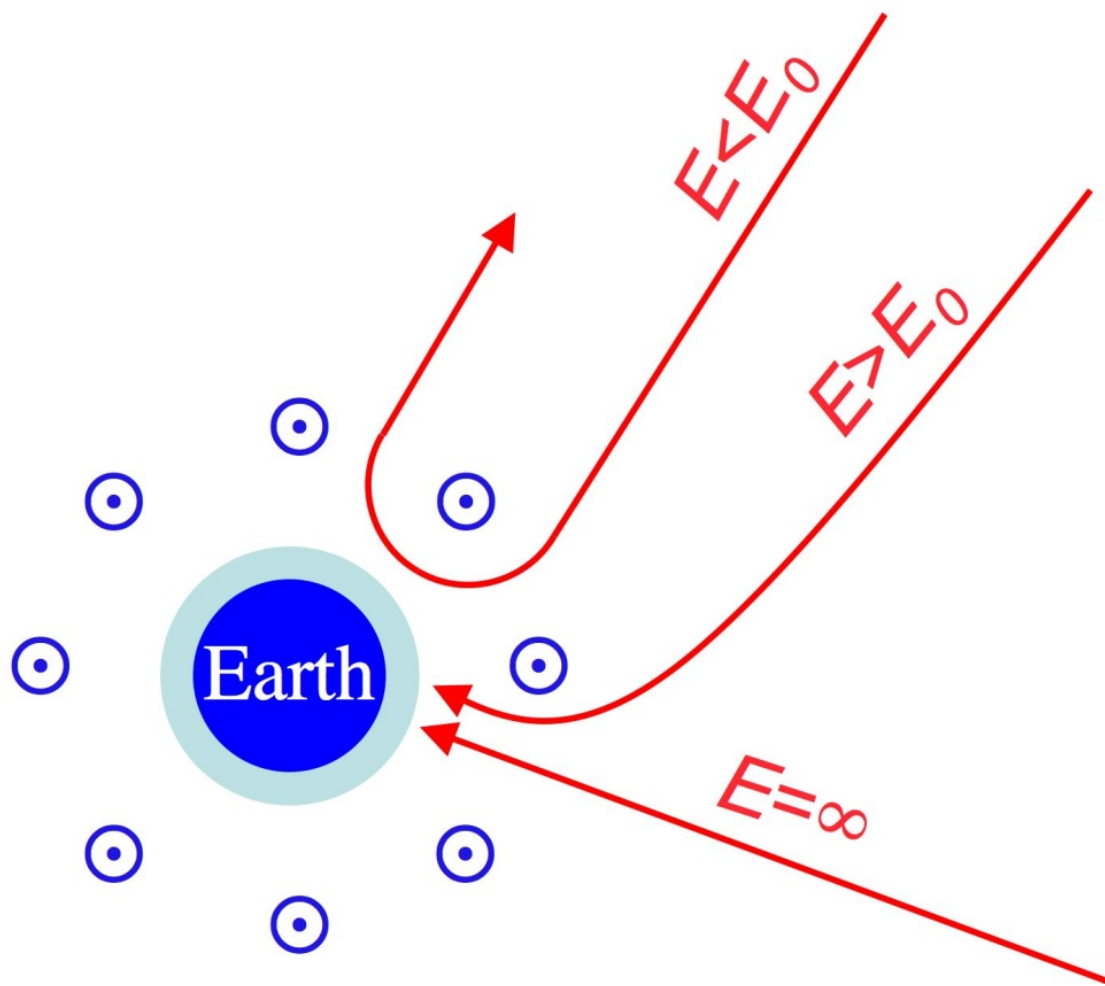


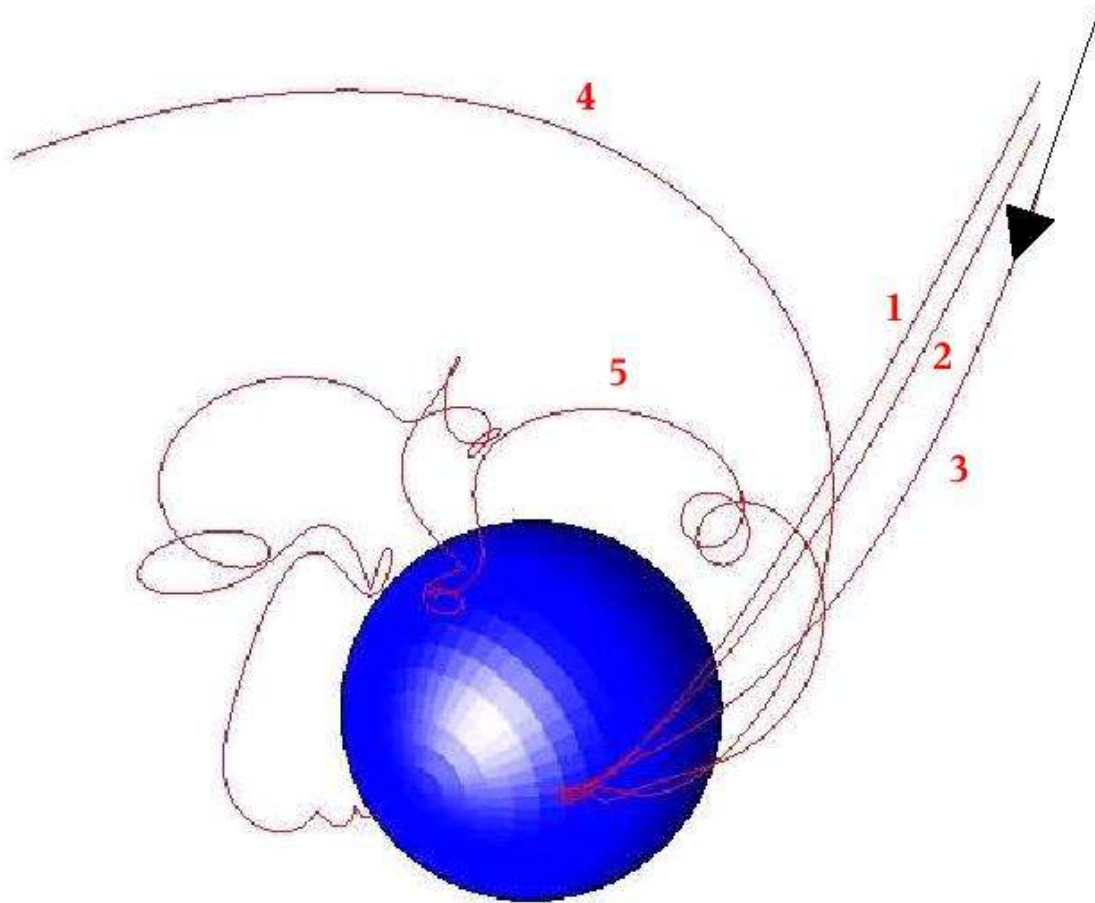
Επίδραση Μαγνητικού Πεδίου

Ανατολική –Δυτική Ασυμμετρία ροής σε χαμηλές ενέργειες.

