης ταχύτητας.



Τα περιοδικά ρεύματα ΗΑ συνδέονται κυρίως με στεμματικές οπές (coronal holes), οι οποίες και διαδραματίζουν κυρίαρχο ρόλο κατά την περίοδο του ελαχίστου της ηλιακής δραστηριότητας

Μη περιοδικές



Forbush 2 σταδίων

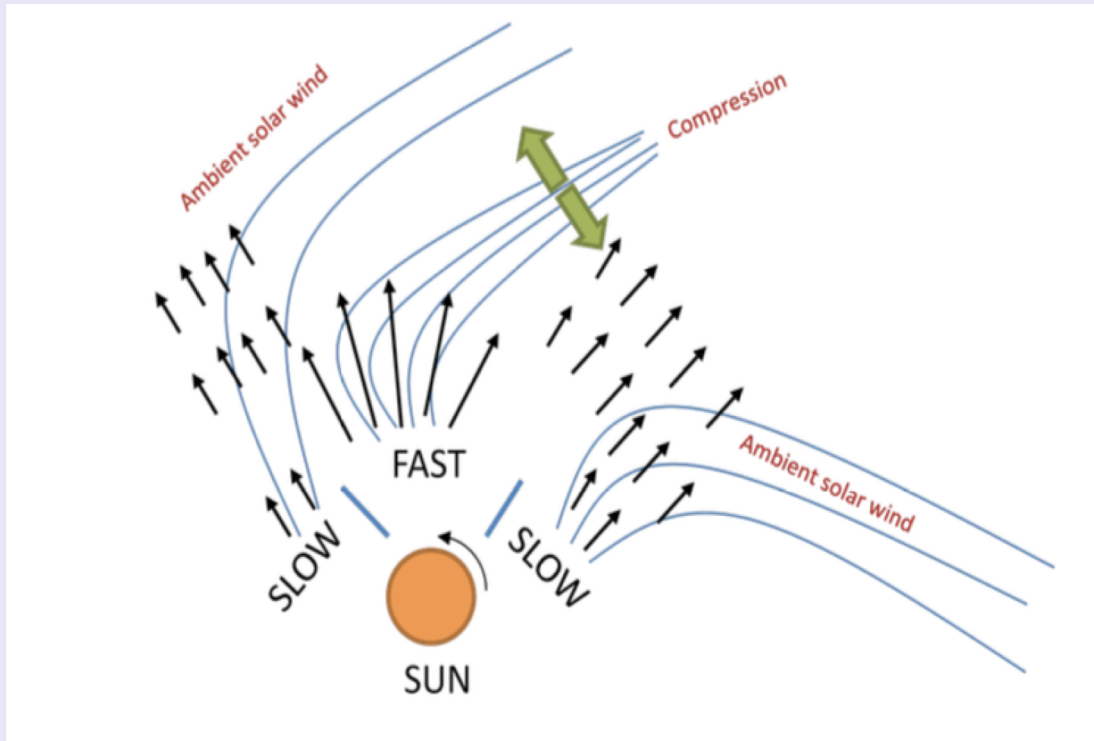
Figure 4. The large-scale structure of a fast ejecta and associated shock. The upstream solar wind is draped around the ejecta and heated and compressed at the front of the ejecta. Two paths through the ensemble are indicated with differing resultant cosmic ray profiles. The time of shock passage is indicated by a vertical line marked S and the start and end times of ejecta passage are marked T1 and T2. Only if the ejecta is intercepted is a two-step decrease to be observed.

Συνεπώς, οι μειώσεις Forbush που σχετίζονται με στεμματικές εκτινάξεις μάζας κατηγοριοποιούνται σε τρεις βασικούς τύπους

- Σε αυτές που δημιουργούνται εξαιτίας του κρουστικού κύματος και της εξερχόμενης κλειστής δομής
- Σε αυτές που δημιουργούνται εξαιτίας του κρουστικού κύματος
- Σε αυτές που δημιουργούνται εξαιτίας της εξερχόμενης κλειστής δομής

Η πλειονότητα (>80%) των μειώσεων Forbush που σχετίζονται με στεμματικές εκτινάξεις μάζας και εμφανίζουν πλάτος > 4% είναι μειώσεις ‘δύο βημάτων’ (Cane et al., 1996).

Περιοδικές



Απεικόνιση των συμπεριστρεφόμενων ρευμάτων ηλιακού ανέμου στο επίπεδο του ισημερινού του Ήλιου. Διακρίνεται καθαρά η περιοχή συμπίεσης ανάμεσα στο γρήγορο και τον αργό ηλιακό άνεμο.

Χρησιμοποιώντας δεδομένα ΚΑ από τον δορυφόρο Helios 1, σε αποστάσεις ανάμεσα στις 0.3 και 1 AU, για τη χρονική περίοδο 1977 – 1980, οι Burlaga et al. (1986), επιβεβαίωσαν το γεγονός ότι συμπεριστρεφόμενα ρεύματα ηλιακού ανέμου προκαλούν μειώσεις της έντασης της ΚΑ. Ειδικότερα, αποδείχθηκε ότι οι μειώσεις της έντασης της ΚΑ συνδέονται τόσο με την ταχύτητα των ρευμάτων, όσο και με την αύξηση του μαγνητικού πεδίου.

