



Stabilité de ^7Be dans le rayonnement cosmique galactique

F. Yiou, F. Guichan-Beck

► To cite this version:

F. Yiou, F. Guichan-Beck. Stabilité de ^7Be dans le rayonnement cosmique galactique. Journal de Physique, 1969, 30 (5-6), pp.401-405. <10.1051/jphys:01969003005-6040100>. <jpa-00206798>

HAL Id: jpa-00206798

<https://hal.archives-ouvertes.fr/jpa-00206798>

Submitted on 1 Jan 1969

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

LE JOURNAL DE PHYSIQUE

STABILITÉ DE ${}^7\text{Be}$ DANS LE RAYONNEMENT COSMIQUE GALACTIQUE

Par F. YIOU,

Institut de Physique Nucléaire et Centre de Spectrométrie Nucléaire
et de Spectrométrie de Masse du Centre National de la Recherche Scientifique, B.P. n° 1, 91-Orsay,

et F. GUCHAN-BECK,

Institut d'Astrophysique, Paris.

(Reçu le 10 février 1969.)

Résumé. — Le ${}^7\text{Be}$, au repos, se transforme uniquement par capture électronique en ${}^7\text{Li}$ avec une période de 53,6 jours. Cette période peut donc dépendre de la densité électronique au voisinage du noyau et il a été suggéré que le ${}^7\text{Be}$ présent dans le rayonnement cosmique galactique pourrait avoir une durée de vie très longue.

La comparaison de nos mesures récentes de sections efficaces de production de Li, Be et B par spallation de ${}^{12}\text{C}$ et ${}^{16}\text{O}$ par des protons de haute énergie avec les rapports Be/Li et Be/B mesurés dans le rayonnement cosmique permet de conclure à la stabilité de ${}^7\text{Be}$ dans ce rayonnement. Le béryllium du rayonnement cosmique serait donc en majorité composé de cet isotope.

Abstract. — At rest ${}^7\text{Be}$ decays to ${}^7\text{Li}$ through electron capture with a 53.6 d half-life. Hence the lifetime of this isotope is dependent on the electron density about the nucleus. It has been suggested that, in galactic cosmic rays ${}^7\text{Be}$ would be very long lived.

The comparison of our recent cross-section measurements for the production of Li, Be, B by spallation of ${}^{12}\text{C}$ and ${}^{16}\text{O}$ by high energy protons with the elemental ratios Be/Li and Be/B found in cosmic rays leads to the conclusion that ${}^7\text{Be}$ is stable in this radiation. Cosmic ray beryllium would hence be essentially ${}^7\text{Be}$.

I. Introduction. — Les abondances ainsi que les spectres en énergie des éléments qui constituent la composante nucléaire du rayonnement cosmique galactique sont actuellement connus avec une assez bonne précision. Il existe cependant des points très importants à éclaircir, en particulier la composition isotopique des éléments de $Z \geq 3$ (notamment des éléments légers Li, Be et B), l'abondance des éléments au voisinage du fer et la présence éventuelle de transuraniens, avant d'atteindre à une meilleure connaissance de l'origine et des conditions de propagation du rayonnement cosmique.

Les données rassemblées dans le tableau I nous permettent de comparer l'abondance universelle des éléments d'après Cameron [1] avec les valeurs observées dans le rayonnement cosmique galactique d'après Webber [2]. De ce tableau, il apparaît que l'on retrouve dans les particules cosmiques tous les éléments présents dans l'univers, mais en proportions relatives parfois très différentes. En fait, le point le plus remarquable réside dans les valeurs des abondances de Li, Be et B (relatives au carbone) qui sont, dans les particules cosmiques, de cinq ordres de grandeur supérieures à la valeur universelle. Dès 1950, Bradt et Peters [3] attribuaient cette différence à la spallation de C, N

et O par les atomes d'hydrogène au repos du gaz interstellaire. Pour vérifier cette hypothèse et apporter des renseignements sur le mode de propagation du rayonnement cosmique, il était nécessaire de connaître les sections efficaces de ces réactions.

