Raggi cosmici

La terra viene investita da un flusso di particelle cariche e neutre di alta energía di origine extraterrestre

Il flusso dí talí partícelle è parí a círca <u>1000 per metro</u> <u>quadro per secondo</u> (90% protoní, 9% elío ed íl resto nucleí pesantí.

I raggi cosmici hanno avuto un ruolo storico nello sviluppo della fisica subnucleare, ma le domande fondamentali :

- da dove provengono ?
- quali sono i meccanismi di accelerazione?

aspettano ancora risposte completamente esaurienti



Díscontinuita' nello spettro



Spesso ríportato spettro moltíplícato per E^2 o $E^{2.5}$. Alquanto ríschíoso, poíche' fortemente ínfluenzato da errorí sístematící ín energía mísurata ín esperímentí díversí.

Sistemi di coordinate[1]



Tempo siderale → diverso dal tempo solare

Coordinate equatoriali: ascensione retta e declinazione Ascensione retta R.A. (α) declinazione δ



Sistemi di coordinate[2]



FIGURE 8.1 Astronomical coordinate system showing definitions of right ascension (R.A.) and declination (δ)

and δ is given by

$$S_D = \sin \delta_L \cos \theta + \cos \delta_L \sin \theta \sin \phi$$

$$C_D = (1 - S_D^2)^{1/2}$$

$$\delta = \tan(S_D/C_D)$$

and

$$S_H = -\cos \phi$$

$$C_H = -\sin \phi \sin \delta_L + \tan \theta \cos \delta_L$$

$$R.A. = t_S - \tan(S_H/C_H)$$

Coordinate equatoriali: ascensione retta e declinazione Ascensione retta R.A. (α) declinazione δ

Relazione tra [ascensione retta – declinazione] e [zenith (θ) – azimuth(φ)]

 δL e' la latitudine locale t_s e' il tempo <u>siderale</u> locale

Sistemi di coordinate[3]

Coordinate Galattiche:

ascensione retta e declinazione latitudine galattica b longitudine galattica l





Sistemi di coordinate[4]

Relazione tra

[ascensione retta-declinazione] e [latitudine-longitudine galattica]

8.5 Galactic Coordinates

Recent searches for anisotropy have used galactic coordinates because interpretation in terms of cosmic ray origin models is more straightforward. Galactic coordinates have the equator in the galactic plane (see Fig. 8.3), and the north galactic pole is defined by a perpendicular to the galactic plane going through the sun's position in the galaxy. Conversion from R.A. and δ coordinates to galactic latitude (b^{II}) and longitude (l^{II}) coordinates is accomplished using the following transformations

$$Q = \frac{192.2\pi}{180 - R.A.}$$

$$C_X = 0.460200 \cos Q - 0.887815 \tan \delta$$

$$S_X = \sin Q$$

$$l^{II} = \frac{303 - 180 \tan(S_X/C_X)}{\pi}$$

 and

$$S_B = 0.460200 \sin \delta + 0.887815 \cos \delta \cos Q$$

$$C_B = (1 - S_B^2)^{1/2}$$

$$b^{II} = 180 \tan(S_B/C_B)/\pi$$

Definizioni dell'anisotropia

Rivelatore che opera in modo uniforme rispetto al tempo siderale efficienza dipende fortemente dalla declinazione δ , ma non dalla R.A. Si cerca allora eventuali asimmetrie in quest'ultima (chiamiamola θ) Analisi armonica \rightarrow N eventi ad angoli θ_i

Ampiezza della prima armonica:

$$\mathbf{r} = (\mathbf{a}^2 + b^2)^{1/2}; \text{ dove:}$$
$$\mathbf{a} = 2/N \sum_{i=1}^N \cos \theta_i; \quad b = 2/N \sum_{i=1}^N \sin \theta_i$$

Fase:

$$\phi = \tan^{-1}\left(\frac{b}{a}\right)$$

Si usa determinare prima e seconda armonica in funzione dell'energia, attraverso conteggio del rate in funzione del tempo siderale fit :

$$R(t) = A + B\sin\left(\frac{2\pi t}{24} + \phi_1\right) + C\sin\left(\frac{2\pi t}{12} + \phi_2\right)$$

 $B, \phi_1 =$ ampiezza e fase della prima armonica C, $\phi_2 =$ ampiezza e fase della seconda armonica Normalmente si riporta B/A in funzione dell'energia, in coordinate galattiche.

