



**Εθνικό & Καποδιστριακό
Πανεπιστήμιο Αθηνών**

**Ομάδα Κοσμικής
Ακτινοβολίας**

Μελέτη και Μοντελοποίηση των Μειώσεων Forbush της έντασης της Κοσμικής Ακτινοβολίας

Χ. Πλαϊνάκη, Α. Παπαϊωάννου, Ε. Μαυρομιχαλάκη

**Τομέας Πυρηνικής Φυσικής & Στοιχειωδών Σωματιδίων
Τμήμα Φυσικής, Πανεπιστήμιο Αθηνών**

Σύνοψη παρουσίασης:

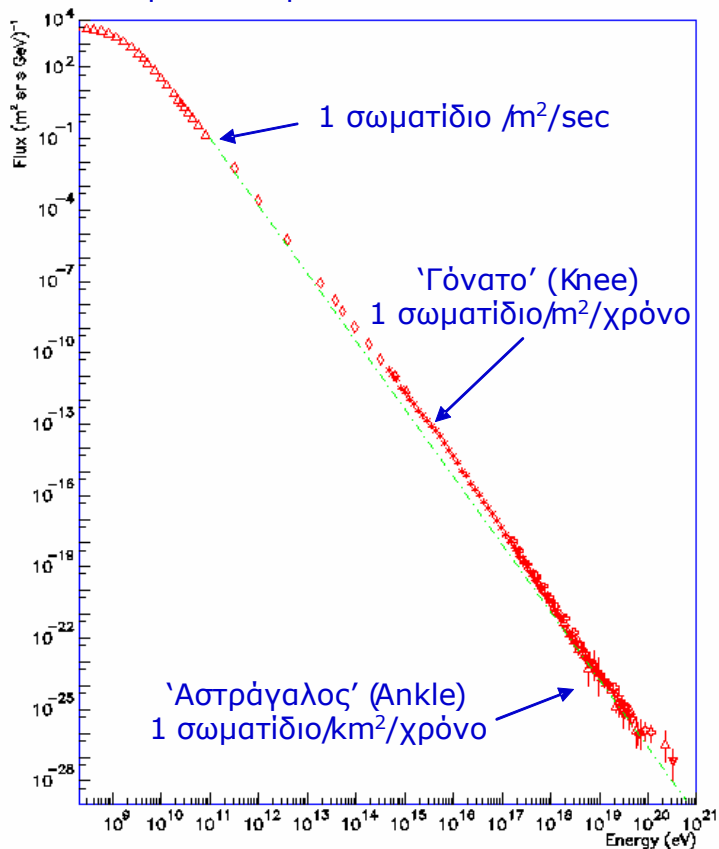
- Κοσμική Ακτινοβολία
- Σταθμός Καταμέτρησης του Πανεπιστημίου Αθηνών
- Ηλιακή Διαμόρφωση
- Μειώσεις Forbush της έντασης κοσμικής ακτινοβολίας
- Μοντελοποίηση μειώσεων Forbush
- Συμπεράσματα

