

Sur l'absorption des mésons π^+ d'énergie voisine de 50 MeV par les noyaux de carbone

Jeanne Laberrigue-Frolow, M. P. Balandine, S.Z. Otvinovski

► **To cite this version:**

Jeanne Laberrigue-Frolow, M. P. Balandine, S.Z. Otvinovski. Sur l'absorption des mésons π^+ d'énergie voisine de 50 MeV par les noyaux de carbone. *J. Phys. Radium*, 1960, 21 (1), pp.54-58. 10.1051/jphysrad:0196000210105400 . jpa-00236186

HAL Id: jpa-00236186

<https://hal.archives-ouvertes.fr/jpa-00236186>

Submitted on 1 Jan 1960

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.

**SUR L'ABSORPTION DES MÉSONS π^+ D'ÉNERGIE VOISINE DE 50 MeV
PAR LES NOYAUX DE CARBONE**

Par JEANNE LABERRIGUE-FROLOW

Laboratoire de Physique Nucléaire, Orsay

et

M. P. BALANDINE et S. Z. OTVINOVSKI,

Laboratoire des Problèmes Nucléaires,
Institut Unifié des Recherches Nucléaires, Doubna (U. R. S. S.).

Résumé. — Étude, à l'aide d'une chambre à bulles à propane, des étoiles dues à l'absorption des mésons π^+ d'énergie 50 ± 20 MeV par les noyaux de carbone. La section efficace de création de telles étoiles a été trouvée égale à 145 ± 36 mb. La répartition des étoiles en fonction du nombre de branches indique un nombre moyen de branches de $2,6 \pm 0,3$. On note une anisotropie dans la répartition angulaire des branches par rapport à la direction des mésons π^+ incidents. Cette anisotropie est vraisemblablement due principalement à une diffusion des mésons π^+ sur des nucléons à l'intérieur du noyau, précédant leur absorption.

On donne la répartition des étoiles à deux branches en fonction de l'angle entre les deux branches.

Abstract. — Stars due to absorption of π^+ mesons of energy 50 ± 20 MeV in carbon nuclei are studied by means of a propane bubble chamber. The cross section is found to be 145 ± 36 mb. The distribution of these stars as a function of the number of prongs indicates a mean number of prongs 2.6 ± 0.3 .

There is a noticeable anisotropy in the angular distribution of prongs relative to the direction of the incoming π^+ . The fundamental reason of this asymmetry is, probably, due to quasi-elastic scattering of the π^+ on nucleons inside the nucleus before its absorption. The distribution of two prongs stars as a function of the angle between the two prongs is given.

Au cours du dépouillement des clichés obtenus dans l'étude de la désintégration $\pi^+ \rightarrow \mu^+ \rightarrow e^+$ [1] à l'aide d'une chambre à bulles à propane ($\varphi = 90$ mm, $h = 70$ mm) [2], il est apparu qu'en plus des désintégrations $\pi^+ \rightarrow \mu^+ \rightarrow e^+$ avait été enregistré un nombre important d'interactions des π^+ sur C.

Il nous paraît intéressant de donner ici le caractère des étoiles dues à l'absorption des mésons π^+ de faible énergie par les noyaux de carbone observés dans la chambre à bulles à propane. Les données antérieures sur les interactions inélastiques des π^+ de faible énergie avec les noyaux complexes étaient en effet soumises à des limitations dues aux méthodes utilisées.

Les études faisant appel aux méthodes de compteurs à scintillations [3-4-5] consistaient en des mesures d'atténuation du faisceau et ne permettaient pas de distinguer l'absorption des autres processus inélastiques.

Les études faites à l'aide des émulsions nucléaires [6-7-8] ne permettaient pas de déterminer le noyau avec lequel l'interaction s'était produite.

Celles enfin qui faisaient appel aux chambres de Wilson [9-10], utilisant des cibles de carbone d'épaisseur finie, absorbant des particules de faible énergie, se limitaient à l'étude des étoiles aux

branches énergiques (protons d'énergie supérieure à 40 MeV) pour [10] la distinction entre absorption et les autres chocs inélastiques étant ainsi difficile.