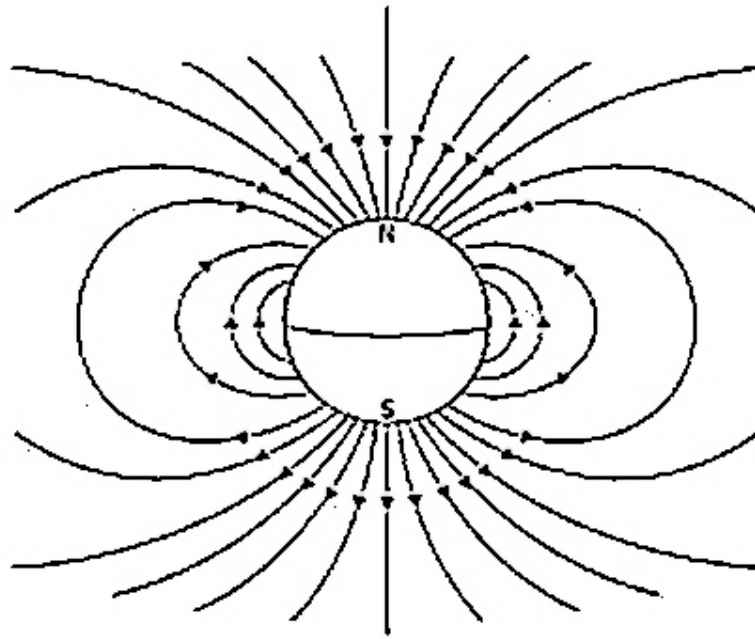
- Παρατηρήθηκε μεταβολή της ροής με το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής όπου γίνεται η μέτρηση, μικρότερες ροές κοντά στον ισημερινό. (Compton 1931-1937)
- Παρατηρήθηκε σε μετρήσεις ροής κοσμικών σαν συνάρτηση της ζενιθιακής γωνίας. Η ερμηνεία δόθηκε από τον Rossi (1931 και αργότερα).
 - ο Οι τροχιές των φορτισμένων σωματιδίων, αποκλίνουν λόγω του μαγνητικού πεδίου της γης.
 - ο Τα σωματίδια μικρής ενέργειας εκτρέπονται και απομακρύνονται από την γη.
 - ο Τα κοσμικά σωματίδια έχουν θετικό φορτίο και γι' αυτό η ροή είναι μικρότερη στα ανατολικά.

Ισημερινό επίπεδο, όψη από Βόρειο Πόλο





Προσέγγιση μαγνητικού διπόλου.



Η γη σαν ιδανικό μαγνητικό δίπολο.

$$M = 8,1 \times 10^{25} \text{ G/cm}^3 = 8,1 \times 10^{27} \text{ T/m}^3$$

λ το (μαγνητικό) γεωγραφικό πλάτος.

$$M = 8,1 \times 10^{22} \text{ Am}$$

$$B_r = -2\mu_0 M \sin \lambda / 4\pi r^3$$

$$B_\lambda = -\mu_0 M \cos \lambda / 4\pi r^3$$

Ακτίνα Stormer

Απλός υπολογισμός: Ένα σωματίδιο που κινείται σε πεδίο μαγνητικού διπόλου στο επίπεδο του μαγνητικού ισημερινού: Η κεντρομόλος ισούται με τη δύναμη Laplace

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

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

Όπου ze το φορτίο του σωματιδίου,

B το μαγνητικό πεδίο του διπόλου στο ισημερινό επίπεδο:

$M =$ η μαγνητική ροπή του διπόλου

$$r^2 = \frac{ze\mu_0 M}{4\pi \gamma m_0 v} = ze \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{M}{p}$$

Η ακτίνα της τροχιάς που προκύπτει :

Ονομάζεται ακτίνα Stormer.

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

Υπολογισμός

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

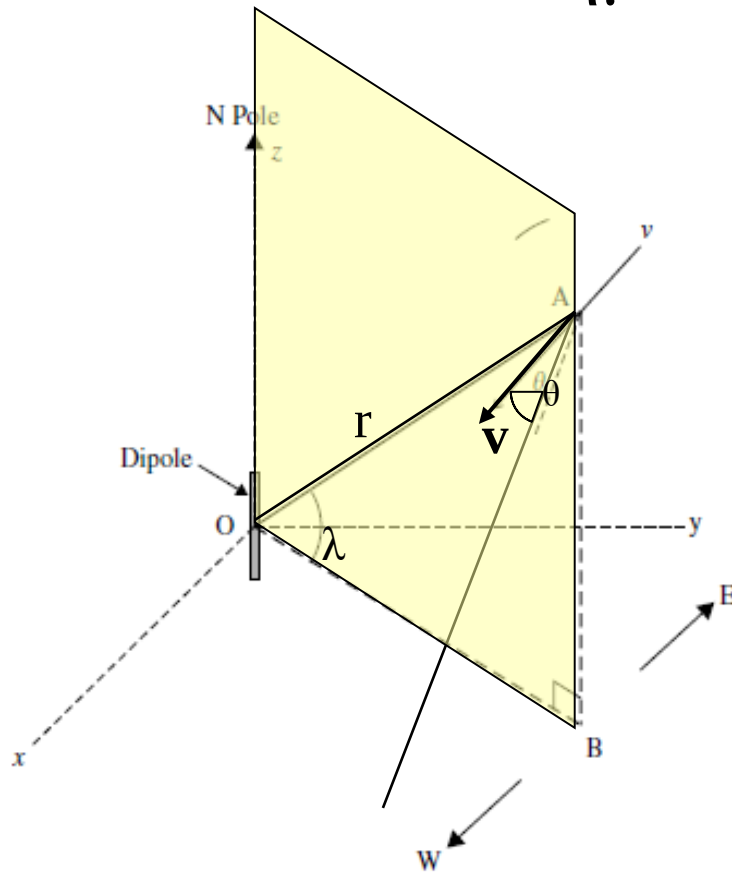
$$\frac{pc}{z} = \left(\frac{\mu_0}{4\pi} \right) \frac{Mc |e|}{r_E^2} = 59.6 \text{ GeV}$$