Κοσμικές Ακτίνες: από το Σύμπαν στη Γη



Πρωτογενής Κοσμική Ακτινοβολία

Ροή των Κοσμικών Ακτίνων



$$J(E) = k E^{-\gamma}$$

90 % πρωτόνια
9 % σωματάρια
1 % βαρύτεροι πυρήνες

Ενέργειες: $10^6 - 10^{21}$ eV

$10^9 - 10^{15}$ eV: $\gamma \sim 1,6$

$10^{15} - 10^{18}$ eV: $\gamma \sim 2,2$

$> 10^{18}$ eV: $\gamma \sim 1,6$

Δευτερογενής Κοσμική Ακτινοβολία

80 % μίονια
18 % ηλεκτρόνια
1-2 % πρωτόνια & νετρόνια

$$\pi^0 \rightarrow 2\gamma$$

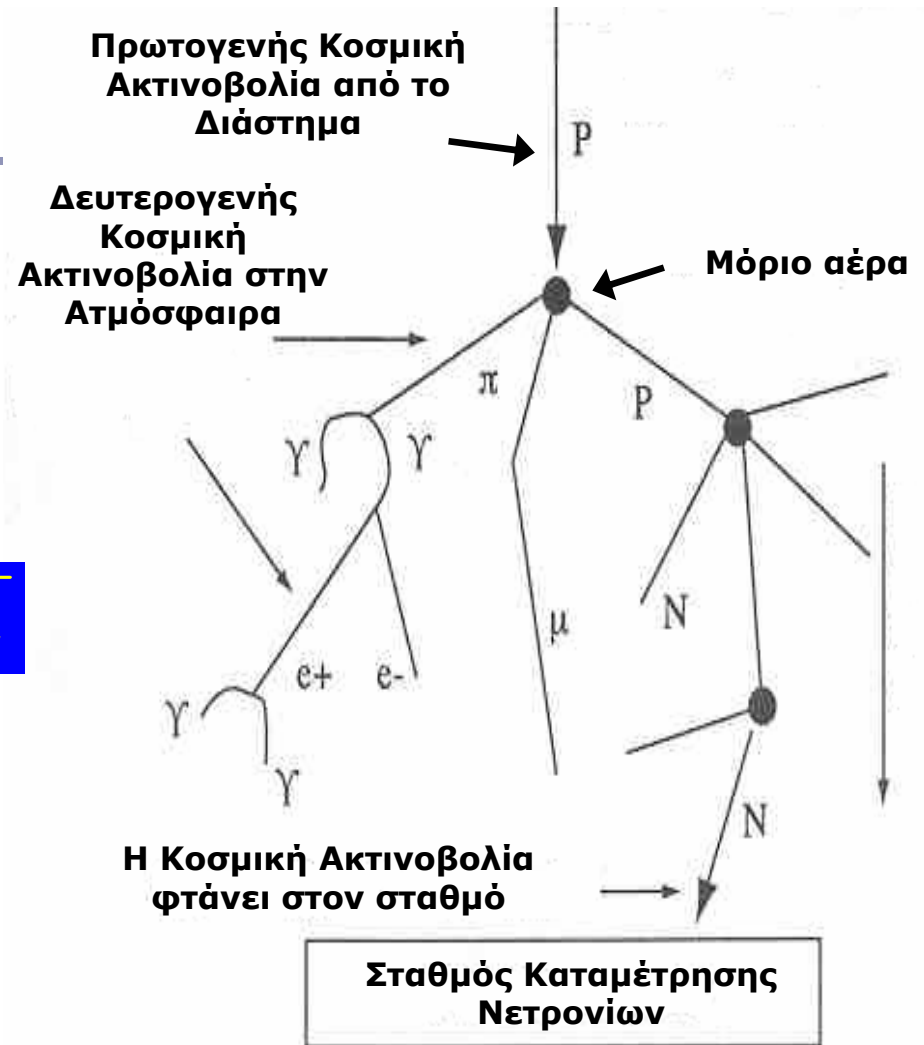
$$\gamma \rightarrow e^+ + e^-$$

$$\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$$

$$\pi^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu$$

$$\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + \bar{\nu}_\mu$$

$$\mu^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\mu$$



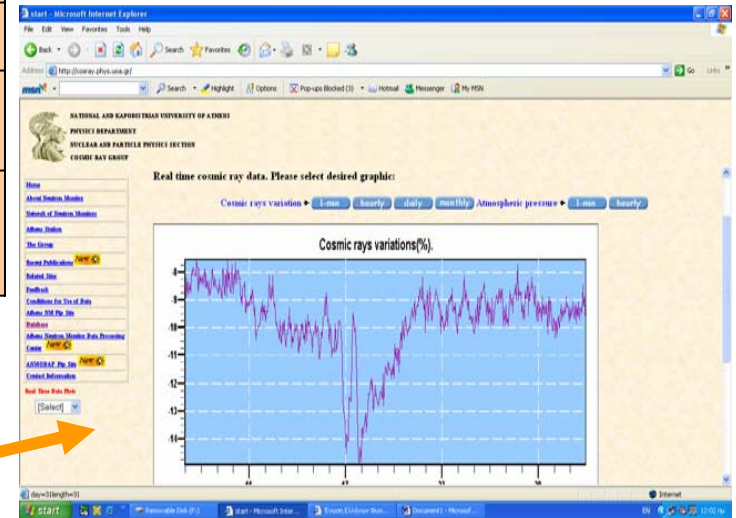


Σταθμός καταμέτρησης της
Κοσμικής Ακτινοβολίας του
Εθνικού & Καποδιστριακού
Πανεπιστημίου Αθηνών

Τύπος	Super 6NM64
Γεωγραφικό πλάτος	37° 58' N
Γεωγραφικό μήκος	23° 47' E
Υψόμετρο	260m
Πίεση	968mbar
Γεωμαγνητικό Κατόφλι Δυσκαμψίας	8.53 GV