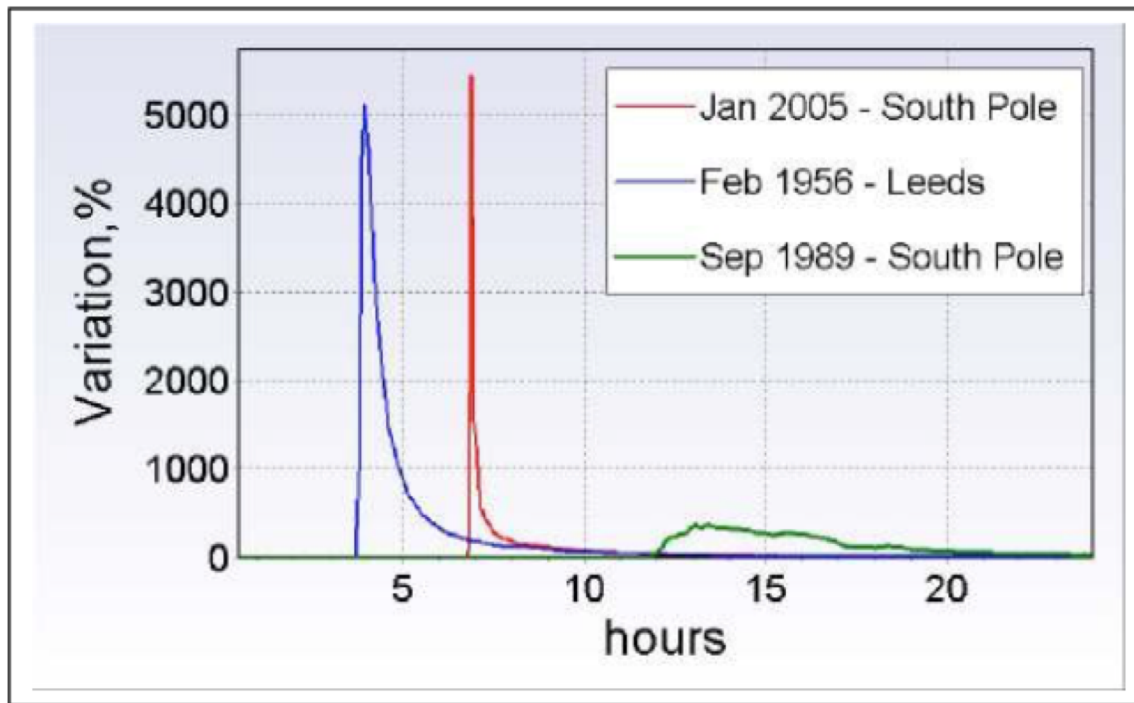
27- variation

Χαρακτηριστικά Μείωσης Forbush

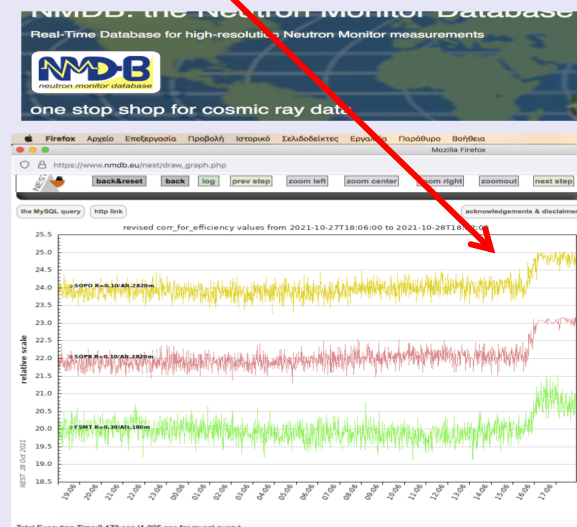
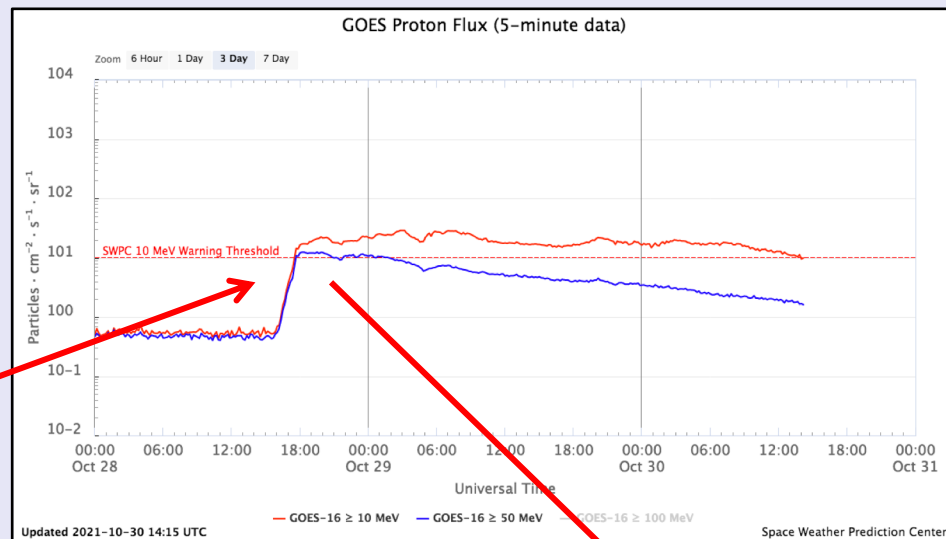
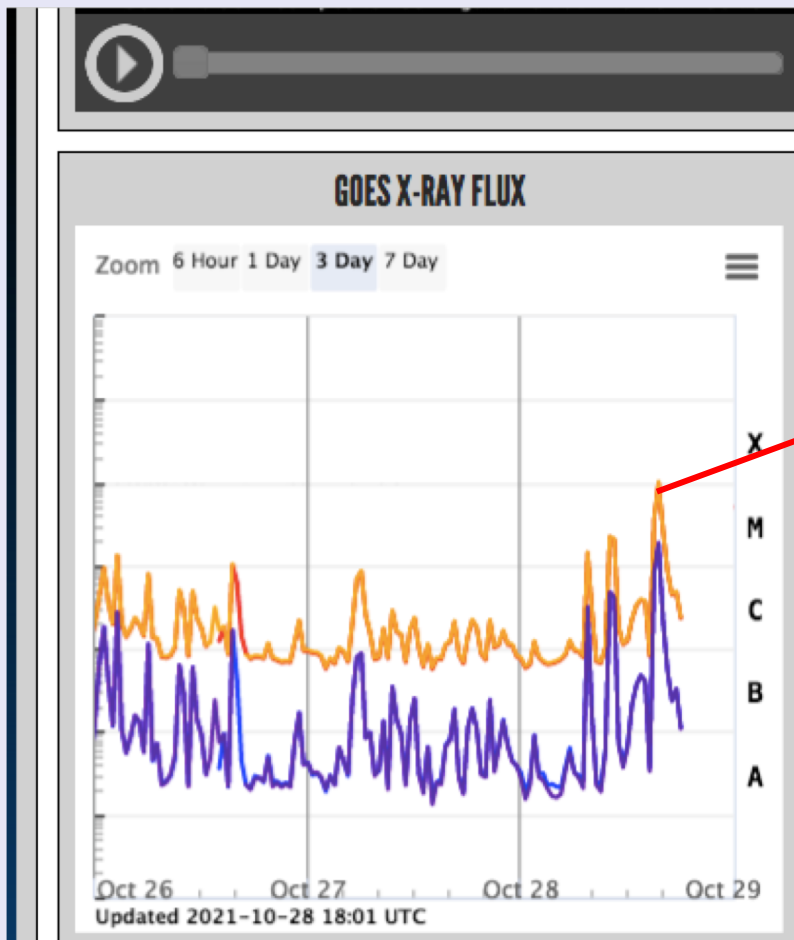
- **Πλάτος Μείωσης:** Οι μεγαλύτερες και συνεπώς ισχυρότερες μειώσεις Forbush παρουσιάζουν πλάτη της τάξεως 10-25%, για τους μετρητές νετρονίων (Belov, 2009).
- **Εξάρτηση του πλάτους της μείωσης από τη δυσκαμψία:** Η εξάρτηση του πλάτους των μειώσεων Forbush σε σχέση με την μαγνητική δυσκαμψία ακολουθεί τη σχέση:
$$\delta R/D(R) \sim R^{-\gamma}$$
όπου ο δείκτης γ λαμβάνει τιμές ανάμεσα στα 0.4 και 1.2 (Dorman, 2004).
- **Επάνοδος:** Σε μεμονωμένα επεισόδια μειώσεων Forbush, η φάση επανόδου δύναται να περιγραφεί ως εκθετική με μέσο χρόνο ~ 5 ημέρες. Ωστόσο, η φάση αυτή χρονικά κυμαίνεται από ~ 3 έως ~ 10 ημέρες (Lockwood et al., 1986). Ο χρόνος επανόδου εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος των ηλιακών πηγών των μειώσεων (Cane et al., 1996). Πρόσφατα (Usoskin et al., 2008) εξακριβώθηκε η εξάρτηση της φάσης επανόδου από την ενέργεια των κοσμικών σωματιδίων.