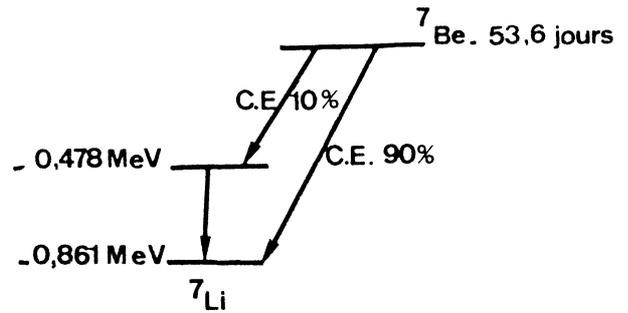
C'est par l'utilisation d'un spectromètre de masse à haute sensibilité qu'il nous a été possible de mesurer les sections efficaces correspondantes. La méthode employée ainsi que les résultats ont été publiés dans des articles précédents [4, 6, 7]. Nous avons rassemblé dans les tableaux II, III et IV l'ensemble des valeurs obtenues pour la production des isotopes de Li, Be et B dans l'oxygène et le carbone à différentes énergies, ainsi que les résultats des calculs effectués par Gradsztajn *et al.* [5] pour la production des isotopes de Be et B dans le carbone (sections efficaces non encore mesurées). Dans les articles [6 et 7], nous avons montré que nos mesures confirmaient l'hypothèse de l'origine par spallation de Li, Be et B et nous permettaient de calculer la quantité moyenne de matière interstellaire traversée par les particules cosmiques [8]. Ces résultats nous permettent de plus de prévoir une propriété caractéristique du rayonnement cosmique : la stabilité de ${}^7\text{Be}$ dans ce rayonnement. C'est ce point particulier que nous nous proposons d'étudier, dans cet article.

TABLEAU I

COMPARAISON
ENTRE L'ABONDANCE UNIVERSELLE DES ÉLÉMENTS
ET LA COMPOSITION DES RAYONS COSMIQUES GALACTIQUES
(valeurs tirées de Webber [2])

ÉLÉMENT	ABONDANCE UNIVERSELLE	RAYONNEMENT COSMIQUE GALACTIQUE D'ÉNERGIE \geq 2 GeV/nucléon
He	400	38
Li	$\leq 0,001$	0,27
Be	$\leq 0,001$	0,19
B	$\leq 0,001$	0,43
C	1,0	1,0
N	0,27	0,46
O	2,3	0,61
F	0,001	0,09
Ne	0,80	0,18
Na	0,006	0,08
Mg	0,12	0,15
Al	0,005	0,03
Si	0,13	0,11
P	0,002	0,01
16 < Z < 19	0,020	0,02-0,05
Ca	0,02	0,026
Ti	0,001	0,017
Cr	0,006	0,030
Fe	0,06	0,08
Ni	0,008	0,015
Z impair > 20	0,001	0,01
Z > 30	0,001	0,004

II. **Stabilité de ${}^7\text{Be}$ dans les rayons cosmiques.** — Il est bien connu que ${}^7\text{Be}$ se transforme en ${}^7\text{Li}$, uniquement par capture électronique, avec une période de 53,6 jours, en suivant le schéma de désintégration

FIG. 1. — Schéma de désintégration de ${}^7\text{Be}$.

représenté sur la figure 1. La possibilité de produire un changement de la période de ${}^7\text{Be}$, par une modification de l'état chimique de ${}^7\text{Be}$, donc de la densité des électrons au voisinage du noyau, a été démontrée pour la première fois par Segré [9] et Daudel [10]; et des expériences ont été réalisées notamment par Bouchez, Daudel, Daudel et Muxart [11], Benoist, Bouchez, Daudel, Daudel et Rogozinsky [12], par Kraushaar, Wilson et Bainbridge [13]. Ces derniers auteurs ont trouvé par exemple que la constante de décroissance de ${}^7\text{Be}$ métallique est réduite de $(0,013 \pm 0,005) \%$ quand ${}^7\text{Be}$ est sous la forme de BeO et augmente de $(0,061 \pm 0,005) \%$ quand ${}^7\text{Be}$ est sous la forme de BeF_2 .

Dans le domaine des rayons cosmiques, cette période risque d'être très différente puisque l'on peut supposer que les noyaux de grande énergie de ce rayonnement se propagent complètement ou au moins partiellement ionisés. Un calcul de Lawrence et Levinger en 1966 [14] a montré que, pour des ions de ${}^7\text{Be}$ en mouvement, la capture K ne devient importante qu'en dessous de 5 MeV/nucléon, aussi le temps de vie effectif de ${}^7\text{Be}$ en tant que particule cosmique peut-il être long, et à la limite cet isotope peut être considéré comme stable. L'hypothèse de la stabilité de ${}^7\text{Be}$ dans le rayonnement cosmique avait été émise dès 1950 par Bradt et Pe-

TABLEAU II

SECTIONS EFFICACES ABSOLUES (en mb) DE PRODUCTION DE Li, Be ET B DANS ${}^{16}\text{O}$
PAR DES PROTONS DE DIFFÉRENTES ÉNERGIES [5, 6]
LES ERREURS DONNÉES SONT LES ERREURS QUADRATIQUES MOYENNES