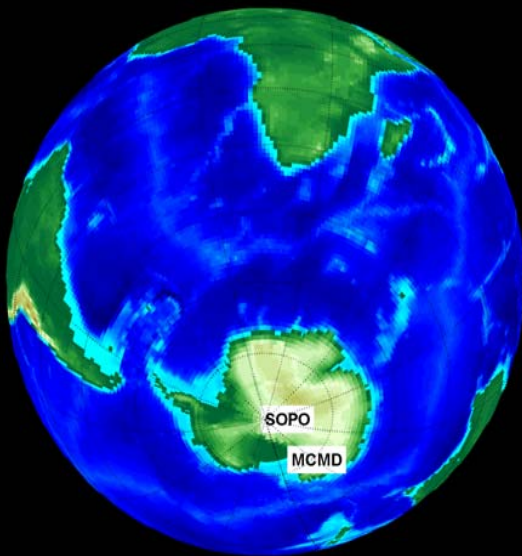
<http://cosray.phys.uoa.gr>

Ιστοσελίδα του σταθμού της Αθήνας
που παρέχει δεδομένα σε
πραγματικό χρόνο (real time)



Παγκόσμιο Κέντρο Λήψης & Επεξεργασίας Δεδομένων του Πανεπιστημίου Αθηνών

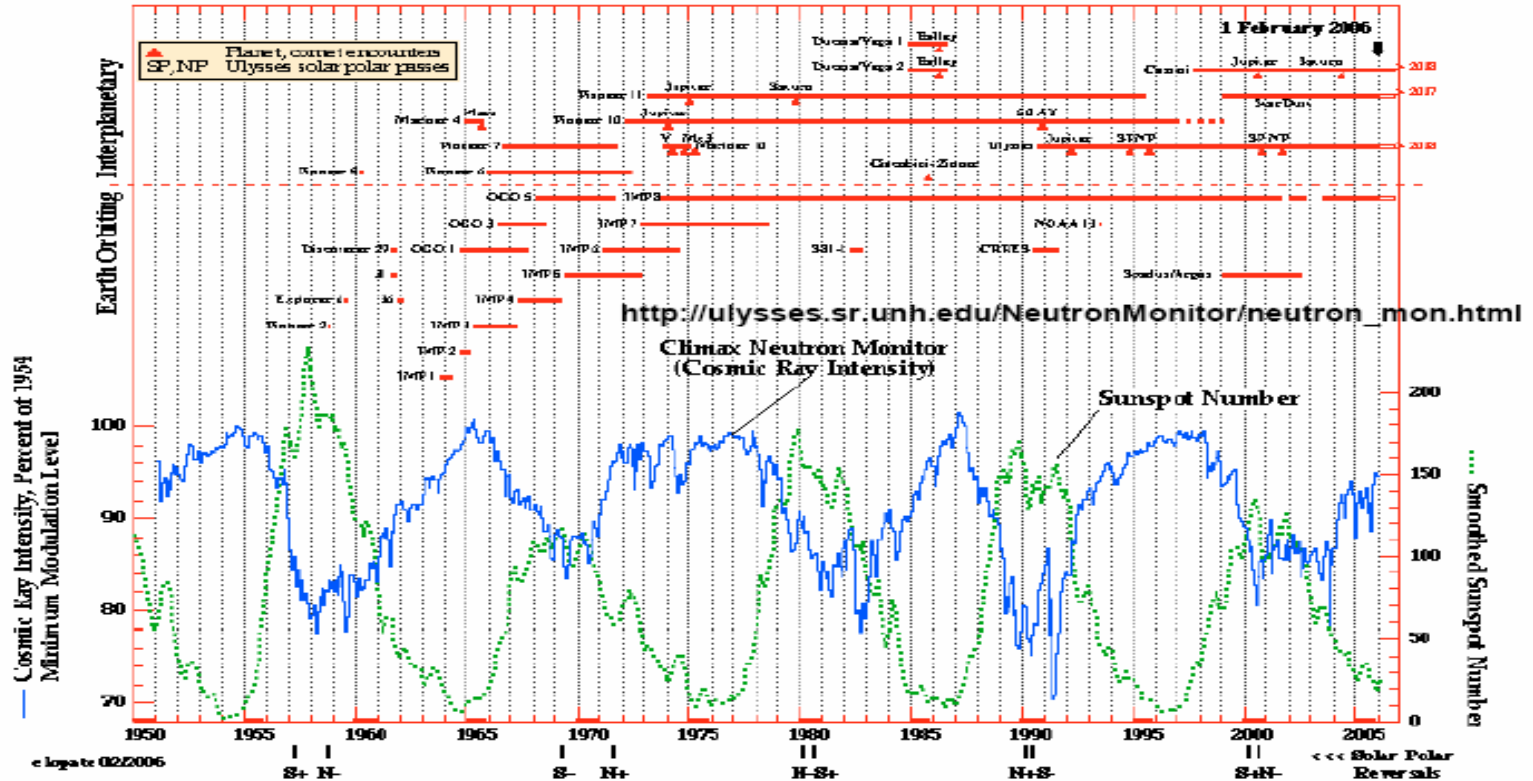
21 σταθμοί πραγματικού
χρόνου !