- **Ανισοτροπία:** Οι μειώσεις Forbush εμφανίζουν ανισοτροπίες τόσο κατά μήκος, όσο και κάθετα προς το επίπεδο της εκλειπτικής. Οι ανισοτροπίες αυτές συνδέονται με τις δομές του σχετιζόμενου ηλιακού ανέμου. Αξιοσημείωτες μεταβολές στην ανισοτροπία καταγράφονται είτε κατά την έλευση κρουστικού κύματος, είτε εντός της εξερχόμενης κλειστής δομής (ejecta) (Krymsky et al., 1967; Belov et al., 2000; Asipenka et al., 2009).
- **Ρυθμός εμφάνισης:** Οι μειώσεις Forbush κατά κανόνα εμφανίζονται κοντά στο μέγιστο της ηλιακής δραστηριότητας, αν και τέτοιου είδους επεισόδια καταγράφονται καθ'όλη τη διάρκεια του ηλιακού κύκλου. Από μελέτες που έχουν γίνει (Cane et al., 1996), είναι γνωστό ότι λιγότερες από 10 μειώσεις Forbush με πλάτος μεγαλύτερο από 10% εμφανίζονται σε κάθε ηλιακό κύκλο, ενώ αξιοσημείωτη είναι η μη εμφάνιση μειώσεων μεγάλου πλάτους κατά τα έτη που ακολουθούν το μέγιστο του ηλιακού κύκλου.

ΕΠΙΓΕΙΕΣ ΕΠΑΥΞΗΣΕΙΣ

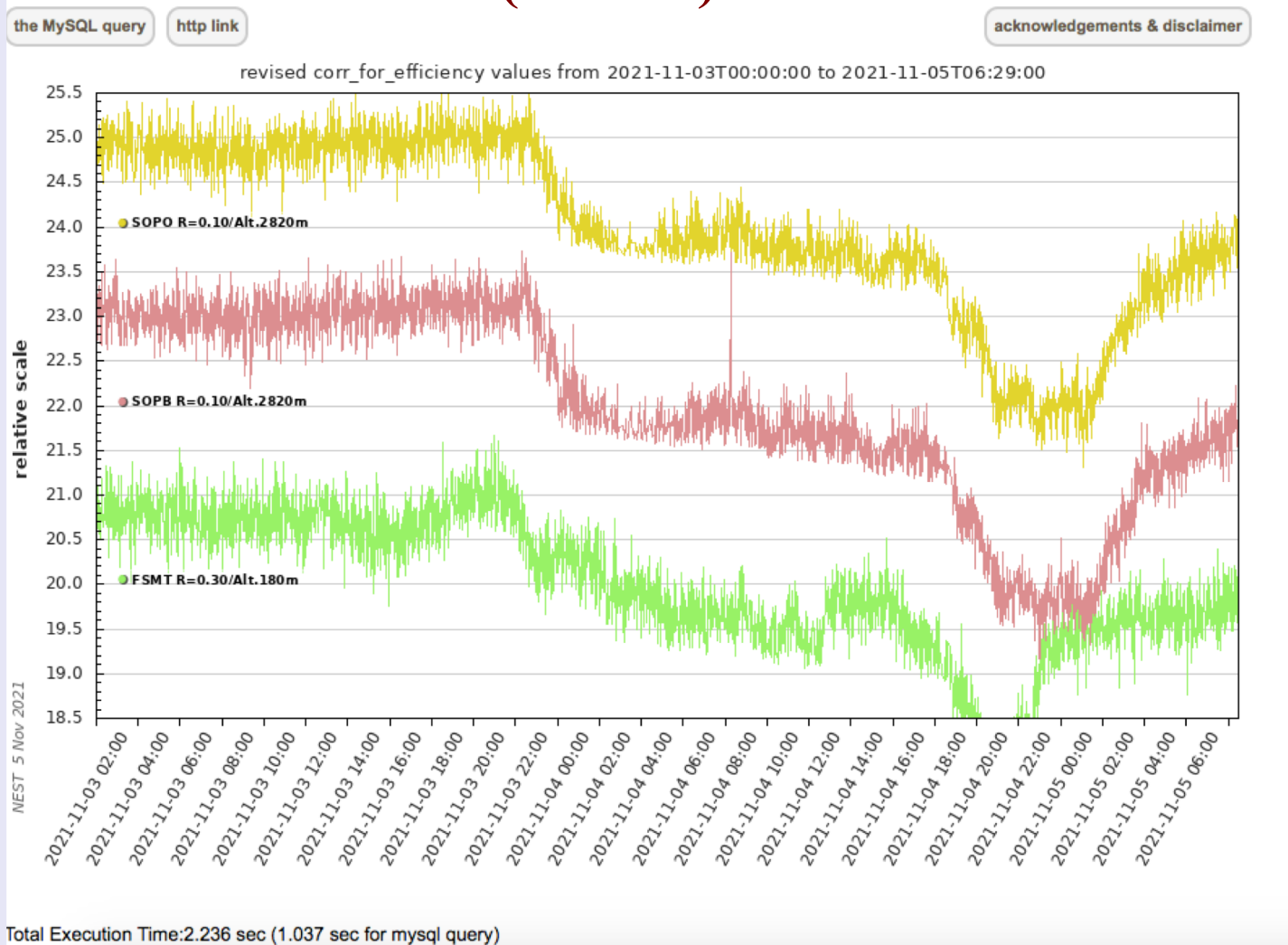


Απότομη αύξηση ρυθμού καταμέτρησης Κ.Α. στους πο επίγειους ανιχνευτές (Borie and Al-Thoy, 2001)

