



Μάθημα Επιλογής: Αστροσωματιδιακή και Κοσμική Ακτινοβολία

ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΚΟΣΜΙΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ:
ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΓΗΙΝΟΥ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ

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

ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΚΟΣΜΙΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

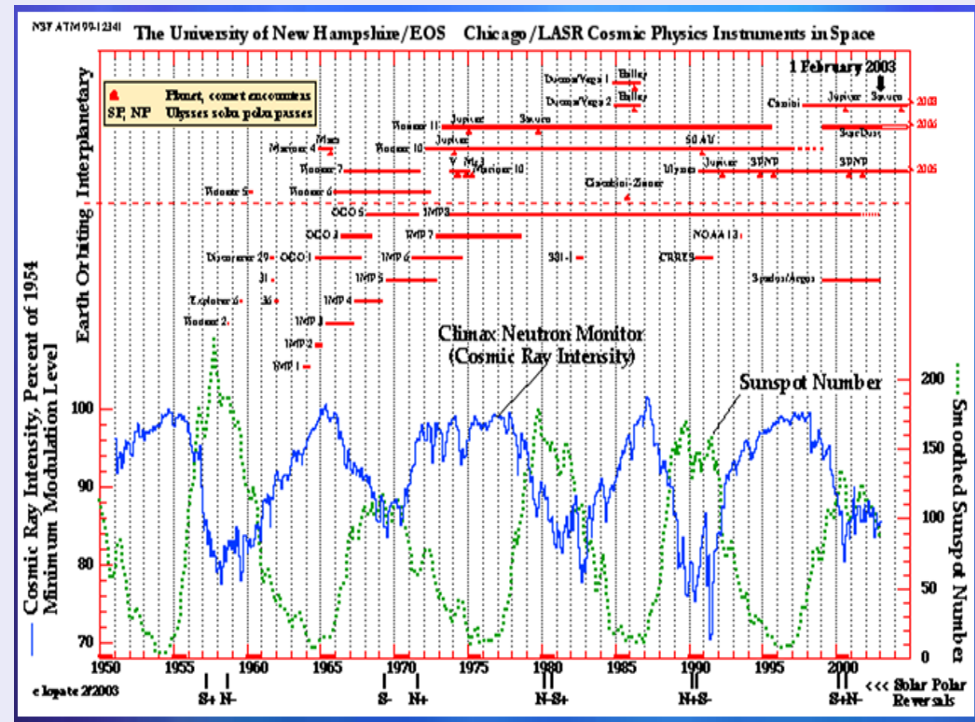
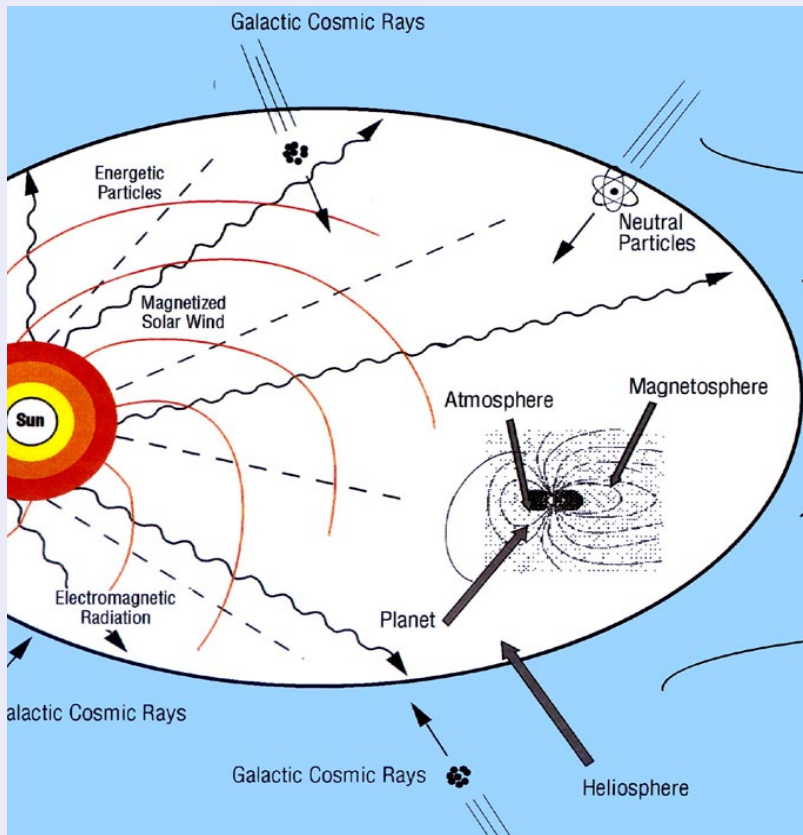
Τα σωματρία της γαλαξιακής κοσμικής ακτινοβολίας περνούν



