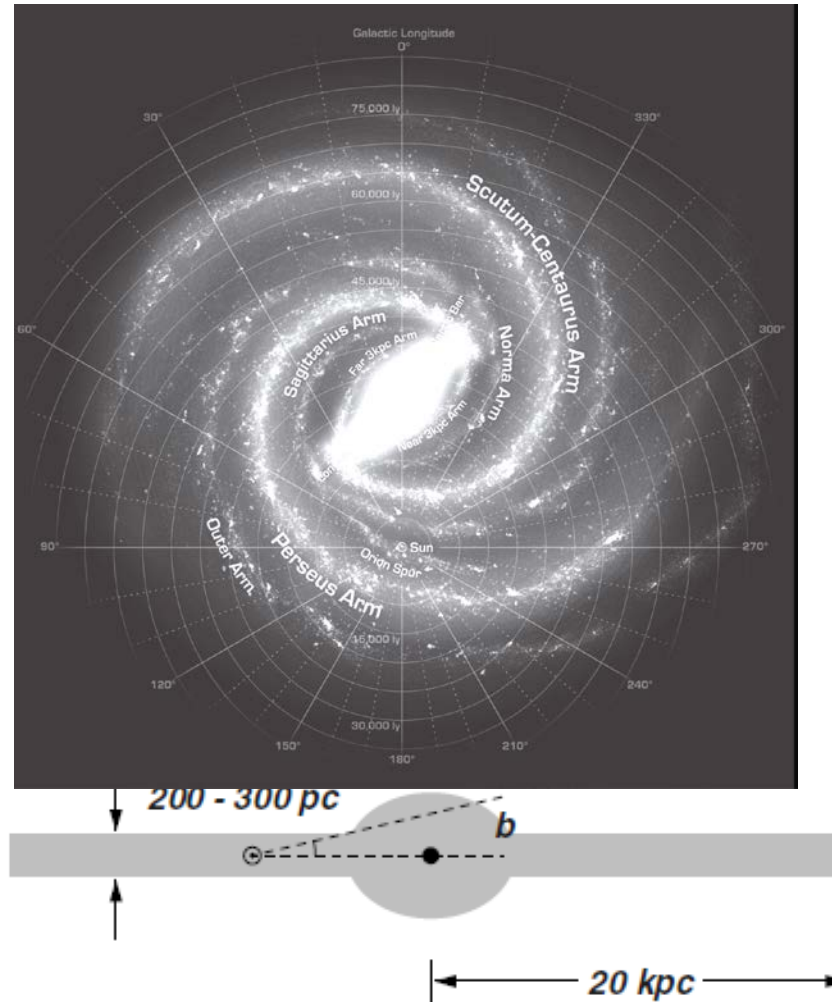


Πηγές, Επιτάχυνση Κοσμικών Ακτίνων

Διαστάσεις Γαλαξία.



Διαστάσεις Γαλαξία: Ακτίνα 15-20 kpc, ύψος δίσκου 200-300 pc ($1\text{pc}=3,1 \cdot 10^{16} \text{ m}$). Ο ήλιος βρίσκεται σε απόσταση 8,5 kpc από το κέντρο του γαλαξία.

