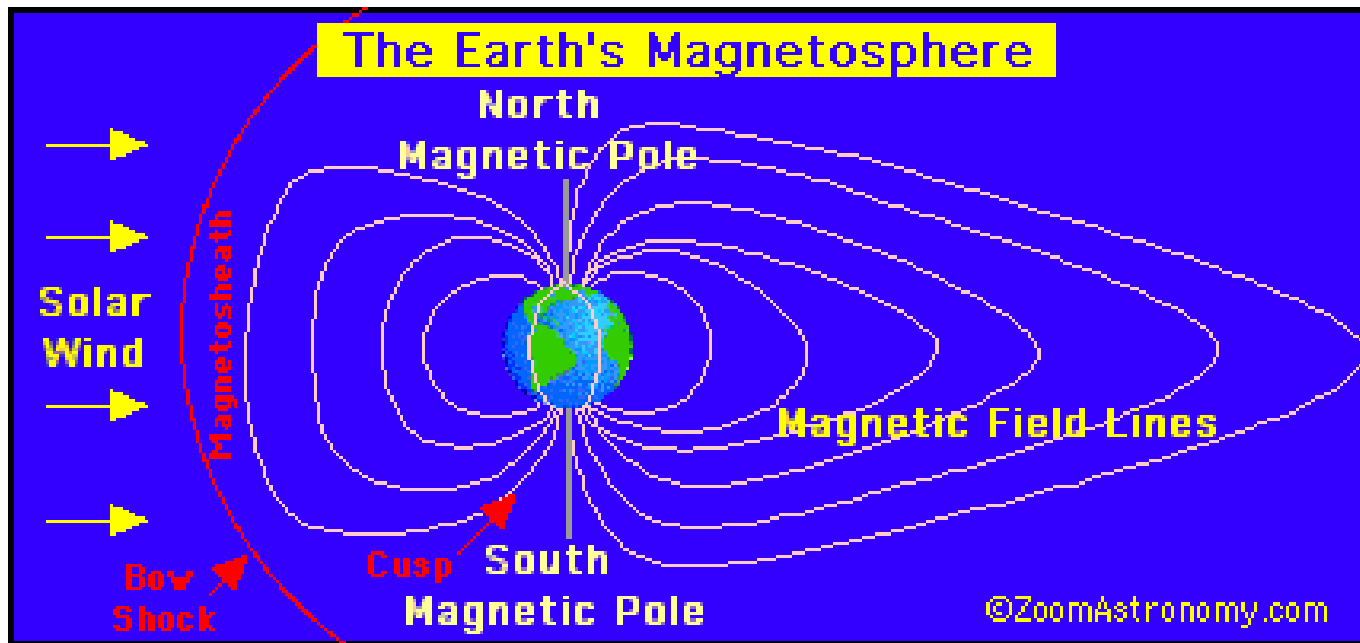


Επίδραση Μαγνητικού Πεδίου

Πεδίο από ηλιακό άνεμο



Τα σωματίδια αυτά επιταχύνονται στα μαγνητικά πεδία του ηλίου και φθάνουν μέχρι την γη όπου ένα μέρος τους παγιδεύεται στο μαγνητικό πεδίο της γης. Τα ηλιακά σωματίδια έχουν μικρές ταχύτητες 300-500 km/s (φθάνουν στη γή μετά από 48 ώρες) και αντίστοιχα μικρές ενέργειες. Όμως είναι μεγάλος ο αριθμός τους $1.5 \times 10^{12} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Τα κινούμενα φορτία δημιουργούν μαγνητικό πεδίο ($B=5 \times 10^{-9} \text{ T}$, $U=10^{-11} \text{ J/m}^3$) το οποίο κάμπτει τις τροχιές των κοσμικών και ελαττώνεται η ροή που φθάνει στη γη.

Βλέπουμε τη μεταβολή της ροής των κοσμικών να ελαττώνεται κατά τα μέγιστα της ηλιακής δραστηριότητας. Η μεταβολή κυμαίνεται στο 20%.

Μεταβολή της ροής που οφείλεται στη ροή
του ηλιακού ανέμου.

