



Επίδραση Κοσμικών Ακτινοβολιών στο Διαστημικό Περιβάλλον

**Α. Παπαϊωάννου, Χ. Πλαϊνάκη, Μ. Παπαηλιού, Μ. Γεροντίδου,
Ε. Μαυρομιχαλάκη**

Τομέας Πυρηνικής Φυσικής και Στοιχειωδών Σωματιδίων
Τμήμα Φυσικής
Πανεπιστήμιο Αθηνών

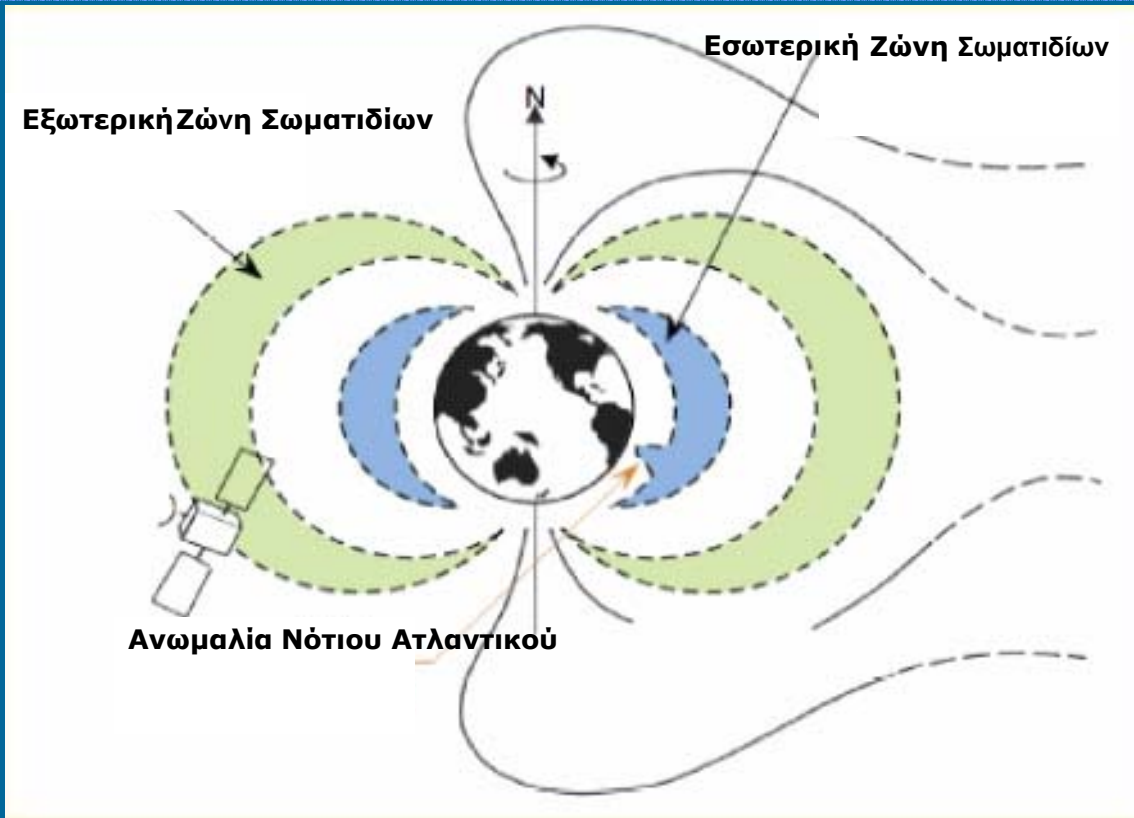


- Κοσμική Ακτινοβολία
- Επιδράσεις σε Διαστημόπλοια & Αεροπλάνα
- Μεμονωμένες Επιδράσεις - Single Event Effects (SEE)
- Αλγόριθμοι για τις Κοσμικές Ακτίνες
- Διεθνές Κέντρο Λήψης & Επεξεργασίας Δεδομένων της Αθήνας (ANMODAP Center)
- Πρόσφατα Εκρηκτικά Γεγονότα
- Συμπεράσματα