Anisotropia





Figure 9.7. The amplitude of the anisotropy in the distribution of arrival directions of cosmic rays as a function of energy. In each case, a best fitting sine wave has been fitted to the data and the percentage amplitude of this harmonic measured. The solid line shows the shape of the differential spectrum of cosmic rays. (From A. M. Hillas (1984). *Ann. Rev. Astr. Astrophys.*, 22, 425.)

Anisotropia dei raggi cosmici

Le asimmetrie misurate ad oggi sono molto piccole e crescono all'aumentare dell'energia.

Al di sotto di circa 10 GeV gli effetti del campo magnetico solare mascherano la direzione di provenienza.

Per energie elevate, il massimo dell'asimmetria sembra puntare nella direzione del supercluster locale di galassie.



Figure 9.7. The amplitude of the anisotropy in the distribution of arrival directions of cosmic rays as a function of energy. In each case, a best fitting sine wave has been fitted to the data and the percentage amplitude of this harmonic measured. The solid line shows the shape of the differential spectrum of cosmic rays. (From A. M. Hillas (1984). Ann. Rev. Astr. Astrophys., 22, 425.)

Anisotropia ad alte energie [Agasa+..]

Asimmetria ad alte energie (E>4x10¹⁹ eV)

Dati di AGASA (47) + Haverah Park (27)+ Yakutsk (12)+ Volcano Ranch (6)



Fig. 9.18. Distribution of the supergalactic latitude of a set of 92 UHECR of energy above 4×10^{19} eV (left-hand panel) and the positions of nearby galaxies (z < 0.02) in the field of view of the air shower arrays.

A sinistra: curva continua →distribuzione in latitudine supergalattica degli eventi attesi dai vari esperimenti in assenza di anisotropie. A destra: distribuzione in latitudine supergalattica delle Galassie entro 80 Mpc.

Distribuzione di materia →concentrazione di galassie entro 20° dal piano supergalattico. Distribuzione dei raggi c. → nessun eccesso

Anisotropia ad alte energie [Agasa+..]





Anisotropia ad alte energie{Agasa+...]

Direzioni d'arrivo di 114 eventi con E>4x10¹⁹ eV



Fig. 9.20. Arrival directions of a sample of 114 cosmic ray events of energy above 4×10^{19} eV. Events of energy above 10^{20} eV are plotted with bigger circles. The shaded are shows the supergalactic plane. The plot is centered on the Galactic anticenter - the Galactic center is split on the two sides at $b=0^{\circ}, l=0,360^{\circ}$.



Akeno 20 km², 17/02/1990 - 31/07/2001, zenith angle < 45° Red squares : events above 10²⁰ eV, green circles : events of (4 - 10)×10¹⁹ eV Shaded circles = clustering within 2.5°. Chance probability of clustering from isotropic distribution is < 1%.

Anisotropia [Agasa]

Correlazioni angolari tra sorgenti diverse



Fig. 9.21. Significance of the self-correlation in the AGASA data above 4×10^{19} eV in standard deviations σ .

Anisotropie in Auger [1]



Anisotropie in Auger [2]



Anisotropie in Auger [3]



Anisotropie in Auger [4]



Anisotropie in Auger [5]

Galactic Center ?