ÉNERGIE	${}^7\text{Li}$	${}^6\text{Li}$	${}^7\text{Be}$	${}^9\text{Be}$	${}^{10}\text{Be}$	${}^{11}\text{B} + {}^{11}\text{C}$	${}^{10}\text{B} + {}^{10}\text{C}$
135 MeV	8,5 $\pm 1,7$	10 $\pm 1,8$	5,4 ± 1	1,7 $\pm 0,36$	0,37 $\pm 0,12$	25 ± 8	11 ± 3
600 MeV	11,3 $\pm 2,2$	12,4 $\pm 2,4$	7,0 $\pm 1,7$	2,6 $\pm 0,94$	0,6 $\pm 0,24$	25 ± 12	12 ± 5
19 GeV	14,2 $\pm 2,7$	14,4 $\pm 2,6$	10,8 $\pm 1,4$	3,6 ± 1	1,0 $\pm 0,4$	≤ 45	15 ± 8

TABLEAU III

SECTIONS EFFICACES ABSOLUES
DE PRODUCTION DE ⁶Li, ⁷Li, ⁷Be, ¹⁰C ET ¹¹C DANS ¹²C
PAR DES PROTONS DE 156 MeV (mb)

ISOTOPE	SECTION EFFICACE MESURÉE (en mb)	RÉFÉRENCES
—	—	—
⁷ Li	7,8 (± 20 %)	Bernas <i>et al.</i> [4]
⁶ Li + ⁹ He	9,8 (± 20 %)	—
⁷ Be	12,2 (± 20 %)	—
⁷ Li + ⁷ Be	19,9 (± 20 %)	—
¹⁰ C	2,6 (± 10 %)	Clegg <i>et al.</i> [17]
		Valentin <i>et al.</i> [18]
¹¹ C	45 (± 5 %)	Cumming [19]

ters [3], mais l'analyse isotopique du béryllium dans ce rayonnement n'ayant pas été effectuée, il n'existait jusqu'ici aucune confirmation de cette hypothèse. Nous allons voir qu'indirectement nos valeurs de sections efficaces permettent d'apporter une preuve de la stabilité de ⁷Be et de plus laissent prévoir que la plus grande partie du béryllium observé dans les rayons cosmiques serait en fait due à cet isotope.

Pour prouver ces deux propositions, nous nous réfè-

TABLEAU IV

SECTIONS EFFICACES ABSOLUES
CALCULÉES PAR GRADZTAJN *et al.* [5] :
PRODUCTION DE ⁹Be, ¹⁰Be, ¹⁰B ET ¹¹B DANS ¹²C
PAR DES PROTONS DE 155 MeV

ISOTOPE	SECTION EFFICACE CALCULÉE (en mb)
—	—
⁹ Be	2,9
¹⁰ Be	0,8
¹⁰ B	22
¹¹ B	10,2

rerons aux tableaux V-a et V-b, où sont indiqués les rapports Be/B et Be/Li, dans les deux hypothèses suivantes :

a) ⁷Be a décré sur ⁷Li et les rapports des sections efficaces à considérer sont alors :

$$\text{— Pour } \frac{\text{Be}}{\text{B}} : \frac{(\text{}^{10}\text{Be} + \text{}^9\text{Be})}{(\text{}^{10}\text{B} + \text{}^{11}\text{B})};$$

$$\text{— Pour } \frac{\text{Be}}{\text{Li}} : \frac{(\text{}^{10}\text{Be} + \text{}^9\text{Be})}{(\text{}^6\text{Li} + \text{}^7\text{Li} + \text{}^7\text{Be})}.$$

TABLEAU V

VALEURS DES RAPPORTS DE SPALLATION Be/B ET Be/Li EN FONCTION DE LA DÉCROISSANCE DE ⁷Be

a) ⁷Be a décré sur ⁷Li

CIBLE	ÉNERGIE	$\frac{\text{Be}}{\text{B}} = \frac{\sigma(\text{}^{10}\text{Be} + \text{}^9\text{Be})}{\sigma(\text{}^{10}\text{Be} + \text{}^{11}\text{B})}$	$\frac{\text{Be}}{\text{Li}} = \frac{\sigma(\text{}^{10}\text{Be} + \text{}^9\text{Be})}{\sigma(\text{}^6\text{Li} + \text{}^7\text{Li} + \text{}^7\text{Be})}$
—	—	—	—
¹⁶ O	135 MeV	0,057 ± 0,02	0,091 ± 0,018
	600 MeV	0,081 ± 0,04	0,106 ± 0,03
	20 GeV	0,081 ± 0,05	0,116 ± 0,03
¹² C	155 MeV	0,016 (valeur calculée)	0,04 ± 0,026