μέσα από την ηλιόσφαιρα

Ηλιακή Διαμόρφωση

11-ετής κύκλος

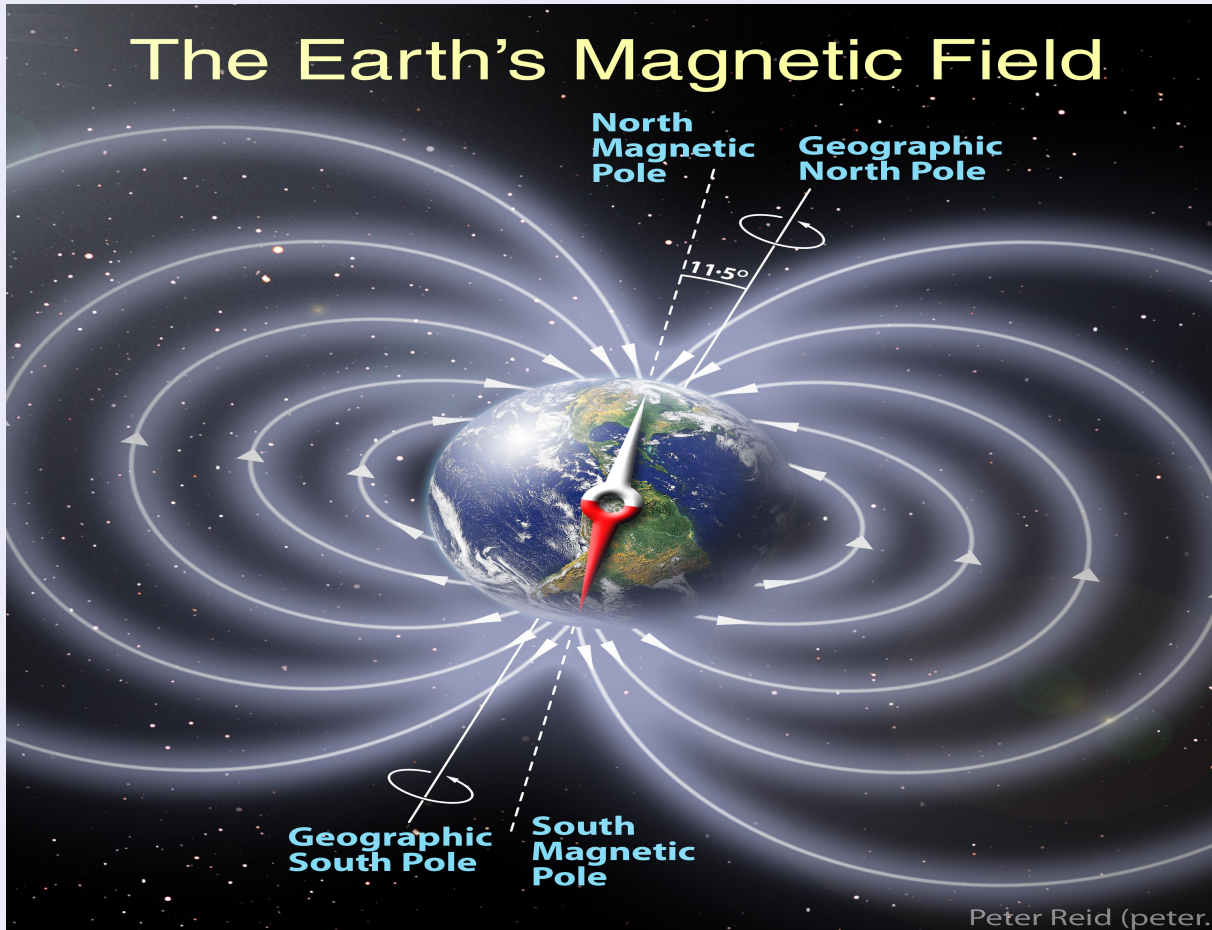


ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΚΟΣΜΙΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Τα σωματία της γαλαξιακής κοσμικής ακτινοβολίας περνούν