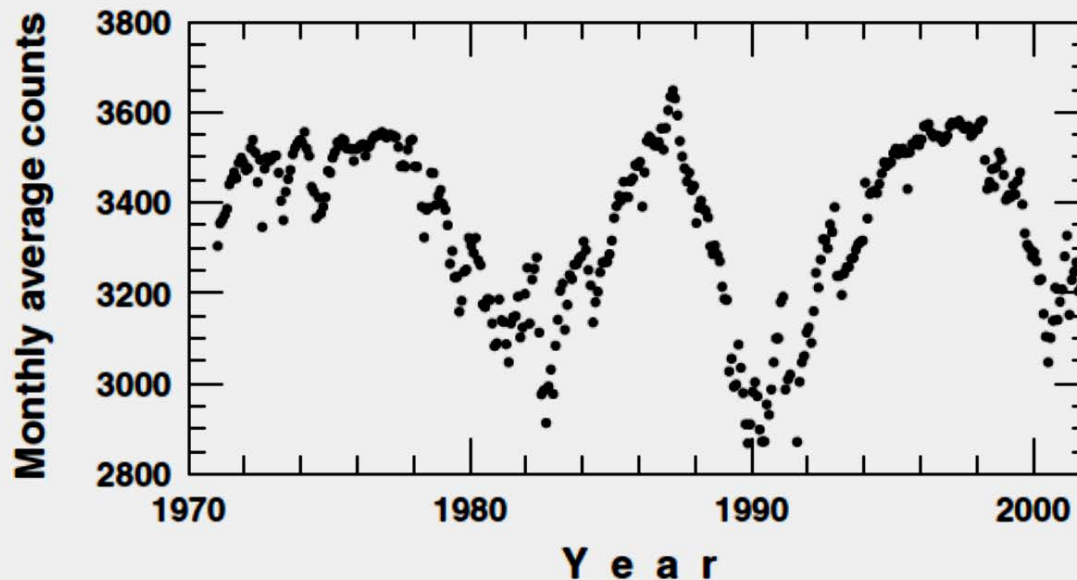
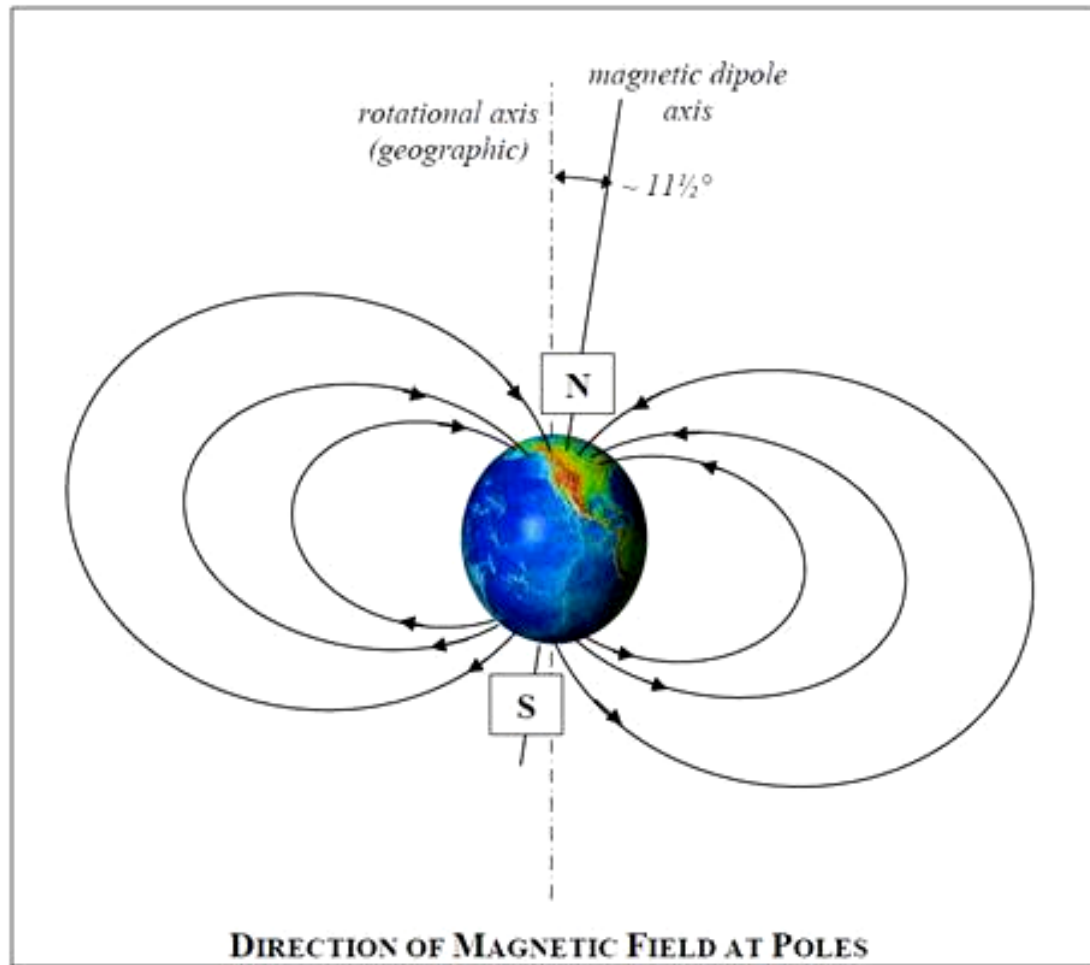


