

Ενεργειακή Κατανομή

Ατομική σύνθεση.

1

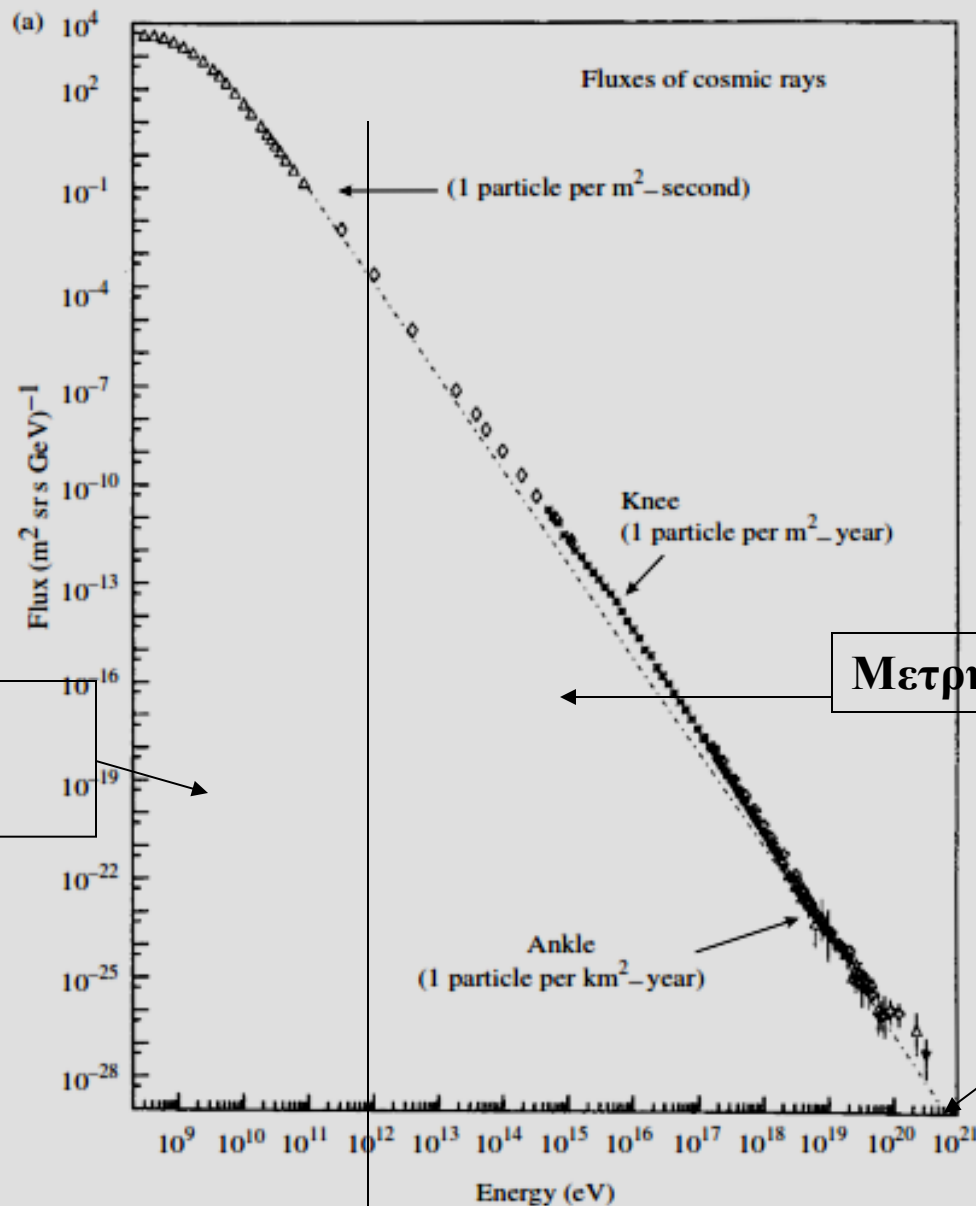
Τα σωματίδια που φθάνουν στην ατμόσφαιρα πολλές φορές τα ονομάζουμε πρωτογενή, αν και με τον ακριβή ορισμό πρωτογενή είναι αυτά τα οποία έχουν επιταχυνθεί στα νέφη των υπερκαινοφανών, των πάλσερ και άλλων μηχανισμών επιτάχυνσης και δευτερογενή αυτά τα οποία έχουν παραχθεί με τις αντιδράσεις των πρωτογενών με την ύλη στο διαστρικό χώρο. Τα σωματίδια αυτά φθάνουν στη γη αφού έχουν περιπλανηθεί για εκατομμύρια χρόνια στον γαλαξιακό χώρο και για αυτό πρόκειται για σωματίδια με μεγάλο χρόνο ζωής. Πρόκειται για πρωτόνια, πυρήνες και ηλεκτρόνια. Άλλα σωματίδια όπως νετρίνα ακτίνες γ και επίσης αντιπρωτόνια και ποζιτρόνια, παράγονται από τις αντιδράσεις των πρωτογενών με τη διαστρική ύλη..