- Galactic Center is a "natural" site for cosmic ray acceleration
 - Supermassive black hole
 - Dense clusters of stars
 - Stellar remnants
 - SNR (?) Sgr A East
- SUGAR excess is consistent with a point source, indicating neutral primaries
- Neutrons would go undeflected, and neutron decay length at 10¹⁸ eV is comparable to the distance to the Galactic center (~8.5 kpc)



Chandra

Anisotropie in Auger [6]





Anisotropie in Auger [8]



- AGASA excess is not confirmed
- Searches considering a systematic energy shift between AGASA and Auger show no excess
- Upper limit for flux from the Galactic center (95% CL)

 $\Phi_{\rm s} < 3.1 \ \xi \ \varepsilon \ \times 10^{-15} \ {\rm m}^{-2} \ {\rm s}^{-1}$

ξ flux uncertainty (1 for Auger, 2.5 AGASA)

ε iron/proton detection efficiency ratio (1...1.6)

• SUGAR flux (J.A. Bellido et al.) $\Phi_{\rm s} < ~(9\pm3)~\times 10^{-14}~m^{-2}~s^{-1}$

Parametrizzazione dello spettro energetico

Spettro dei protoni, corretto per il taglio magnetico

$$\frac{dF_p}{dE} = 1.8 \times \left(\frac{E}{GeV}\right)^{-2.7 \pm 0.05}$$

$$cm^{-2}s^{-1}sr^{-1}GeV^{-1}$$

da cui si ottiene una luminosita':

$$L_{cr} \cong 1.5 \times 10^{41} \quad erg \times s^{-1}$$

Compatíbile con l'energía líberata nelle esplosíoní dí SN nella Galassía:

1 SN ogní 50 anní (1.58×10⁹ s)

 $Energía/SN = 10^{51} erg \rightarrow$

Energía medía líberata/s= $10^{51}/1.58\times 10^{9} = 6\times 10^{41}$ erg/s

Ammettendo un'efficienza media di conversione del 25%

 $\rightarrow L_{SN} = 1.5 \times 10^{41} \text{ erg s}^{-1}$

(Ginzburg e Syrovatskii -1964)

Calcolo della lumínosíta'

Spettro dei protoni, corretto per il taglio magnetico

$$\frac{dF_p}{dE} = 1.8 \times \left(\frac{E}{GeV}\right)^{-2.7 \pm 0.05} cm^{-2} s^{-1} sr^{-1} GeV^{-1}$$
Luminosita': $L_{CR} = \frac{1}{\tau_{conf.}} \int \rho_{RC} dV = \frac{4\pi}{c} \int \frac{1}{\tau_{conf.}} E \frac{dF_p}{dE} dE dV$
Densita' colonnare vista da raggi cosmici di energia $E: X(E) = 6.9 \times E^{-0.5} g cm^{-2}$
dove : $X(E) = \int \rho dx \cong \overline{\rho} c \tau_{conf.} \Rightarrow \tau_{conf.} = \frac{X(E)}{\overline{\rho}}$; ne segue :
 $L_{CR} = 4\pi \int \overline{\rho} dV \int \frac{1}{X(E)} E \frac{dF_p}{dE} dE$
 $\int \overline{\rho} dV$ = massa totale del gas nella Galassia : $M_{gas} = 4.8 \times 10^9 M_S$
 $\Rightarrow L_{CR} \cong 1.5 \times 10^{41} erg s^{-1}$



Densita' d'energia :
$$\rho_{CR} = \frac{4\pi}{c} \int_{1}^{\infty} E \frac{dF_p}{dE} dE = \frac{4\pi}{c} \int_{1}^{\infty} E \times 1.8 \times E^{-2.7} dE = 8 \times 10^{-10} \ GeV/cm^3 = 1.28 \times 10^{-12} \ erg/cm^3$$

Energetica dei Raggi Cosmici

Densità di energia locale dei raggi cosmici: $\rho_{\rm F}=0.8~{\rm eV/cm^3}$ Densita' di energia magnetica: $\rho_{\rm R} = 0.2 \, {\rm eV/cm^3}$ Densita' di energia cinetica del gas interstellare: ρ_{das} =1.0 eV/cm³ Densita' d'energia luminosa: $\rho_1 = 0.3 \text{ eV/cm}^3$ Densita' d'energia della radiazione cosmica di fondo: ρ_{CMB} =0.3 eV/cm³ Coincidenze casuali ?