Fig. 5.5. Monthly averages of the counting rate of the Swarthmore/Newark neutron monitor [104]. Note that this is a suppressed zero plot and the variation is of the order of 20%.

Το μαγνητικό δίπολο της γης



Ακτίνα Stormer

Απλός υπολογισμός: Ένα σωματίδιο που κινείται σε ισημερινή τροχιά σε πεδίο μαγνητικού διπόλου: Η κεντρομόλος ισούται με τη δύναμη Laplace

$$z|e|\mathbf{B} \times \mathbf{v} = \frac{mv^2}{r}$$

Όπου ze το φορτίο του σωματιδίου,

B το μαγνητικό πεδίο του διπόλου στο ισημερινό επίπεδο:

$$B = \left(\frac{\mu_0}{4\pi} \right) \frac{M}{r^3}$$

Η τροχιά που προκύπτει :

Ονομάζεται ακτίνα Stormer.

$$r_S = \left[\left(\frac{\mu_0}{4\pi} \right) \frac{Mz|e|}{p} \right]^{1/2}$$



Υπολογισμός

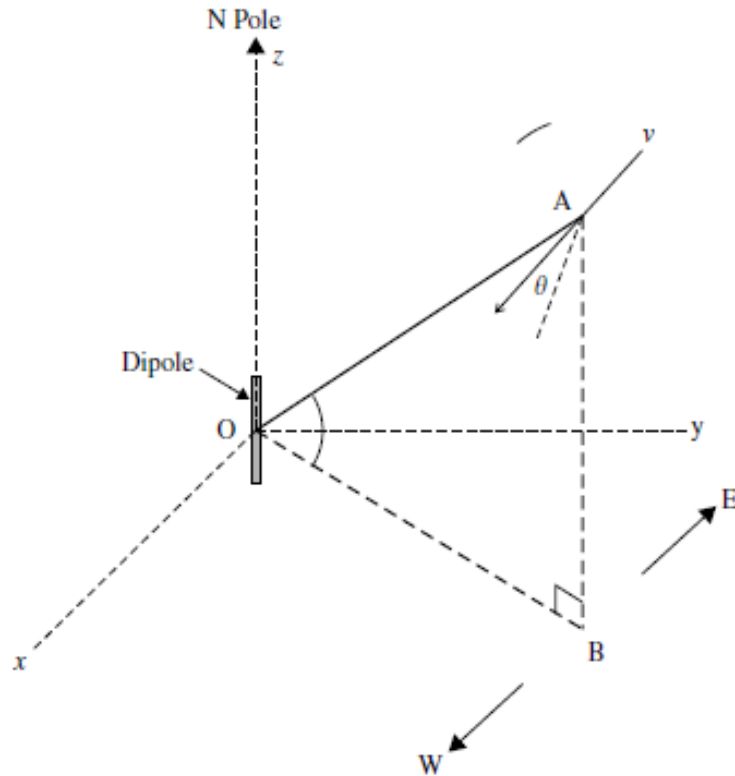
Η ελάχιστη ορμή για ένα σωματίο για να γίνει η ακτίνα ίση με την ακτίνα της γης, είναι