Επίσης μεγάλο μεγάλη ροή σωματιδίων παράγεται στον ήλιο κατά τις ηλιακές εκλάμψεις.

Ιδανικά η ροή των σωματιδίων θα πρέπει να μετρηθεί έξω από την ατμόσφαιρα. Γίνονται πειράματα σε δορυφόρους, και αερόστατα.

Για τις μεγαλύτερες ενέργειες, γίνονται μεγάλα πειράματα σε μεγάλες επιφάνειες στη γη καθώς και υπόγεια ή υποθαλάσσια πειράματα για τη μέτρηση κοσμικών νετρίνων.

$$I_N(E) \approx 1.8 \times 10^4 (E/1 \text{ GeV})^{-\alpha} \frac{\text{nucleons}}{\text{m}^2 \text{ s sr GeV}},$$



Μετρήσεις ανά
σωματίδιο.

Μετρήσεις καταιωνισμών

21 Δεκάδες
Ενέργειας.

3

Μετά από τα πρώτα 10 GeV, η κλίση της καμπύλης στο μεγαλύτερο μέρος είναι $E^{-2.7}$ σε πολύ μεγάλη ενέργεια 10^{16} eV, αλλάζει σε E^{-3} (knee, γόνατο) Στην περιοχή πάνω από τα 10^6 GeV σταματά η απόδοση του μηχανισμού επιτάχυνσης που αποδίδεται στα υπολείμματα υπερκαινοφανών αστέρων. Η περιοχή αυτή περιέχει περισσότερους πυρήνες Fe. (Ο μηχανισμός δίνει μέγιστη ενέργεια ανάλογα με το φορτίο άρα η ενέργεια των πυρήνων Fe είναι 26 φορές μεγαλύτερη από του p).

$$I_N(E) \approx 1.8 \times 10^4 (E/1 \text{ GeV})^{-\alpha} \frac{\text{nucleons}}{\text{m}^2 \text{ s sr GeV}} ,$$

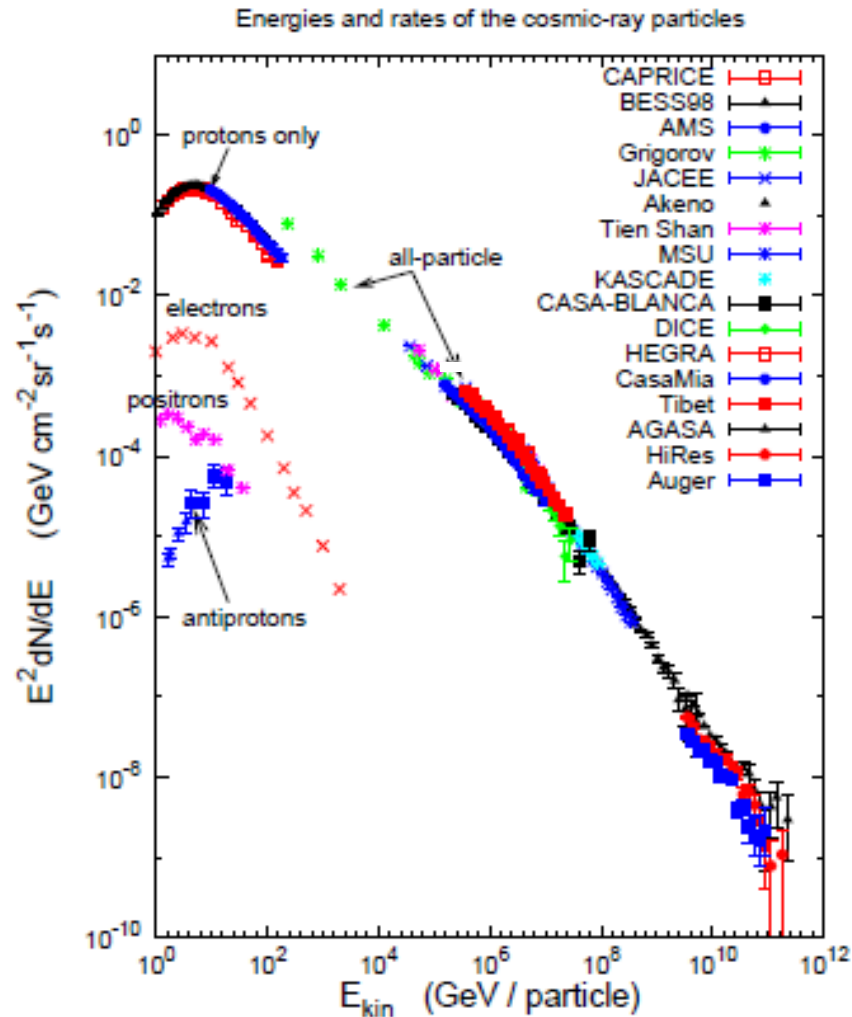
Μέγιστο, 2 p/m² sr Mev στο 1 GeV.