Accelerazione dei Raggi Cosmici

```
Accelerazione negli shock di SN ?
Possibile solo fino a circa 10^{15} eV
Energie piu' elevate ?
Interazione con piu' SNR' \rightarrow fino a 10<sup>18</sup> eV
Alle energie piu' elevate: prevalentemente nuclei
Vincoli sulle possibili sorgenti:
Campo magnetico B nella zona dello shock; dimensione R
della zona di accelerazione \rightarrow
                              E=0.9 ZBR \beta c
(E in EeV, B in \muG ed R in kpc. \beta = velocita' dello
shock). Per \beta fissato \rightarrow
                    logB~logE-logR (Hillas plot)
In un grafico di logB vs logR\rightarrow rette parallele, aventi intercetta
data da logE.
```

Problemí apertí

Domande fondamentali:

- 1) Da dove vengono?
- 2) Quali sono i meccanismi di accelerazione?

Risposte di prima approssimazione :

1) Essenzialmente di provenienza galattica- (giroraggio)

2) Meccanismo di Fermi





FIG. 2. The size and magnetic-field strength of possible astronomical objects that are particle source and acceleration candidates. β is a characteristic velocity of scattering centers. Objects below the diagonal line cannot accelerate protons to 10^{20} eV. Modified from Hillas, 1984.

Problemí apertí (Míllíkan)



Abbondanze relative[1]

Composizione chimica dei raggi cosmici

Curva continua: distribuzione corretta tenendo conto del taglio a basse energie introdotto dal campo magnetico



Abbondanze relatíve[2]

Informazioni sull'origine e la propagazione dei raggi cosmici

Deduzione della composizione nei siti di generazione informazioni utili nel tentativo di individuare gli oggetti stellari che li generano

Confronto con le abbondanze relative misurate <mark>nella Galassia</mark>

Misure effettuate sul Sole e su meteoriti



Cosmic Ray Energetics And Mass

CREAM

• Analisi preliminare dei dati del primo volo, presentazioni alla ICRC 2005 e risultati attesi.

• Preparazione di CREAM-II per il lancio a Dicembre 2005

• Programma approvato dalla NASA per i voli successivi

• Proposta di partecipazione INFN al terzo e quarto volo.

• Attivita' proposta per il 2006

3 independent charge measurements :

- Timing-based Charge Detector (TCD)
- Pixelated Silicon Detector (SCD)
- Scintillating fiber Hodoscope

000 00000

000000

000 000

000000 0

00000000

00000000

000000

HODO

SCD

00 000000 0

XZ view

CREAM Detector Concept



2 independent energy measurements :

- Transition Radiation Detector (Z > 3)
- Tungsten Sci/Fi calorimeter (Z ≥ 1)

In-flight cross calibration of energy scale



NUN VI

TRD Module

-Calorimeter Module

Solar Array

CIDM





Pressure and Atmospheric overburden

m

- Pressure was measured by 5 MKS sensors over three ranges.
 - 1-10 Torr , 1-100 Torr, 1-1000 Torr
- During the flight, pressure remained mostly between 2 Torr and 4 Torr, with overall average pressure at 2.9 Torr.
- The atmospheric overburden was calculated from the pressure. Average atmospheric overburden throughout the flight was 3.9 g/cm².

Pressure and Atmospheric Overburden Variation During the Flight



Total Trigger Rate During the Flight



Trigger rates

- High Z trigger (Z ≥ 3)
 ; 18 ~ 20 Hz
- High energy shower trigger Above threshold value (~60MeV) ; 0.3 ~ 1Hz
- Trigger rates were adjusted by changing TCD or Calorimeter thresholds during the flight.
- During most of the flight, the total trigger rate was stable at about 20Hz.