$$\frac{pc}{z} = \left(\frac{\mu_0}{4\pi} \right) \frac{Mc |e|}{r_E^2} = 59.6 \text{ GeV}$$

Όταν το γεωγραφικό πλάτος είναι λ και η γωνία της ταχύτητας με την προβολή του στο μεσημβρινό επίπεδο είναι θ (σε συντεταγμένες του διπόλου) το b είναι παράμετρος κρούσης. Το r μετριέται σε μονάδες Stormer.

$$b = r \sin \theta \cos \lambda + \frac{\cos^2 \lambda}{r}$$

Σύστημα Συντεταγμένων



Όταν το γεωγραφικό πλάτος είναι λ και η γωνία της ταχύτητας με την προβολή του στο μεσημβρινό επίπεδο είναι θ (σε συντεταγμένες του διπόλου) το b είναι παράμετρος κρούσης. Το r μετριέται σε μονάδες Stormer.

$$b = r \sin \theta \cos \lambda + \frac{\cos^2 \lambda}{r}$$

Fig. 9.4 Coordinate system and variables describing a particle A with velocity $\mathbf{v}$ in the field of a dipole M at O. θ is the angle between the velocity vector $\mathbf{v}$ of the particle and the meridian plane OAB rotating with the particle.



(α)

$$r = \frac{\cos^2 \lambda}{\left[1 + (1 - \sin \theta \cos^3 \lambda)^{1/2}\right]}$$

(β)

$$\frac{pc}{z} = 59.6 r^2 \text{ GeV}$$

Για σωματίδιο που έρχεται
από την κατακόρυφο $\theta=0$ και
η (α) γίνεται $r = \frac{1}{2} \cos^2 \lambda$

Η (β) δίνει:

$$(pc)_{\min} (\theta = 0) = 14.9 z \cos^4 \lambda \text{ GeV}$$

Η σχέση για σωματίδια που προσπίπτουν υπό γωνία θ , ο τύπος είναι αρκετά πολύπλοκος. Αν την εφαρμόσουμε στον ισημερινό για σωματίδιο που έρχεται από την ανατολή $\sin\theta = 1$, η ελάχιστη ορμή είναι 59,6 GeV/c και για σωματίδιο που έρχεται από τη δύση $\cos\theta = -1$ και ελάχιστη ορμή 10,2 GeV/c.

Λόγω της σχέσης αυτής η ροή σωματιδίων από τα ανατολικά είναι μικρότερη από εκείνη της δύσης. Το φαινόμενο ονομάζεται Ανατολική-Δυτική ασυμμετρία, και είναι πιο έντονο στο ισημερινό και λιγότερο έντονο στα μεγάλα πλάτη.



Χαρακτηριστικές τιμές

- Σε μαγν. πλάτος $\lambda=50^\circ$ η αποκοπή στην κατακόρυφο θα είναι $pc/z = 1.1 \text{ GeV}$
- Στον μαγν ισημερινό, $\lambda=0$ η κατακόρυφη αποκοπή θα είναι $14,9 \text{ GeV}$.
- Για σωματίδιο που έρχεται από Ανατολικά $\sin\theta=+1$ και η αποκοπή γίνεται $59,6 \text{ GeV}$.
- Για σωματίδιο που έρχεται από Δυτικά $\sin\theta=-1$ και οι (α) και (β) δίνουν 10.2 GeV .