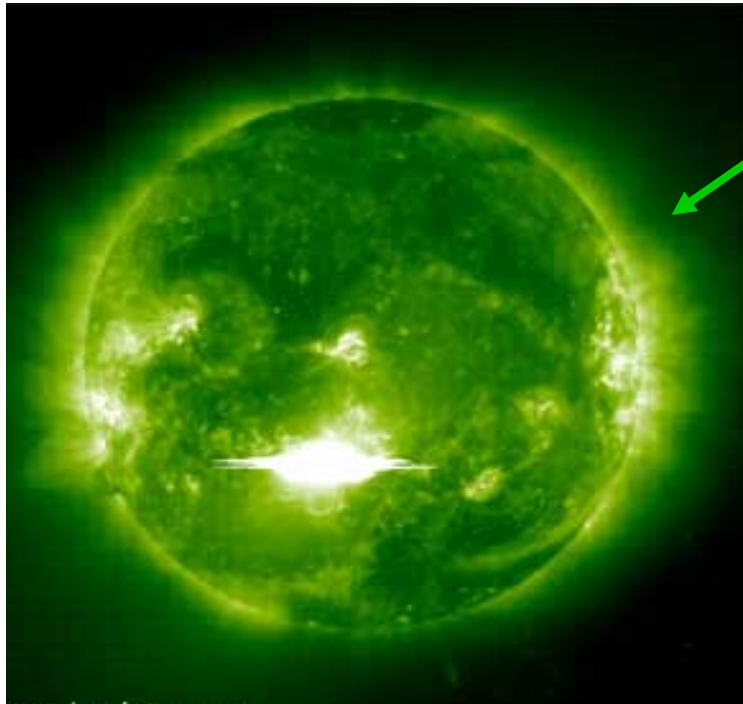


Ηλιακή Διαμόρφωση

NSF ATM 03-3827

The University of New Hampshire/EOS Chicago/LASR Cosmic Physics Instruments in Space





Ηλιακή έκλαμψη (Solar Flare)

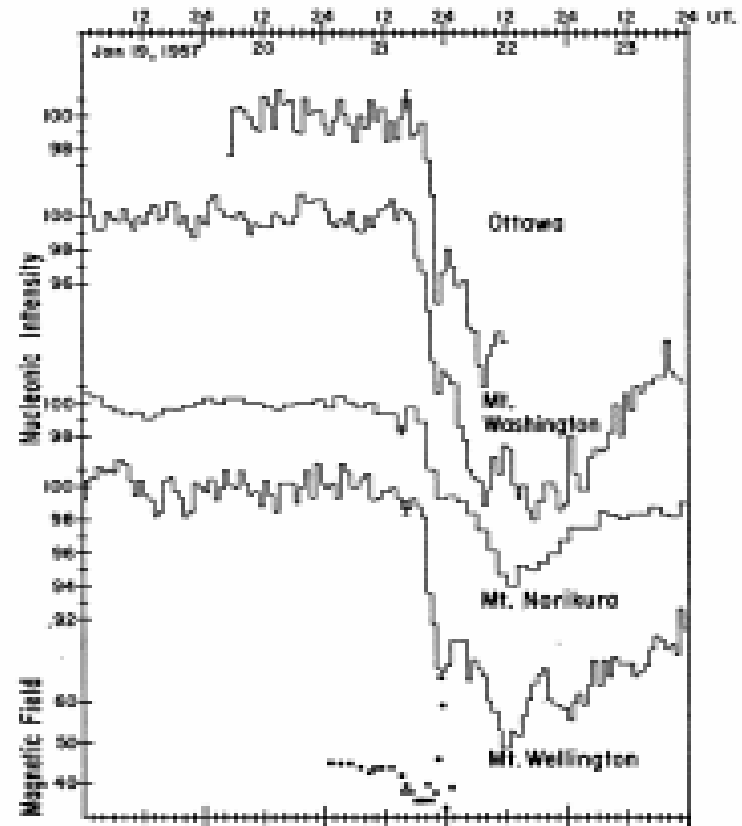


Στεμματική Εκροή Μάζας
Coronal Mass Ejection
(CME)

Μειώσεις Forbush της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας



Scott E. Forbush



Χαρακτηριστικά Μειώσεων Forbush

- **Ηλιοσφαιρικό φαινόμενο:** Περιλαμβάνει μεταβολές της πυκνότητας και της ανισοτροπίας των Κοσμικών Ακτίνων