μέσα από το μαγνητικό πεδίο της γης

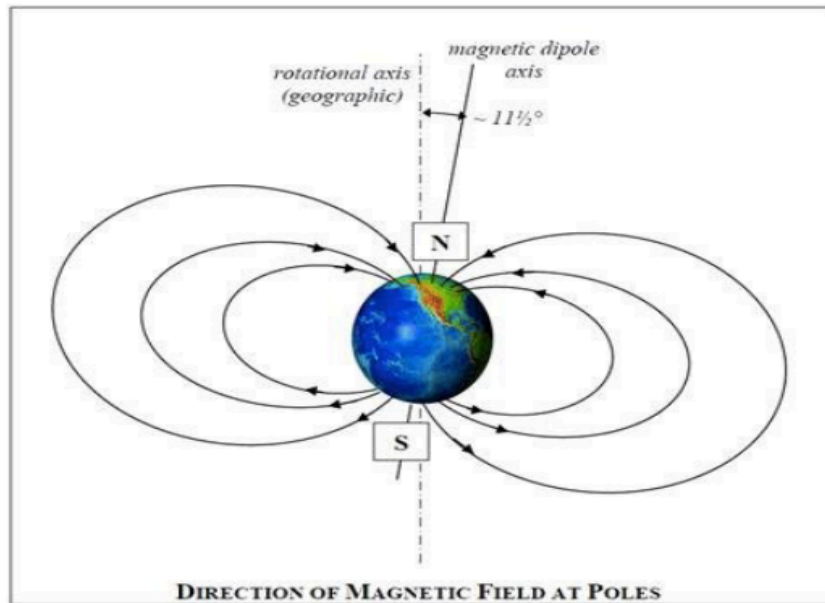


Αποκοπή σωματίων με
δυσκαμψία μικρότερη
του κατωφλίου

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΓΕΩΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ

Το μαγνητικό πεδίο της Γης δρα σαν ένας τεράστιος φασματογράφος μάζας και ενέργειας στα φορτισμένα σωματία της ΚΑ και έτσι χρησιμεύει για τη μελέτη των φαινομένων της ΚΑ.

Dipole model of the Earth's magnetic field



The dipole model is a first order approximation of the rather complex true magnetic field of the Earth.

ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΔΥΣΚΑΜΨΙΑ

Η τροχιά ενός φορτισμένου σωματιδίου το οποίο κινείται μέσα σε ένα μαγνητικό πεδίο χαρακτηρίζεται από το μέγεθος της μαγνητικής του **δυσκαμψίας R** . Αν συμβολίσουμε με p την ορμή του σωματίου, Ze το φορτίο του, και c την ταχύτητα του φωτός τότε η μαγνητική του δυσκαμψία ορίζεται από τη σχέση:

$$R = \frac{cp}{Ze}$$

Σωματίδια με διαφορετική μάζα και φορτίο αλλά με την ίδια δυσκαμψία έχουν την ίδια συμπεριφορά σε οποιαδήποτε διαμόρφωση μαγνητικού πεδίου. Εκφράζοντας τις ενέργειες των σωματιδίων ως συνάρτηση της κινητικής τους ενέργειας ανά νουκλεόνιο, η μαγνητική δυσκαμψία δίνεται από τη σχέση:

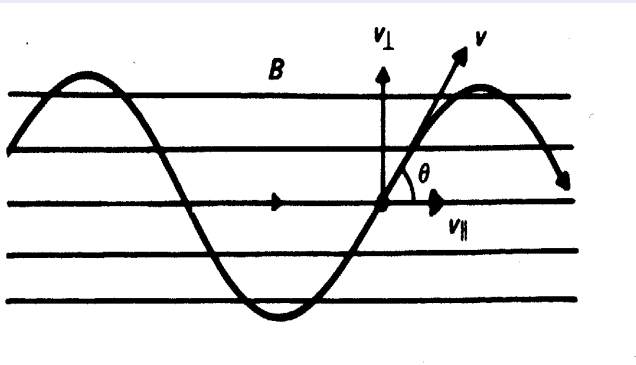
$$R = \left(\frac{A}{Z}\right) \left(\frac{m\gamma uc}{e}\right)$$

Φαίνεται ότι για σωματίδια με την ίδια κινητική ενέργεια η μαγνητική δυσκαμψία εξαρτάται από το λόγο A/Z . Για τα στοιχεία μέχρι και το Fe, ο λόγος αυτός είναι ίσος προς 2 και για το λόγο αυτό, όλα τα στοιχεία παρουσιάζουν την ίδια συμπεριφορά και το ίδιο ενεργειακό φάσμα.

ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΔΥΣΚΑΜΨΙΑ

Φορτισμένο σωματίδιο Ze σε στατικό μαγνητικό πεδίο B

$$\gamma m_0 \frac{d\vec{v}}{dt} = Ze (\vec{v} \times \vec{B}) \quad v_{\parallel} \parallel B \quad v_{\parallel} \text{ constant}$$



$$\frac{v_{\perp}^2}{r} = \frac{zev_{\perp} B}{m_0 \gamma} \Rightarrow r = \frac{m_0 \gamma v \sin \theta}{zeB} \Rightarrow r = \frac{pc \sin \theta}{ze Bc}$$

Κίνηση με σταθερή ταχύτητα κατά μήκος του B
Κυκλική με σταθερή γωνιακή ταχύτητα ω γύρω από το B με γωνία θ

$$\omega_g = \frac{v \sin \theta}{r} = \frac{zeB}{m_0 \gamma}$$

Τροχιά ελικά ακτίνας r_g (larmor)

ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΔΥΣΚΑΜΨΙΑ

$$r = \frac{pc \sin \theta}{ze Bc}$$

Ιδια δυσκαμψία---Ομοιες τροχιές

Ιδια ορμή ή E και διαφορετικά φορτία -----ανόμοιες τροχιές



Μαγνητική Δυσκαμψία R

ποσότητα μετρά το την ακτίνα κυκλότρου σε ένα δεδομένο μαγνητικό πεδίο, και είναι επομένως ένας δείκτης της ευαισθησίας του σωματιδίου, ανεξαρτήτως του φορτίου η της μάζας του, με το μαγνητικό πεδίο.

$$R = \frac{1}{ze} \sqrt{E_k^2 + 2E_k E_o}$$

L. Mirischishenko, 2001)

ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΔΥΣΚΑΜΨΙΑ

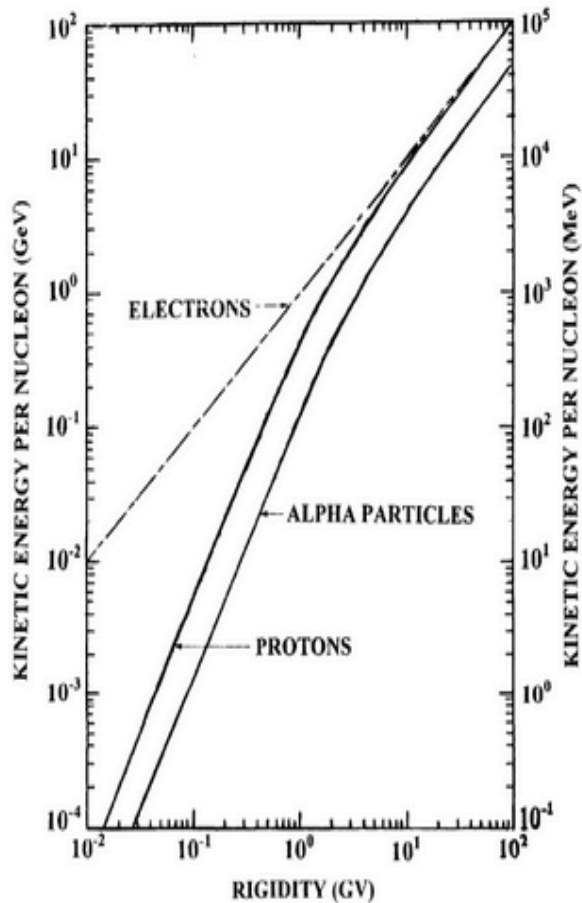


Figure 2.1. Conversion from magnetic rigidity, R (GV), to kinetic energy, E_k (GeV), per nucleon, for electrons, protons and alpha particles (Shea and Smart, 1993).

$R=f(E)$ εξάρτηση απο το είδος σωματιδίου
Για p with $R > 10$ GV
ταυτιζονται
Για p with $R > 1$ GV $E = 433$ MeV

Όταν ταχύτητα κάθετη στο B τότε:

ΙΣΧΥΕΙ ΓΙΑ ΣΩΜΑΤΙΑ ΜΕ

$$E_{\text{κιν}} \gg E_0$$

$$R = B \cdot r$$

Για $E > 10^7 \text{ eV} \rightarrow E = 300 \cdot B \cdot r$

$R_c = \frac{M}{r^2} \cos^4 \lambda$

↑ eV ↑ Gauss ↑ cm

Κατώφλι δυσκαμψιας συναρτηση της ζενιθιακης και αζιμουθιακής γωνίας που φτανουν τα σωματια.