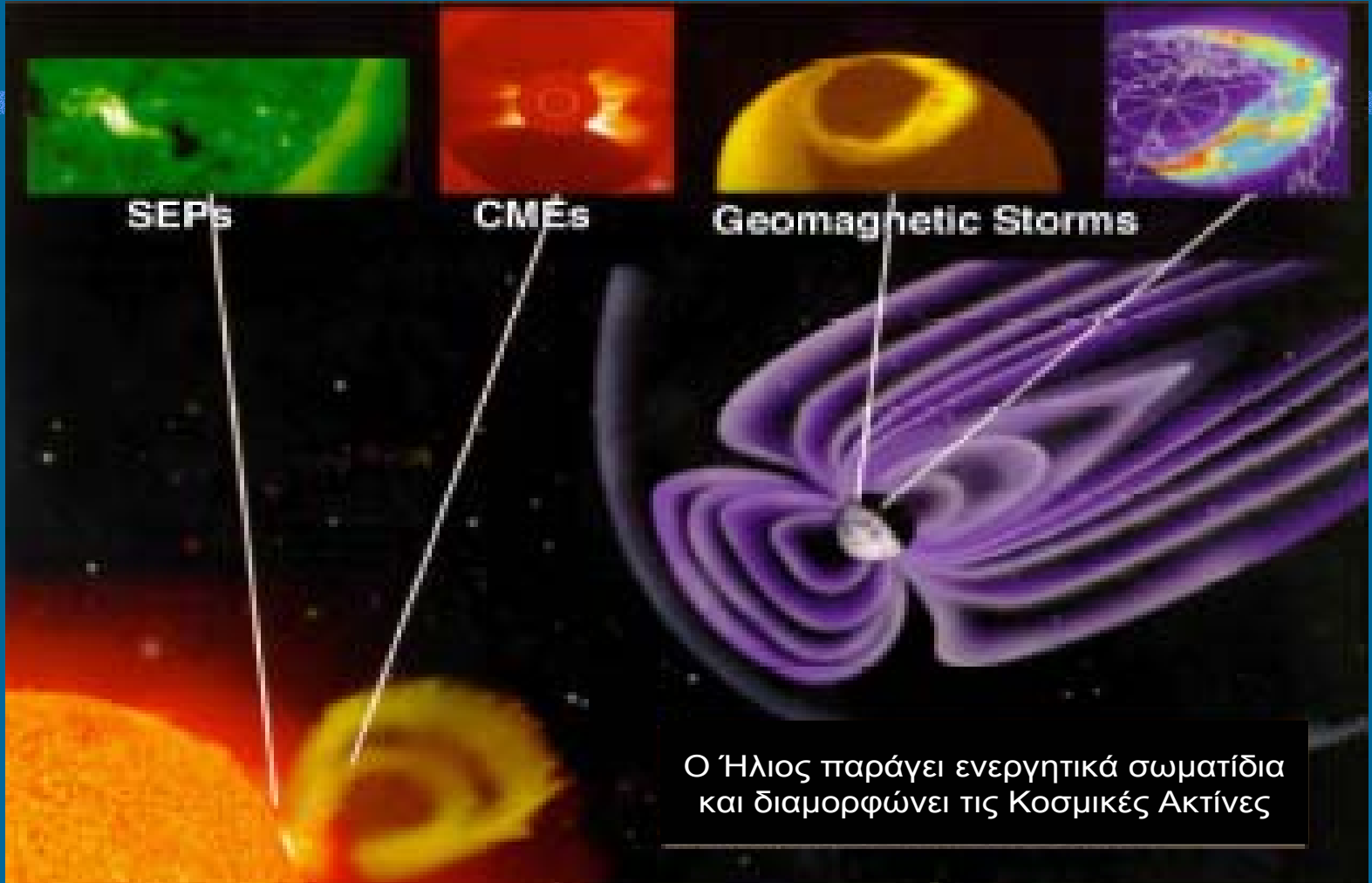


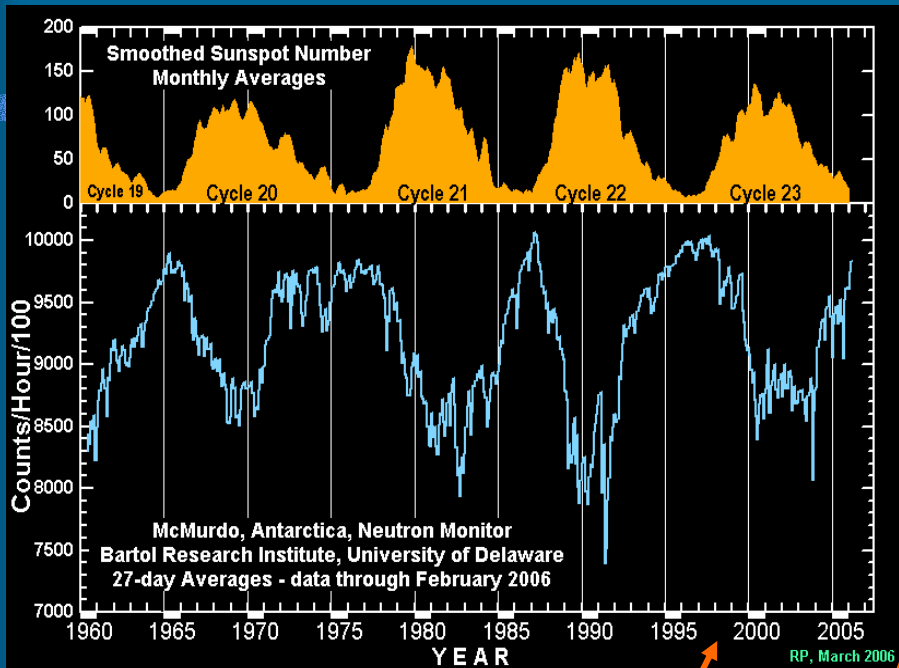
- Η Κοσμική Ακτινοβολία που καταγράφεται στη Γη έχει δυο πηγές: Την **Γαλαξιακή Κοσμική Ακτινοβολία** και τον **Ήλιο**
- **Γαλαξιακή Κοσμική Ακτινοβολία**
Ενέργεια $10^6 - 10^{21}$ eV
Σχεδόν ισοτροπική ροή
- **Ήλιος**
λιγότερο ενεργητικά σωματίδια
πηγάζουν από ηλιακές εκλάμψεις
(**Solar Flares - SF**) &
στεμματικές εκτοξεύσεις μάζας
(**Coronal Mass Ejections - CMEs**)





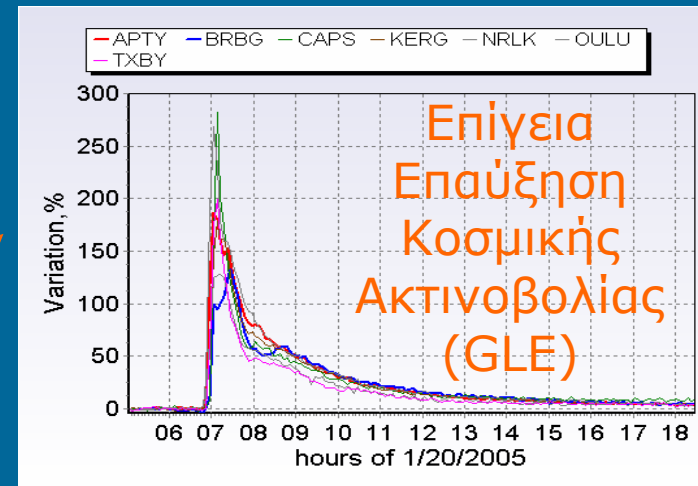
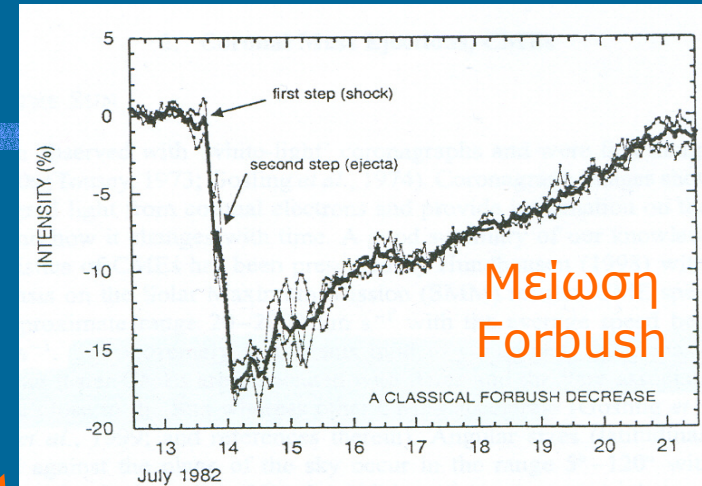
- ❑ Το περιβάλλον ακτινοβολιών κοντά στη Γη κυριαρχεί από το γεωμαγνητικό πεδίο
- ❑ Φορτισμένα σωματίδια παγιδεύονται στις ζώνες Ακτινοβολίας που περιβάλλουν τη Γη





Ηλιακή διαμόρφωση
Κοσμικής Ακτινοβολίας

Ηλιοσφαιρικά φαινόμενα που
καταγράφονται στη Γη





❑ **Κοσμικές Ακτίνες**

Συνεχής ροή πολύ ενεργητικών πρωτονίων και βαρύτερων ιόντων

❑ **Ηλιακά Σωματίδια**

**Ενεργητικά πρωτόνια και βαρύτερα ιόντα που παράγονται
σποραδικά σε ακραία ηλιακά γεγονότα**

❑ **Δευτερογενή σωματίδια που παράγονται από πυρηνικές
επιδράσεις των παραπάνω**

❑ **Πρωτόνια & Ηλεκτρόνια των Ζωνών Ακτινοβολίας**



Οι σημαντικότερες επιδράσεις που καταγράφονται στα συστήματα των διαστημοπλοίων & αεροπλάνων εξαιτίας των Κοσμικών Ακτινοβολιών είναι:

[α] Καταστροφή ηλεκτρονικών συστημάτων

[β] Μεμονωμένες επιδράσεις στα μικρο-ηλεκτρονικά συστήματα (Single Event Effects –SEE)