Η μέση ενεργεια για Κ.Α. E>1 GeV, είναι 1 eV/cm³ ή 1 eV/m³

Ενεργειακό Φάσμα

(T.Gaisser Tasi lectures)

2

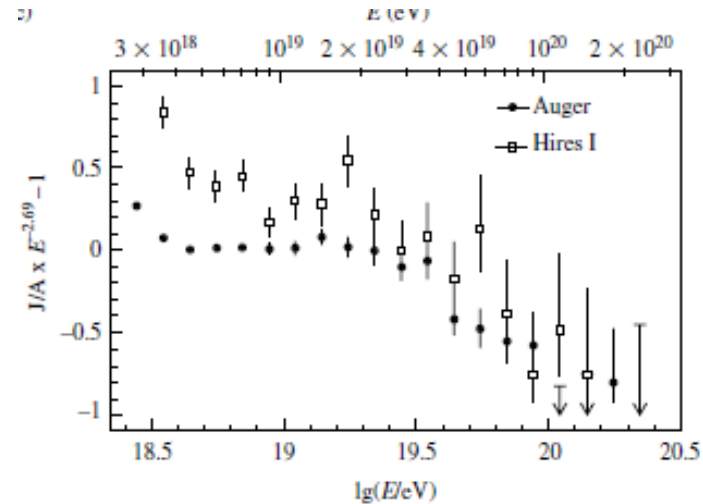
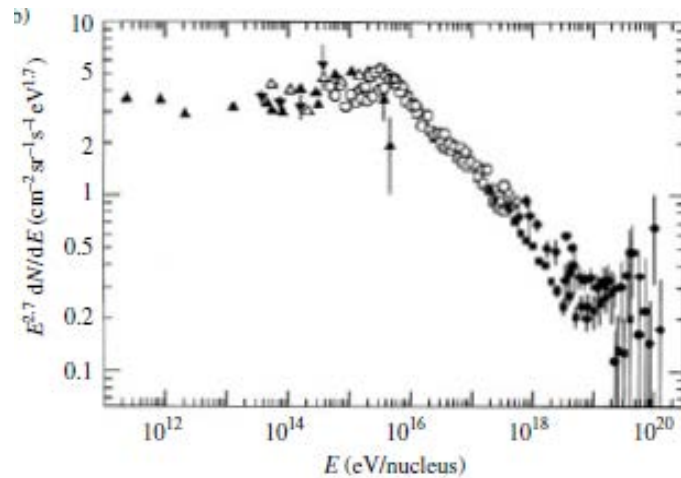


6

Από τις μικρές ενέργειες και μέχρι τα 100 GeV οι μετρήσεις που γίνονται με καλορίμετρα δίνουν με μεγάλη ακρίβεια την ορμή το φορτίο και το είδος του πυρήνα. Τα μαγνητικοί φασματογράφοι συνεχίζουν μέχρι τα 100 TeV αλλά με περιορισμένη διακριτικότητα ενώ για ενέργειες μεγαλύτερες από 1 TeV οι μετρήσεις γίνονται στο έδαφος με ανιχνευτές καταιονισμών όπου δεν μπορεί να γίνει διάκριση των πυρήνων αλλά υπολογίζεται η συνολική ενέργεια. Οι μετρήσεις αυτές έχουν πρόβλημα βαθμονόμησης. Η ακρίβεια των μετρήσεων εξαρτάται από το βάθος παραγωγής, και την μέτρηση της κεντρικής περιοχής του καταιονισμού κ.α..

Για τη δημιουργία του γόνατου 3 PeV θεωρούμε τους εξής παραγοντες.