Χάρτης Μαγνητικού Πεδίου της Γης

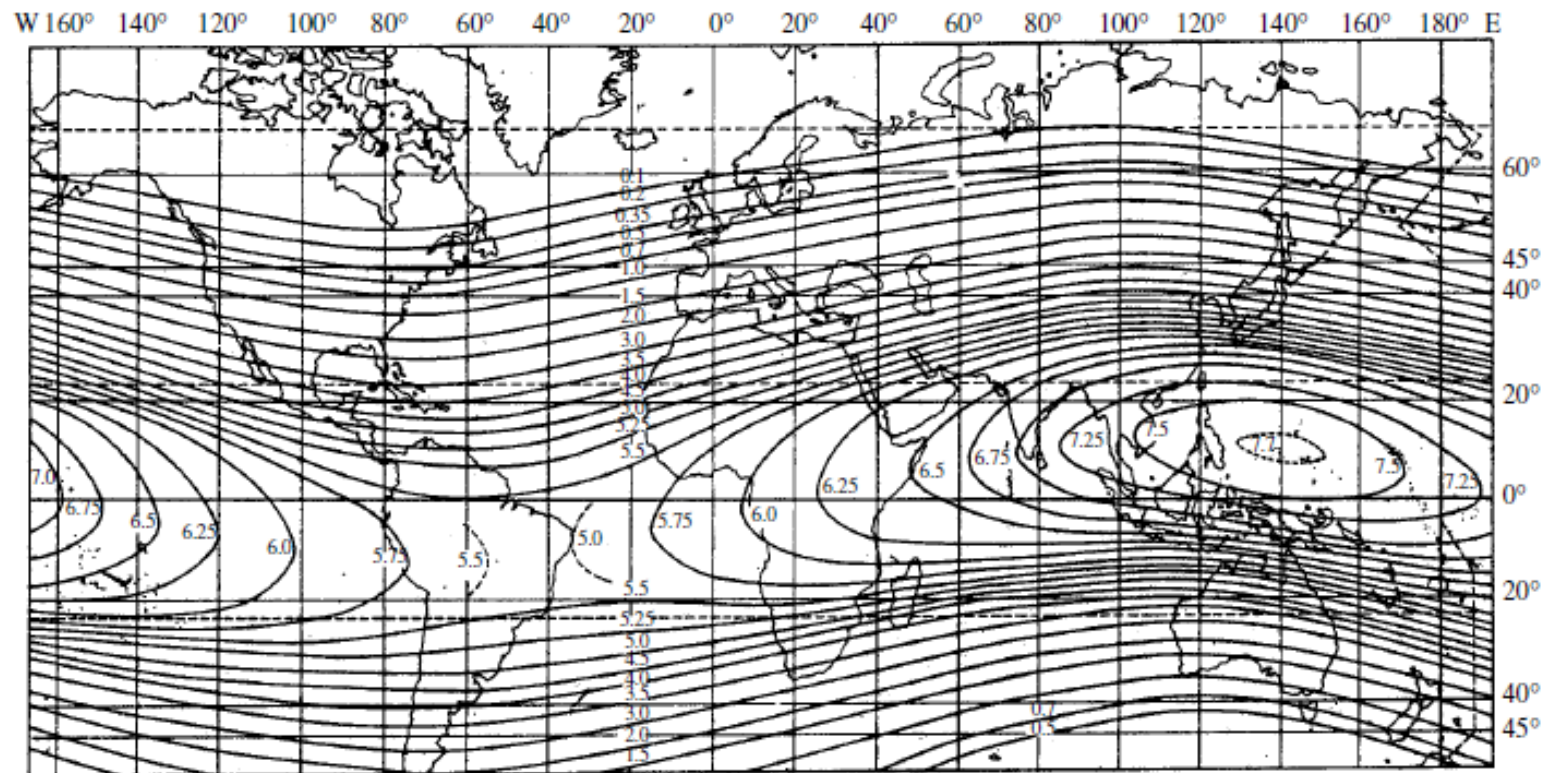


Fig. 9.5 Map of vertical geomagnetic cut-off values, given as kinetic energy in GeV per nucleon, for nuclei with $A = 2Z$. The values were calculated for a displaced dipole field. The maximum cut-off is about 7.7 GeV, or a momentum cut-off of 8.6 GeV/c, per nucleon. For protons the momentum cut-off would then be 17.2 GeV/c, to be compared with the value (9.7) for an undisplaced dipole field (from Webber 1958).