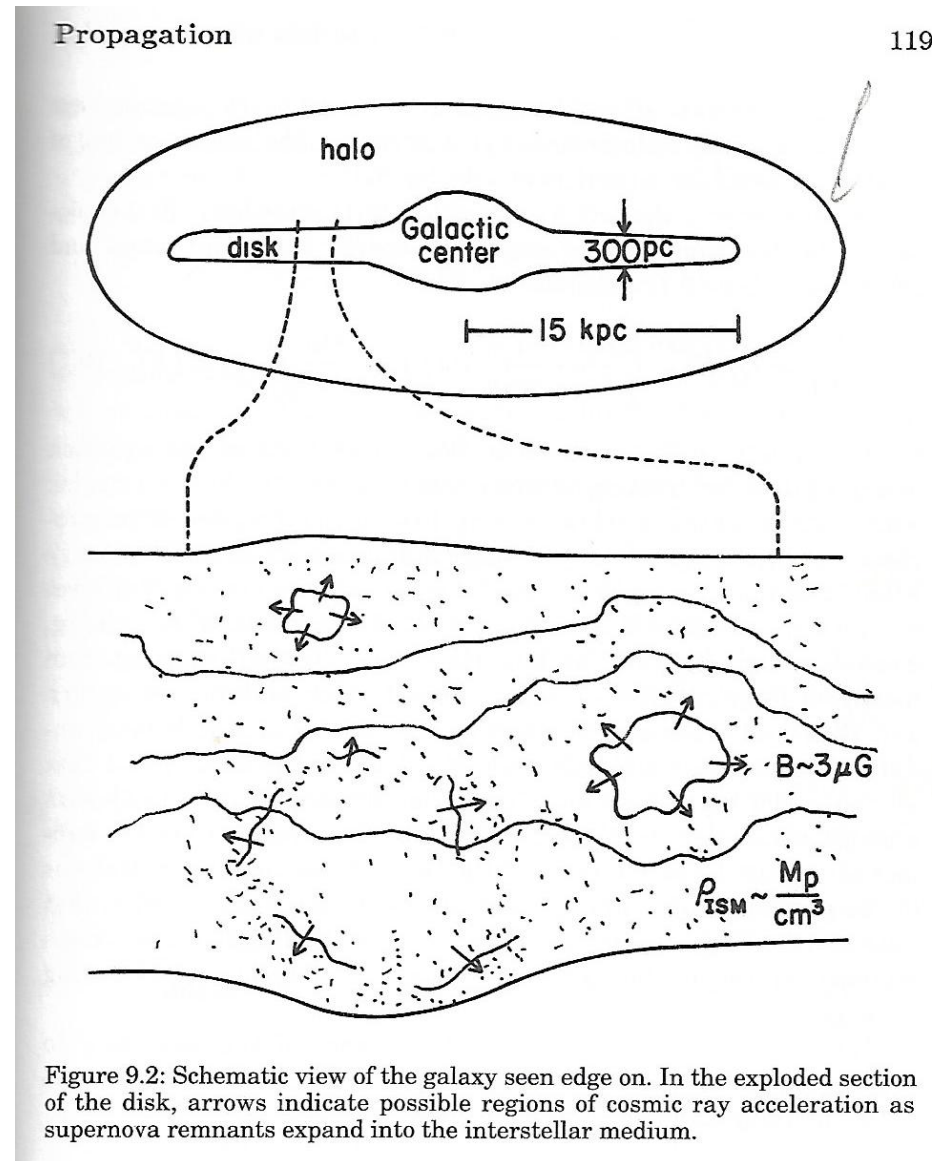
Πυκνότητα ύλης

Πυκνότητα $H \approx 1H/cm^3$ 50% ουδέτερο

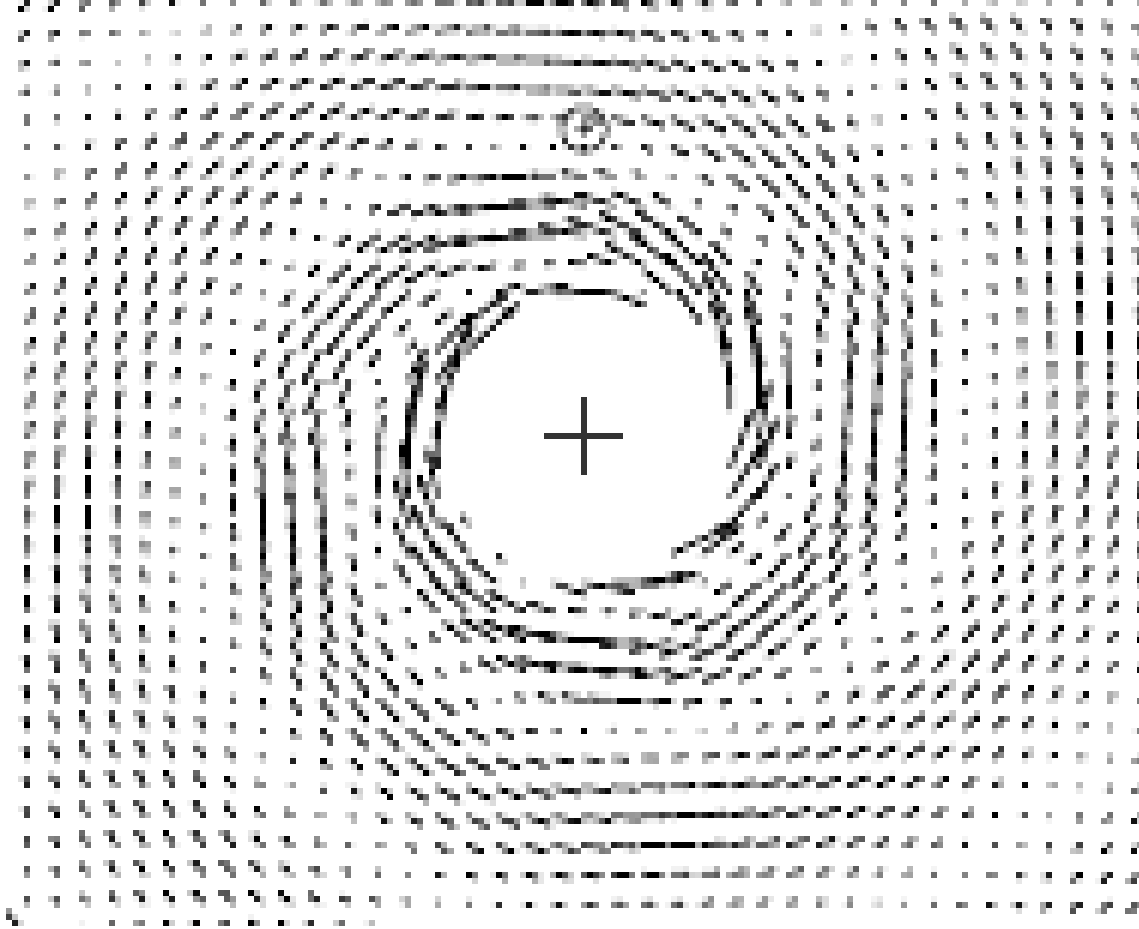
Μοριακά νέφη $*10^3 - 10^8 (H_2)$

Άλως $\approx 700 \text{ pc}$ πυκνότητα $\approx .03H/cm^3$

Τα βέλη δείχνουν τις πιθανές περιοχές επιτάχυνσης, που είναι τα κατάλοιπα των υπερκαινοφανών (SNR), που επεκτείνονται μέσα στην διαστρική ύλη.



Μαγνητικό πεδίο Γαλαξία



Το Μαγνητικό πεδίο είναι παγιδευμένο κατά μήκος των σπειρών. Περίπου $3 \cdot 10^{-6}$ Gauss.

Μαγνητικό πεδίο Γαλαξία, σκέδαση ακτίνων

Το μαγνητικό πεδίο παγιδεύεται στο πλάσμα το οποίο συμπεριφέρεται σαν μαγνητο-υδροδυναμικό υγρό. Παράδειγμα: Στις σπείρες του γαλαξία το μαγνητικό πεδίο είναι $3 \cdot 10^{-6}$ Gauss. Η πυκνότητα ενέργειας του μαγνητικού πεδίου είναι

$$\frac{1}{2} \rho v^2 = \frac{B^2}{8\pi}$$

$$\frac{B^2}{8\pi} \approx 0,4 \times 10^{-12} \text{ erg / cm}^3$$

Η ενέργεια είναι συγκρίσιμη με την πυκνότητα ενέργειας των κοσμικών ακτίνων $1,5 \cdot 10^{-12} \text{ erg/cm}^3$!

Λόγω των διαταραχών του μαγνητικού προκαλείται διάχυση των Κ.Α.

Μοντέλο διάδοσης (leaky box)

- Οι Κ.Α. παράγονται από τις πηγές (Πιθανότερες πηγές είναι οι υπερκαινοφανείς) .
- Στη διαδρομή αντιδρούν με την διαστρική ύλη . Μετά από κάποιο χρόνο διαφεύγουν από τον γαλαξία.
- Από τις δευτερογενείς αντιδράσεις παράγονται νέα σωματίδια μικρότερης ενέργειας.
- Το σύστημα βρίσκεται σε ισορροπία. Όσα σωματίδια χάνονται, τόσα παράγονται.

