

PREMIER MINISTRE
COMMISSARIAT A
L'ÉNERGIE ATOMIQUE

SÉLECTION DE MÉSONS K^+ DANS UN FAISCEAU SECONDAIRE DE "SATURNE"

par

J. SEGUINOT et J. TEIGER
Faculté des Sciences de Caen
et L. VAN ROSSUM
Commissariat à l'Énergie Atomique

Rapport CEA n° **2097**

1961

CENTRE D'ÉTUDES
NUCLÉAIRES DE SACLAY

CEA 2097 - SEGUINOT J., TÉIGER J. et VAN ROSSUM

Sélection de mésons K^+ dans un faisceau secondaire de « Saturne » (1961)

Sommaire. — On décrit un dispositif pour la détermination du nombre de mésons K^+ produits dans un faisceau secondaire du synchrotron à protons « Saturne ».

On analyse en détail les critères de sélection et les essais permettant l'identification des mésons K^+ . Pour le rapport $\pi^+/K^+ = 400$, et pour une impulsion de 600 MeV/c, moins de 5 p. 100 des particules dérivent de coïncidences fortuites.

CEA 2097 - SEGUINOT J., TEIGER J. et VAN ROSSUM

Selection of K^+ mesons in a secondary beam of "Saturne" (1961).

Summary. — The electronic device is described which permitted the determination of the number of K^+ mesons produced in a secondary beam of the "Saturne" proton synchrotron.

The selective criteria and the tests which allowed the identification of the K^+ mesons, are analysed in detail. For the ratio $\pi^+/K^+ = 400$, and with a momentum of 600 MeV/c, less than 5 p. 100 of the detected particles corresponded to spurious events.

SELECTION DE MESONS K^+ DANS UN FAISCEAU SECONDAIRE DE "SATURNE"

J. SEGUINOT et J. TEIGER †

Laboratoire de Physique Corpusculaire de la Faculté des Sciences de Caen

et L. VAN ROSSUM

S.P.C.H.E., Saclay

Reçu le 21 novembre 1960

The electronic device is described which permitted the determination of the number of K^+ mesons produced in a secondary beam of the "Saturne" proton synchrotron.

The selective criteria and the tests which allowed the identi-

fication of the K^+ mesons, are analysed in detail. For the ratio $\pi^+/K^+ = 400$, and with a momentum of 600 MeV/c, less than 5% of the detected particles corresponded to spurious events.

1. Introduction

Le montage électronique qui va être décrit a servi à mesurer, auprès du synchrotron à protons de Saclay, l'intensité des mésons K^+ de 600 MeV/c d'impulsion produits dans des cibles de carbone, cuivre et plomb par des chocs proton-nucléon à 35° (dans le système du Laboratoire) par rapport à la direction des protons incidents. Le but du travail était l'étude des variations des sections efficaces de production en fonction d'une part de l'énergie des protons, d'autre part de la dimension des noyaux de la cible¹). Nous décrivons ici seulement les diverses parties du montage utilisé.

Etant donné un sélecteur de coïncidence dont le pouvoir de résolution est de l'ordre de $3 \text{ à } 4 \times 10^{-9}$ sec, une séparation par temps de vol des mésons K^+ impliquerait une base de temps de 5×10^{-9} sec au minimum. Or, pour une impulsion de 600 MeV/c à laquelle nous nous proposons de travailler, la différence entre le temps de vol des mésons légers et celui des mésons K^+ ($\beta = 0.775$), est de 8.8×10^{-10} sec/m. Il faudrait donc une base de 6 à 10 m après l'analyse magnétique, alors que le libre parcours moyen n'est que de 4.50 m dans le système du laboratoire pour cette énergie.

Il peut être ainsi remarqué, que compte tenu du taux de production attendu des mésons lourds (environ 1 méson K^+ pour 400 π), leur séparation suivant cette méthode présente des difficultés importantes d'autant plus que le résiduel des mésons

π et des protons est difficile à estimer au niveau des mésons K^+ de la courbe de résolution.

Nous avons de ce fait préféré une méthode qui consiste à éliminer toutes les particules autres que les mésons K^+ , en utilisant les propriétés d'émission d'un rayonnement Čerenkov, au moyen de détecteurs appropriés.

Le dispositif est constitué :

1. d'un télescope formé de compteurs à scintillation, définissant le passage d'une particule dans le faisceau ;
2. d'un compteur Čerenkov sensible surtout aux mésons légers et à leurs produits de désintégration ;
3. d'un compteur Čerenkov sensible surtout aux mésons lourds (compteur du type Fitch).

On verra plus loin que nous nous sommes servis aussi de l'information donnée par les scintillateurs sur la perte d'énergie par ionisation pour séparer les protons.

En fait, l'élimination des particules autres que les mésons K^+ est assurée par plusieurs méthodes indépendantes, chacune d'elles n'assurant pas un taux de réjection suffisant.