Η παραγωγή από τα υπολείματα S.N. σύμφωνα με τα μοντέλα, περιορίζεται σ' αυτές τις ενεργειες. Η πιθανότητα διαφυγής έξω από τον γαλαξία είναι μεγαλύτερη για τις μεγάλες ενέργειες ή μαγνητικές ακαμψίες. Αλλά και ο τρόπος κατάταξης: μετράμε την ολική ενέργεια. Άρα οι πυρήνες θα έχουν μεγαλύτερη ενέργεια από πρωτόνια της ίδιας ακαμψίας.



$$N(E) dE = \text{const} \cdot E^{-2.7} dE \quad E < E_{\text{knee}} = 10^{16} \text{ eV}$$

$$E_{\text{ankle}} \approx 4 \times 10^{18} \text{ eV}$$

$$N(E) dE = \text{const} \cdot E^{-2.69} dE \quad E_{\text{GZK}} > E > E_{\text{ankle}}$$

$$N(E) dE = \text{const} \cdot E^{-4.2} dE \quad E > E_{\text{GZK}} = 4 \times 10^{19} \text{ eV}$$

Λεπτομέρεια της
ανώτατης περιοχής
του φάσματος

8

και σε ακόμη μεγαλύτερη 4×10^{18} , παρατηρούμε αλλαγή στη κλίση (angle, τασός) και κατόπιν την αποκοπή GZK στα 4×10^{19} .

Εξαιρετικό ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα γεγονότα πάνω από την αποκοπή (GZK) που υποθέτουμε ότι προέρχονται από εξω-γαλαξιακές πηγές συγκεκριμένα από AGN δηλαδή ενεργούς πυρήνες γαλαξιών.

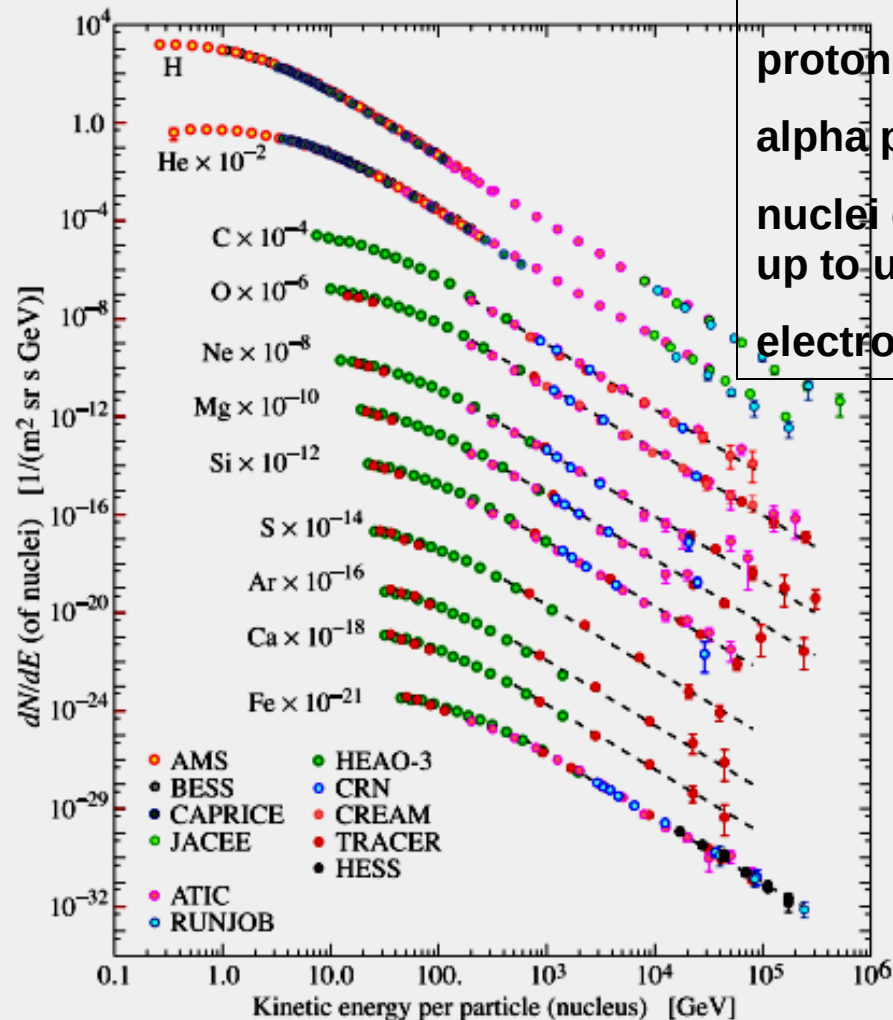
(GZK = Greisen-Zatsepin-Kusmin)(αντίδραση των σωματιδίων με το κοσμικό μικρο-κυματικό υπόβαθρο)

$(p + \gamma \rightarrow \text{hadrons})$

Ατομική Σύσταση

$E \ 10^3\text{-}10^6 \text{ GeV}$

~50% protons
~25% alpha particles
~13% C/N/O nuclei
<1% electrons
<0.1% gammas



Σύνολικά:

protons(86%)

alpha particles (11%)

nuclei of heavier elements
up to uranium (1%)