Διαφυγή ακτίνων

Αν αγνοήσουμε τη δευτερογενή παραγωγή σωματιδίων ο αριθμός σωματιδίων N με ενέργεια E :

$$N(E, t) = N_0(E) \exp\left(-\frac{t}{\tau_{esc}}\right)$$

όπου τ_{esc} ο μέσος χρόνος διαφυγής από το «κουτί».

Η μέση επιφανειακή πυκνότητα που διασχίζει, είναι $\lambda_{esc} = \rho \beta c \tau_{esc}$

όπου ρ η πυκνότητα της διαστρικής ύλης και βc η ταχύτητα του σωματιδίου

Από τα πειραματικά δεδομένα προκύπτει ότι το μήκος διαφυγής στις μικρές ενέργειες είναι σταθερό (10.8 g/cm^2) και ανεξάρτητο από το είδος του πυρήνα. (C, O, Fe, κ.α.)

$$\text{Για } R > 4 \text{ GV} \quad \lambda_{esc} = 10.8 \beta \times \left(\frac{4}{R}\right)^\delta \text{ g/cm}^2 \quad \delta = 0.6$$

Αντί για χρόνο διαφυγής χρησιμοποιούμε μήκος διαφυγής, για να είναι συγκρίσιμο με το μήκος αντίδρασης.

Χρόνος διαφυγής

Για ακαμψίες μικρότερες από 4 GV ο χρόνος παραμονής είναι ανεξάρτητος από την ενέργεια του σωματιδίου. Το μήκος διαφυγής είναι 10.8 g/cm²

Για μεγαλύτερες ενέργειες υπολογίζεται απ' τον τύπο, όπου R η ακαμψία σε GV

$$\lambda_{esc} = 10,8 \times \left(\frac{4}{R} \right)^{0,6} \text{ g / cm}^2$$

Ο τύπος δίνει για πρωτόνια με ακαμψία 10 GV έχει =6,2 g/cm² ενώ ένας πυρήνας ηλίου ίδιας ακαμψίας 9,5 g/cm² .

Υπολογισμός χρόνου διαφυγής από μετρήσεις ισοτόπων.

Μετρώντας τον λόγο ενός ασταθούς ισοτόπου σε προς το σταθερό.

Το ^{10}Be είναι ασταθές με χρόνο ζωής $1,6 \cdot 10^6 \text{ y}$ και συγκρίνουμε το ποσοστό του σε σχέση με το σταθερά ^9Be και ^7Be .

Δορυφορικές μετρήσεις (IMP, Voyager) δίνουν χρόνους $8 - 30 \times 10^6 \text{ y}$

Άλλες μετρήσεις:	(Ulysses)	$^{26}\text{Al}/\text{Al}$	$16 \pm 3 \cdot 10^6 \text{ y}$
		$^{36}\text{Cl}/\text{Cl}$	$11 \pm 6 \cdot 10^6 \text{ y}$

Μέσος όρος;

$\tau_{\text{esc}} = 15 \pm 2 \cdot 10^6 \text{ y}$	$\rho_{\text{ISM}} = 0.39 \pm 0.05 \text{ cm}^{-3}$	$d_{\text{halo}} = 2.8 \pm 0.1 \text{ kpc}$
---	---	---

Ελάττωση αριθμού

$$N(E, x, t) = N \exp\left(-\left(\frac{x}{\lambda} + \frac{t}{\gamma\tau_0}\right)\right)$$