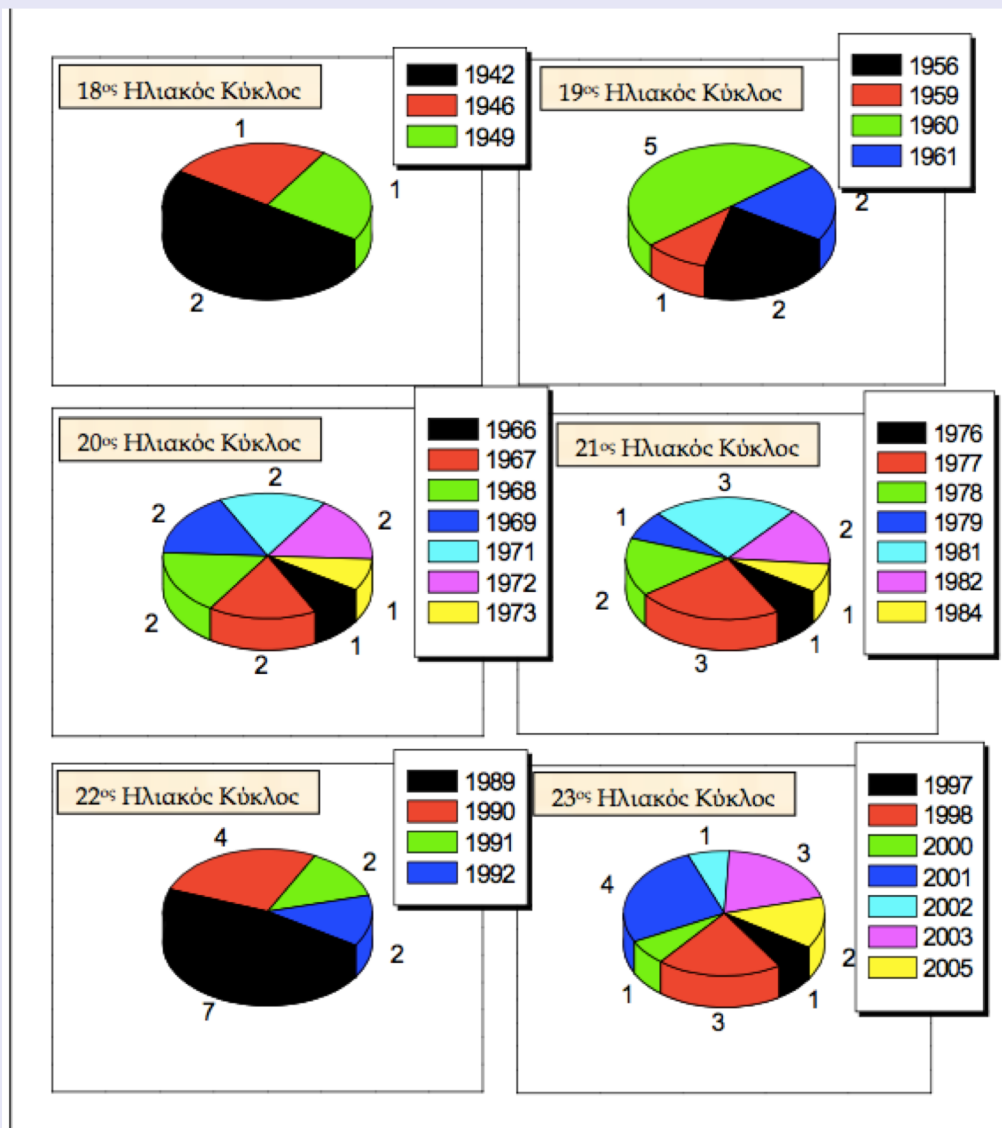


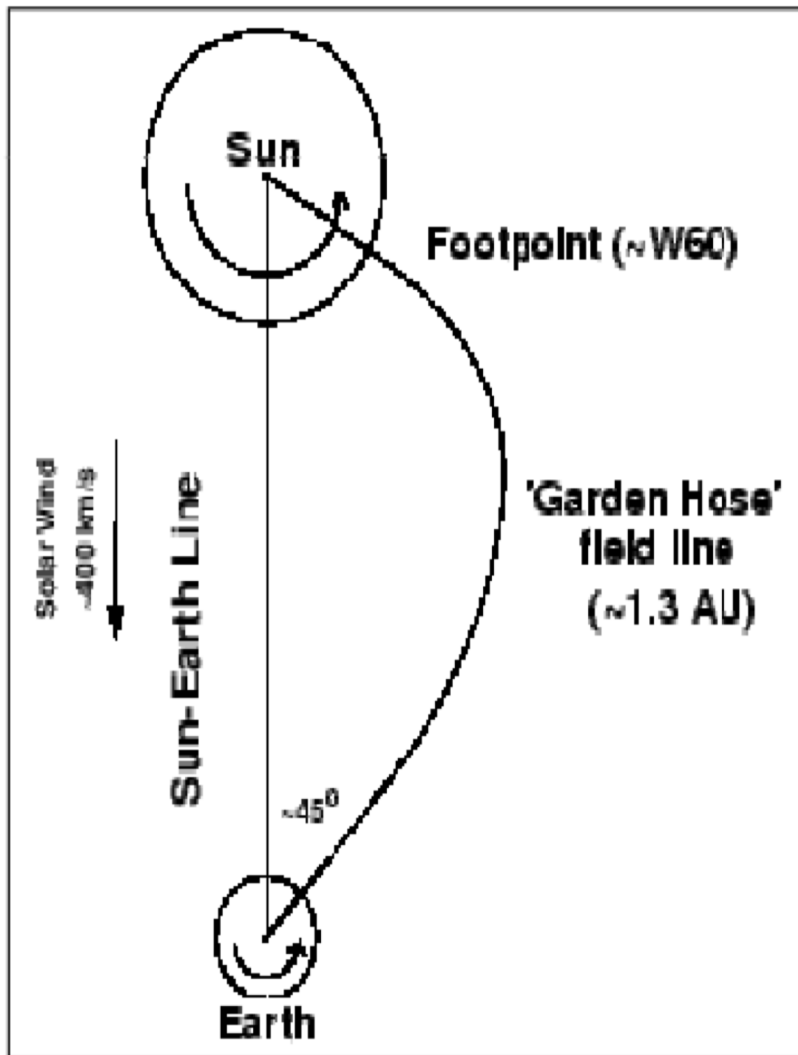
X1.0 _ S26W07 part of the solar disk. This flare accompanied by an asymmetric halo Coronal Mass Ejection (CME) with a linear speed around 1100 km/s.

ΕΠΙΓΕΙΑ ΕΠΑΥΞΗΣΗ 28.10.2021 (GLE73)



GLE01: 28.02.1942





Περισσότερες απο τις παρατηρούμενες εκλάμψεις στο Δυτικό τομέα του Ηλιου όπου το μαγνητικό πεδίο «συνδέεται» καλά με τη Γη.

Το Δ.Μ.Π. Εχει δομή σπείρας του Αρχιμήδη και χαρακτηρίζεται απο μια μεταβαλλόμενη γεωμετρία που εξαρτάται απο την ένταση του Ηλιακού άνεμου. Σε συνηθης συνθήκες η μαγνητική γραμμή Γης-Ηλιου βρίσκεται περίπου 60°W ως προς τον ηλιακό δίσκο.