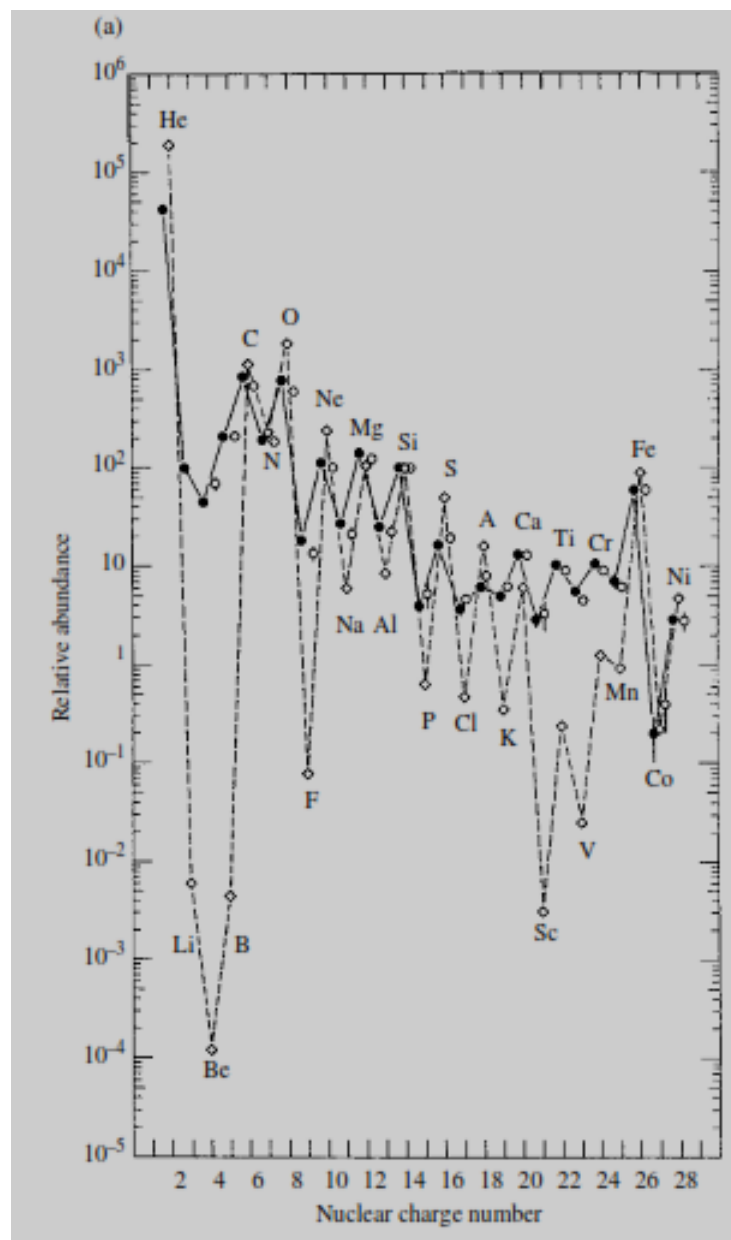
electrons (2%)

Figure 26.1: Fluxes of nuclei of the primary cosmic radiation in particles per energy-per-nucleus are plotted vs energy-per-nucleus using data from Refs. [1–12]. The figure was created by P. Boyle and D. Muller.

10

Στο διάγραμμα βλέπουμε τις αντίστοιχες καμπύλες για πυρήνες σε σύγκριση με τα πρωτόνια. Παρατηρούμε ότι έχουν την ίδια κλίση. (Για τους πυρήνες που προκύπτουν από το spalation στη διαστρική ύλη το φάσμα είναι ποιο απότομο)

Ποσοστό ισοτόπων σε σχέση με την αστρική σύνθεση



Στο σχέδιο εμφανίζεται το ποσοστό των στοιχείων στις κοσμικές προς το ποσοστό των στοιχείων στον ήλιο. Παρατηρούμε α) μικρότερο ποσοστό H β) τα στοιχεία C, N, O, καθώς και η ομάδα του σιδήρου παρουσιάζονται εξ ίσου στα δύο φάσματα γ) τα στοιχεία Li, Be και B εμφανίζονται αυξημένα στις κοσμικές δ) Τα στοιχεία κάτω από το 11n σίδηρο αυξημένα.

Το ποσοστό του H οφείλεται στην μικρότερη αποτελεσματικότητα του μηχανισμού επιτάχυνσης στις πηγές.