➤ Διακρίνονται δυο τύποι μειώσεων



Μη περιοδικές μειώσεις

Απότομη έναρξη

Φτάνουν στο μέγιστο σε μια μέρα
Έχουν σταδιακή επαναφορά

Σχετίζονται με CMEs



Σποραδικές μειώσεις

Σταδιακή έναρξη

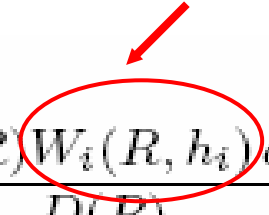
Συμμετρικό προφίλ

Σχετίζονται με Ηλιακό άνεμο μεγάλης ταχύτητας

Πρόσφατα μοντέλα για τις μειώσεις Forbush

Το μοντέλο **Alania – Wawrzynczak (2005)** στηρίζεται στις Συναρτήσεις Σύζευξης Πρωτογενούς & Δευτερογενούς κοσμικής ακτινοβολίας

Συνάρτηση Σύζευξης

$$\frac{\delta J_i}{J_i} = \int_{R_i}^{R_{\max}} \frac{\delta D(R) W_i(R, h_i) dR}{D(R)}$$


Πρόσφατα μοντέλα για τις μειώσεις Forbush

- I. Δεν πραγματοποιεί αναλυτικό υπολογισμό των συναρτήσεων σύζευξης (δέχεται εμπειρικές τιμές)
- II. Για το φάσμα των Γαλαξιακών Κοσμικών Ακτίνων δεν λαμβάνει το ίδιο πλάτος για όλους τους σταθμούς

$$\frac{\delta J_i}{J_i} = A_i \int_{R_i}^{R_{\max}} R^{-\gamma} W_i(R, h_i) dR$$

$$\bar{A} = \frac{1}{n} \sum_i^n A_i$$

- III. Υπολογιστικά δεν χρησιμοποιεί κατάλληλη αλγοριθμική μέθοδο

Το μοντέλο Forbush Decreases (FORD) [Ομάδα Κοσμικής Ακτινοβολίας Πανεπιστημίου Αθηνών]

A) Χρησιμοποιεί αναλυτική έκφραση για τις συναρτήσεις σύζευξης
(Clem & Dorman, 2000)

$$\delta N(R_c(t), h_o(t), t) / N_o = \int_{R_{co}}^{\infty} \frac{\Delta D(R, t)}{D_0(R)} W_i(R_{co}, R) dR$$

$$W(R_{co}, R, h_o) = \begin{cases} 0 & R \leq R_{co} \\ a(h_o)k(h_o)R^{-(k_i(h_o)+1)} \exp(-a(h_o)R^{-k(h_o)}) (1 - \exp(-a(h_o)R_{co}^{-k(h_o)}))^{-1} & R > R_{co} \end{cases}$$

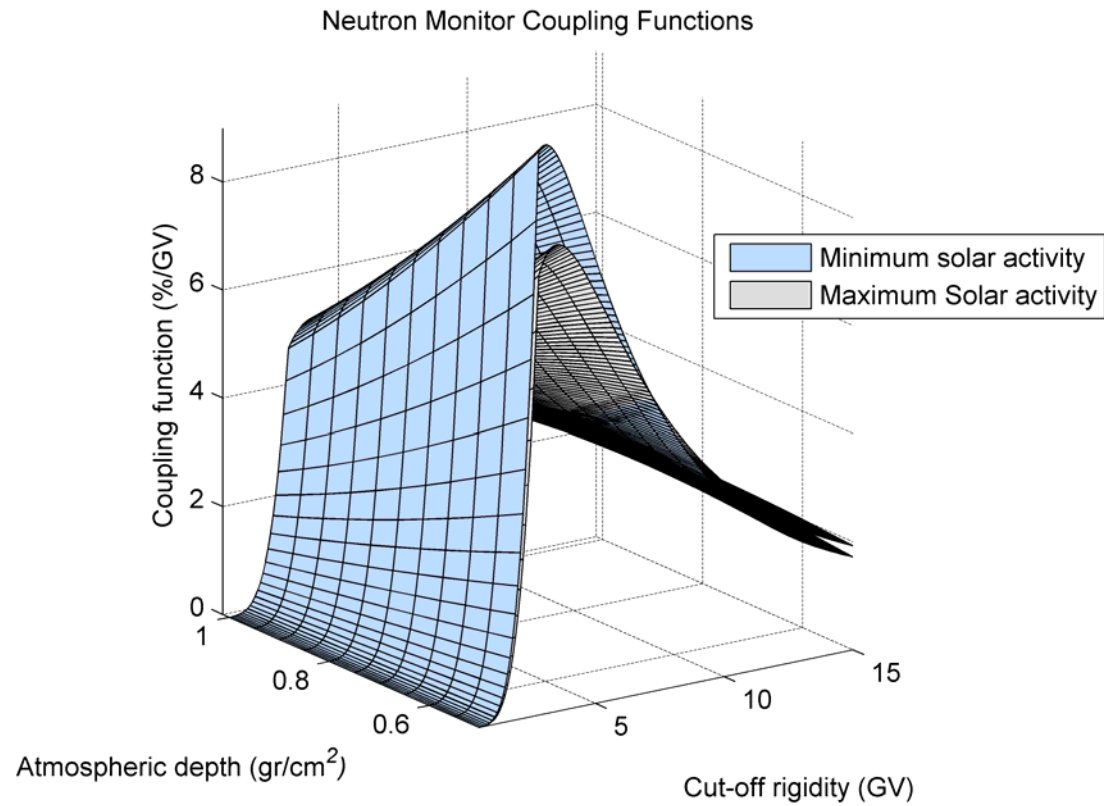
Οι συναρτήσεις σύζευξης διαφοροποιούνται