About 40 million triggers collected in ~ 42 days of flight



Very preliminary charge identification : TCD vs Cherenkov



Abbondanze relative[3]

Confronto con le abbondanze relative misurate nella Galassia (normalizzate all'H)

- a) gruppo del C, N, O, molto simili nei RC e nella Galassia
- *b) Effetto even-odd molto meno accentuato nei RC*
- c) Li, Be, B molto piu' abbondanti nei RC che nella Galassia
- d) elementi appena prima del Fe molto piu' abbondanti nei RC (Ca, Sc, Ti, V, Mn, Cr)
- e) H ed He molto meno abbondanti nei RC

Osservazioni b), c), d) spiegabili come effetto della "spallazione": ${}^{12}C + p \rightarrow {}^{7}Be + ...$ ${}^{16}O + p \rightarrow {}^{10}B + ...$ risultante dall'interazione del nucleo con un protone del gas Galattico



Abbondanze relative[4]

Osservazioni b), c), d) spiegabili come effetto della "spallazione": $^{12}C + p \rightarrow ^{7}Be + ...$ $^{16}O + p \rightarrow ^{10}B +$

risultante dall'interazione del nucleo con un protone del gas Galattico

RC accelerati nella sorgente → attraversamento di una grande quantita' di materia (mezzo interstellare) prima di arrivare ad esser osservati

Abbondanze relative[5]

Abbondanze relative per grandi numeri atomici (normalizzate al Fe).

Ottimo accordo per Z < 42 50 < Z < 58 78 < Z < 84

Abbondanze maggiori nei RC per gli altri valori di Z. Effetto della spallazione



Figure 9.5. The abundances of the elements with very large atomic numbers in the cosmic rays. The abundances observed in the Ariel-VI observations are indicated by filled triangles and the HEAO-C3 observations by filled circles. The solid line indicates the cosmic abundances of the elements. In each case, the abundances are normalised to 10⁶ iron nuclei. (J. P. Wefel (1988) *Genesis and propagation of cosmic rays*, eds. M. M. Shapiro and J. P. Wefel, page 1, D. Reidel Publishing Co, Dordrecht.)

Abbondanze isotopiche

Abbondanze relative per:

²H / ¹H ³He / ⁴He

Rapporto	80 MeV/Nucleone	200 MeV/Nucleone	Galassia
² H / ¹ H	(4.4 +/- 0.5) 10 ⁻²	(5.7 +/- 0.5) 10 ⁻²	1.0 10 ⁻⁵
³He∕⁴He	(9.5 +/- 1.5) 10 ⁻²	(11.8 +/- 0.7) 10 ⁻²	3.0 10 ⁻⁵

²H ed ³He molto piu' abbondanti nei raggi cosmici che nella Galassia Isotopi "fragili", normalmenti distrutti nelle stelle

Presenza nei RC spiegata come effetto della spallazione

Abbondanze relative: effetto dei processi di spallazione[1]

Diffusion-Loss equation \rightarrow

$$\frac{\partial N_i}{\partial t} = D\nabla^2 N_i + \frac{\partial}{\partial E} \left[b(E) N_i \right] + Q_i - \frac{N_i}{\tau_i} + \sum_{j>i} \frac{P_{ji}}{\tau_j} N_j$$

 N_i = densita'dei nucleidi tipo*i*

$$D\nabla^2 N_i = \text{diffusione}$$

$$\frac{\partial}{\partial E} [b(E)N_i] =$$
 perditee guadagnid'energia dei nuclei

 Q_i = rate d'iniezione dei nuclei di tipo *i* per unita' di volume

$$\frac{N_i}{\tau_i} + \sum_{j>i} \frac{P_{ji}}{\tau_j} N_j = \text{effettidei processidi spallazione}$$