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 η 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 Ανατολικά $\sin \theta = +1$ και η αποκοπή γίνεται 59,6 GeV.

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

Η (β) δίνει:

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

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

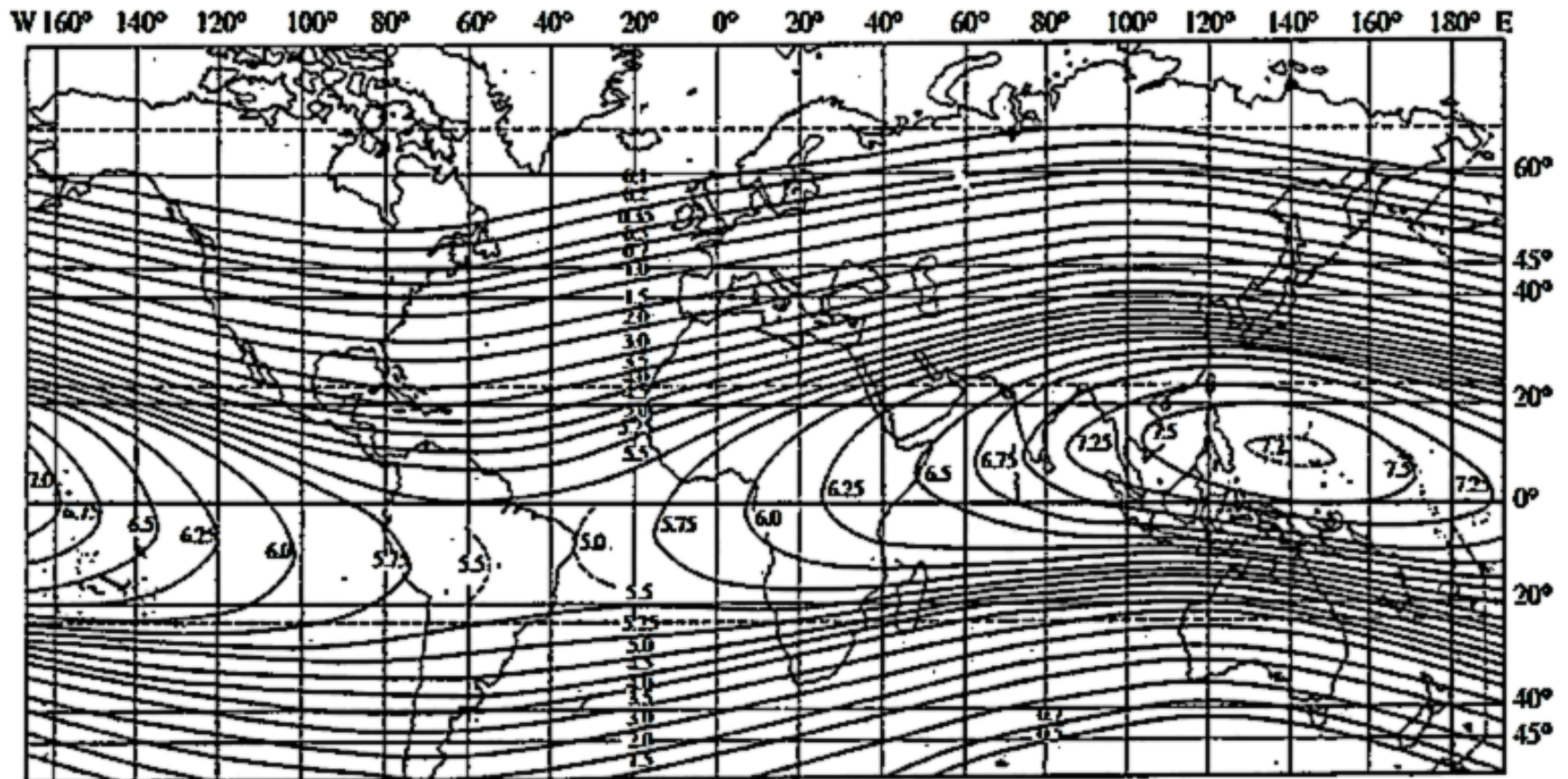


Fig. 9.5 Map of vertical geomagnetic cut-off values, given as kinetic energy in GeV per nucleon, for nuclei with $A = 2Z$. The values were calculated for a displaced dipole field. The maximum cut-off is about 7.7 GeV, or a momentum cut-off of 8.6 GeV/c, per nucleon. For protons the momentum cut-off would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