2. Dispositif Expérimental

2.1. LE FAISCEAU

La disposition des divers éléments du faisceau est donné par la fig. 1.

Les mésons K^+ sont produits par des protons du synchrotron heurtant la cible interne à énergie donnée, variable.

¹) Publication à paraître, lettres "Nuovo Cimento".

† Partie d'un travail présenté pour thèse de Doctorat ès-Sciences près de l'Université de CAEN (No. 40 Avril 1960).

Une lentille électromagnétique est placée à 4.30 m de la cible suivant un axe faisant un angle de 35° avec la direction des protons incidents. Cette lentille est composée de trois quadrupôles.

Un aimant d'analyse, placé immédiatement après le dernier quadrupôle permet d'obtenir un

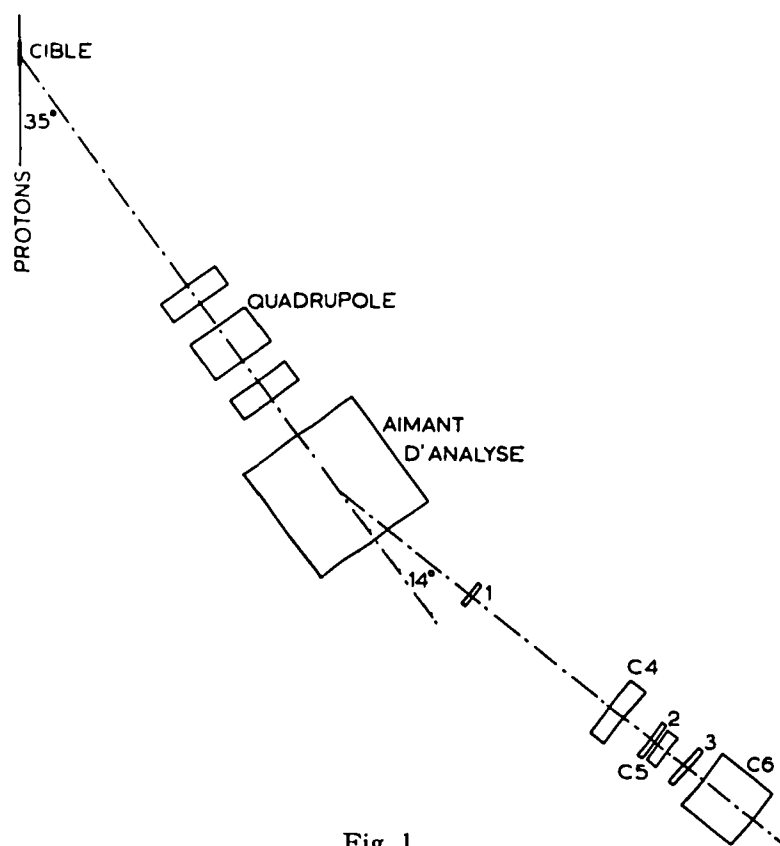


Fig. 1.

faisceau de particules d'impulsion bien définie à l'endroit de l'image de la cible.

La largeur de la bande d'impulsion était égale à $\pm 7\%$ de l'impulsion moyenne correspondant aux $\frac{2}{3}$ des particules d'une distribution sensiblement gaussienne.

2.2. LE TELESCOPE DE SCINTILLATEURS

Le compteur à scintillation I a une épaisseur de 6 mm et un diamètre de 60 mm. Il est couplé optiquement à un photomultiplicateur RCA type 6810 A.

Les scintillateurs 2 et 3 ont aussi 6 mm d'épaisseur mais ils ont un diamètre de 90 mm. Chacun d'eux est monté sur un photomultiplicateur Radio-technique Type 56 AVP.

Tous ces compteurs placés respectivement à 2.50 m, 4.50, 5.50 m du centre de l'aimant d'analyse, sont montés en coïncidence sur le sélecteur C₁

(fig. 2). Ce circuit de coïncidence, comme tous ceux que nous avons utilisés dans ce montage, est de type additif à trois voies, avec possibilité de réaliser des coïncidences ou des anticoincidences. Il a un temps de résolution de l'ordre de $3 \text{ à } 4 \times 10^{-9}$ sec.

La courbe de temps de vol de ce télescope en fonction du retard du compteur I, (2 et 3 sont trop voisins pour qu'il soit nécessaire de réajuster leur retard) est donné par la fig. 3.