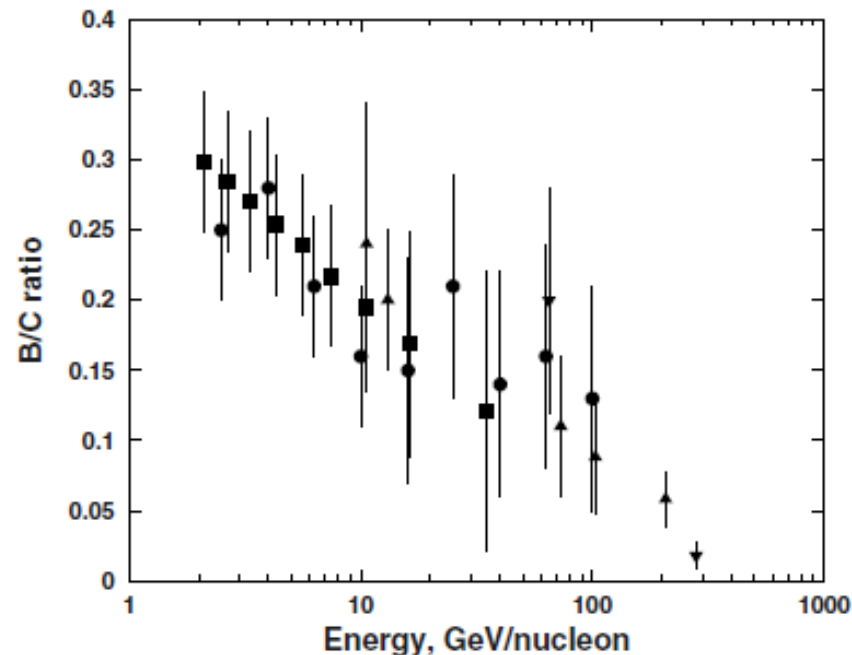
Αντίδραση

Διάσπαση

Για πρωτόνια, το μήκος αντίδρασης είναι 50,8 g/cm², ενώ δεν διασπώνται. Άρα ο σημαντικότερος παράγοντας απώλειας για τα πρωτόνια είναι η διαφυγή.

Για πυρήνες άνθρακα το μήκος αντίδρασης είναι 6,4 g/cm² και για πυρήνες σιδήρου 2,6 g/cm².

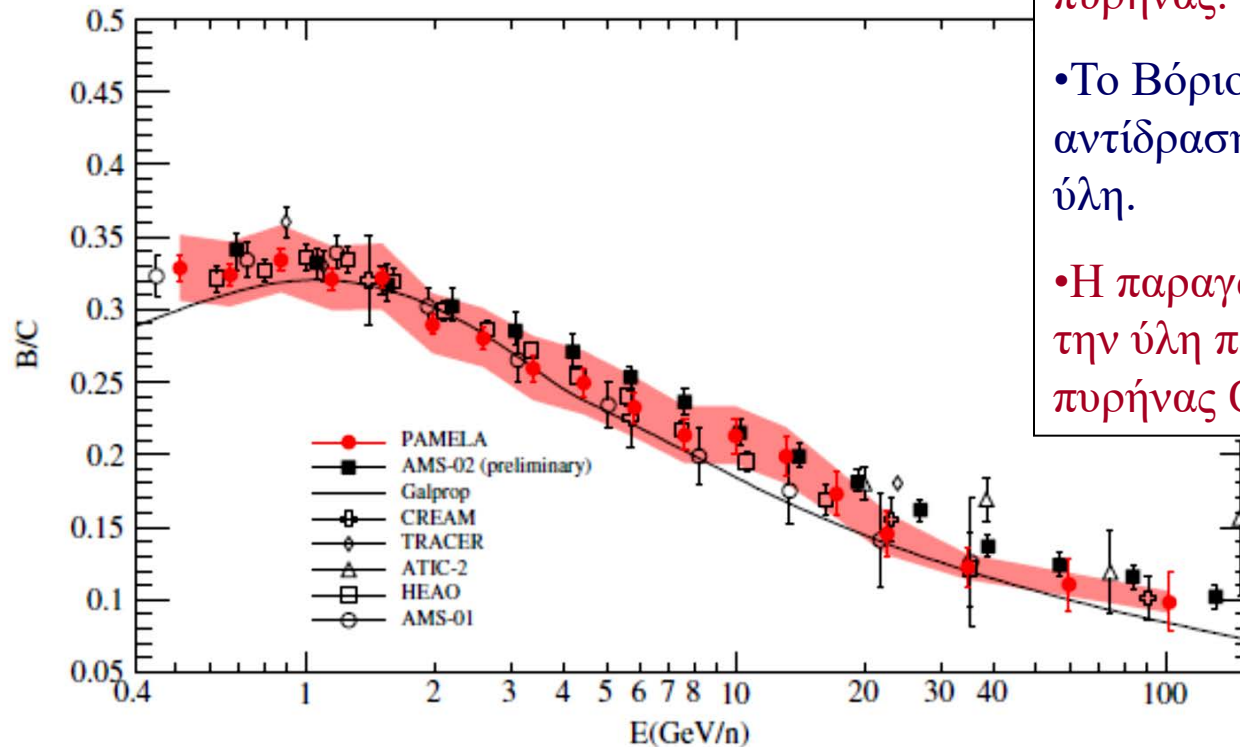
Λόγος αριθμού πυρήνων βορίου προς αριθμό πυρήνων άνθρακα, σαν συνάρτηση της ενέργειας.