b) ⁷Be est stable

CIBLE	ÉNERGIE	$\frac{\text{Be}}{\text{B}} = \frac{\sigma(\text{}^{10}\text{Be} + \text{}^9\text{Be} + \text{}^7\text{Be})}{\sigma(\text{}^{10}\text{B} + \text{}^{11}\text{B})}$	$\frac{\text{Be}}{\text{Li}} = \frac{\sigma(\text{}^{10}\text{Be} + \text{}^9\text{Be} + \text{}^7\text{Be})}{\sigma(\text{}^6\text{Li} + \text{}^7\text{Li})}$
—	—	—	—
¹⁶ O	135 MeV	0,21 ± 0,04	0,40 ± 0,06
	600 MeV	0,27 ± 0,06	0,43 ± 0,06
	20 GeV	0,38 ± 0,2	0,54 ± 0,08
¹² C	155 MeV	0,20 (valeur calculée)	0,71 ± 0,16

TABLEAU VI

VALEURS DES RAPPORTS Be/B ET Be/Li MESURÉES DANS LE RAYONNEMENT COSMIQUE
POUR DIFFÉRENTES ÉNERGIES

ÉNERGIE (par nucléon)	Be/B	Be/Li	RÉFÉRENCES
60-90 MeV	0,30 ± 0,18	0,40 ± 0,24	Hagge <i>et al.</i> [21]
100 MeV	0,28 ± 0,10	0,37 ± 0,15	Reams et Fichtel [23] Balasubrahmanyam <i>et al.</i> [24]
80-300 MeV	0,21 ± 0,08	0,32 ± 0,18	Comstock <i>et al.</i> [20]
150-600 MeV	0,30 ± 0,15	0,62 ± 0,30	Anand <i>et al.</i> [22]
≥ 1,5 GeV	0,32 ± 0,15	0,45 ± 0,12	O'Dell <i>et al.</i> [25]
≥ 6 GeV	0,30 ± 0,11	0,38 ± 0,08	Webber <i>et al.</i> [26]
100 MeV-10 GeV	0,4 ± 0,05	0,7 ± 0,1	von Rosenvinge [27]

b) ⁷Be est stable et les rapports sont alors :

$$\text{--- Pour } \frac{\text{Be}}{\text{B}} : \frac{({}^{10}\text{Be} + {}^9\text{Be} + {}^7\text{Be})}{({}^{10}\text{B} + {}^{11}\text{B})};$$

$$\text{--- Pour } \frac{\text{Be}}{\text{Li}} : \frac{({}^{10}\text{Be} + {}^9\text{Be} + {}^7\text{Be})}{({}^6\text{Li} + {}^7\text{Li})}.$$

Dans le tableau VI, nous avons rassemblé les valeurs des rapports Be/B et Be/Li, mesurés dans le rayonnement cosmique, en fonction de l'énergie.

Nous avons montré en détail dans les références [6] et [7] comment l'hypothèse de l'origine par spallation des éléments légers se trouvait confirmée par nos valeurs de sections efficaces, montrant ainsi que Li, Be et B étaient formés par spallation de ¹²C et ¹⁶O essentiellement et que leurs abondances relatives étaient directement proportionnelles aux rapports des sections efficaces correspondantes. Il en résulte que, si tout ⁷Be s'est transformé en ⁷Li, les rapports Be/B et Be/Li mesurés dans le rayonnement cosmique seront voisins des valeurs données dans le tableau V-a, mais si ⁷Be

est stable, ces rapports d'abondance Be/B et Be/Li seront cette fois-ci voisins des valeurs données dans le tableau V-b.

La comparaison des tableaux V-a, V-b et VI suffit à prouver qu'au-delà d'une énergie de 80 MeV/nucléon ⁷Be est stable dans le rayonnement cosmique, au moins sur une échelle de temps de l'ordre du temps de vie des particules cosmiques. L'observation directe de ⁷Be dans ce rayonnement serait bien sûr très intéressante.