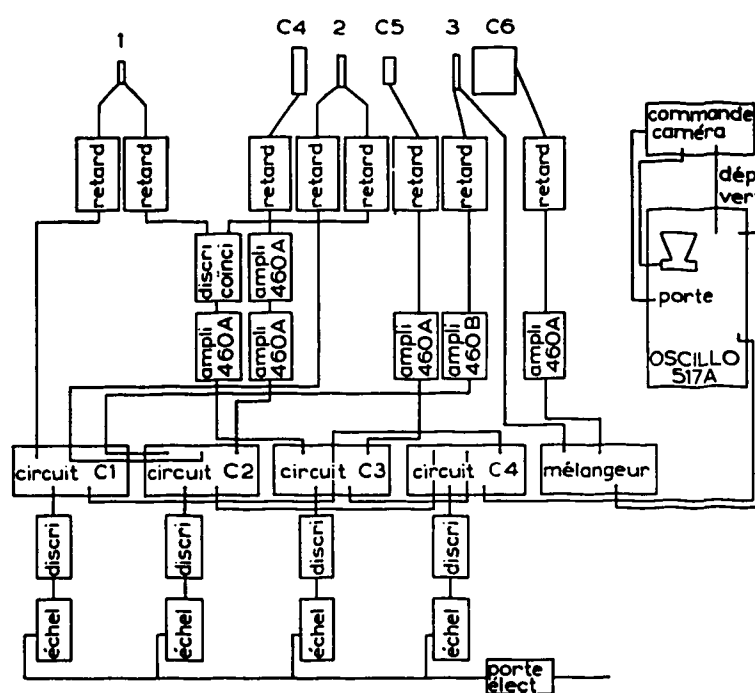


Fig. 2.

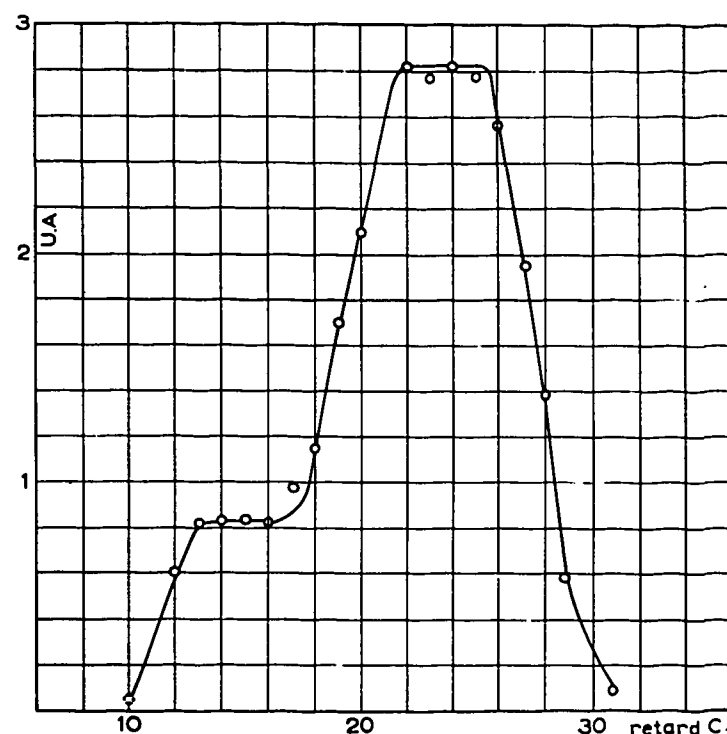


Fig. 3.

2.3. LES COMPTEURS ČERENKOV

a. Le compteur Čerenkov à seuil de vitesse de détection des mésons π

Il est constitué par une substance fluorée fabriquée sous le nom de "Fluorochemical O-75", d'indice $n = 1.276$, tel que pour une impulsion de 600 MeV/c,

$$\beta_{\pi} > \frac{1}{n} > \beta_K.$$

Il se présente (fig. 4), sous forme d'une cellule cylindrique de 140 mm de diamètre et de 40 mm

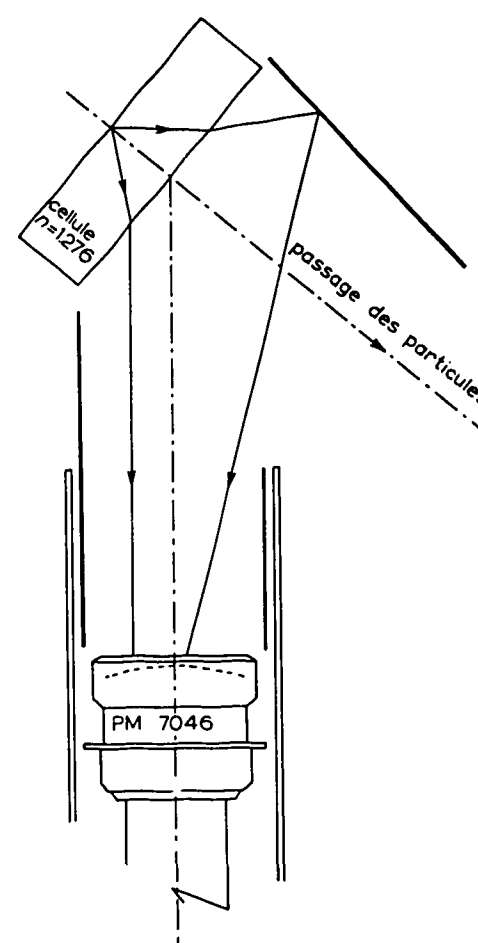


Fig. 4.

d'épaisseur. La face d'entrée est en laiton de 0.3 mm d'épaisseur, la face de sortie, transparente, est une feuille mince de mylar afin de réduire la lumière Čerenkov produite dans cette paroi.