Παρατηρούμε ότι τα ποσοστά C, N, O, Fe δεν διαφέρουν σημαντικά άρα υποθέτουμε ότι αρχικά η σύσταση είναι η ίδια με εκείνη των αστέρων

Τα στοιχεία Li, Be, and B είναι λιγότερο σταθερά και καταναλώνονται στην αλυσίδα παραγωγής ενέργειας. Το ποσοστό τους στις κοσμικές οφείλεται στο spalation του C και του O πάνω στα πρωτόνια της διαστρικής ύλης. Παρόμοια τα στοιχεία Sc, Ti, V, and Mn οφείλονται στο spalation των Fe και Ni που βρίσκονται σε αφθονία στην αστρική ύλη.

Τα στοιχεία κάτω από τον σίδηρο και τον άνθρακα είναι θραύσματα πυρήνων των στοιχείων που βρίσκονται σε αφθονία και δημιουργούνται κατά τις κρούσεις (spalation) με την διαστρική ύλη. Εκτιμάται η διαδρομή μέσα στον γαλαξία είναι ισοδύναμη με 5 – 10 μήκη αντίδρασης για τα περισσότερα σωματίδια. Η πυκνότητα της διαστρικής ύλης είναι 1 p/cm^3 και άρα αντιστοιχεί σε διαδρομή 1000 kpc. ($1 \text{ psc} = 3,1 \cdot 10^{16} \text{ m}$).

Τα μικρότερα ποσοστά H και He αποδίδονται στο μηχανισμό επιτάχυνσης.

Ενδιαφέρον έχουν και τα ποσοστά των ισοτόπων τους στις ακτίνες σε σχέση τον ήλιο. Τα ισότοπα H^2 το και He^3 παρουσιάζονται στις ακτίνες σε πολύ μεγαλύτερα ποσοστά απ ότι στην αστρική ύλη (πίνακας)

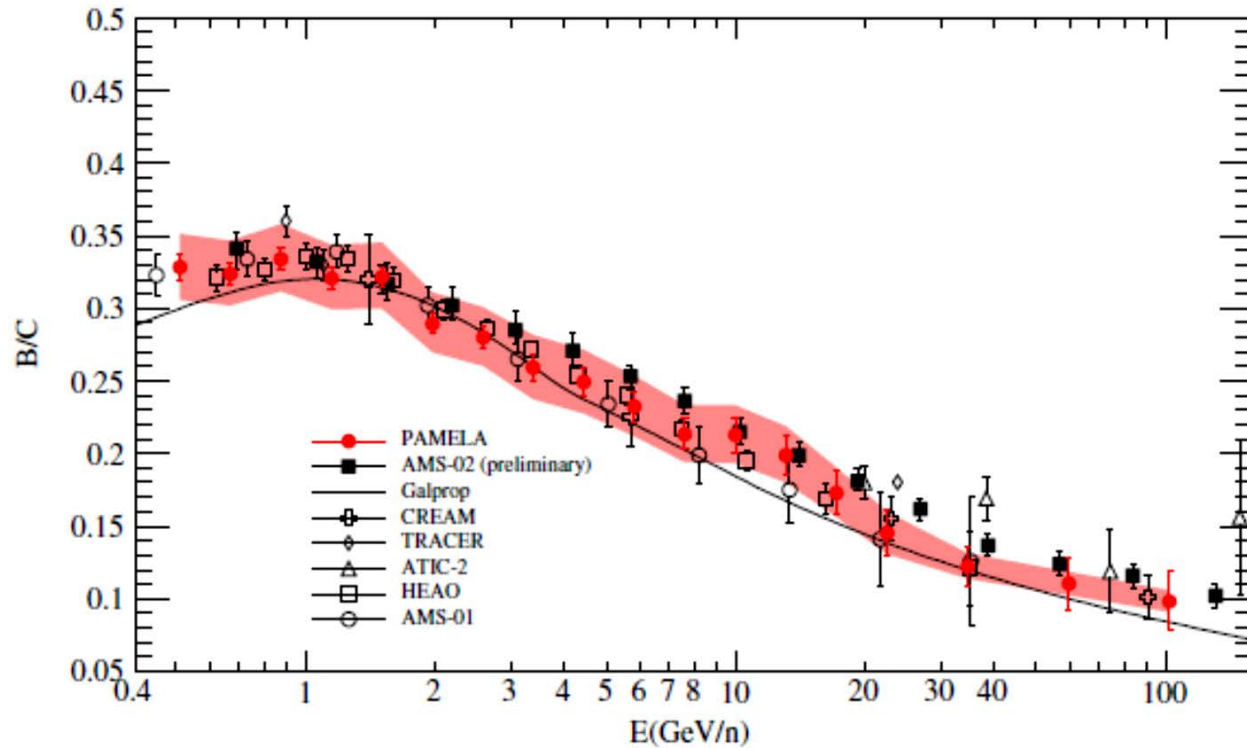
Τα αυξημένα ποσοστά οφείλονται στην παραγωγή τους από βαρύτερους πυρήνες λόγω spalation.