Η ροή των σωματιδίων κάτω από 10 GeV παρουσιάζει ασυμμετρία ως προς τη διεύθυνση. Τα φαινόμενα οφείλονται στο μαγνητικό πεδίο της γης που αλλάζει τη διεύθυνση των φορτισμένων σωματιδίων.

Ο χάρτης του μαγνητικού πεδίου της γης δεν συμπίπτει με τον γεωγραφικό.

Ο Βόρειος μαγνητικός πόλος μετατοπίζεται και η σημερινή θέση του είναι 85.9°N
147.0°W.

Συνήθως το προσεγγίζουμε με ένα μετατοπισμένο μαγνητικό δίπολο δηλ ο άξονας του δεν περνά από το κέντρο της γης. Από τις μετρήσεις προκύπτει ότι τα πεδίο έχει και τετραπολική συνιστώσα.

Στα μεγάλα ύψη το πεδίο επηρεάζεται από το μαγνητικό πεδίο του ηλιακού ανέμου

Στην πράξη όταν χρειάζεται να υπολογίσουμε με ακρίβεια τις τροχιές και τη ροή των σωματιδίων, χρησιμοποιούμε αριθμητικό υπολογισμό. Στο πείραμα KAMIOKANDE υπολόγισαν με ακρίβεια τη ροή των κοσμικών ακτίνων και στη συνέχεια τη ροή νετρίνων που φθάνουν στον ανιχνευτή.

Υπολογισμός κατακόρυφης αποκοπής

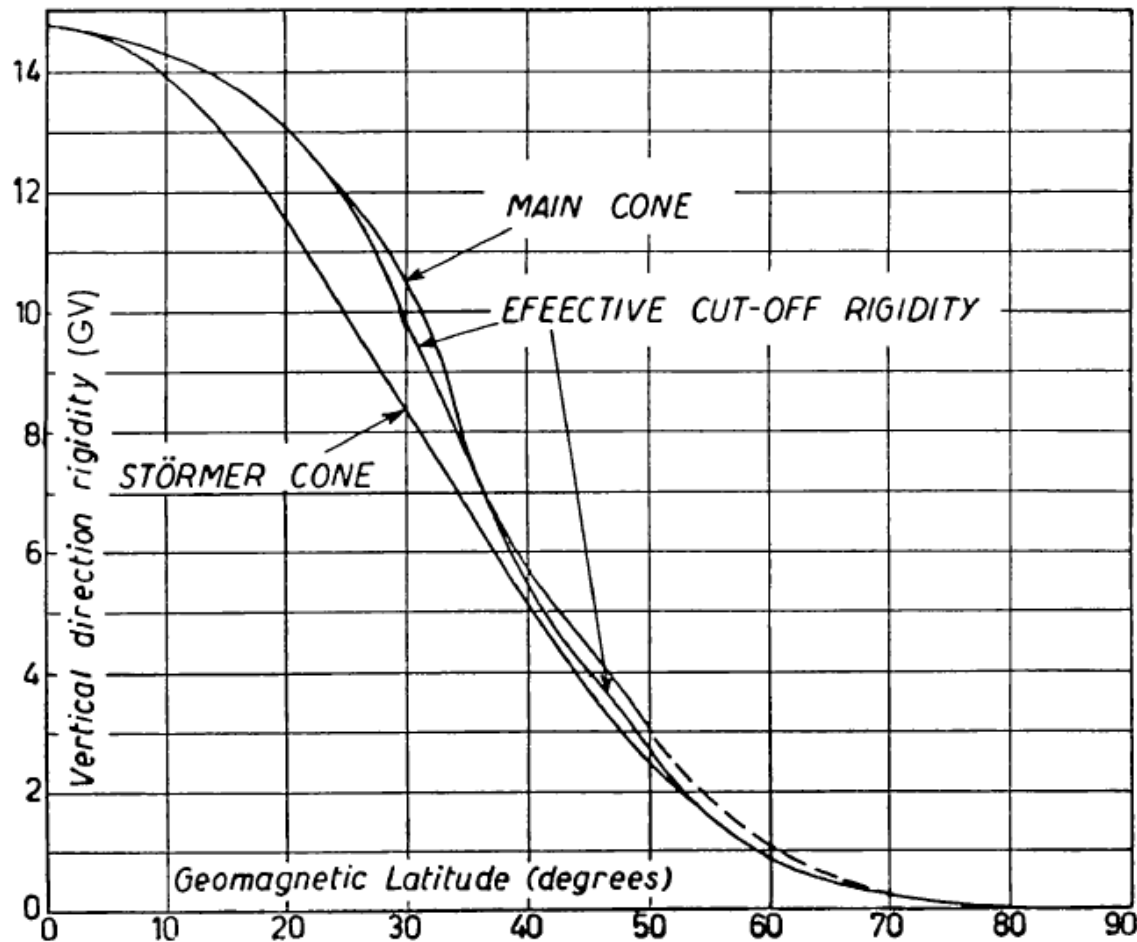
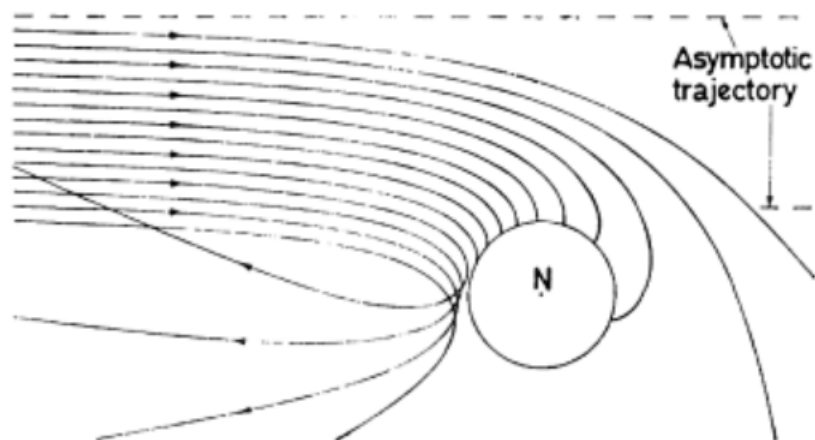