L'angle d'émergence de la lumière, soit 49°, détermine l'emplacement du photomultiplicateur RCA 7046. Un miroir plan incliné à 15° par rapport à l'axe, permet de recueillir une partie de la lumière émise dans la direction symétrique. Deux autres miroirs plans placés de chaque côté de la

cellule permettent d'augmenter la collection de la lumière.

Des mesures ont permis d'évaluer à 25% l'efficacité de collection de la lumière, avec une faible dispersion.

Déterminé avec des protons le seuil effectif a été trouvé pour $\beta = 0.84$, alors qu'à 600 MeV/c, $\beta_K = 0.75$.

Nous verrons plus loin que l'efficacité de ce compteur pour les mésons légers et leurs produits de désintégration ($\beta \approx 1$) est de l'ordre de $(1-10^{-4})$.

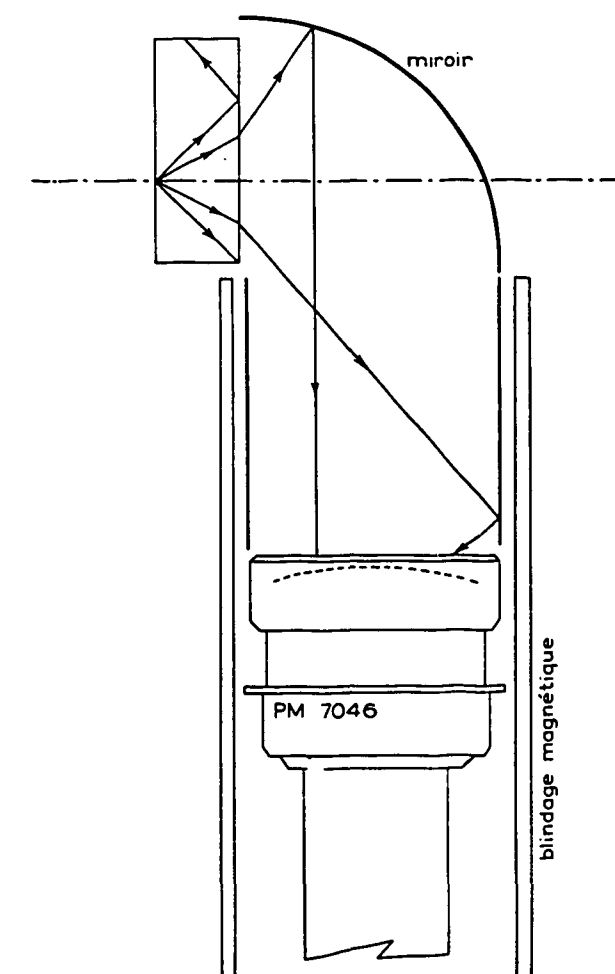


Fig. 5.

b. Le compteur Čerenkov du type Fitch de détection des mésons K^+

Le compteur (fig. 5) est constitué par un disque de plexiglass de 80 mm de diamètre et 30 mm d'épaisseur. Le pourtour et la face arrière, par laquelle pénètre le faisceau, sont dépolis et noircis. L'axe du compteur est parallèle à la direction du faisceau.

Pour atteindre la photocathode, la lumière doit sortir par la face avant qui est en contact avec l'air

et il faut donc que l'angle d'incidence sur cette face soit inférieur à l'angle de réflexion totale :

$$\theta_c = \text{arc sin } 1/n.$$

Au-delà de cet angle, la lumière subit la réflexion totale et est ensuite absorbée par la face arrière ou la surface latérale. Ce compteur est donc sensible dans la bande de vitesse :

$$\frac{1}{n} < \beta < \frac{1}{n \cdot \cos \theta_c} = \frac{1}{\sqrt{n^2 - 1}}$$

(cette formule implique $n^2 \geq 2$). Pour le plexiglass $n = 1.5$ et on a

$$0.665 < \beta < 0.89.$$

Avec ce compteur, il est possible de détecter les mésons K^+ possédant une impulsion comprise entre 0.5 et 0.8 GeV/c, sans qu'il soit sensible, en principe, aux mésons légers ou aux protons de même impulsion.

Un miroir en forme de quart de cylindre, terminé à chaque extrémité par un miroir plan, conduit la lumière sur un photomultiplicateur à grande photocathode, RCA type 7046.

Ce compteur a été essayé dans un faisceau de protons d'énergie variable; pour un β égal à 0.775 correspondant au β des mésons K^+ de 0.60 GeV/c, nous avons pu constater que l'amplitude des impulsions à l'anode du photomultiplicateur était assez élevée et uniforme pour que l'on puisse s'attendre à une bonne efficacité. Nous avons effectivement constaté que l'amplitude des impulsions diminuait lorsque la vitesse des protons approchait un β égal à 0.89.