- 1) ανά διαφορετική ενεργειακή περιοχή
- 2) ανά περίοδο ηλιακής δραστηριότητας

$$W(R, h)dR = \left\{ \begin{array}{l} W_T(R, h)dR \quad , R \geq 2.78GV \\ W(R=2.78GV, h) \left(\frac{E}{2GeV} \right)^{3.17} dR \quad , R < 2.78GV \end{array} \right\}$$

$$W_T(R, h, t_0) = a \cdot (k - 1) \cdot \exp(-a \cdot R^{-k+1}) R^{-k}$$

Γραφική Απεικόνιση των Συναρτήσεων Σύζευξης



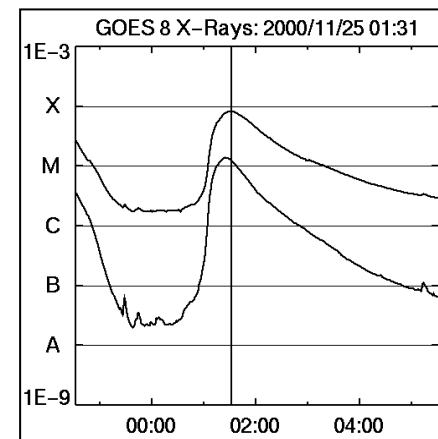
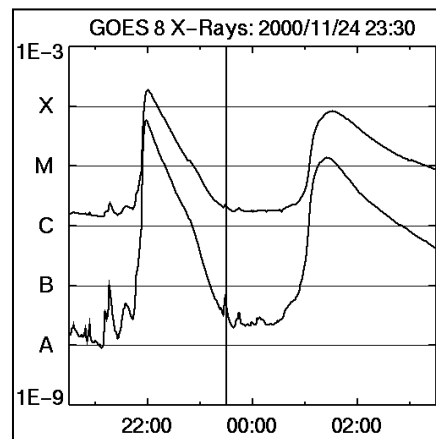
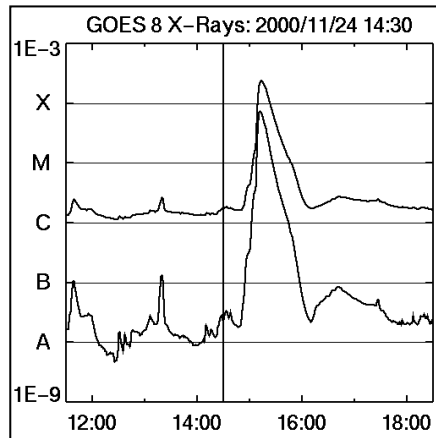
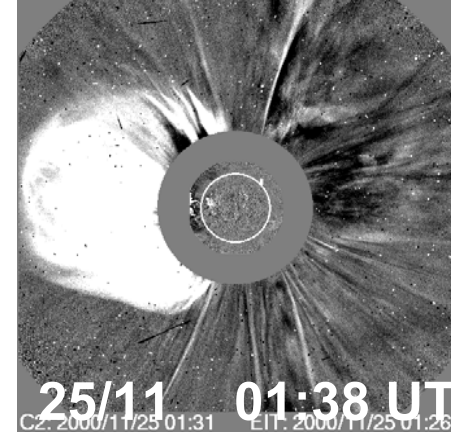
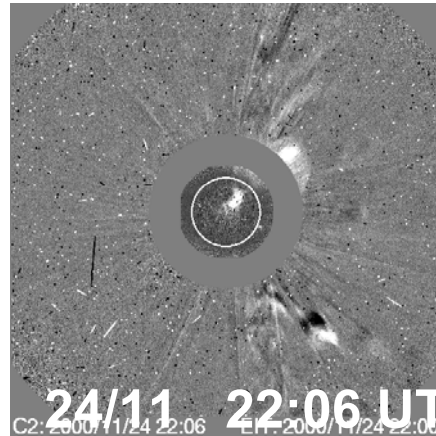
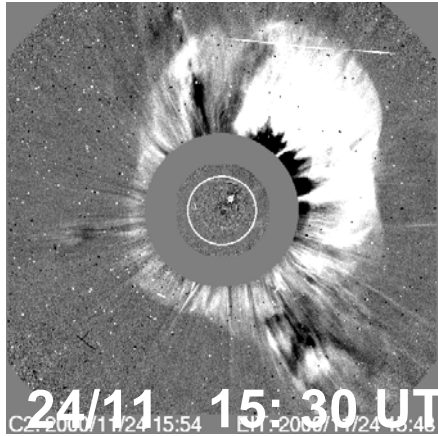
B) Η υπολογιστική μέθοδος του FORD