Fig. 2. Dipole cutoffs, including penumbral effects, as determined by SCHWARTZ (1959).

Απόκλιση των θετικών σωματιδίων



Trajectories of 20 GV positively charged particles in the equatorial plane.

Το σχήμα των τροχιών είναι πολύπλοκο!

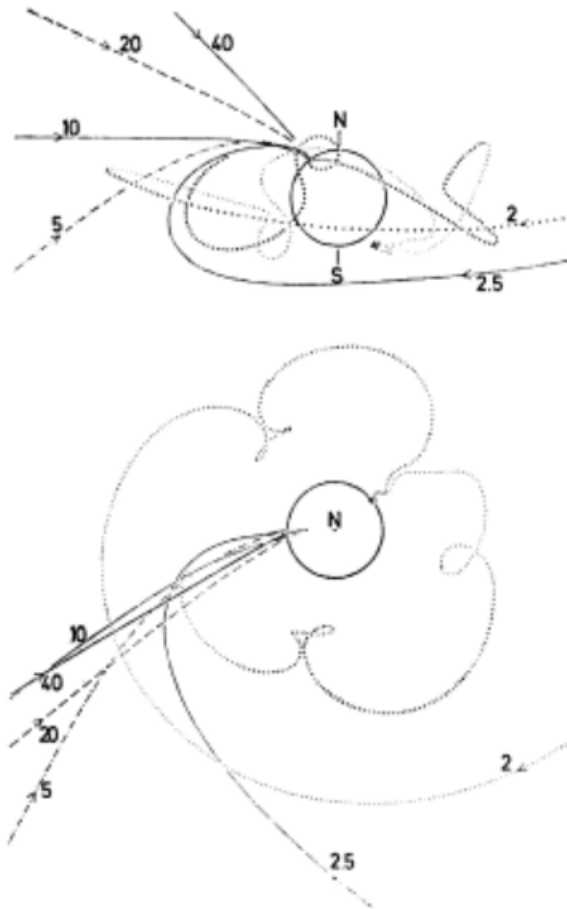


FIG. 7. Projections onto equatorial plane (below) and meridian plane (above) of trajectories (in dipole field) of positively charged particles which arrive vertically at a selected point (53° N). Magnetic rigidities marked in GV.