La chambre à bulles à propane, où le noyau cible pur est dans le sein même du détecteur et où peuvent être décelés des protons d'énergie au moins égale à 3 MeV dont le parcours est de 0,5 mm dans le propane, connaît des limites moindres. C'est la méthode utilisée par Van Gan Tchien et al. [11] à l'Institut Unifié de Recherches Nucléaires pour étudier l'interaction des π^+ d'énergie plus élevée : 250-270 MeV, avec les noyaux de carbone.

Les données que nous avons obtenues peuvent compléter les résultats déjà connus, il est également intéressant de les comparer à celles obtenues par Van Gan Tchien et al. [11].

Le schéma expérimental, dont le détail est donné dans [1] était essentiellement le suivant :

Les mésons π^+ utilisés étaient produits dans la direction du faisceau incident par la réaction $p + p \rightarrow \pi^+ + d$, induite dans une cible de polyéthylène de 30 cm de longueur, bombardée par des protons de 670 MeV (faisceau extérieur du synchrocyclotron de l'Institut Unifié de Recherches Nucléaires).

Le faisceau de mésons éjectés de la cible était dévié par un électroaimant et arrivait dans le hall

du faisceau en traversant, dans un collimateur, le mur de protection en béton de 4 mètres d'épaisseur.

Avant de pénétrer dans la chambre à bulles, les mésons étaient ralentis par un absorbant de cuivre (122 gr/cm^2); d'énergie initiale 273 MeV , ils avaient ainsi dans la chambre une énergie moyenne de $50 \pm 20 \text{ MeV}$ (l'erreur a été évaluée par l'analyse de la courbe de parcours dans le cuivre obtenue à l'aide de scintillateurs et compte tenu de la perte d'énergie dans le propane de la chambre).

Les clichés étaient dépouillés et étudiés à l'aide d'un reprojecteur permettant la mesure des coordonnées spatiales des trajectoires de particules chargées sur des clichés stéréoscopiques [12].

Afin d'éliminer les biais expérimentaux on délimitait à l'intérieur de la chambre une zone de 6 cm de diamètre et on ne relevait que les interactions des mésons π^+ se produisant dans cette région. On avait affaire, évidemment, aux interactions avec les noyaux d'hydrogène, aussi bien qu'avec ceux de carbone.

La diffusion élastique des mésons π^+ sur l'hydrogène était identifiée lorsque les angles mesurés satisfaisaient aux relations cinématiques relatives à ce processus.

Les étoiles retenues à l'examen étaient créées avec ou sans absorption du méson π^+ .

Il n'y avait manifestement pas eu absorption du méson π^+ pour les étoiles dont une branche avait l'allure caractéristique d'une désintégration $\pi^+ \rightarrow \mu^+ \rightarrow e^+$.

Nous avons, pour les autres cas, la certitude d'être en présence du processus d'absorption : soit parce que toutes les branches s'arrêtant dans la chambre, aucune d'entre elles n'était un méson π^+ , soit, dans le cas où une au moins des branches sortait de la chambre, à l'aide de considérations cinématiques :

On déterminait la longueur de chaque branche et on supposait que la plus longue était la trace d'un méson π^+ (les autres étant celles de protons); si la densité de bulles n'augmentait pas à la fin de cette trace on ajoutait à sa longueur visible 1,5 cm de trace très ionisée qu'aurait obligatoirement parcouru un π^+ avant de s'arrêter.

On déterminait ainsi l'énergie minimum libérée par les particules chargées de l'étoile. On admettait qu'il y avait eu absorption du π^+ si —, additionnée de l'énergie de liaison du noyau de carbone, cette énergie était supérieure de 70 MeV à l'énergie de liaison du noyau résiduel (parmi tous les noyaux résiduels possibles on choisissait celui dont l'énergie de liaison était la plus voisine de celle du carbone) ou si — cette condition n'étant pas remplie, toutes les traces sortantes accusaient un noircissement important sur une longueur suffisamment grande pour ne pas pouvoir être celle d'un méson π^+ .