Κατακόρυφο κατώφλι δυσκαμψιας εξαρτάται απο το πλάτος

$$R_c = \frac{M}{r^2} \cos^4 \lambda$$

0 εως 15-17 GeV shielding effect

ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΔΥΣΚΑΜΨΙΑ

Μερικά παραδείγματα των ακτίνων κυκλοτρονίου στον Ήλιο, τη Γη και κοντά στην επιφάνεια της Γης (RE: ακτίνα της Γης, η ενέργεια και η ταχύτητα αφορούν ένα πρωτόνιο από μια συγκεκριμένη δυσκαμψία).

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.1

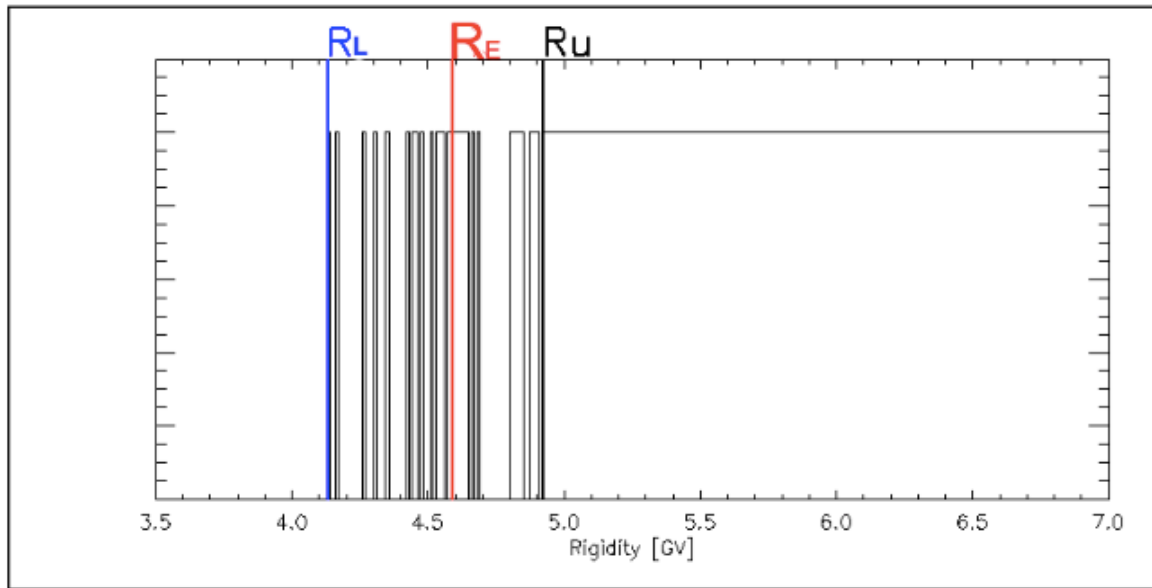
Magnetic rigidity	Kinetic energy	Speed [% of c]	Cyclotron radius		
			Corona (10 mT)	Interplanetary 1 AU (5 nT)	Earth (surface; 30 μT)
1 GV	0.43 GeV	73%	330 m	$6.6 \times 10^8 \text{ m} \approx 100 R_E$	$1.1 \times 10^5 \text{ m} \approx 0.017 R_E$
5 GV	4.1 GeV	98%	1.65 km	$3.3 \times 10^9 \text{ m} \approx 520 R_E$	$5.5 \times 10^5 \text{ m} \approx 0.086 R_E$
20 GV	19.1 GeV	99.8%	6.60 km	$1.3 \times 10^{10} \text{ m} \approx 2100 R_E$	$2.2 \times 10^6 \text{ m} \approx 0.34 R_E$

2.3.2 Φορτισμένα σωματίδια και γήινη μαγνητόσφαιρα

ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΔΥΣΚΑΜΨΙΑ

Περιοχή τιμών : μέγιστο, ελάχιστο, ενεργό κατώφλι.

$$R_E = R_U - N_{allowed} \Delta R$$



Σχήμα 4.1.2: Η περιοχή της παρασκιάς χαρακτηρίζεται από τις τιμές R_L και R_U του χαμηλότερου και του υψηλότερου κατώφλιου δυσκαμψίας αντίστοιχα (σχήμα από Desorgher et al., 2004).

Penumbra:
σωματια με
ενδιαμεση
τιμη ειτε
εχουν
προσβαση
ειτε οχι!

ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΔΥΣΚΑΜΨΙΑ

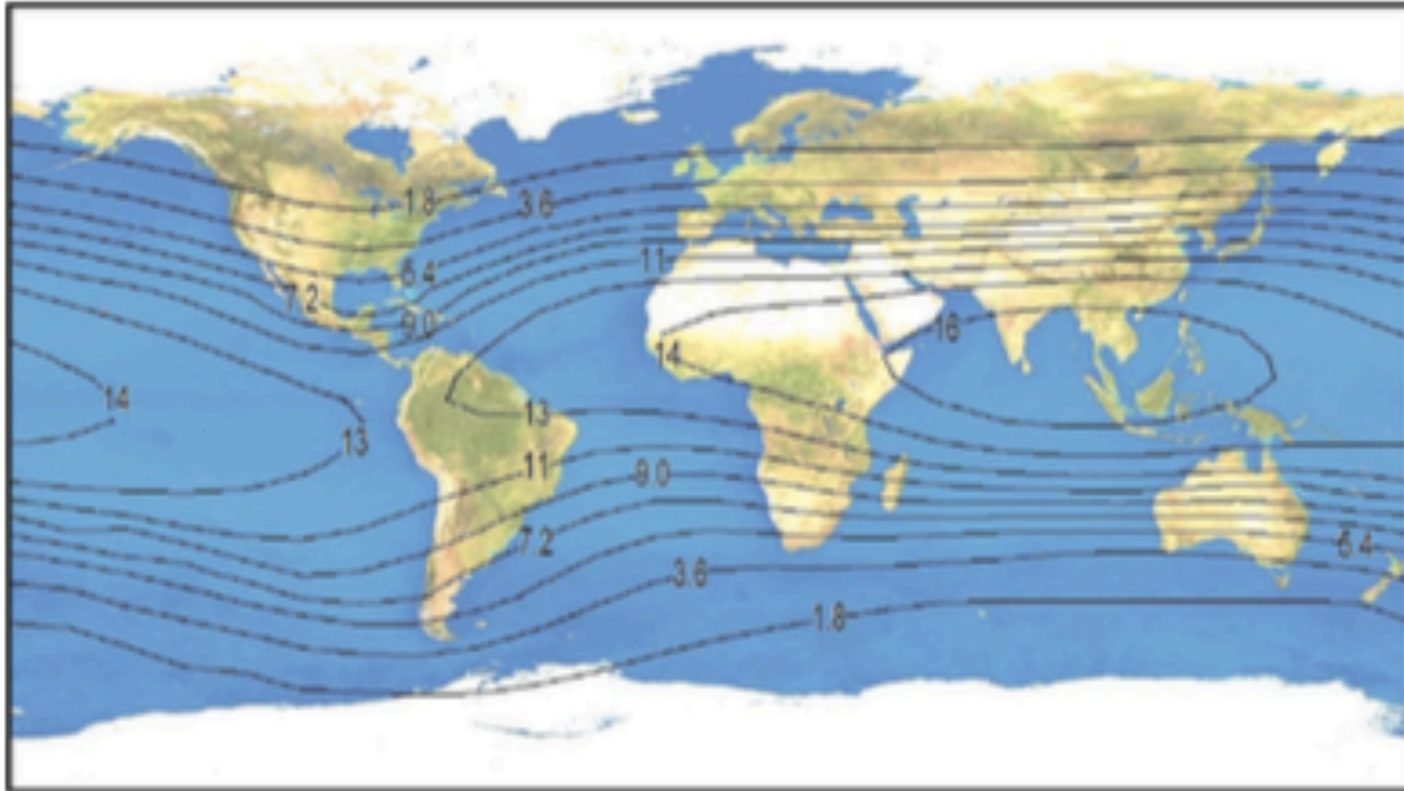


Fig. 4. Map of isodynamic curves of the cut-off rigidity for the year 2020.