Ερμηνεία

Παρατηρούμε ότι τα ποσοστά C, N, O, Fe δεν διαφέρουν σημαντικά άρα υποθέτουμε ότι αρχικά η σύσταση είναι η ίδια με εκείνη των αστερών

Τα στοιχεία Li, Be, and B είναι λιγότερο σταθερά και καταναλώνονται στην αλυσίδα παραγωγής ενέργειας. Το ποσοστό τους στις κοσμικές οφείλεται στο spalation του C και του O πάνω στα πρωτόνια της διαστρικής ύλης. Παρόμοια τα στοιχεία Sc, Ti, V, and Mn οφείλονται στο spalation των Fe και Ni που βρίσκονται σε αφθονία στην αστρική ύλη.

Λόγος B/C



Λόγος πυρήνων Βορίου προς Άνθρακα όπως μετρήθηκε από
το Πείραμα Pamelat

. $\gamma_B=3.01\pm0.13$ για το Βόριο $\gamma_C=2.72\pm0.06$ για το Άνθρακα.

Υπολογισμός χρόνου παραμονής στον γαλαξία

Τα ποσοστά των ισοτόπων μας δίνουν την εκτίμηση της «ηλικίας» των ακτίνων δηλαδή τον χρόνο που παραμένουν στον γαλαξιακό χώρο.

Ειδικότερα ο λόγος **Be^{10}/Be** . Το **Be^{10}** έχει χρόνο ζωής **$1,6 \cdot 10^6$ y** παράγεται στο ίδιο ποσοστό με το σταθερό **Be** . Από το μετρούμενο ποσοστό προκύπτει ότι ο χρόνος **τ_{esc}** είναι 8-30 εκατομμύρια χρόνια και **$\lambda_{\text{esc}} = 10 \text{ g/cm}^2$** .

Επίσης **$\rho_{\text{ist}} = 0,2-0,3 \text{ gr/cm}^3$** , μικρότερη από την πυκνότητα του γαλαξιακού δίσκου. Συμπεραίνουμε ότι χώρος που κινούνται τα σωματίδια είναι μεγαλύτερος από το πάχος του γαλαξία και επεκτείνεται στην περιοχή της άλω.

Το πάχος της άλω προκύπτει **2,8 parsec** σε σύγκριση με το πάχος του γαλαξιακού δίσκου **0,3 – 0,5 parsec**

Επίδραση Μαγνητικού Πεδίου

Μεταβολή της ροής που οφείλεται στη
μεταβολή της ροής του ηλιακού ανέμου.

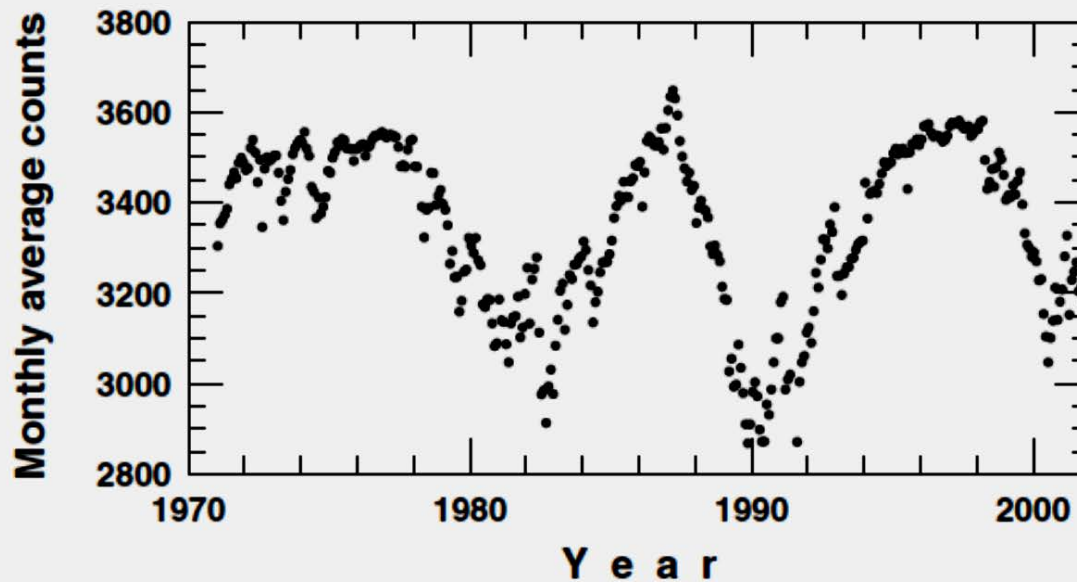


Fig. 5.5. Monthly averages of the counting rate of the Swarthmore/Newark neutron monitor [104]. Note that this is a suppressed zero plot and the variation is of the order of 20%.