Il va de soi que nous ne distinguons pas de l'absorption les quelques cas possibles d'échange de

charge. Ceci n'influe pas sur le caractère de nos résultats puisque, pour de telles énergies des mésons π^+ la limite supérieure de la section efficace de ce processus n'est que de quelques milli-

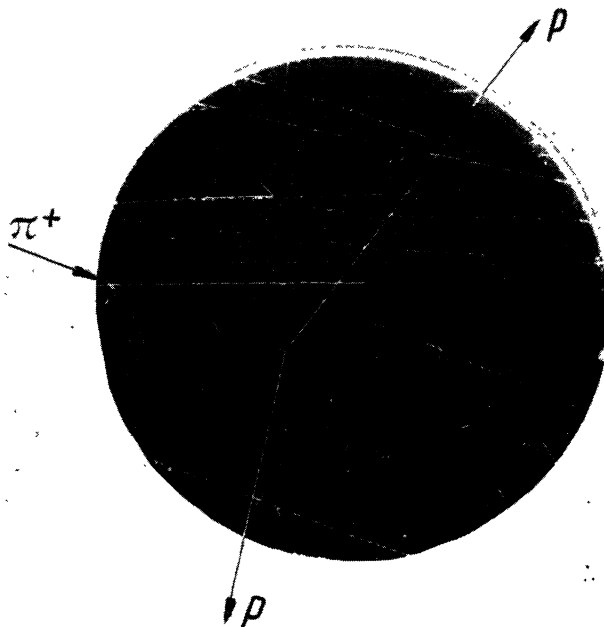


FIG. 1. — Étoile à deux branches due à l'absorption d'un méson π^+ par un noyau de carbone.

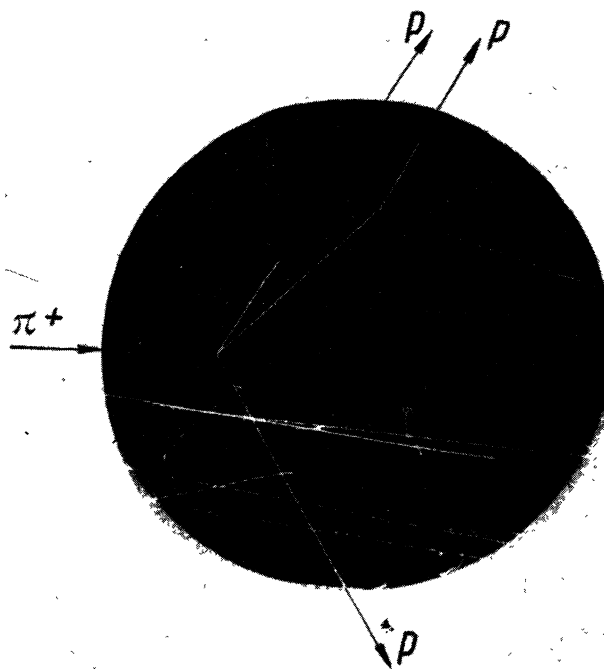


FIG. 2. — Étoile à trois branches due à l'absorption d'un méson π^+ par un noyau de carbone.

barns [13], c'est-à-dire moins de quelques pour cent de la section efficace d'absorption.

Les étoiles restantes qui ne rentraient dans aucune des catégories énoncées étaient classées comme « douteuses ». Des photographies typiques d'étoiles dues à l'absorption des mésons π^+ sont reproduites figures 1 et 2.

Dans les 2 360 clichés stéréoscopiques étudiés on a trouvé 180 étoiles dues certainement à l'absorption des mésons π^+ par les noyaux de carbone. 8 d'entre elles avaient un nombre de branches mal déterminé. En outre on a trouvé 65 autres étoiles « douteuses » d'après nos critères. En supposant que la moitié de ces étoiles « douteuses » sont créées avec absorption du méson π^+ par le noyau de carbone et en tenant compte de la proportion de mésons π^+ présents dans le faisceau (proportion déterminée à l'aide de la courbe d'absorption des mésons dans le cuivre) — nous obtenons une section efficace de 145 ± 36 mb pour l'absorption des mésons π^+ d'énergie 50 ± 20 MeV par les noyaux de carbone. Notre résultat est en accord, en ordre de grandeur, avec celui de Lederman [10].