M. Gerontidou et al., Ad.Sp.Res. 2020

12 NOV

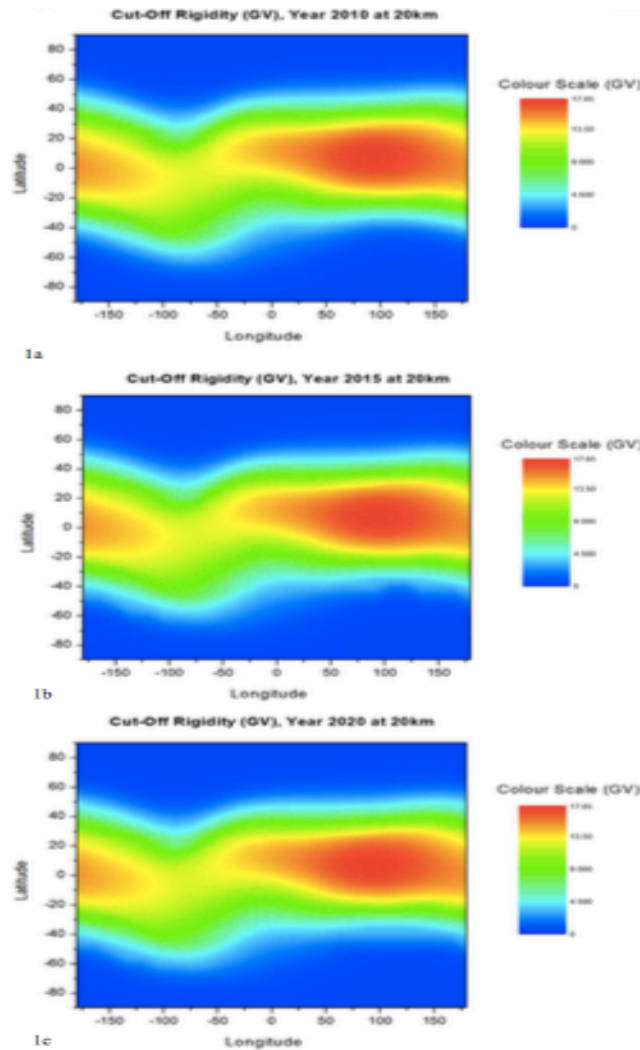


Fig. 1. Contour plot of the geomagnetic cut-off rigidity (a) for the year 2010 (upper panel), (b) for the year 2015 (middle panel) and (c) for the year 2020 (lower panel).

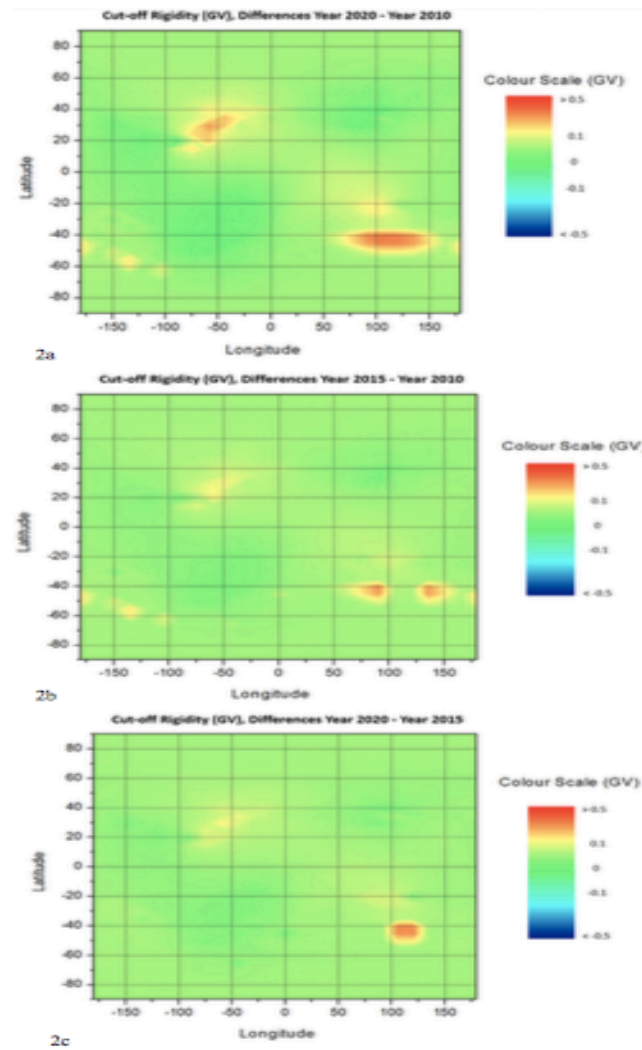
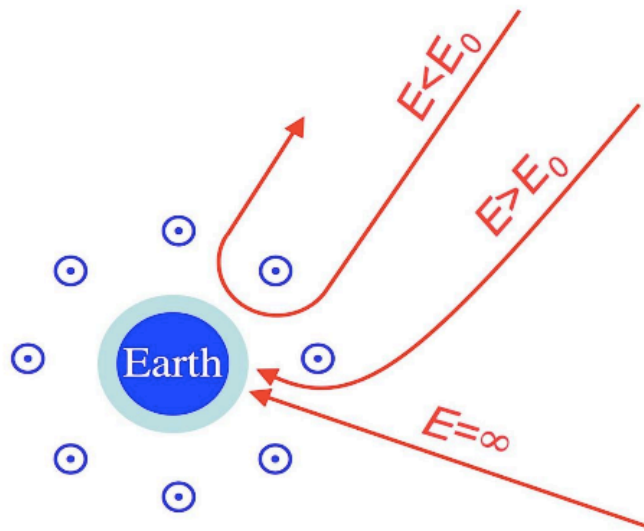