Cependant ce compteur présente un certain nombre de défauts. Nous avons remarqué qu'une fraction des mésons π produisait des impulsions. En effet, si nous faisons l'estimation du nombre d'interactions dans le compteur Fitch, nous trouvons qu'environ 4% des mésons π interagissent en donnant un méson π à un angle supérieur à environ 10° . Ceci correspond bien à l'efficacité mesurée pour les mésons π .

De plus, nous devons tenir compte du fait que, la surface en regard du photomultiplicateur n'étant pas parfaitement polie, une certaine quantité de lumière est diffusée et réussit à sortir du disque de plexiglass.

D'autre part, des protons de 0.60 GeV/c dont la vitesse est inférieure à la vitesse de la lumière dans le plexiglass sont également comptés avec une efficacité faible, de l'ordre de 1% à 2%. Ceci pourrait être dû à une scintillation dans le plexiglass.

3. Sélections des Mésons

La figure 2 montre l'ensemble du dispositif électronique devant répondre aux conditions imposées, résumées au début de cet article.

1. Le compteur Čerenkov 4, sensible qu'aux seuls mésons légers est mis en coïncidence avec les scintillateurs 2 et 3 dans le circuit C_2 .

Le compteur 1 a été volontairement écarté de façon que l'information du circuit C_2 soit indépendante du retard imposé à ce compteur quand on relève la courbe de résolution finale.

L'impulsion rapide de sortie du circuit C_2 , inversée de phase et mise en forme par un amplificateur large bande Hewlett Packard 460 B, fournit le signal d'anticoïncidence pour les mésons π et les leptons chargés.

2. Le compteur Fitch mis en coïncidence dans le circuit C_3 avec l'information du circuit C_1 , devrait normalement permettre de définir le passage d'un méson K^+ . Mais nous avons vu qu'il comptait un résiduel de pions, qui pourra être éliminé par l'information du circuit C_2 , et de protons.

Pour séparer cette dernière composante, nous nous sommes servis du fait qu'à 600 MeV/c, la perte d'énergie par ionisation des protons est sensiblement plus grande que celle des particules plus légères et qu'ils produisent, par conséquent, des impulsions plus grandes dans les scintillateurs. Afin d'augmenter la sensibilité de cette discrimination, les signaux des compteurs 1 et 2 sont envoyés dans un circuit d'addition avant d'être discriminés en amplitude. L'impulsion résultante fournit le signal d'anticoïncidence de C_3 .

Le circuit C_3 donne donc en définitive une impulsion pour les mésons K^+ et un résiduel de mésons légers.

3. Finalement le circuit C_4 , fait la synthèse de toutes ces informations. Il reçoit en coïncidence les sorties de C_1 et C_3 et en anticoïncidence la sortie de C_2 . Le signal de sortie de C_4 est alors considéré

comme provenant du passage d'un méson K^+ dans le faisceau.

La courbe de résolution finale, fonction du retard du compteur 1, est donnée par la fig. 6 sur laquelle

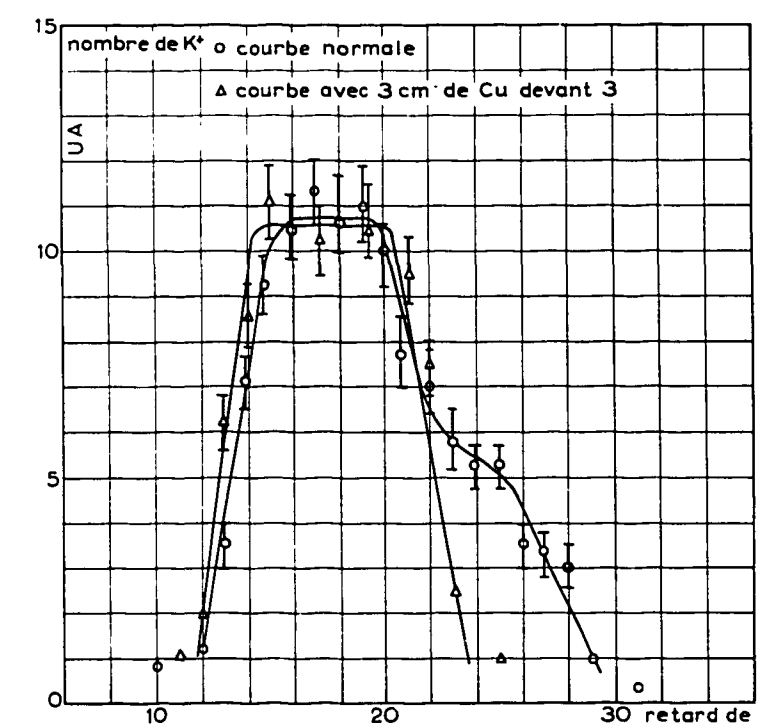


Fig. 6.

on peut voir encore une déformation due à des protons. Ils représentent environ 1/7000 du nombre des protons traversant les compteurs. La comparaison avec la deuxième courbe de la même figure montre que la contribution des protons a disparu par interposition de 3 cm de cuivre devant le compteur 3.