L'histogramme de la figure 3 donne la répartition des étoiles en fonction du nombre de branches, étant entendu que nous décelons des

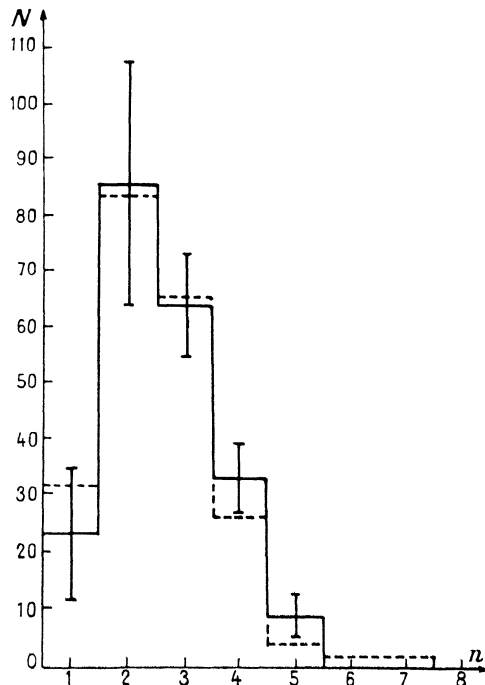


FIG. 3. — Répartition des étoiles en fonction du nombre de leurs branches. N = nombre d'étoiles, n = nombre de branches de l'étoile. Nos résultats sont portés en trait plein. L'erreur tient compte de la statistique et des cas « douteux ». En pointillé sont portées les données obtenues dans le travail [11] pour 115 étoiles dues à l'absorption des mésons π^+ d'énergie 250 à 270 MeV par les noyaux de carbone.

trajectoires dont le parcours minimum correspond à celui des protons d'énergie égale à 3 MeV, et en supposant que la moitié des cas douteux se rapportent à l'absorption des π^+ . L'erreur sur les points expérimentaux est calculée en tenant compte de l'erreur statistique et de la présence des cas douteux, source principale d'erreurs pour les étoiles à une ou deux branches.

Sur la même figure est portée la répartition analogue obtenue dans le travail [11] pour 115 étoiles dues à l'absorption des mésons π^+ de 270-270 MeV par les noyaux de carbone.

On peut constater que, aussi bien dans notre travail que dans celui des autres auteurs, les étoiles à deux branches sont les plus fréquentes : plus de 40 % de toutes les étoiles, dans notre cas.

D'autre part si la répartition obtenue par Bernardini [6] est plus étalée que celle que nous avons obtenue (ce qui correspond au fait que dans les émulsions les noyaux interagissants sont plus lourds que le carbone) — celle donnée par Van Gan Tchien et al. [11] est identique dans les limites d'erreur expérimentales bien qu'obtenue avec des mésons π^+ dont l'énergie totale est de deux fois supérieure à celle des nôtres !

C'est en se basant sur l'hypothèse de l'absorption par une paire de nucléons qu'il convient sans doute d'expliquer ce fait remarquable. Doit-on supposer que dans le cas des mésons plus énergiques il se produise des effets qui se compensent ? Les nucléons émis après l'absorption sont alors relativement plus énergiques ; l'énergie moyenne qu'ils cèdent dans un choc est relativement plus importante, ce qui favorise l'éjection ultérieure hors du noyau des nucléons par cascades. Mais la section efficace d'interaction nucléaire varie avec l'énergie de sorte telle que la probabilité pour des nucléons plus énergiques d'interagir avec d'autres nucléons

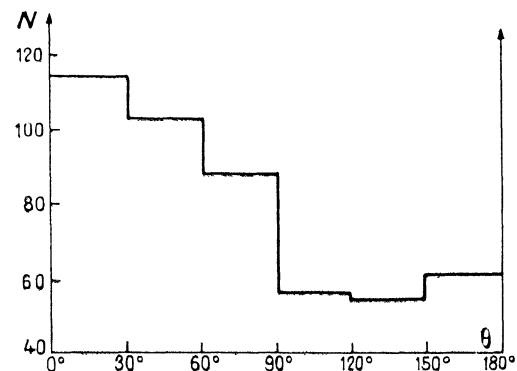


FIG. 4. — Répartition angulaire des branches par rapport à la direction du méson π^+ incident.

θ = projection de l'angle entre la direction du méson π incident et la branche sur le plan perpendiculaire aux axes optiques de la camera stéréoscopique. N = nombre de branches compris dans un intervalle d'angle θ égal à 30° .