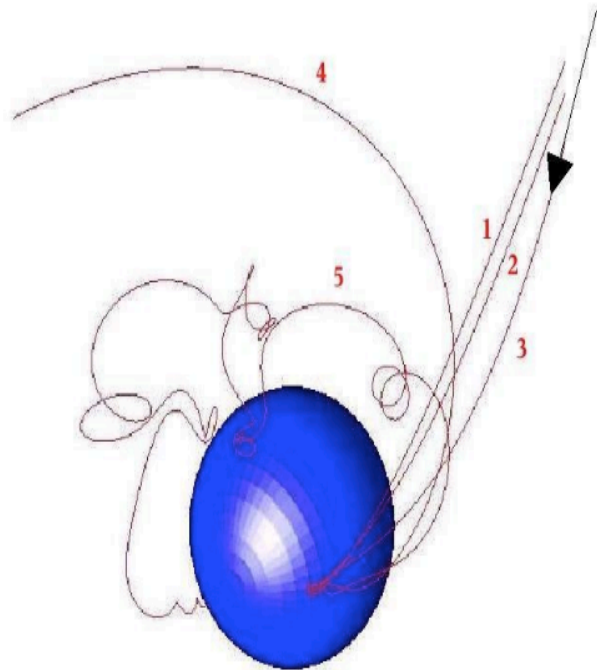
Fig. 2. Contour plot showing the differences in the calculated cut-off rigidities between (a) years 2020 and 2010, (b) years 2015 and 2010 and (c) years 2020 and year 2015.

Απλή θεώρηση: Σωματίδιο Κ.Α. διαδίδεται στο Δ.Χ. χωρίς επιδραση απο διαπλανητικο μαγνητικό πεδίο μεχρι να φτάσει στη γήινη μαγνητοσφαιρα



Σχήμα 2.8: Οι πιθανές τροχιές των σωματιδίων ανάλογα με την ενεργειά τους.
<http://www.nmdb.eu/?q=node/322>

- ✓ E πολύ υψηλή κατά μήκος μιας σχεδόν ευθείας γραμμής μέχρι την ατμόσφαιρα.
- ✓ $E < E_0$, η τροχιά του θα καμφθεί - δε θα φθάσει στην ατμόσφαιρα - πίσω στο Δ.Χ.
- ✓ $E > E_0$ ενέργειες φτάνουν στην ατμόσφαιρα κατά μήκος μιας καμπύλης τροχιάς. Η καμπύλη είναι πιο έντονη όσο χαμηλότερη είναι η έως το γεωμαγνητικό κατώφλι E_0 (όπου κανένα σωματίδιο μπορεί να εισέλθει στην ατμόσφαιρα)



Σχήμα 2.9: Ηλεκτρονικά υπολογισμένες τροχιές για διαφορετικές ενέργειες σωματιδίων (MAGNETOCOSMICS code, L. Desorgher, Univ. Bern).

Αυτό που πραγματικά συμβαίνει εξαρτάται από το πλάτος και την κλίση υπό την οποία το κοσμικό συναντά την μαγνητόσφαιρα: γύρω από τους πόλους είναι μια μικρή περιοχή όπου οι δυναμικές γραμμές είναι λίγο πολύ ακτινωτές.

Αν το σωματίδιο εισέλθει εκεί θα έχει ανεμπόδιστη πρόσβαση στην ατμόσφαιρα. Αν συναντήσει την μαγνητόσφαιρα στο επίπεδο του ισημερινού, χτυπάει το μαγνητικό πεδίο εκεί που η θωράκιση του είναι πιο αποτελεσματική και η ενέργεια κατωφλίου E_0 πιο υψηλή. Σωματίδια με ενέργειες λίγο πιο πάνω από το κατώφλι μπορεί να έχουν μια αρκετά περίπλοκη τροχιά πριν φτάσουν στην ατμόσφαιρα.