3.1. REMARQUE SUR LA SELECTION DES K^+

La disposition des compteurs telle qu'elle a été décrite résulte du souci d'écartier le maximum de coïncidence fortuites.

Il doit être signalé cependant deux possibilités dangereuses de fortuites :

1. Une particule quelconque passant dans le scintillateur 1, tandis qu'un proton simultané passe dans les compteurs 2, 3 et les compteurs Čerenkov 4 et 5. La seule barrière qui puisse éliminer cette coïncidence fortuite, indépendante du retard du compteur 1, est le compteur Fitch.

2. Mais l'évènement le plus dangereux est un méson π interagissant, en amont ou à l'entrée du compteur 4, de façon à ne pouvoir donner le signal

d'anticoïncidence. Nous obtiendrons un comptage parasite si cette interaction donne lieu à l'émission d'une particule plus lente capable d'exciter les scintillateurs 2 et 3 et le compteur Fitch.

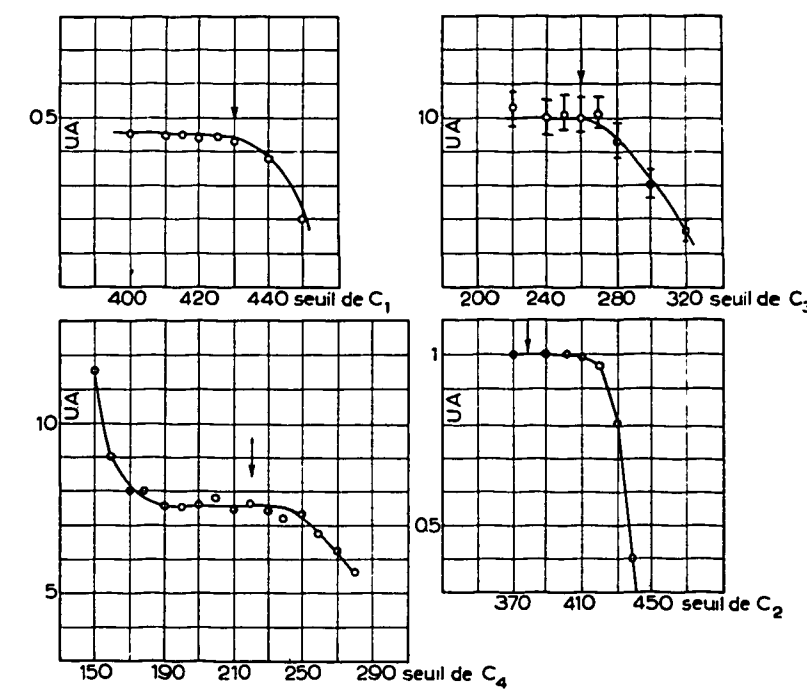


Fig. 7.

3.2. REGLAGE DES CIRCUITS DE SELECTION

Sur la fig. 7 ont été groupées les courbes de seuil de chacun des circuits de coïncidence. Ces courbes correspondent au spectre intégral de l'amplitude de l'impulsion après addition des impulsions des diverses voies, en fonction du niveau de discrimination.

Circuit C_1

La courbe de seuil a été relevée avec des mésons π négatifs afin d'avoir un faisceau pratiquement pur. On notera une plage de stabilité très satisfaisante. Elle serait d'ailleurs meilleure avec les mésons K^+ puisqu'ils sont moins rapides et que par conséquent, ils donnent une impulsion de scintillation plus grande.

Circuit C_2

Etant donné le rapport π^+/K^+ attendu, égal à 400, ce circuit doit avoir une efficacité beaucoup plus critique.

Nous avons trouvé qu'un méson π du faisceau sur 10000 échappait à la détection. Cette valeur détermine donc l'efficacité de l'anticoïncidence π .

Circuit C₃

Son réglage est déterminé sans l'anticoïncidence des protons. Il a été obtenu en utilisant des protons dont la vitesse est égale à celle des mésons K⁺ de 600 MeV/c.

Reste ainsi à ajuster la valeur de la discrimination des protons qui ne peut être faite qu'au niveau du circuit C₄.

Circuit C₄

Il est réglé en faisceau positif à 600 MeV/c au retard correspondant du compteur I, des mésons K⁺.