Υπολογισμός κατακόρυφης αποκοπής

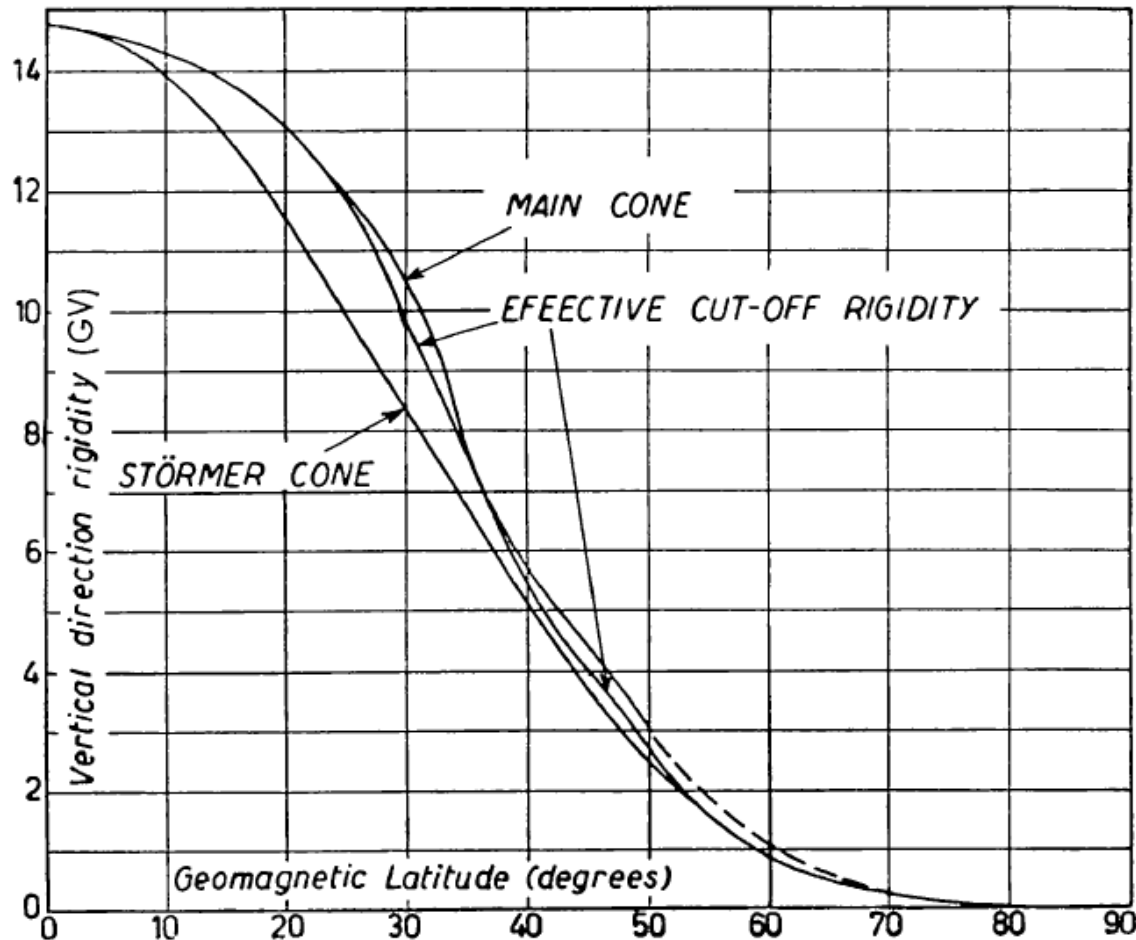
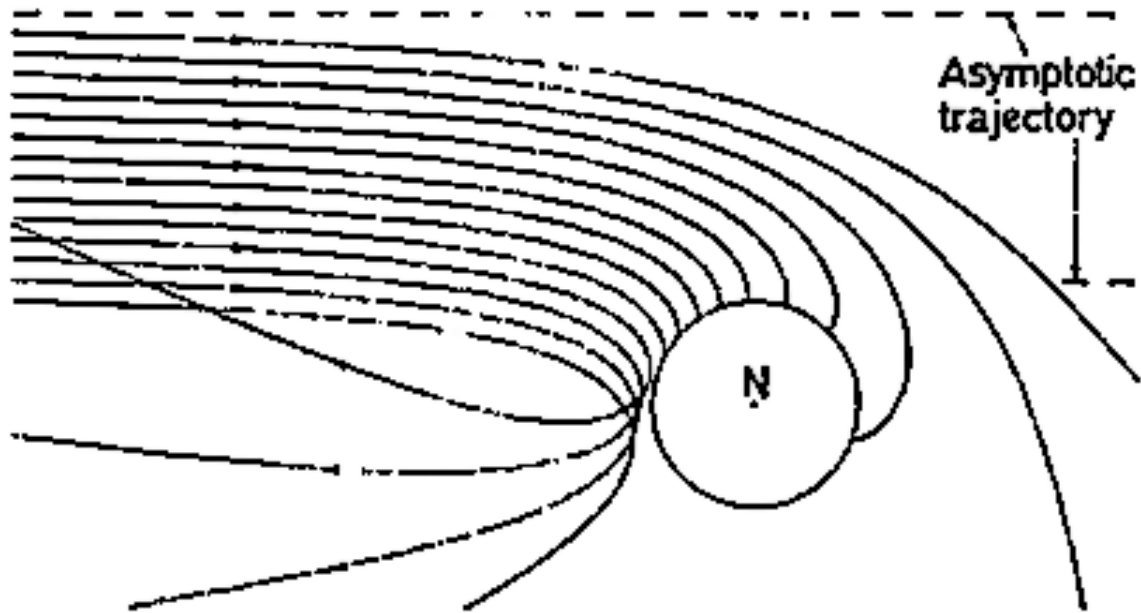


Fig. 2. Dipole cutoffs, including penumbral effects, as determined by SCHWARTZ (1959).

Απόκλιση των θετικών σωματιδίων



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

Το σχήμα των τροχιών είναι πολύπλοκο!