 τ_i = vita media per spallazione dei nuclei di tipo i

 P_{ji} = probabilita' che la spallaziore del nucleo*i* dia il nucleo *j*

Abbondanze relative: effetto dei processi di spallazione[2]

Diffusion-Loss equation \rightarrow trascuriamo alcuni dei termini

$$\frac{\partial N_i}{\partial t} = D\nabla^2 N_i + \frac{\partial}{\partial E} [b(E)N_i] + Q_i - \frac{N_i}{\tau_i} + \sum_{j>i} \frac{P_{ji}}{\tau_j} N_j$$

Trascuriamo:
$$D\nabla^2 N_i = \text{diffusione}$$
$$\frac{\partial}{\partial E} [b(E)N_i] = \text{perditee guadagnid'energia dei nuclei}$$
$$Q_i = \text{rate d'iniezione dei nuclei di tipo } i \text{ per unita'di volume}$$

$$\frac{\partial N_i}{\partial t} = -\frac{N_i}{\tau_i} + \sum_{j>i} \frac{P_{ji}}{\tau_j} N_j$$

Poniamo:

$$\begin{aligned} \xi &= \rho \, \mathbf{v} \, \mathbf{t} \quad ; \quad \xi_i &= \rho \, \mathbf{v} \, \tau_i \quad \Rightarrow \\ \frac{\partial N_i(\xi)}{\partial \xi} &= -\frac{N_i(\xi)}{\xi_i} + \sum_{j > i} \frac{P_{ji}}{\xi_j} N_j \big(\xi \big) \\ \end{aligned}$$



Abbondanze relative: effetto dei processi di spallazione[3]

Elementi Be, Li e B (elementi "light" \rightarrow L) ; C, N, O (elementi "medium" \rightarrow M)

$$-\frac{\partial N_{M}(\xi)}{\partial \xi} = -\frac{N_{M}(\xi)}{\xi_{M}} \qquad (a)$$

$$\frac{\partial N_{L}(\xi)}{\partial \xi} = -\frac{N_{L}(\xi)}{\xi_{L}} + \frac{P_{ML}}{\xi_{M}} N_{M}(\xi) \qquad (b)$$

$$\rightarrow N_{M}(\xi) = N_{M}(0) \exp\left(-\frac{\xi}{\xi_{M}}\right)$$
Moltiplicando la (b) per $\exp\left(\frac{\xi}{\xi_{L}}\right) \Rightarrow$

$$\frac{\partial}{\partial \xi} \left[e^{\frac{\xi}{\xi_{L}}} N_{L}(\xi)\right] = \frac{P_{ML}}{\xi_{M}} e^{\left(\frac{\xi}{\xi_{L}} - \frac{\xi}{\xi_{M}}\right)} N_{M}(0) \quad ; \text{ soluzione:}$$

$$\frac{N_{L}(\xi)}{N_{M}(\xi)} = \frac{P_{ML} \xi_{L}}{(\xi_{L} - \xi_{M})} \left[e^{\left(\frac{\xi}{\xi_{M}} - \frac{\xi}{\xi_{L}}\right)} - 1\right]$$

Abbondanze relative: effetto dei processi di spallazione[4]

Elementi Be, Li e B (elementi "light" \rightarrow L) ; C, N, O (elementi "medium" \rightarrow M)

$$\frac{N_L(\xi)}{N_M(\xi)} = \frac{P_{ML} \xi_L}{(\xi_L - \xi_M)} \left[e^{\left(\frac{\xi}{\xi_M} - \frac{\xi}{\xi_L}\right)} - 1 \right]$$

Calcolo approssimato:

Sezione d'urto inelastica per elementi M: $\sigma_{\rm M} = 280 \,{\rm mb}$

" " " " L: $\sigma_{\rm L} = 200 \,\text{mb}$ (distruzione elementiL) P_{ML} = 0.28