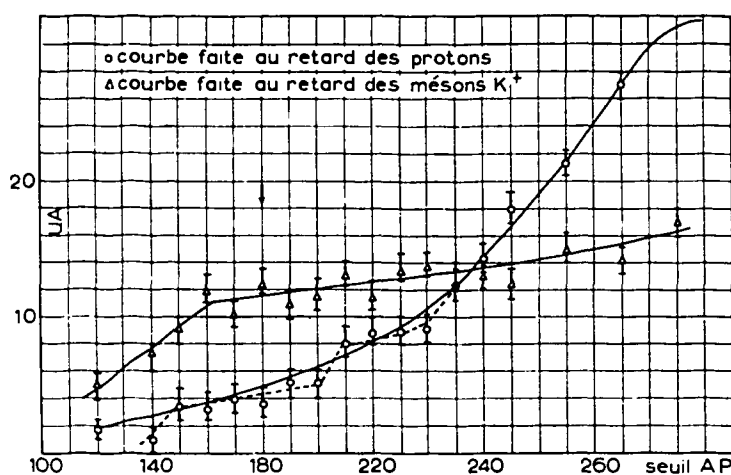


Fig. 8.

Une courbe de seuil relevée de cette façon ne permet pas d'obtenir un plateau de fonctionnement, puisqu'un certain nombre de protons sont comptés par le circuit C₃ en donnant à sa sortie, quel que soit le gain, un spectre d'amplitude.

La fig. 8 indique le taux de comptage normalisé du circuit C₄ en fonction du niveau de discrimination de l'anticoïncidence des protons, lorsque le retard du scintillateur I est ajusté soit au retard des mésons K⁺ ou sur celui des protons. Pour le point de fonctionnement de l'anticoïncidence noté sur la courbe, la courbe de seuil du circuit C₄ est celle donnée par la fig. 7.

4. Efficacité de la Détection

La courbe 8 montre que pour le point de fonctionnement choisi, au retard des protons on compte à la sortie du circuit C₄ un nombre de protons égal au tiers du nombre des mésons K⁺.

Il en résulte qu'au retard des K⁺ il doit rester un nombre négligeable de protons qui pourraient être comptés comme des mésons K⁺. C'est bien d'ailleurs

ce que nous avons noté à partir de l'étude de la courbe de résolution de la fig. 5 après interposition de 3 cm de cuivre dans le faisceau. Remarquons que l'atténuation du nombre des protons au niveau du circuit C₁ a été trouvée beaucoup plus faible que l'atténuation résultante du résiduel au niveau du circuit C₄.

L'ensemble de ces tests nous a permis de déduire que le comptage du circuit C₄ inclut plus de 90% des mésons K⁺ passant par les compteurs.

L'essai de l'anticoïncidence des mésons π dans le faisceau négatif et la forme de courbe de retard du circuit C₄ permettent de conclure que notre sélection inclut moins de 5% de particules autres que les mésons K⁺ après soustraction des coïncidences fortuites.

5. Identification des Mésons K⁺**5.1. MESURE DU PARCOURS RESIDUEL**

Nous avons effectué un certain nombre de contrôles afin de prouver que la sélection électronique identifiait bien des mésons K⁺:

En premier lieu, la mesure du parcours dans le cuivre des particules sélectionnées. A cet effet, nous disposons devant le scintillateur 3 des plaques de cuivre de différentes épaisseurs. Pour une épaisseur de cuivre donnée, on enregistre le nombre de particules rapporté au même nombre de protons sur la cible.

En portant le nombre de particules qui ont traversé une épaisseur de cuivre donnée, en fonction de cette épaisseur, nous obtenons la "courbe de parcours" (fig. 9).

On observe une diminution lente pour les faibles épaisseurs; le taux de cette diminution correspond à la section efficace totale pour la géométrie utilisée.

Il vient ensuite une descente rapide qui correspond à l'arrêt des particules par ionisation. Cette descente est étalée dans un intervalle Δx qui correspond essentiellement à la bande d'impulsion Δp des particules contenues dans le faisceau.

La courbe obtenue pour les particules sélectionnées est bien celle que l'on attend pour les particules de masse égale à environ 0.5 GeV, ayant une impulsion moyenne de 0.6 GeV/c et un $\Delta p/p$ de $\pm 7\%$. L'atténuation du faisceau sélectionné, produite par interaction est nettement inférieure à celle qui correspondrait à la section efficace des mésons π^+ et des protons.

Elle est compatible avec la section efficace d'absorption des mésons K⁺.

Sur cette courbe, on observe d'autre part une queue d'un faible pourcentage du comptage maximum. En effet les mésons K⁺ s'arrêtant dans le cuivre émettent des secondaires dont certains si-

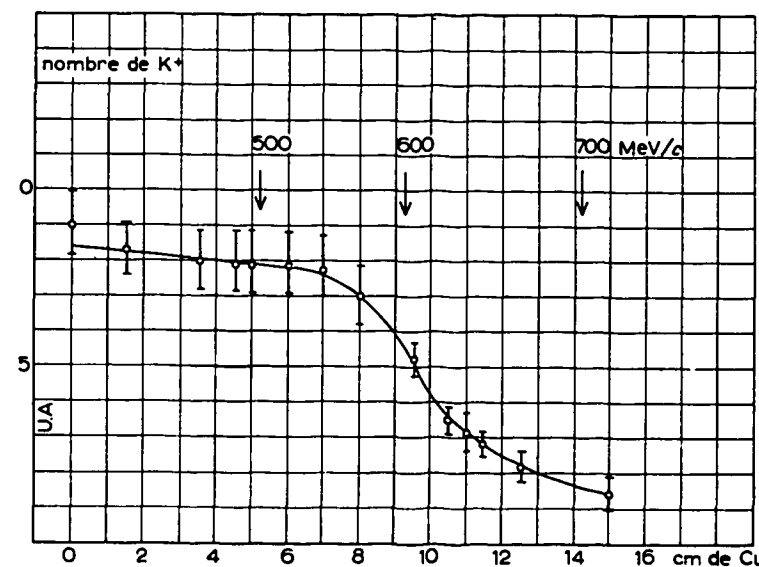


Fig. 9.