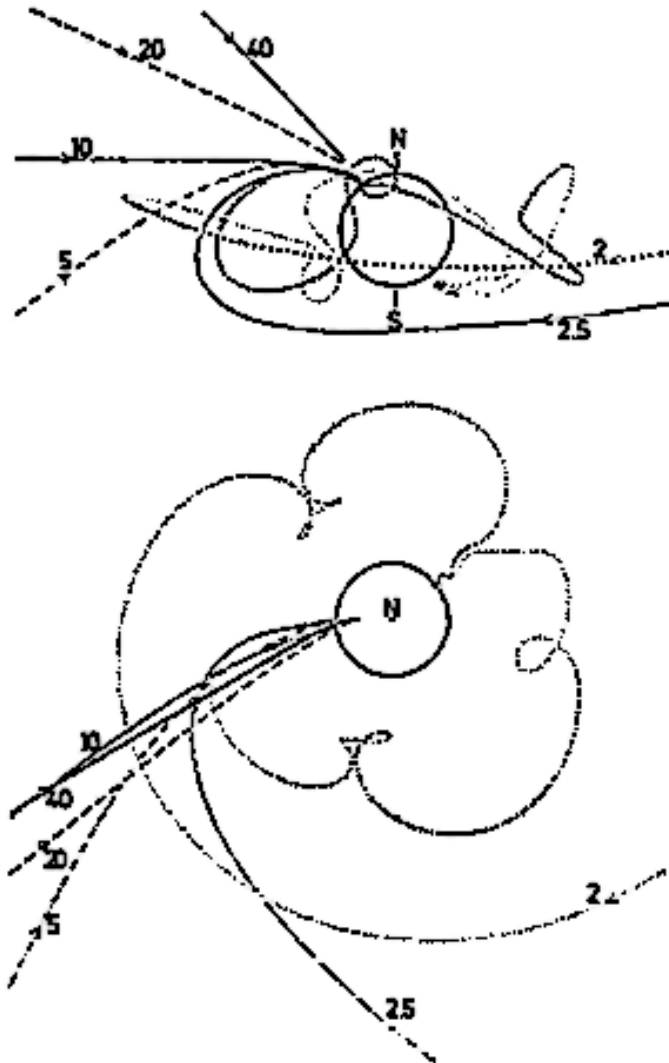
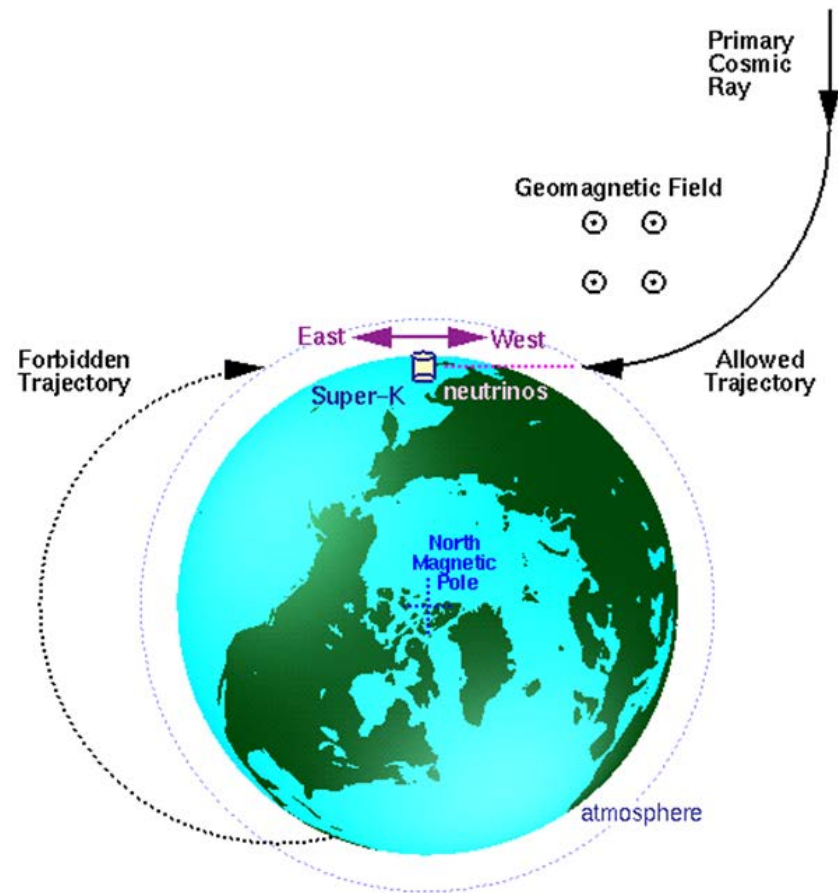


FIG. 7. Projections onto equatorial plane (below) and meridian plane (above) of trajectories (in dipole field) of positively charged particles which arrive vertically at a selected point (53° N). Magnetic rigidities marked in GV.

Πείραμα KAMIOKANDE



Στο Πείραμα KAMIOKANDE για τον ακριβή υπολογισμό της ροής των νετρίνων που παράγονται στην ατμόσφαιρά, μελέτησαν με ακρίβεια την επίδραση του μαγνητικού πεδίου της γης.