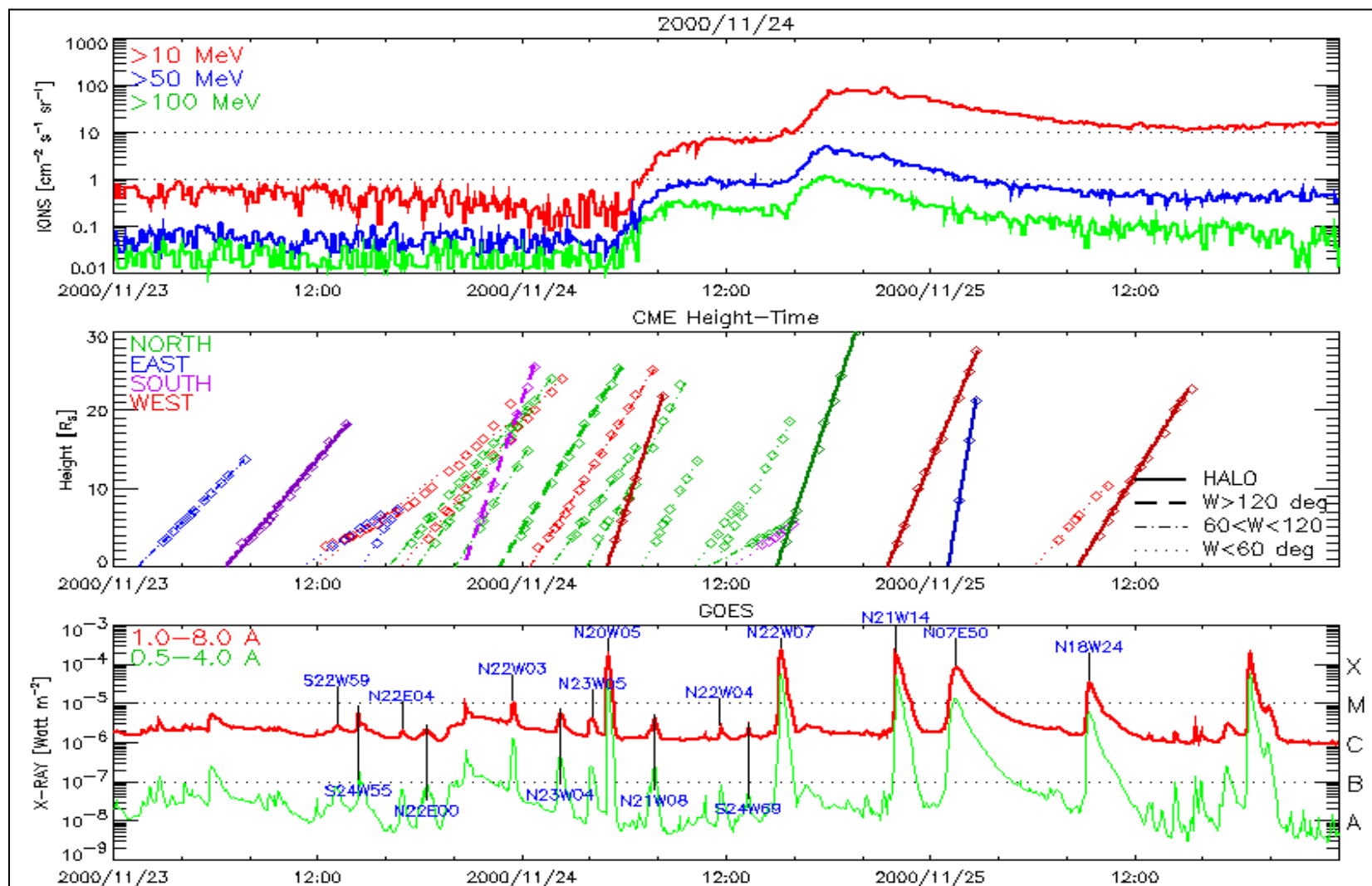
Το μη γραμμικό πρόβλημα βελτιστοποίησης που προκύπτει επιλύεται με τον αλγόριθμο: Gauss-Newton-Levenberg-Marquardt (GNLM) (1973)