19

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%.

Χάρτης Μαγνητικού Πεδίου

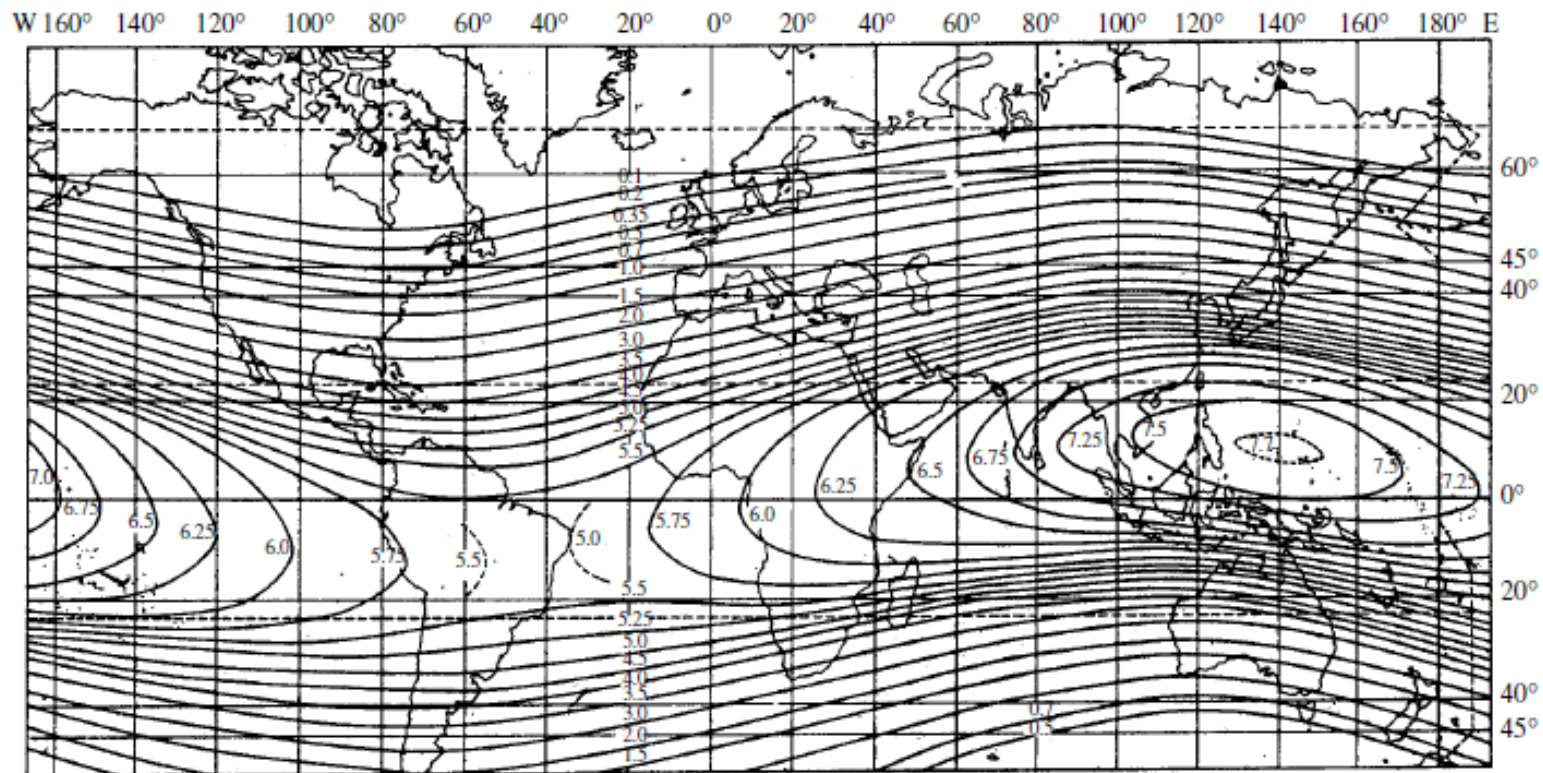


Fig. 9.5 Map of vertical geomagnetic cut-off values, given as kinetic energy in GeV per nucleon, for nuclei with $A = 2Z$. The values were calculated for a displaced dipole field. The maximum cut-off is about 7.7 GeV, or a momentum cut-off of 8.6 GeV/c, per nucleon. For protons the momentum cut-off would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