[γ] Παρεμβολές στα συστήματα καταγραφής και απεικόνισης

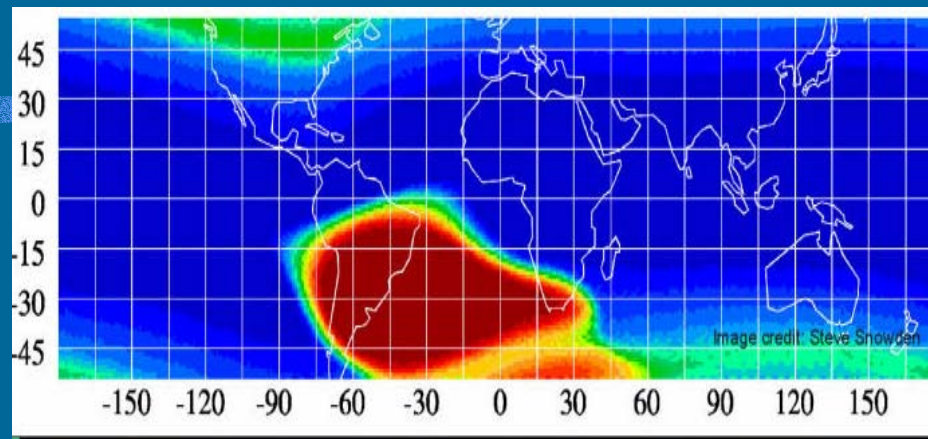
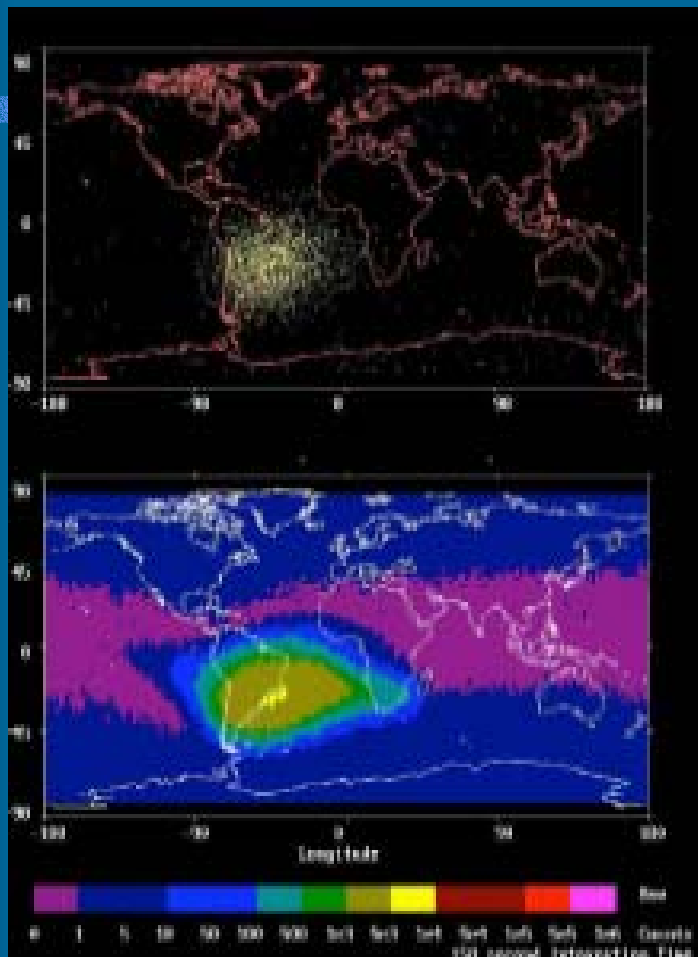
[δ] Ηλεκτροστατική φόρτιση

(Daly, 2004)



Μεμονωμένες Επιδράσεις (SEE) : οι παρεμβολές που υφίσταται μια ενεργή ηλεκτρονική συσκευή εξαιτίας ενός μόνο φορτισμένου σωματιδίου

- Ανατροπή (Upset) [SEU]: Αλλαγή στην λογική κατάσταση (logic state) της συσκευής
- (Latch-up) [SEL]: Απότομη αύξηση της έντασης του ρεύματος
- Καταστροφή (Burnout) [SEB]: Ολική καταστροφή του μετασχηματιστή ισχύος
- Διακοπή Λειτουργίας (Functional Interrupt) [SEFI]: Σοβαρές βλάβες σε πιο περίπλοκα τμήματα των συσκευών.



Η **Ανωμαλία Νοτίου Ατλαντικού** είναι ένα βύθισμα στο μαγνητικό πεδίο της Γης, το οποίο επιτρέπει στις Κοσμικές Ακτίνες & τα ενεργητικά σωματίδια να φτάνουν σε χαμηλότερα ύψη μέσα στην ατμόσφαιρα και να παρεμβάλουν στις τηλεπικοινωνίες καθώς και στα συστήματα των αεροπλάνων και των δορυφόρων.



National Aeronautics
and Space Administration



(Tylka et al., 1997)

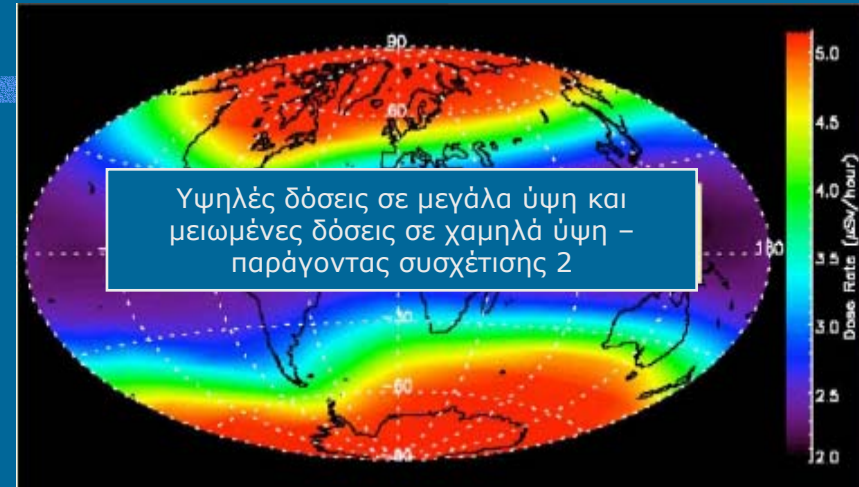
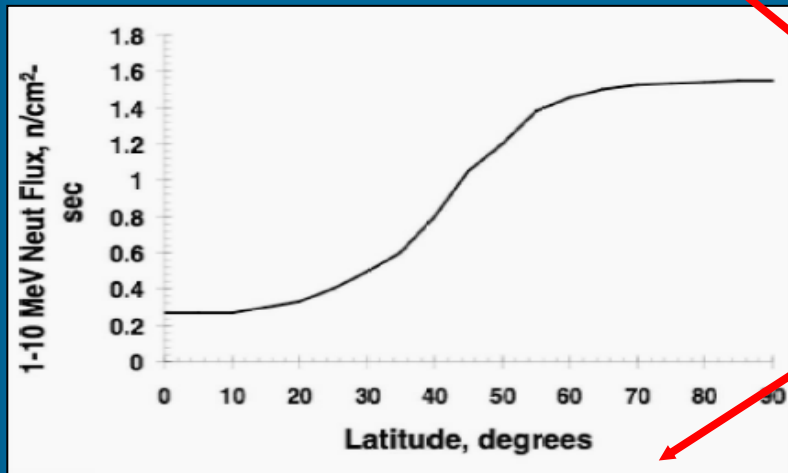
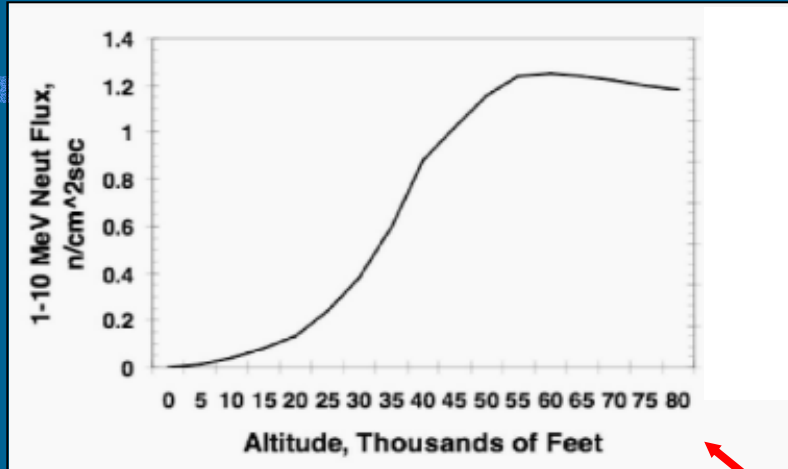