Ακριβής Υπολογισμός

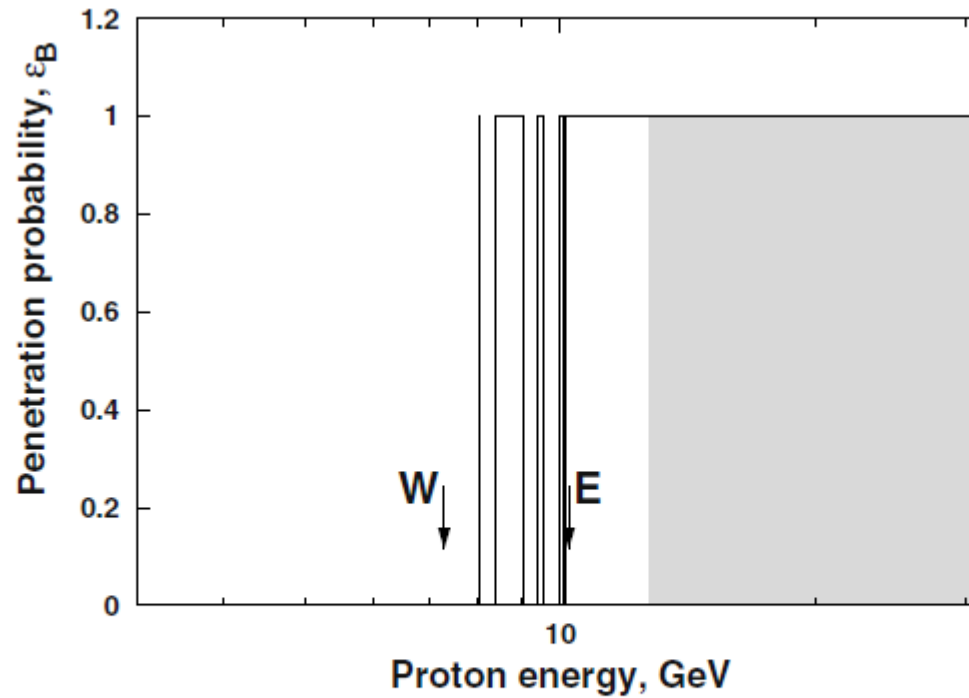
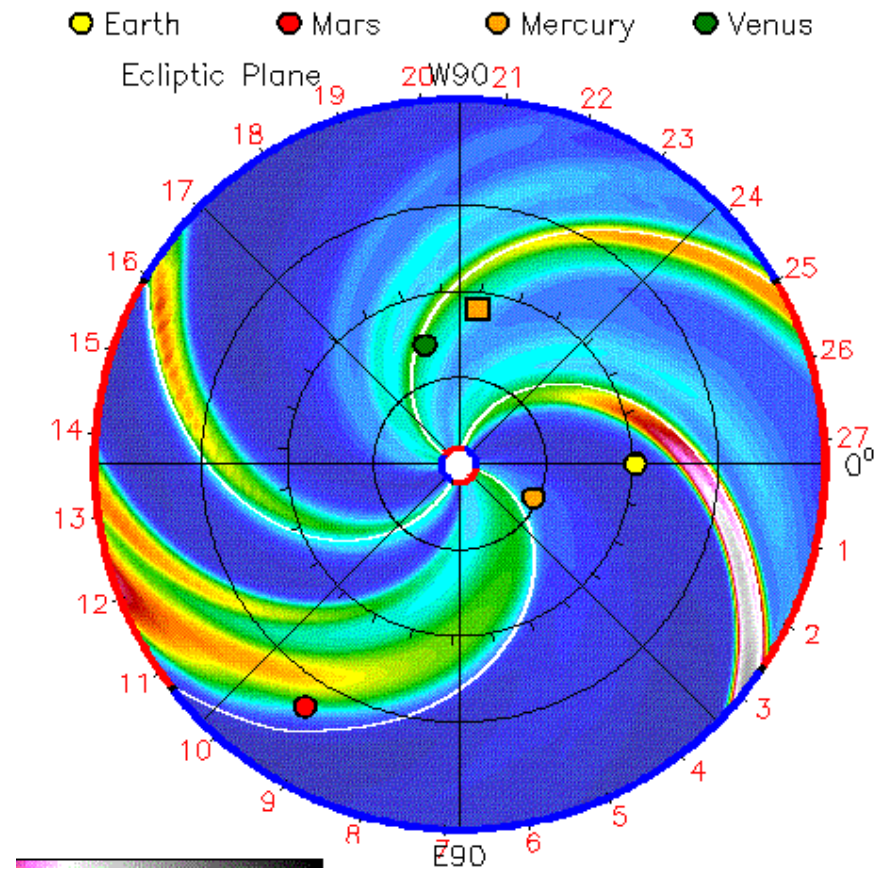
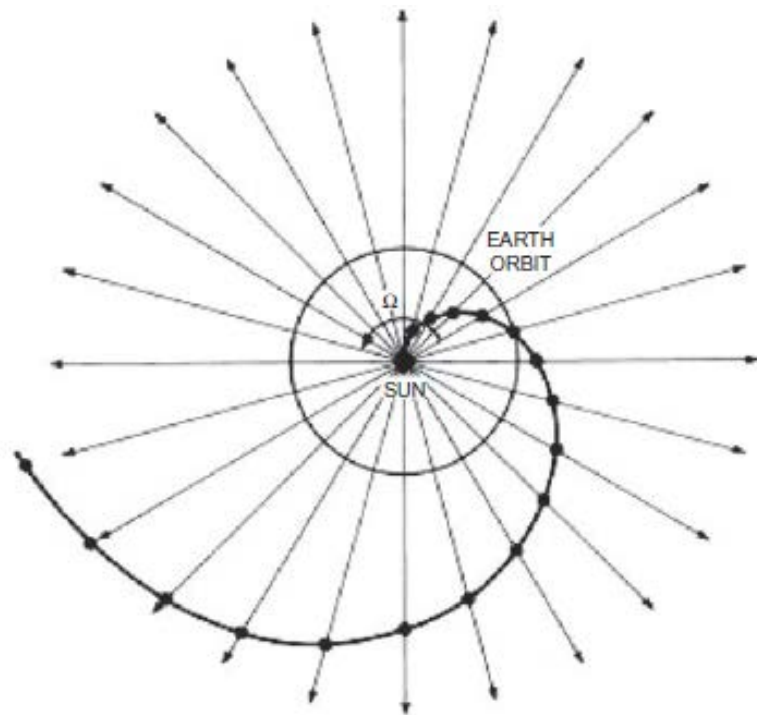


Fig. 5.7. Penetration probability for protons of different energy and with zenith angle of 30 degrees coming from east (shaded area) and from west. The arrows show the Störmer cutoffs.