Επιταχυνόμενα SEP
προσβαση στην
περιοχή



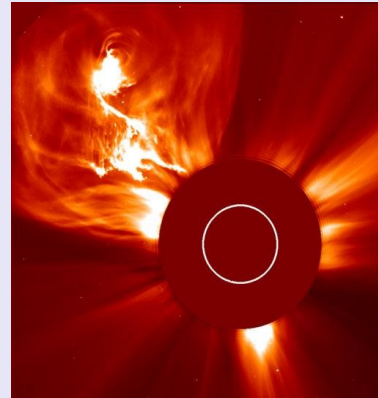
Σπανια
ανατολικές
και
κεντρικές
πηγές!

Διαπλανητικό μαγνητικό πεδίο Duldig, 1994

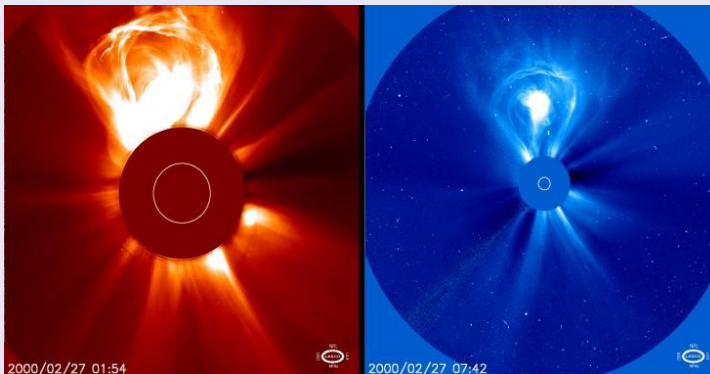
Μαγνητοσφαιρικά Γεγονότα

Μαγνητικές δομές **Μάζα $\geq 10^{16} \text{gr}$ (10 trillion kgr)**
Θερμοκρασία $\approx 10^6 \text{K}$ Ενέργεια $\geq 10^{32} \text{erg}$
Ταχύτητα μέχρι 3000 km/s
Μέση ταχύτητα 480 km/s
Ρυθμός 2-3 ημέρα (max SC) και
1 /εβδομαδα (min SC)

(Vourlidas et al., 2002; Gopalswamy et al., 2003)



Επιδρούν στις
μαγνητόσφαιρες
των
πλανητών σε
μεγάλη έκταση
και με μεγάλη
σφοδρότητα.