Ο Άνθρακας θεωρείται πρωτογενές στοιχείο, ενώ το Βόριο δημιουργείται από το spallation του Άνθρακα.

Το ποσοστό του Βορίου εξαρτάται από το μήκος της διαδρομής του πυρήνα άνθρακα στον γαλαξία,
Από το διάγραμμα προκύπτει ότι η διαδρομή είναι μικρότερη στις μεγάλες ενέργειες άρα και ο χρόνος παραμονής των πυρήνων.

Λόγος B/C από το πείραμα PAMELA



- Ο Άνθρακας πρωτογενής πυρήνας.
- Το Βόριο παράγεται από την αντίδραση του C με την γαλαξιακή ύλη.
- Η παραγωγή B εξαρτάται από την ύλη που θα συναντήσει ο πυρήνας C, σε όλη τη διαδρομή.

Λόγος πυρήνων Βορίου προς Άνθρακα όπως μετρήθηκε από το Πείραμα PAMELA. $\gamma_B = 3.01 \pm 0.13$ για το Βόριο $\gamma_C = 2.72 \pm 0.06$ για τον Άνθρακα.

Στις υψηλές ενέργειες παράγεται μικρότερο ποσοστό Βορίου άρα η διαδρομή είναι μικρότερη.

Υπολογισμός χρόνου διαφυγής από τον 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 .

Ο χρόνος ζωής του ισοτόπου είναι μικρότερος από τον χρόνο παραμονής στον γαλαξία, άρα μετρούμε μικρότερο ποσοστό.

Από το μετρούμενο ποσοστό προκύπτει ότι ο χρόνος τ_{esc} είναι 8-30 εκατομμύρια χρόνια και $\lambda_{\text{esc}} = 10 \text{ g/cm}^2$.

Πυκνότητα διαστρικής ύλης

Η υπολογιζόμενη πυκνότητα διαστρικής ύλης:

$$(\rho_{\text{ISM}} = 0.39 \pm 0.05 \text{ cm}^{-3})$$

είναι μικρότερη από την πυκνότητα της ύλης στον γαλαξία, άρα συμπεραίνουμε ότι τα σωματίδια ταξιδεύουν σε μεγάλη απόσταση από τον γαλαξιακό δίσκο.

Επίσης υπολογίζουμε το πάχος της halo που περιβάλλει τον γαλαξία.

Το πάχος της άλω προκύπτει ($d_{\text{halo}} = 2.8 \pm 0.1 \text{ kpc}$).

Σύγκριση με το πάχος του γαλαξιακού δίσκου **0,3 – 0,5 parsec**

Υπολογισμός ισχύος που διαφεύγει μέσω K.A. Ginzburg (1964)

Πυκνότητα ενέργειας κοσμικών ακτίνων : $\rho_E = 0,5 \text{ eV/cm}^3$

Όγκος Γαλαξία: $V_{GD} = 10^{67} \text{ cm}^3$

Οι ακτίνες διαφεύγουν από το Γαλαξία και η ισχύς που διαφεύγει από τον Γαλαξία είναι:

$$L_{CR} = (V_{GD} * \rho_E) / t_{GD} = 3 * 10^{40} \text{ erg/s}$$

Αρκούν 3 εκρήξεις σουπερνόβα με μάζα 10 ηλιακών. Το κέλυφος τους απλώνεται με ταχύτητα $5 * 10^8 \text{ cm/century}$.

Ελευθερώνουν ενέργεια $Q = 3 * 10^{42} \text{ erg/s}$. Περίπου 100 φορές την ενέργεια που διαφεύγει λόγω των κοσμικών ακτίνων.