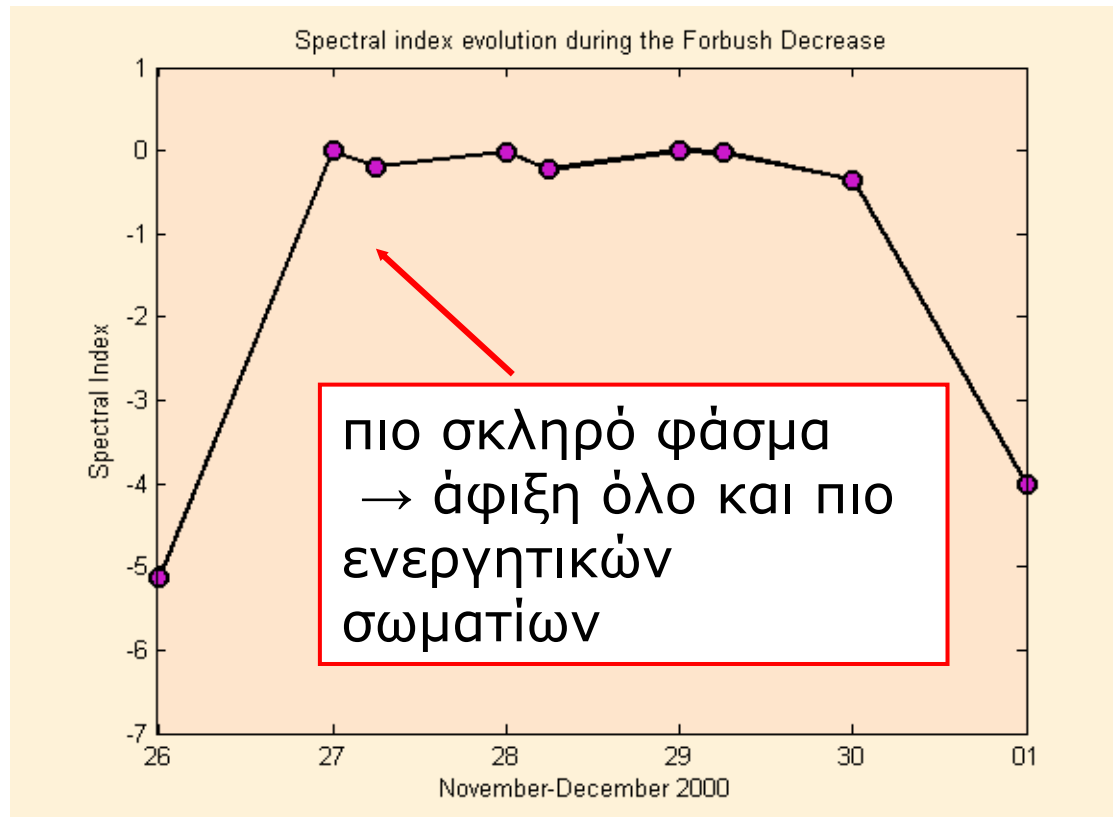
ο πλέον αξιόπιστος τρόπος αντιμετώπισης προβλημάτων αυτού του είδους

Τα γεγονότα του Νοεμβρίου 2000





Εξέλιξη του φασματικού δείκτη



Συμπεράσματα του μοντέλου FORD

- ❖ Κατά την αρχική φάση του φαινομένου το φάσμα δυσκαμψίας είναι σχετικά μαλακό ($\gamma \sim 5$).
- ❖ Σταδιακά το φάσμα γίνεται πιο σκληρό γεγονός που φανερώνει την άφιξη όλο και περισσότερο ενεργητικών σωματίων.
- ❖ Σύμφωνα με το μοντέλο FORD η διαδικασία δημιουργίας των ανωμαλιών πρέπει να είχε ολοκληρωθεί μέσα στην περίοδο 27/11-30/11.

Πρόβλεψη γεγονότων μειώσεων Forbush

- Προσδιορισμός της **έναρξης** της μείωσης Forbush της έντασης της Κ.Α. από τα δεδομένα των **μετρητών νετρονίων** του παγκόσμιου δικτύου «πραγματικού χρόνου»

Approximate size
of earth for

- Αριθμητική **πρόγνωση των αναμενόμενων ροών σωματίων** στις διάφορες ενεργειακές περιοχές στο ύψος των δορυφόρων και του χρόνου των αντίστοιχων μεγίστων.

- Σύγκριση με τις παρατηρήσεις, όπου είναι δυνατόν.

- **Πρόγνωση της εξέλιξης** του φαινομένου και πιθανής **έναρξης νέου** με βάση τα δεδομένα των μετρητών νετρονίων και των δορυφόρων.

Ευχαριστούμε



Η εργασία αυτή πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του προγράμματος ΠΥΘΑΓΟΡΑΣ ΙΙ