Επίδραση Ηλιακής Δραστηριότητας

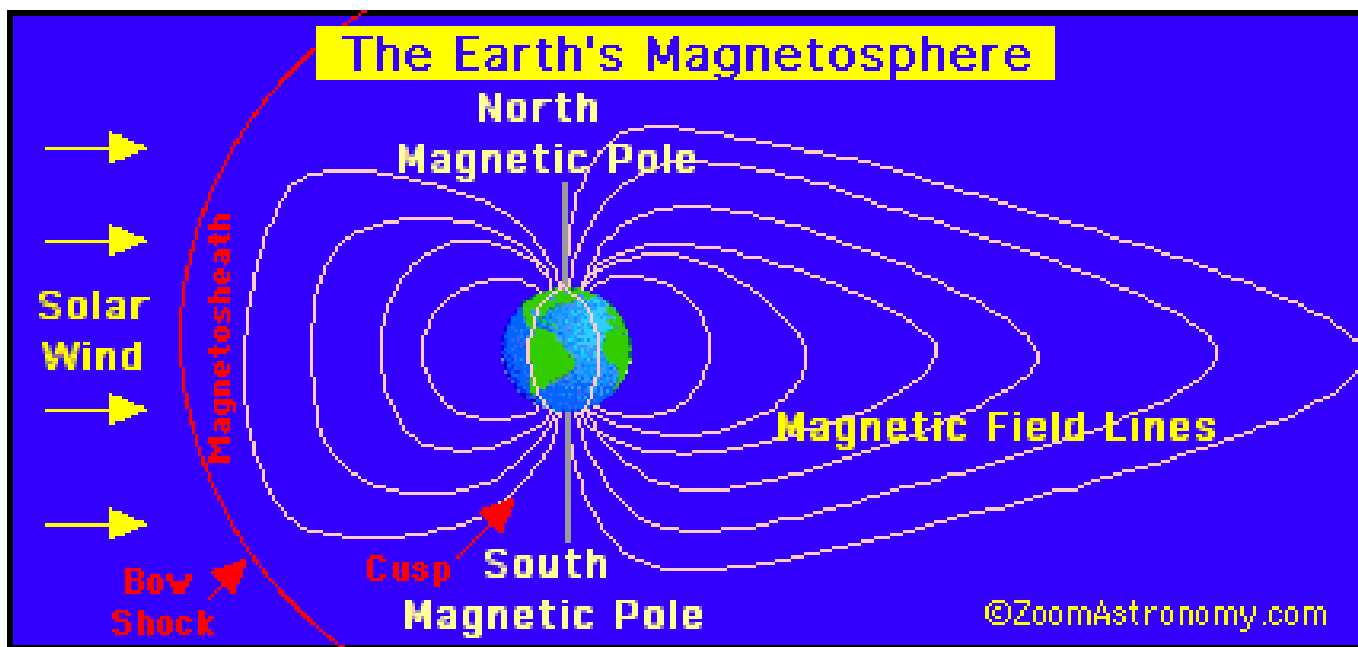
Ηλιακός άνεμος



Ηλιακός Άνεμος

- Τα σωματίδια αυτά επιταχύνονται στα μαγνητικά πεδία που παράγονται κατά τις ηλιακές εκλάμψεις, 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 γη 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 κάμπτεται τις τροχιές των κοσμικών και ελαττώνεται η ροή που φθάνει στη γη.
- Παρατηρούμε τη ροή των γαλαξιακών κοσμικών να ελαττώνεται κατά τα μέγιστα της ηλιακής δραστηριότητας. Η μεταβολή κυμαίνεται στο 20%.

Μαγνητικό πεδίο Γης και Ηλιακός Άνεμος



Μεταβολή της ροής που οφείλεται στη ροή
του ηλιακού ανέμου.

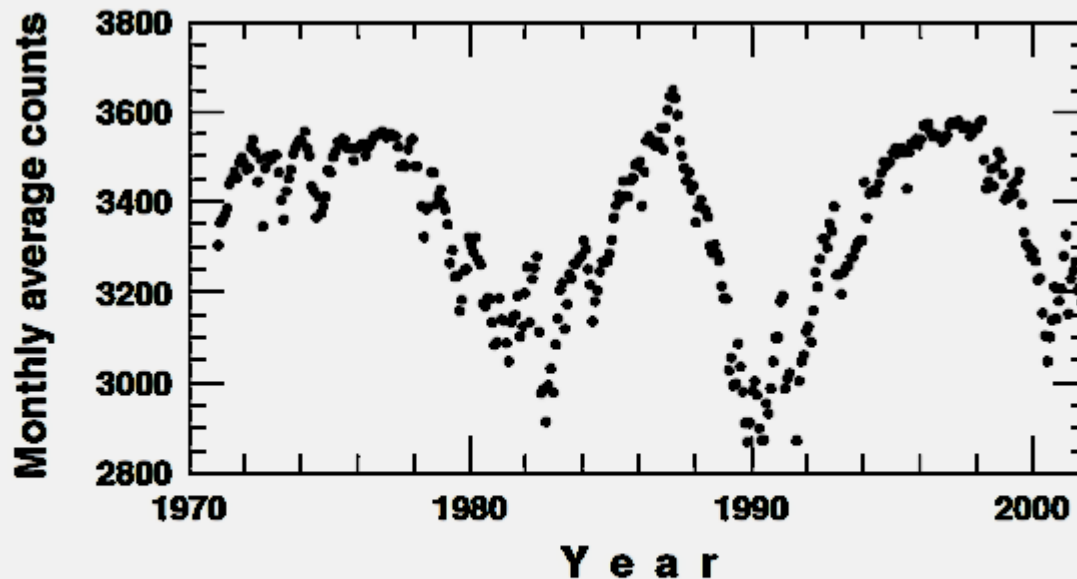
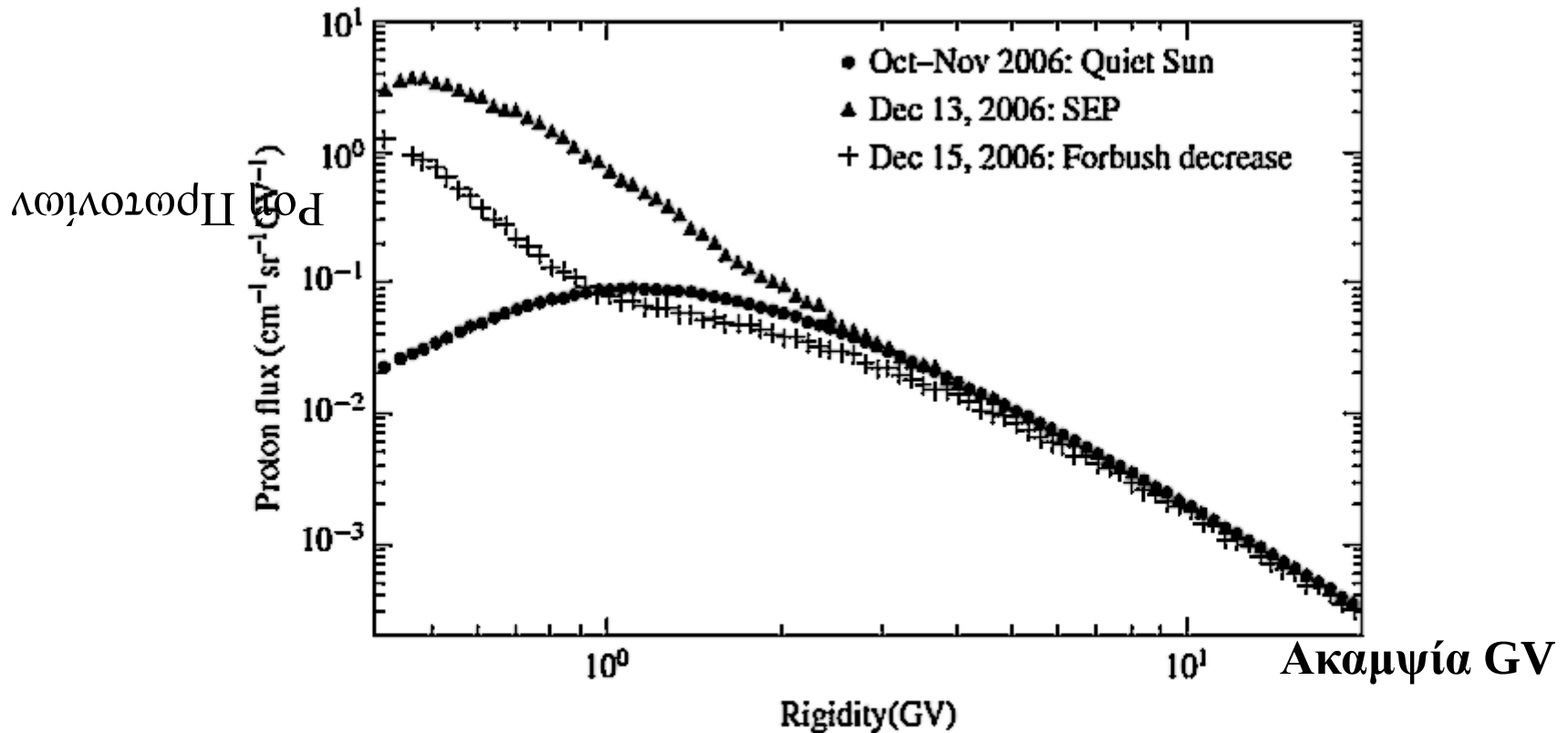