Des recherches sont actuellement entreprises, notamment par Price et Fleischer [15], pour réaliser la séparation des isotopes du béryllium par l'utilisation de détecteurs plastiques, et par J. T. A. Ely [16], pour mesurer le rapport ⁷Be/(⁹Be + ¹⁰Be) dans le rayonnement cosmique galactique. Ces expériences posent des problèmes techniques difficiles et aucun résultat n'a été publié jusqu'à présent. Une telle séparation permettrait de déterminer la proportion exacte de ⁷Be présente dans le rayonnement cosmique et pourrait ainsi fournir des indications sur la densité des milieux traversés.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] CAMERON (A. G. W.), Nuclear Astrophysics, Yale, Preprint, 1967.
- [2] WEBBER (W. R.), Handbuch der Physik, 1967, **46**, 2, 248.
- [3] BRADT (H. L.) et PETERS (B.), *Phys. Rev.*, 1950, **77**, 54.
BRADT (H. L.) et PETERS (B.), *Phys. Rev.*, 1950, **80**, 943.
- [4] BERNAS (R.), EPHERRE (M.), GRADSZTAJN (E.), KLAPISCH (R.) et YIOU (F.), *Phys. Letters*, 1965, **15**, 147.
- [5] GRADSZTAJN (E.), YIOU (F.), KLAPISCH (R.) et BERNAS (R.), *Phys. Rev. Letters*, 1965, **14**, 436.
EPHERRE (M.) et GRADSZTAJN (E.), *J. Physique*, 1967, **28**, 745-751.
- [6] YIOU (F.), BARIU (M.), DUFAURE DE CITRES (J.), FONTES (P.), GRADSZTAJN (E.) et BERNAS (R.), *Phys. Rev.*, 1968, **166-4**, 968-974.
- [7] YIOU (F.), *Ann. Physique*, 1969, sous presse.
- [8] BECK (F.) et YIOU (F.), *Astrophys. Letters*, 1968, **1**, 75.
- [9] SEGRÉ (E.), *Phys. Rev.*, 1947, **71**, 274.
- [10] DAUDEL (R.), *Rev. Sci.*, 1947, **85**, 162.
- [11] BOUCHEZ (R.), DAUDEL (P.), DAUDEL (R.) et MUSCART (J.), *J. Physique Rad.*, 1947, **8**, 336.
- [12] BENOIST (P.), BOUCHEZ (R.), DAUDEL (P.), DAUDEL (R.) et ROGOZINSKY (A.), *Phys. Rev.*, 1949, **76**, 1000.
- [13] KRAUSHAAR (J. J.), WILSON (E. O.) et BAINBRIDGE (K. T.), *Phys. Rev.*, 1953, **90**, 610.

- [14] LAWRENCE (C. E.) et LEVINGER (J. S.), Renselaer Polytechnic Institute, Troy, New York, 1966, Preprint (oct.).
- [15] PRICE (P. B.), FLEISCHER (R. L.), O'CEALLAIGH (C.), O'SULLIVAN (D.) et THOMPSON (A.), *Can. J. Physics*, 1968, **46**, n° 10, part 4, 1149.
- [16] ELY (J. T. A.), *B.A.P.S.*, 1968, série II, vol. **13**, n° 11, 1411.
- [17] CLEGG (A. B.), FOLEY (K. J.), SALMON (G. L.) et SEGEL (R. F.), *Proc. Phys. Soc.*, 1961, **78**, 681.
- [18] VALENTIN (L.), ALBOUY (G.), COHEN (J. P.) et GUSAKOW (M.), *Phys. Letters*, 1963, **7**, 163.
- [19] CUMMING (J. B.), *Ann. Rev. Nucl. Sc.*, 1963, **13**, 261.
- [20] COMSTOCK (G. M.), FAN (C. Y.) et SIMPSON (J. A.), *Astrophys. J.*, 1966, **146**, 51.
- [21] HAGGE (D. E.), BALASUBRAHMANYAN (V. K.) et McDONALD (F. B.), *Can. J. Physics*, 1968, **46**, 539.
- [22] ANAND (K. C.), BISWAS (S.), LAVAKARE (P. J.), RAMADURAI (S.) et SREENIVASAN (N.), *Proc. Int. Conf. Cosmic Rays*, 1965, 396.
- [23] REAMS (D. V.) et FICHTEL (C. E.), *Phys. Rev.*, 1967, **162**, 1291.
- [24] BALASUBRAHMANYAN (V. K.), HAGGE (D. E.), LUDWIG (G. H.) et McDONALD (F. B.), *Proc. Int. Conf. Cosmic Rays*, 1965, 427.
- [25] O'DELL (F. W.), SHAPIRO (M. M.) et STILLER (B.), *J. Phys. Soc. Japan* (suppl. A III), 1961, **17**, 23.
- [26] WEBBER (W. R.), ORMES (J. F.) et VON ROSENVINGE (T.), *Proc. Int. Conf. Cosmic Rays*, 1965, 407.
- [27] VON ROSENVINGE (T. T.), ORMES (J. F.) et WEBBER (W. R.), ADP 57, 1968, University of Minnesota, Minneapolis, Minnesota.
-