à l'intérieur du noyau est relativement plus faible.

Notons encore que le nombre moyen de branches par étoile obtenu à partir de cette répartition est égal à $2,6 \pm 0,3$.

Pour les 172 étoiles certainement dues à l'absorption des mésons π^+ dans les noyaux de carbone, nous avons construit la répartition des branches en fonction de l'angle θ , projection de l'angle compris entre la direction du méson π^+ incident et la branche, sur le plan perpendiculaire aux axes

optiques. On voit (*fig. 4*) une anisotropie notable ; le nombre N_{avant} de particules émises vers l'avant est 1,81 fois supérieur au nombre $N_{\text{arrière}}$ de particules émises vers l'arrière. La valeur $\frac{N_{\text{avant}} - N_{\text{arrière}}}{N_{\text{avant}} + N_{\text{arrière}}}$ caractérisant cette anisotropie est égale à $0,29 \pm 0,05$ pour l'ensemble des étoiles dues à l'absorption.

Les valeurs particulières de cette anisotropie correspondant aux étoiles ayant un nombre donné

TABLEAU 1

Valeur de l'anisotropie $\frac{N_{\text{avant}} - N_{\text{arrière}}}{N_{\text{avant}} + N_{\text{arrière}}}$ pour des étoiles ayant différents nombres de branches.
 N_{avant} = nombre de branches émises dans l'hémisphère avant par rapport à la direction du méson π^+ incident.
 $N_{\text{arrière}}$ = nombre de branches émises dans l'hémisphère arrière par rapport à la direction du méson π^+ incident.

NOMBRE DE BRANCHES DANS L'ÉTOILE	1	2	3	4	5
	$\frac{N_{\text{avant}} - N_{\text{arrière}}}{N_{\text{avant}} + N_{\text{arrière}}}$	$1,00^{+0,29}_{-0,59}$	$0,36^{+0,09}_{-0,1}$	$0,36 \pm 0,08$	$0,18 \pm 0,09$

de branches sont données dans le tableau 1. On constate une certaine tendance à une diminution de l'anisotropie en fonction de l'augmentation du nombre de branches de l'étoile.

Cet effet ne peut être lié au processus d'absorption des mésons π^+ par une paire de nucléons. Il est facile de s'en convaincre à l'aide soit des relations cinématiques, soit des données expérimentales relatives à la répartition des étoiles à deux branches en fonction de l'angle α entre les deux branches. Cette répartition met en évidence (*fig. 5*) un groupe

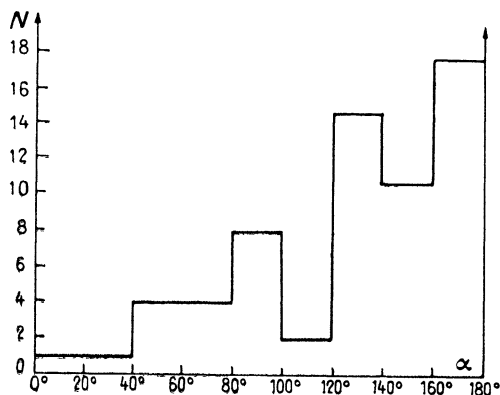


FIG. 5. — Répartition des étoiles à deux branches en fonction de l'angle compris entre les deux branches :
 α = angle compris entre les deux branches ;
 N = nombre d'étoiles à deux branches compris dans un intervalle d'angle α égal à 20° .

important d'étoiles ayant un α compris entre 120° - 180° qui correspond vraisemblablement au pro-

cessus bien connu [6-8-11] d'absorption des mésons π^+ par une paire de nucléons. La répartition des protons de ce groupe en fonction de l'angle θ , comme le prévoient les relations cinématiques, est isotrope.