Fig. 5.5. Monthly averages of the counting rate of the Swarthmore/Newark neutron monitor [104]. Note that this is a suppressed zero plot and the variation is of the order of 20%.

Ροή γαλαξιακών πρωτονίων, όπως καταγράφηκε από το φασματόμετρο PAMELA.



Τα δεδομένα με τελείες (●) μετρήθηκαν στην περίοδο πριν την έκλαμψη. Τα δεδομένα με τρίγωνο (►) αντιστοιχούν στην διάρκεια της έκλαμψης. Παρατηρούμε αύξηση στις χαμηλές ενέργειες, που οφείλεται στα πρωτόνια που έχουν επιταχυνθεί από την έκλαμψη. Με το σταυρό (+) είναι τα δεδομένα που έχουν μετρηθεί δύο ημέρες μετά και παρατηρούμε μείωση του αριθμού που οφείλεται στο μαγνητικό πεδίο που δημιουργεί το πλάσμα που φθάνει από τον ήλιο. (φαινόμενο Forbush).

Παρατήρηση στο Νότιο Πόλο

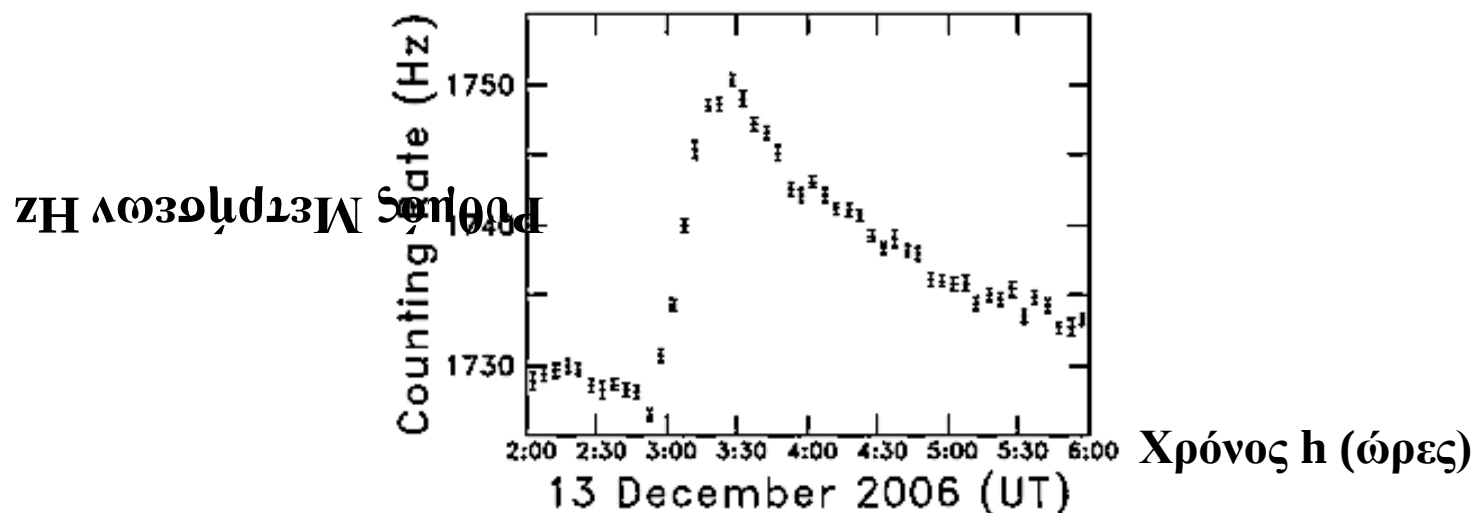


Figure 2.3 Solar event of December 13, 2006 as observed by sixteen tanks of IceTop then in operation at the South Pole. From [6], © 2008 by American Astronomical Society, reproduced with permission.

Οι μετρήσεις στον ανιχνευτή Ice Top στον Νότιο Πόλο , στη διάρκεια του ίδιου γεγονότος. Στον Νότιο Πόλο η αποκοπή είναι πολύ μικρή και μπορούμε να μετρήσουμε ηλιακά σωματίδια.

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 διαφορική 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.