Space
Environment
Information
System

(Heynderickx et al., 2000)



Συσχέτιση Κοσμικών Ακτινοβολιών
με το ύψος & το γεωγραφικό πλάτος



Το ύψος και το γεωγραφικό πλάτος είναι καθοριστικοί παράγοντες για την εμφάνιση SEE



| Altitude (x1000 ft) | Solar Minimum (10/86) | | Solar Maximum (7/89) | |
|------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| | 35 degrees North Latitude | 70 degrees North Latitude | 35 degrees North Latitude | 70 degrees North Latitude |
| 0 | 0.0401 | 0.0412 | 0.0374 | 0.0380 |
| 10 | 0.190 | 0.207 | 0.173 | 0.181 |
| 20 | 0.985 | 1.14 | 0.875 | 0.953 |
| 30 | 3.25 | 4.06 | 2.85 | 3.24 |
| 40 | 6.78 | 9.02 | 5.88 | 6.99 |
| 50 | 9.71 | 13.8 | 8.36 | 10.3 |
| 60 | 11.1 | 17.1 | 9.49 | 12.3 |
| 70 | 11.4 | 19.2 | 9.68 | 13.3 |
| 80 | 11.2 | 20.6 | 9.44 | 13.8 |

Αύξηση Ύψους

Αύξηση Κινδύνου

(Shea & Smart, 2000)



(Bentley, 2006 ; Dyer, 2004)

| Διαδρομή | Αριθμός Πτήσεων | Μέση Δόση / Διαδρομή (μSv) | Σφάλμα / Διαδρομή (μSv) |
|-------------------|--------------------|--|---|
| London - Tokyo | 4 | 52.5 | 3.7 |
| Tokyo - London | 3 | 59.3 | 2.7 |
| London - Athens | 4 | 11.4 | 0.9 |
| Athens - London | 4 | 13.0 | 0.6 |
| London - New York | 3 | 33.8 | 2.3 |
| New York - London | 2 | 29.8 | 1.2 |
| London - Boston | 6 | 30.7 | 3.1 |
| Boston - London | 4 | 25.9 | 3.2 |
| London - Hon Kong | 1 | 30.7 | 2.5 |
| Hon Kong - London | 1 | 25.9 | 1.8 |

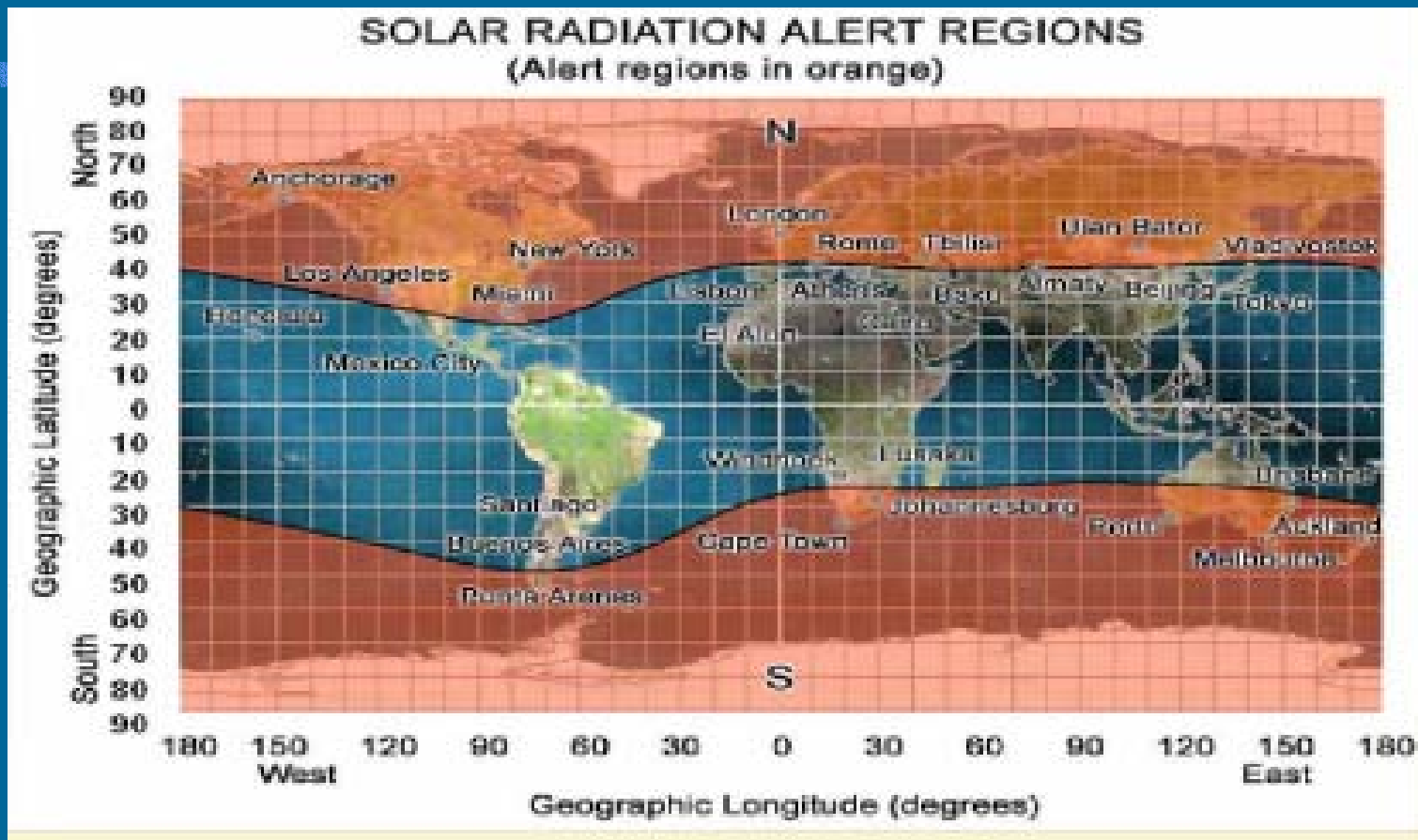
Τυπικό όριο απορροφόμενης ακτινοβολίας ανά χρόνο: 1 mSv *