Cammino libero medio di M: $\xi_M = \rho \lambda$; dove:

$$\rho = n \, m_P; \quad \lambda = c \, \tau = \frac{1}{n\sigma} \Longrightarrow \xi_M = \frac{m_P}{\sigma_M} = \frac{1.67 \times 10^{-27}}{280 \times 10^{-31}} = 59 \, kg \, / \, m^2;$$

$$\xi_L = \frac{m_P}{\sigma_L} = \frac{1.67 \times 10^{-27}}{200 \times 10^{-31}} = 83 \, kg \, / \, m^2$$

Noti $\xi_M e \xi_L e le$ abbondanze relative di (Li,Be,B) rispetto a (C,N,O)(0.25) $\Rightarrow \xi = 48 \text{ kg/m}^2 \cong \xi_M$ Elementi Be, Li e B (elementi "light" \rightarrow L) ; C, N, O (elementi "medium" \rightarrow M)

Analogo accordo per rapporto He³/He⁴

Ma disaccordo per il Fe: (σ_{Fe} =764 mb)

```
Con \xi= 50 kg/m<sup>2</sup> e \xi<sub>Fe</sub>=22 kg/m2 \rightarrow
```

```
secondari(Mn,Cr,V)/primari = 8.7 !!
```

Spiegabile con il fatto che esiste tutta una distribuzione di valori dello spessore di materia attraversato

Distribuzione di spessore attraversato



Figure 20.4. Models for the path length distribution for the propagation of high energy particles in the interstellar gas: (a) a 'slab' model, in which all high energy particles traverse the same path length of interstellar gas; (b) a model in which high energy particles arriving at the Earth traverse different path lengths of interstellar gas so that a wider range of spallation products can be explained; (c) a Gaussian distribution of path lengths expected in diffusion models and an exponential distribution with a low energy cut-off.



abbondanze osservate nei RC

Bianco: primari Nero: prodotti di spallazione



Figure 20.5. The relative isotopic abundances of the cosmic rays as observed near the Earth and as inferred to be present in their sources, once the effects of spallation between the sources and the Earth are taken into account. The abundances have been normalised to 100 for ${}^{12}C + {}^{13}C$. The grey histograms show the inferred source abundances and the neighbouring histograms show the observed abundances, the open parts depicting the surviving primary elements and the black parts the amount produced by spallation. (From M.M. Shapiro (1991). In *Cosmic rays, supernovae and the interstellar medium*, eds M.M. Shapiro, R. Silberberg and J.P. Wefel, p. 14. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.)

Confronto delle abbondanze alla sorgente con quelle Galattiche (Normalizzate al Si)

Elementi fino al Ne fortemente soppressi nei RC

Effetto legato con le proprieta' atomiche di questi elementi (Potenziale di prima ionizzazione)

Elementi con il potenziale di prima ionizzazione maggiore di circa 10 eV soppressi di circa un fattore 5

Table 20.2 Cosmic ray source abundances compared with the local Galactic abundances, both normalised to [Si] = 100

Element	Cosmic ray source abundance (1990 update)	Local Galactic abundance $2.7 \pm 0.3 \times 10^{6}$ $2.6 \pm 0.7 \times 10^{5}$	
H	$8.9 \pm 2.2 \times 10^4$		
He	2.4×10^{-10}	$2.0 \pm 0.7 \times 10^{-1260}$	
N	431 ± 34 10 + 0	1200 ± 350 225 ± 90	
N O	19 ± 9 511 + 20	225 ± 90 2250 + 560	
	····		
F	< 2.5	0.09 ± 0.06	
Ne	64 ± 8	325 ± 160	
Na	<u>6 ± 4</u>	5.5 ± 1.0	
Mg	106 ± 6	105 ± 3	
Al	10 ± 4	8.4 ± 0.4	
Si	100	100	
P	< 2.5	0.9 + 0.2	
S	12.6 + 2.0	43 ± 15	
Cl	< 1.6	0.5 ± 0.3	
Ar	1.8 ± 0.6	11 ± 5 and 11 ± 1	
к	< 1.9	0.3 ± 0.1	
Ca	5.1 ± 0.9	6.2 ± 0.9	
Sc	< 0.8	$3.5 \pm 0.5 \times 10^{-3}$	
Ti	< 2.4	0.27 ± 0.04	
v	< 1.1	0.026 ± 0.005	
Cr	2.2 ± 0.6	1.3 ± 0.1	
Mn	1.7 ± 1.7	0.8 ± 0.2	
Fe	93 + 6	88+6	
Co	0.32 + 0.12	0.21 + 0.03	
Ni	5.1 ± 0.5	4.8 ± 0.6	
Cu	0.06 ± 0.01	0.06 + 0.03	
Zn	0.07 ± 0.01	0.10 ± 0.02	
Ga	$5.6 \pm 2.8 \times 10^{-3}$	$\sim 3.7 \times 10^{-3}$	
Ge	$7.4 \pm 1.0 \times 10^{-3}$	$\sim 11.4 \times 10^{-3}$	