Il est raisonnable de supposer que la source principale de l'anisotropie est la diffusion quasi élastique des mésons π^+ sur les protons et leur diffusion avec échange de charge sur les neutrons à l'intérieur du noyau, puisqu'alors les protons ne peuvent être émis que vers l'avant par rapport à la direction du π^+ incident. D'après cette hypothèse, à côté d'étoiles créées avec l'absorption des mésons π^+ sans diffusion préliminaire sur des nucléons à l'intérieur du noyau, il doit y avoir un groupe important d'étoiles pour lesquelles les mésons π^+ subissent avant d'être absorbés une diffusion quasi élastique ou avec échange de charge. Cette représentation de la formation d'étoiles avec absorption des mésons π^+ en deux étapes est évidemment tout à fait schématique puisque la succession dans le temps de ces deux processus à l'intérieur du noyau est assez arbitraire.

Si l'on tient compte des valeurs des sections efficaces des processus $\pi^+ + p \rightarrow \pi^+ + p$, $\pi^+ + n \rightarrow \pi^0 + p$, $\pi^+ + n \rightarrow \pi^+ + n$ et des processus $\pi^- + n \rightarrow \pi^- + n$, $\pi^- + p \rightarrow \pi^0 + n$, $\pi^- + p \rightarrow \pi^- + p$, on doit s'attendre par conséquent à ce que, pour les étoiles créées avec absorption d'un méson π^- , le degré d'anisotropie $\frac{N_{\text{avant}} - N_{\text{arrière}}}{N_{\text{avant}} + N_{\text{arrière}}}$ soit sensiblement plus petit que celui que nous avons observé ici.

Nous sommes heureux de remercier ici M. Bruno

Pontecorvo pour les conseils bienveillants et constants qu'il nous a donnés.

Nous remercions aussi les différents travailleurs du laboratoire qui nous ont aidés de leur expérience, ainsi que V. A. Moissenko et V. Trifonov et E. Iourova qui ont effectué quelques mesures.

L'une de nous, Jeanne Laberrigue-Frolow, désire exprimer sa vive gratitude aux P^{rs} D. I. Blokhinzev

et V. P. Djelepov pour l'accueil et les possibilités de travail qu'ils lui ont donné à l'Institut Unifié de Recherches Nucléaires. Sa pensée reconnaissante va à la mémoire de Frédéric Joliot-Curie, son maître, par l'initiative et la volonté duquel son séjour à Doubna a pu se faire.

Manuscrit reçu le 19 septembre 1959.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] BALANDINE (M. P.) et MOISSEENKO (V. A.), *J. E. T. P.* **36**, 424, 1959.
- [2] BALANDINE (M. P.) et MOISSEENKO (V. A.), Rapport à la conférence des Hautes Énergies, Moscou, 1956.
- [3] STORK (D. H.), *Phys. Rev.*, 1954, **93**, 868.
- [4] ISAACS (P. J.), SACHS (A. M.) et STEINBERGER (J.), *Phys. Rev.*, 1952, **85**, 803.
- [5] IGNATENKO (A. E.), MOUKHIN (A. I.), OZEROV (E. B.) et PONTECORVO (B.), *J. E. T. P.*, 1956, **31**, 4 (10), 545 (cet article donne et discute l'ensemble des données sur les interactions des mésons avec Pb, Cu, C et Be).
- [6] BERNARDINI (G.) et LÉVY (F.), *Phys. Rev.*, 1951, **84**, 610.
- [7] BRADNER (B.) et RANKIN (H.), *Phys. Rev.*, 1952, **87**, 4, 553.
- [8] BLAU (M.), OLIVER (E. R.) et SMITH (J. L.), *Phys. Rev.*, 1953, **91**, 949.
- [9] SHAPIRO (A.), *Phys. Rev.*, 1951, **84**, 1063.
- [10] BYFIELD (H.), KESSLER (J.) et LEDERMAN (L. M.), *Phys. Rev.*, 1952, **86**, 17.
- [11] VAN GAN TCHIAN, VAN TSOU TSEN, DIN DA TSAO, DOUBROVSKY. L. N.), KLADNITSKAIA (E. N.) et SOLOVIEV (M. I.), *J. E. T. P.*, 1958, **35**, 899.
- [12] VASSILENKO (A. I.), KOZODAIEV (M. S.), SOULAEV (R. M.), PHILIPPOV (A. I.) et CHTERBAKOV (Iou A.), *Pribori i Technika experimenta*, 1957, **6**, 34.
- [13] WILSON (R.) et PERRY (J. P.), *Phys. Rev.*, 1951, **84**, 163.