* Οδηγία Ευρωπαϊκής Ένωσης 96/29 – άρθρο 42



| Source Of Exposure | Exposure |
|---|-------------------------|
| Natural Radiation (Terrestrial and Airborne) | 1.2 mSv per year |
| Natural Radiation (Cosmic radiation at sea level) | 0.3 mSv per year |
| Total Natural Radiation | 1.5 mSv per year |
| Seven Hour Aeroplane Flight | 0.05 mSv |
| Chest X-Ray | 0.04 mSv |
| Nuclear Fallout (From atmospheric tests in 50's & 60's) | 0.02 mSv per Year |
| Chernobyl (People living in Control Zones near Chernobyl) | 10 mSv per year |
| Cosmic Radiation Exposure of Domestic Airline Pilot | 2 mSv per year |

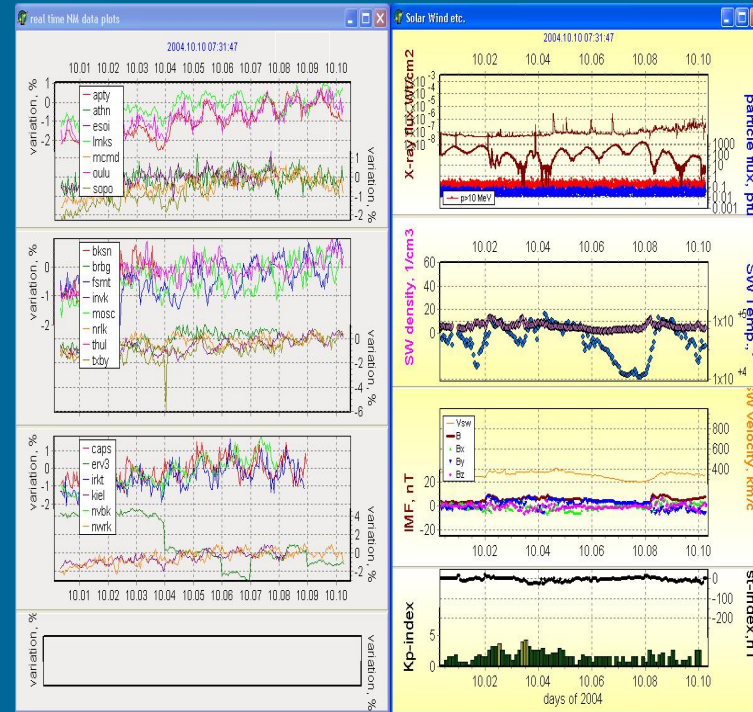
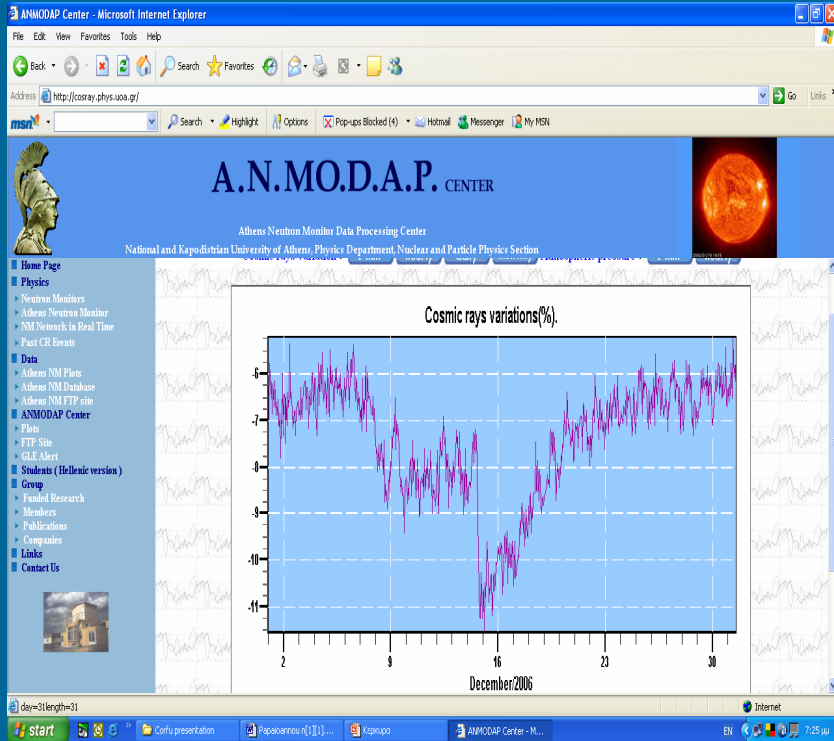
(Kudela, 2006)



(Bentley, 2006)