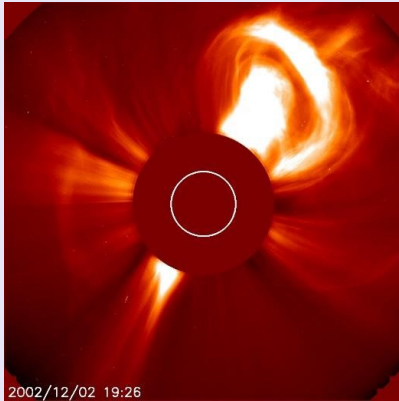
front shock

ejecta -
core

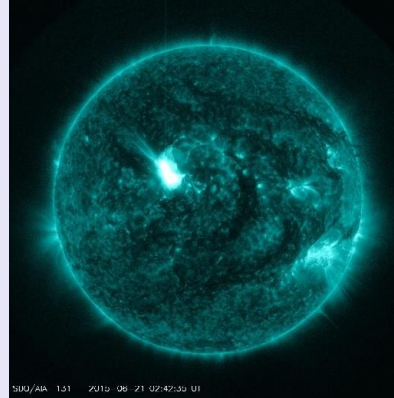


Μαγνητοσφαιρικά Γεγονότα

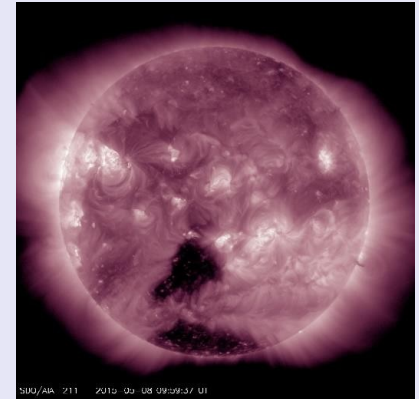
1. Coronal Mass Ejections - CMEs



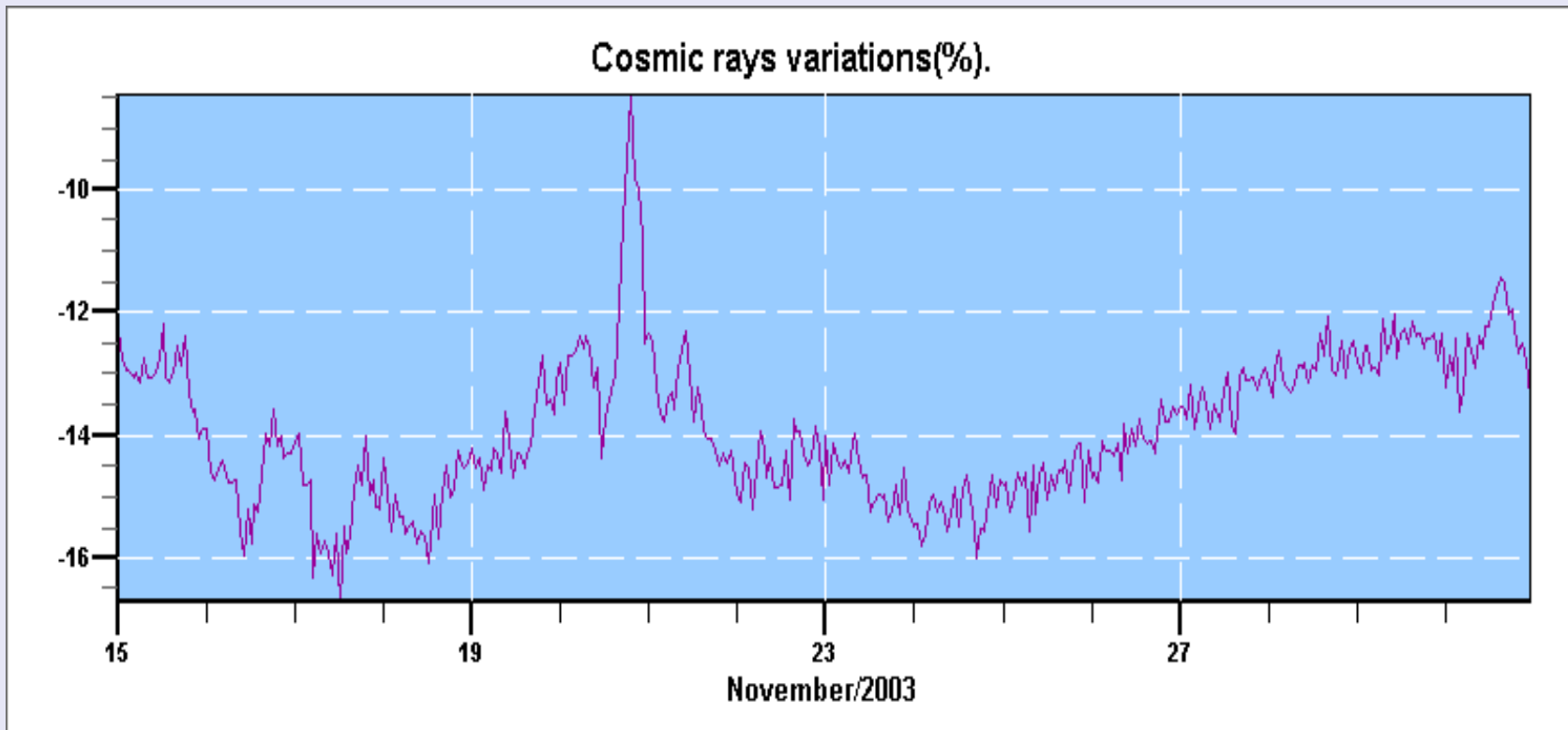
2. Solar Flares



3. Coronal holes

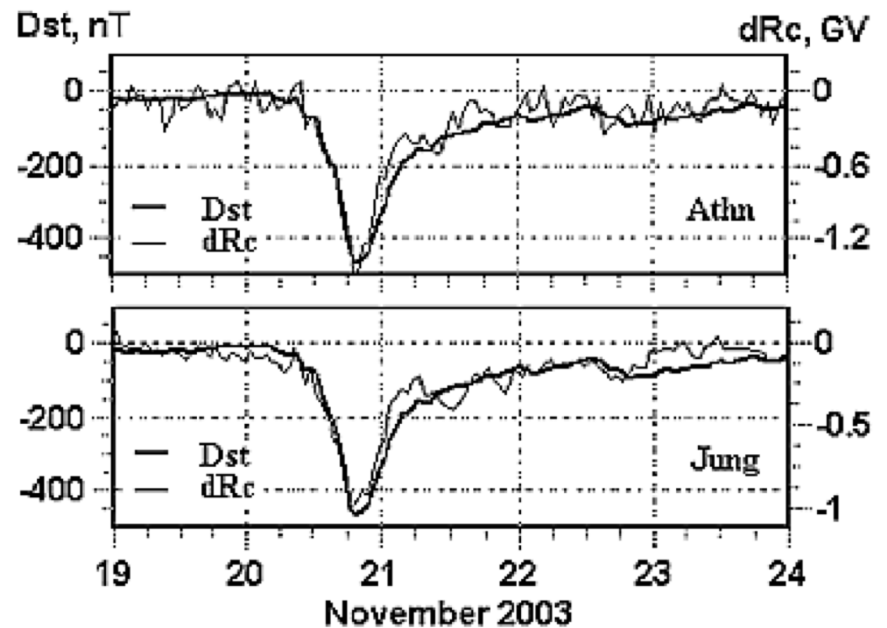
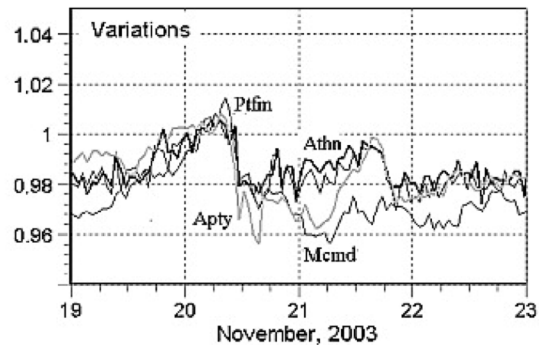
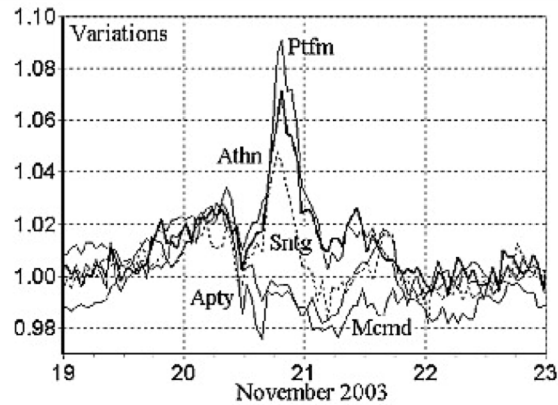


Μαγνητοσφαιρικά Γεγονότα



ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΓΕΩΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΚΑΤΩΦΛΙΟΥ ΔΥΣΚΑΜΨΙΑΣ

Μαγνητοσφαιρικά Γεγονότα



Μαγνητοσφαιρικά Γεγονότα



ANTHONY AYIOMAMITIS

Aurora in Athens, 2003

Άσκηση 41

Χρησιμοποιώντας την εξίσωση για το γεωμαγνητικό κατώφλι δυσκαμψίας, δείξτε ότι το κατώφλι είναι μικρότερο για σωμάτια που έρχονται από την ανατολή απ'ότι για σωμάτια που έρχονται από τη δύση.

Άσκηση 49

Πρωτόνιο με συντελεστή Lorentz $\gamma=10^4$ κινείται σε μαγνητικό πεδίο έντασης 1nT. Δείξτε αν αυτό το πρωτόνιο μπορεί να προέρχεται από το χώρο της ηλιόσφαιρας ή εκτός αυτού ($m_p=937\text{MeV}$, $1\text{AU}=1.5\cdot 10^{13}\text{cm}$, $1\text{G}=10^{-4}\text{T}$)