muleront un parcours plus long. Une estimation montre que ce phénomène explique bien cette déformation observée de la courbe de parcours.

Les particules sélectionnées ont donc bien une masse d'environ 0.5 GeV.

5.2. MESURE DE LA VIE MOYENNE

Une vérification supplémentaire consiste dans la mesure de la vie moyenne de désintégration de ces particules arrêtées à l'intérieur d'un compteur Čerenkov.

Nous employons pour cela une cuve de 150 x 150 x 150 mm³ en plexiglass de 5 mm d'épaisseur, remplie d'un liquide d'indice $n = 1.276$ dans lequel le méson K⁺ ne donne lieu à aucune lumière Čerenkov. Une certaine épaisseur de cuivre est disposée devant la cuve de façon que les mésons K⁺ s'y arrêtent. Parmi les produits de désintégration, (π , μ , électrons) un certain nombre produisent du rayonnement Čerenkov. Le retard de l'impulsion correspondante par rapport à l'instant d'entrée du méson K⁺ doit être distribué suivant une loi exponentielle correspondant à la vie moyenne.

La cuve Čerenkov est noircie sur toutes ses faces à l'exception d'une qui est en contact optique avec

un photomultiplicateur Radiotechnique, type 58 A.V.P. De cette façon, nous ne conservons que des rayons lumineux qui sont approximativement isochrones. Environ 15% des K⁺ du faisceau se désintègrent dans la cuve d'une manière à produire une impulsion utile à la sortie du détecteur.

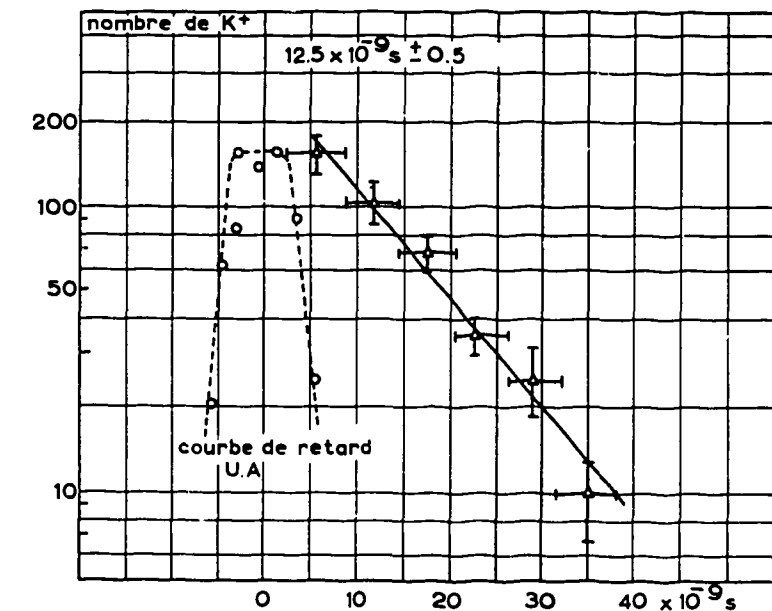


Fig. 10.

La déviation horizontale d'un Oscillographe Tektronix, type 517 A, à vitesse de balayage connue est déclenchée par la sortie rapide du circuit C₄ qui sélectionne les mésons K⁺ du faisceau. Dans un mélangeur d'impulsions sont envoyées les sorties du compteur 3 et de ce compteur Čerenkov. La sortie du mélangeur attaque l'amplificateur vertical de l'oscillographe. Sur la photographie de la trace on mesure la distance entre les deux impulsions. Nous avons trouvé une durée de vie de la particule comprise entre 1.18 et 1.25 x 10⁻⁸ s, ce qui achève l'identification d'un méson K⁺ (fig. 10).

Remerciements

Les auteurs remercient, Monsieur le Professeur Schérer pour son encouragement qui a rendu possible le travail, et pour l'intérêt qu'il y a apporté, Monsieur Berthelot pour l'hospitalité qu'il a accordée¹⁾ dans les Laboratoires de Saclay. Nous remercions Monsieur Levy-Mandel, ses ingénieurs et techniciens qui ont fait fonctionner l'accélérateur "Saturne".

¹⁾ à deux d'entre nous.

FIN