Ακριβής Υπολογισμός

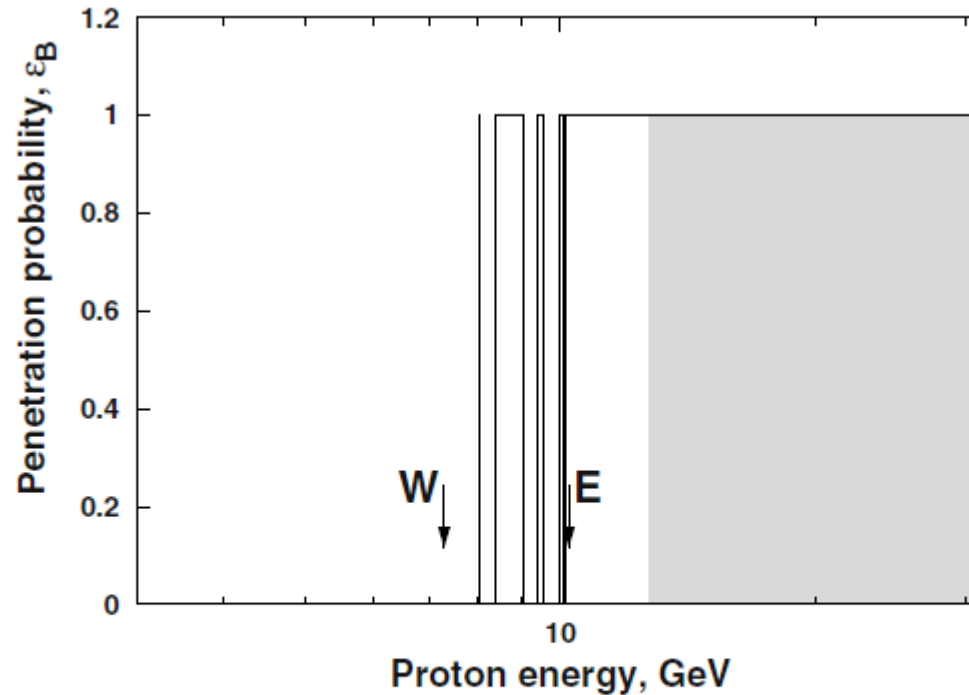


Fig. 5.7. Penetration probability for protons of different energy and with zenith angle of 30 degrees coming from east (shaded area) and from west. The arrows show the Störmer cutoffs.



Συμπέρασμα

- Οι προηγούμενοι υπολογισμοί αφορούν Κ.Α. έξω από την ατμόσφαιρα. Καθώς διασχίζουν την ατμόσφαιρα, τα σωματίδια αντιδρούν και απορροφούνται. Η ροή στη επιφάνεια της γης εξαρτάται κυρίως από την απορρόφηση και η Ανατολική Δυτική ασυμμετρία είναι εμφανής κυρίως σε περιοχές κοντά στον ισημερινό. Ιστορικά, η παρατήρηση της ασυμμετρίας αυτής ήταν η απόδειξη ότι τα σωματίδια που φθάνουν στη γη, είναι φορτισμένα θετικά.

Fredrik Carl Mülertz Størmer

(3 September 1874 – 13 August 1957)



Έλυσε τη διαφορεική εξίσωση της κίνησης φορτίου στο πεδίο μαγνητικού διπόλου, για να ερμηνεύσει το φαινόμενο της Aurora.

Διακεκριμένος Νορβηγός μαθηματικός, μελέτησε τα φαινόμενα που προκαλούνται από τα φορτισμένα σωματίδια στην ατμόσφαιρα.