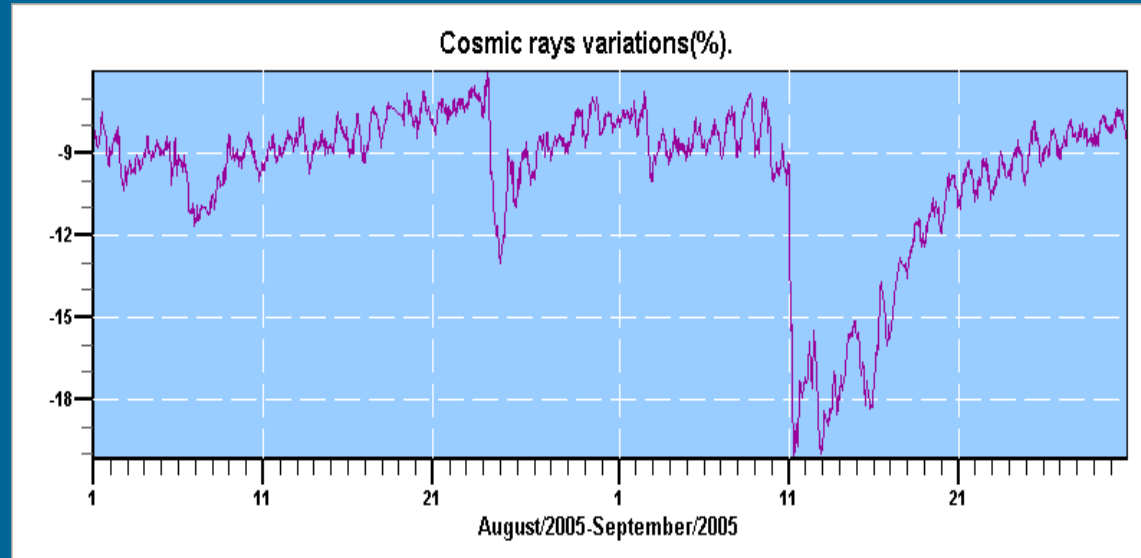
<http://cosray.phys.uoa.gr>



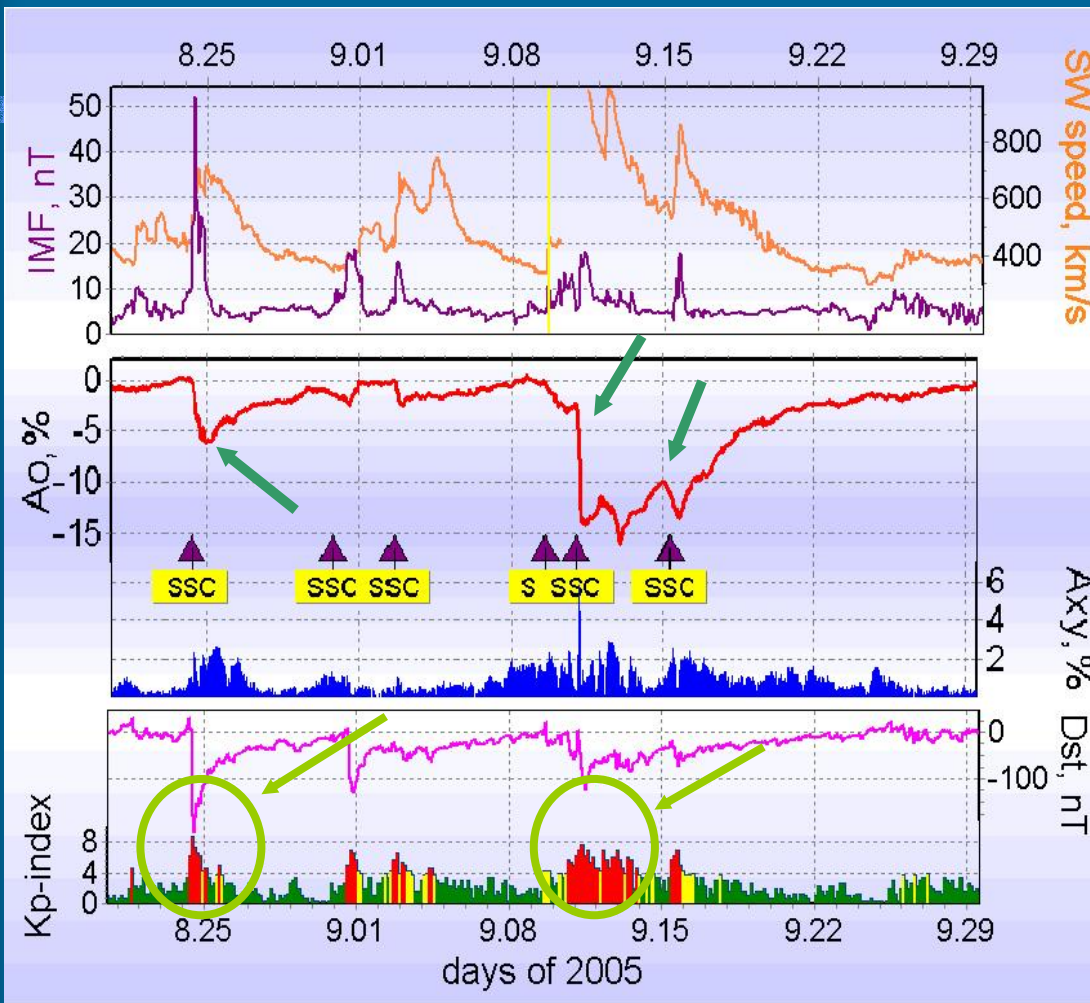
(Mavromichalaki. et al., 2005a;b)



[A] Αύγουστος – Σεπτέμβριος 2005



- Στις 25/8/2005, στις 11/9/2005 & στις 15/9/2005 παρουσιάστηκαν διαδοχικές μειώσεις Forbush της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας



Στις 24-25 Αυγούστου 2005 ο δείκτης γεωμαγνητικής δραστηριότητας Kp έφτασε την τιμή 9, ενώ ο δείκτης Dst έπεσε στα - 216 nT

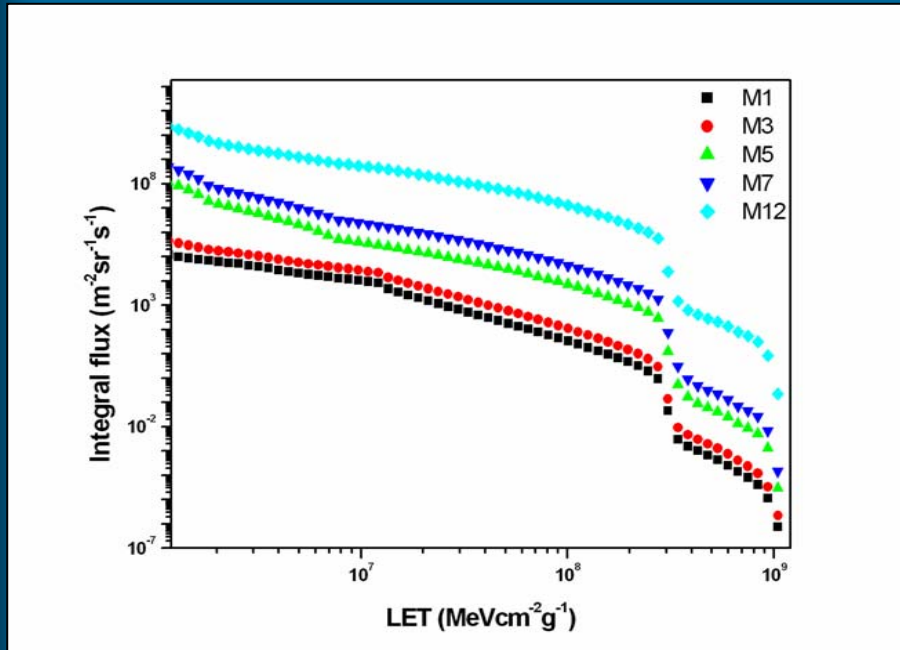
Στις 11-14 Σεπτεμβρίου 2005 ο δείκτης Kp έκαβε την ανώτατη τιμή 9, ενώ ο δείκτης Dst έφτασε μέχρι και τα - 100 nT

Καταγράφηκαν 3 μειώσεις Forbush:
[α] 25/08 (πλάτος 6,4%)
[β] 11/09 (πλάτος 12,1%)
[γ] 15/09 (πλάτος 5,1%)

(Belov. et al., 2006)