From J.P. Wefel (1991). In Cosmic rays, supernovae and the interstellar medium, eds M.M. Shapiro, R. Silberberg and J.P. Wefel, p. 44. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

Dípendenza dal potenzíale dí príma íonízzazíone

Dipendenza dei rapporti dal potenziale di prima ionizzazione



Figure 20.6. The ratio of the cosmic ray source abundances to the local Galactic abundances as a function of the first ionisation potential of the elements. Open squares show recent improved estimates of some of the abundance ratios. (After J.P. Wefel (1991). In *Cosmic rays, supernovae and the interstellar medium*, eds M.M. Shapiro, R. Silberberg and J.P. Wefel, p. 45. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.)

Abbondanze isotopiche per isotopi radioattivi[1]

¹⁰Be : τ = 3.9 10⁶ anni ; osservatore in quiete : $\tau_{obs} = \gamma \tau$

¹⁰Be e' circa il 10% del Be prodotto in processi di spallazione del C ed O.

Decadimento β in ¹⁰B

Misure delle percentuali di ¹⁰Be e di ¹⁰B \rightarrow eta' dei RC In pratica si misura il rapporto N(¹⁰Be)/N(⁷Be) Abbondanze isotopiche per isotopi radioattivi[2]

$$\frac{N({}^{10}Be)}{N({}^{7}Be)} = \frac{\frac{1}{\tau_{e}}({}^{7}Be)}{\frac{1}{\tau_{e}}({}^{10}Be)^{+}} \frac{1}{\tau_{r}}({}^{10}Be)} \frac{C({}^{10}Be)}{C({}^{7}Be)}$$

dove:

$$C({}^{10}Be) = \sum_{j>(i={}^{10}Be)} \frac{P_{ij}}{\tau_j} N_j; \quad C({}^{7}Be) = \sum_{j>(i={}^{7}Be)} \frac{P_{ij}}{\tau_j} N_j$$

 P_{ij} = probabilita' che nella spallazione degli elementi j venga prodotto l'elementoi

$$\tau_j$$
 = vita media dell'elemento j

 N_j = numerodi nuclei/unita' di volumedell'elemento j $\tau_r ({}^{10}Be)$ = vita media del ${}^{10}Be$ $\tau_e ({}^{10}Be)$ = tempo di "escape" del ${}^{10}Be$; $\tau_e ({}^{7}Be)$ = tempo di "escape" del ${}^{7}Be$

Percentualí isotopiche del Be



Figure 20.10. (a) The isotopic mass distribution of the isotopes of beryllium as observed by the cosmic ray telescopes on board IMP-7 and IMP-8. (b) Calibration of the expected distribution of beryllium isotopes in laboratory experiments showing the ability of the telescopes to distinguish the isotopes ⁹Be and ¹⁰Be. (From M. Garcia-Munoz, G.M. Mason and J.A. Simpson (1977). Astrophys. J., **217**, 859.)