- Επιδράσεις στο Διαστημικό Περιβάλλον

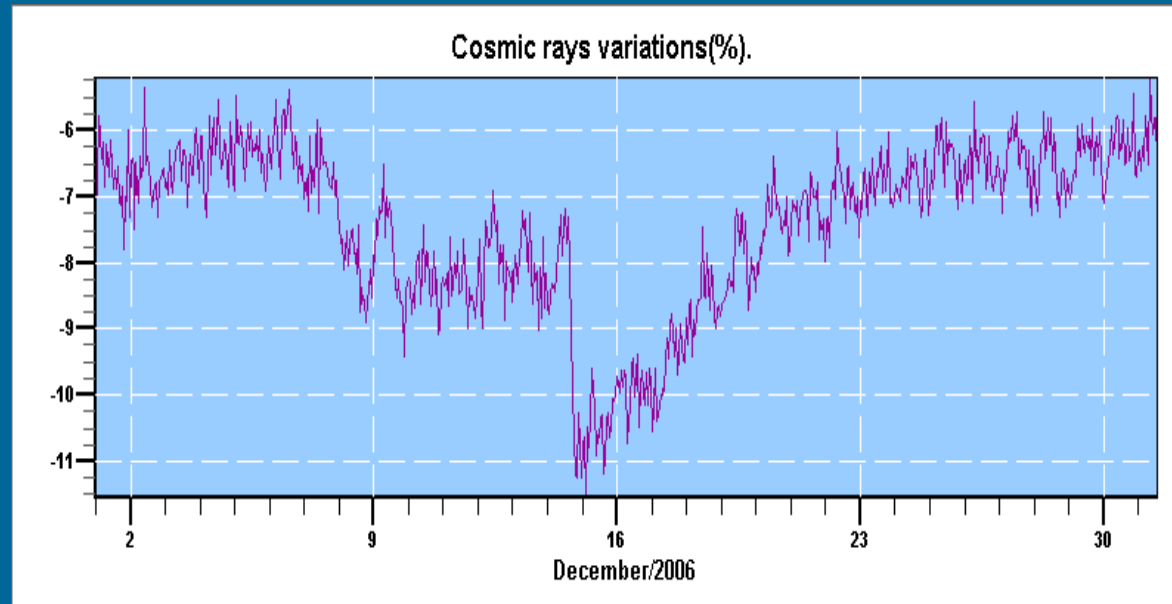


Πίνακας Ι:

| Περίπτωση | Ρυθμός Εμφάνισης SEU ($\text{bit}^{-1} \text{s}^{-1}$) |
|-------------|---|
| M=1 | $5.37\text{E}-07 \pm 0.09\text{E}-07$ |
| M=3 | $1.33\text{E}-06 \pm 0.23\text{E}-06$ |
| M=5 | $1.80\text{E}-05 \pm 0.32\text{E}-05$ |
| M=7 | $1.07\text{E}-04 \pm 0.19\text{E}-04$ |
| M=12 | $1.35\text{E}-02 \pm 0.24\text{E}-02$ |



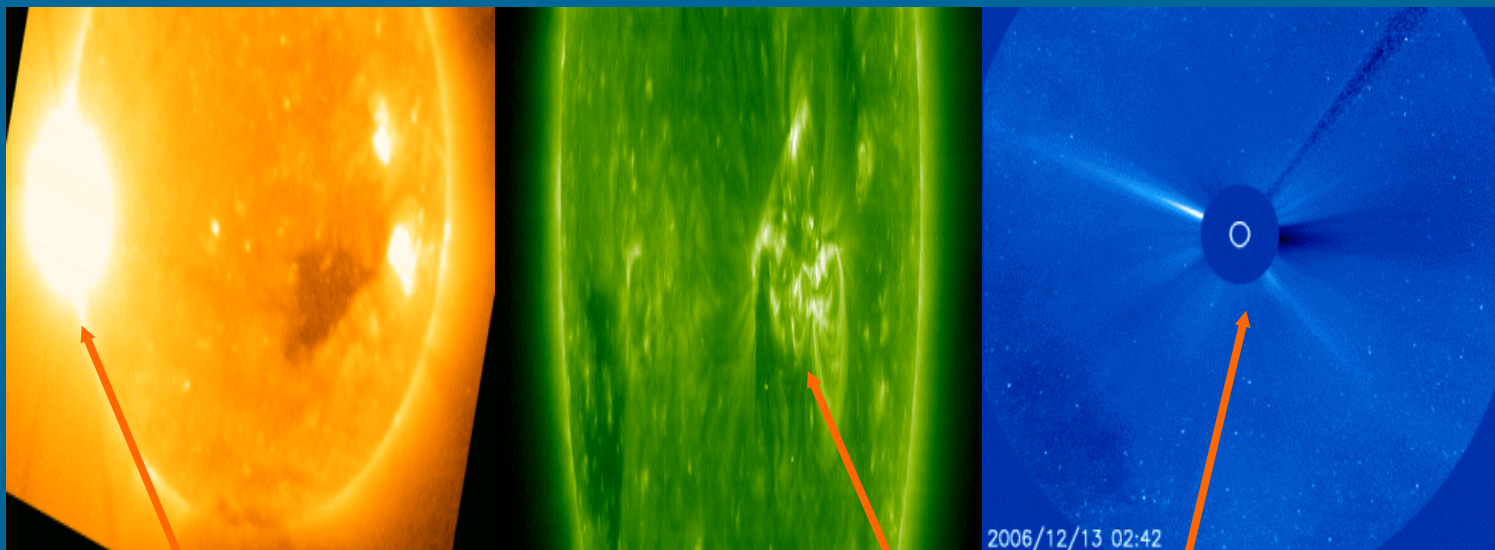
[B] Δεκέμβριος 2006



- Στις 13/12/2006 σημειώθηκε Επίγεια Επαύξηση Κοσμικής Ακτινοβολίας (GLE)
 - Στις 14/12/2006 σημειώθηκε μείωση Forbush πλάτους $\sim 4\%$ στην Αθήνα
 - Στις 15/12/2006 καταγράφηκε μαγνητοσφαιρικό γεγονός



- Ηλιακή Δραστηριότητα



Ισχυρή ηλιακή έκλαμψη
(Solar flare - SF) τάξεως
X9 που καταγράφηκε στις
5/12/2006

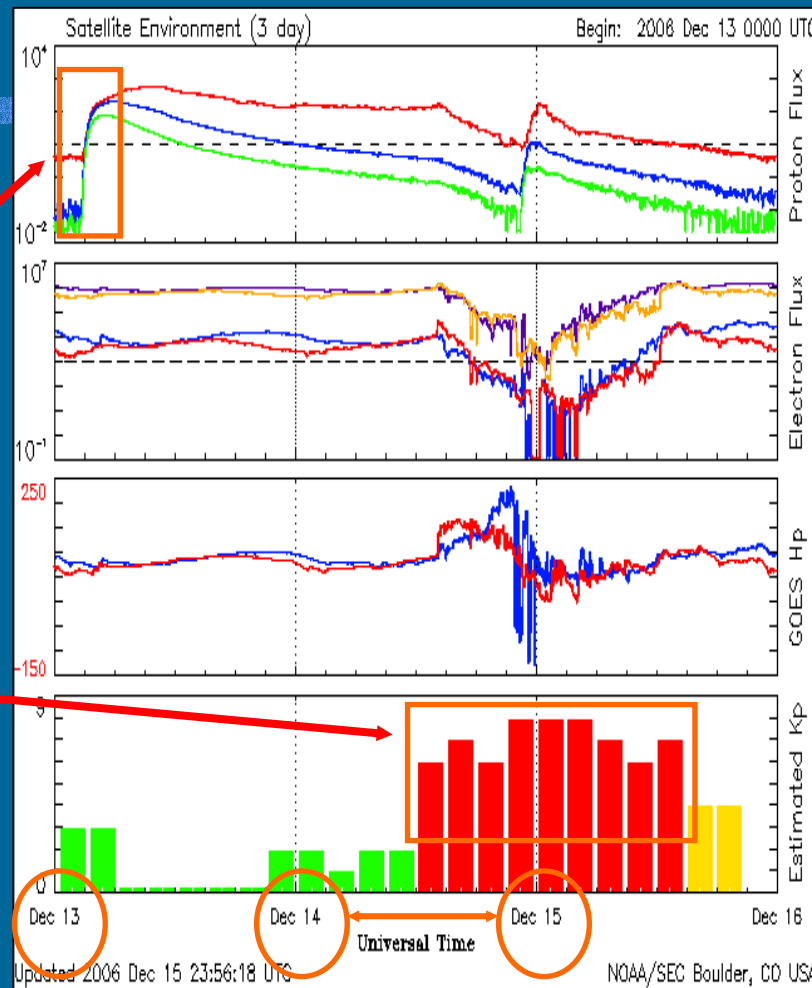
Η ηλιακή έκλαμψη (SF) τάξεως
X3 και η συνεπακόλουθη
στεμματική εκτόξευση μάζας
(Coronal Mass Ejection) στις
13/12/2006



Γεωμαγνητική Δραστηριότητα

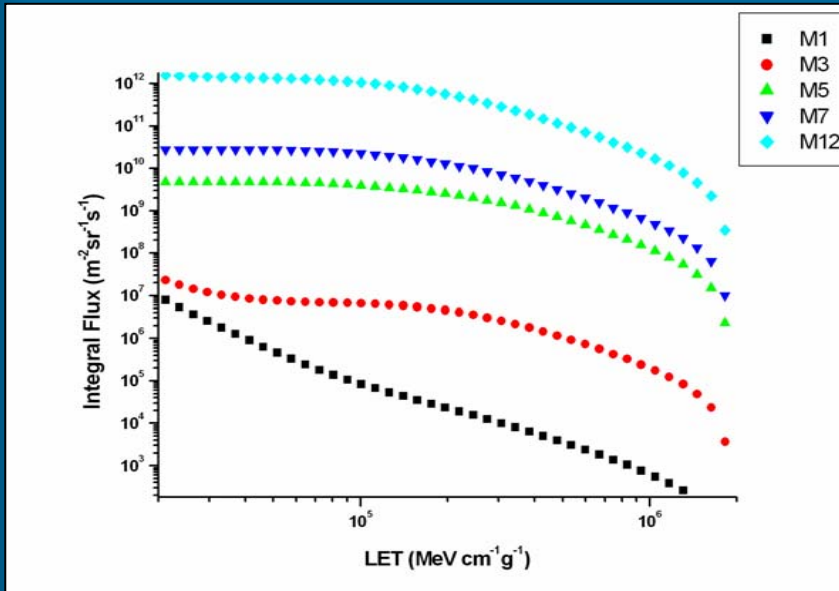
Στις 13/12/2006 σημειώθηκε ισχυρό πρωτονικό γεγονός, με την ροή των καταγεγραμμένων πρωτονίων με ενέργεια > 10 MeV να ξεπερνά τα 1000 pfu

Από το τέλος σχεδόν της 14ης Δεκεμβρίου 2006 και για περίπου 24 ώρες ο δείκτης γεωμαγνητικής δραστηριότητας Kp έφτασε στο ανώτερο όριο του την τιμή 9, ενώ ο έτερος δείκτης Dst έπεσε στην τιμή των -200 nT . Αποδειξίς έντονης γεωμαγνητικής διαταραχής





- Επιδράσεις στο Διαστημικό Περιβάλλον



Πίνακας II:

| Περίπτωση | Ρυθμός Εμφάνισης SEU ($\text{bit}^{-1} \text{s}^{-1}$) |
|-------------|---|
| M=1 | $6.73\text{E-}07 \pm 0.01\text{E-}07$ |
| M=3 | $1.33\text{E-}06 \pm 0.23\text{E-}06$ |
| M=5 | $1.81\text{E-}05 \pm 0.32\text{E-}05$ |
| M=7 | $1.07\text{E-}04 \pm 0.19\text{E-}04$ |
| M=12 | $1.35\text{E-}02 \pm 0.24\text{E-}02$ |



Η πιθανότητα εμφάνισης Μεμονωμένων Επιδράσεων (SEE) είναι αρκετά αυξημένη αυτή την περίοδο



- Η αύξηση ευαισθησίας των μικρο-ηλεκτρονικών συστημάτων σε διαστημόπλοια, δορυφόρους και αεροπλάνα καθιστά αδύνατη την ολική αποφυγή των κινδύνων από τις επιδράσεις των κοσμικών ακτινοβολιών.
- Η πρόγνωση της έντασης, της ενέργειας και της σύνθεσης των κοσμικών ακτίνων αποτελεί επιστημονική πρόκληση καθώς επηρεάζεται τόσο από τις γεωμαγνητικές μεταβολές όσο και από την διείσδυση των ακτίνων αυτών μέσα στη μαγνητόσφαιρα
- Το Διεθνές Κέντρο Λήψης & Επεξεργασίας Δεδομένων Μετρητών Νετρονίων της Αθήνας (ANMODAP Center), κατέγραψε επιτυχώς όλες τις μεταβολές που σημειώθηκαν κοντά στο τέλος του τωρινού ηλιακού κύκλου από 23 σταθμούς καταμέτρησης κοσμικής ακτινοβολίας καθώς και από δορυφορικά δεδομένα
- Η μεταβλητότητα των συνθηκών στο Διαστημικό περιβάλλον καθιστά την πρόγνωση ανωμαλιών εξαιρετικά δύσκολη. Αυτή είναι και η αιτιολόγηση για την ανάπτυξη ενός ισχυρού προγράμματος Διαστημικού καιρού με στόχο την μοντελοποίηση, την καταγραφή και την πρόγνωση ακραίων φαινομένων ώστε να διασφαλιστεί η βιωσιμότητα των ηλεκτρονικών συστημάτων. Ένα τέτοιο πρόγραμμα έχει ήδη αρχίσει να υλοποιείται στο Πανεπιστήμιο Αθηνών



Ευχαριστώ

Belov A., Eroshenko E., Mavromichalaki H., Oleneva A., Papaioannou A., Mariatos G., Yanke V. (2006): *'Cosmic Ray Modulation in August-September 2005'*, Proceedings of the 20th European Cosmic Ray Symposium

Bentley B. (2006): *'Cosmic Ray Effects'*, Summer School Lecture at the International Center for Theoretical Physics, ICTP

Heynderickx D., Quaghebeur B., Speelman E., Evans H., Daly E. (2000): *'Spacecraft charging models in ESA's Space Environment Information System - SPENVIS'*, online proceedings of the 7th Spacecraft Charging models in ESA's Spacecraft Environment Information Systems

Mavromichalaki H., Souvatzoglou G., Sarlanis C., Mariatos G., Gerontidou M., Papaioannou A., Plainaki C., Tatsis S., Belov A., Eroshenko E., Yanke V. (2005a): *"The new Athens centre on data processing from the neutron monitor network in real time"*, Annales Geophysicae, 23, pp.1-8

Mavromichalaki H., Gerontidou M., Mariatos G., Plainaki C., Papaioannou A., Sarlanis C., Souvatzoglou G., Belov A., Eroshenko E., Yanke V., Tsimomenas S. (2005b): *"Space Weather forecasting at the New Athens Center: The recent events of January 2005"*, IEEE Trans. Nucl. Sci., vol. 52, no 6, pp.2307-2312

Tylka A., Adams J., Boberg P., Brownstein B., Dietrich W., Flueckiger E., Petersen E., Shea M., Smart D., Smith E. (1997): *'CREME96: A revision of the Cosmic Ray Effects on Microelectronics'*, IEEE Trans. Nucl. Sci., vol. 44, no 6, pp. 2150-2160