

ACADEMIA BRASILEIRA DE CIENCIAS

SÔBRE A DESINTEGRAÇÃO DO MESON PESADO POSITIVO

ELISA FROTA PESSOA E NEUSA MARGEM

(SEPARATA DO N.º 4. TOMO XXII DOS ANAIS DA ACADEMIA BRASILEIRA DE CIENCIAS)



RIO DE JANEIRO

Serviço Gráfico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

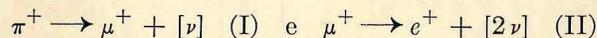
1950

SÔBRE A DESINTEGRAÇÃO DO MESON PESADO POSITIVO

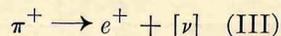
ELISA FROTA PESSOA (*) E NEUSA MARGEM (**)

1. *Introdução* -No presente trabalho denominaremos "meson" qualquer partícula (possuindo ou não carga elétrica) cuja massa esteja compreendida entre a do eletron e a do proton. De acordo com êsse critério, podemos resumir o estado atual do nosso conhecimento experimental dos mesons da maneira indicada na tabela I.

A finalidade dêste trabalho consiste em verificar se, além das desintegrações:



existe a desintegração direta:



e, em caso afirmativo, quais as porcentagens de π^+ que desintegram segundo os esquemas (I) e (III).

2. *Resultados anteriores* - Os únicos resultados conhecidos sôbre o assunto em questão são os do grupo de BERKELEY (16), o qual verificou que o número de mesons π^+ que se desintegram segundo o esquema (III) deve ser menor que 5%.

O método utilizado pelo grupo de BERKELEY consiste no seguinte: "Chapas fotográficas nucleares do tipo C3 foram expostas a π^+ produzidos no ciclotron de 184 polegadas. As chapas detectaram π^+ em condições de "boa geometria", de modo que a massa dos mesons poude ser determinada com grande precisão. Cêrca de cem (100) trajetórias de π^+ foram

(*) Do Departamento de Física da Faculdade Nacional de Filosofia e do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas.

(**) Do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas.

TABELA I

A: mesons cuja existência é certa

NOME	Símbolo	Descoberta	Massa (m. e.)	Carga elétrica (carga eletrônica)	Spin ($\hbar/2\pi$)	Relações genéticas	Vida média (seg.)	Obs.
1) meson leve positivo	μ^+	<i>Anderson e Street</i> 1937 (1), (2)	215	+1	[1/2]	$\mu^+ \rightarrow e^+ + [2\nu]$ (5)	2×10^{-6} (7)	
2) meson leve negativo	μ^-	<i>Anderson e Street</i> 1937 (1), (2)	215	-1	[1/2]	$\mu^- \rightarrow e^- + [2\nu]$ (5)	2×10^{-6} (7)	
3) meson pesado positivo	π^+	<i>Lattes, Occhialini e Powell</i> 1947 (3), (4)	276	+1	[0 ou 1]	$\pi^+ \rightarrow \mu^+ + [\nu]$ (6)	2.6×10^{-8} (8)	
4) meson pesado negativo	π^-	<i>Lattes, Occhialini e Powell</i> 1947 (3), (4)	276	-1	[0 ou 1]	$\pi^- \rightarrow \mu^- + [\nu]$ (8)	2.6×10^{-8} (8)	

B: mesons cuja existência é provável

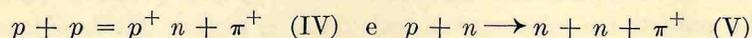
5) meson pesado neutro	π^0	<i>Grupo de Berkeley, Bradt, et al.</i> (9) (10)	≈ 300	0	[0 ou 1]	$\pi^0 \rightarrow 2h\nu$ (9) e (10)	$< 10^{-13}$ (9) e (10)	evidência experimental boa mas não segura
6) meson superpesado positivo	τ^+	<i>Camerini et al.</i> (11)	≈ 1000 (12) (13) (14)	+1		$\tau^+ \rightarrow \pi^+ + \mu^+ + \pi^-$ (11)		evidência experimental fraca
7) meson superpesado negativo	τ^-	<i>Leprince-Ringuet et al.</i> (15)	≈ 1000 (12) (13) (14)	-1		$\tau^- \rightarrow \pi^- + \mu^- + \pi^+$ (15)		evidência experimental fraca.

Nota: O que se acha entre colchetes [] é resultado teórico.

observadas e verificou-se que 95% delas apresentavam, em seu final, a trajetória de um μ^+ . As 5% restantes não eram seguidas por nenhuma trajetória visível''.

Sendo as emulsões C3 pouco sensíveis, não é possível se observar, nas mesmas, mesons μ^+ resultantes da desintegração (I), que tenham sido emitidos em direção próxima à do eixo ótico da objetiva do microscópio, ou eletrons. Não se pode, portanto, determinar se os 5% dos π^+ cujas trajetórias não eram seguidas por outra trajetória visível correspondiam ao processo (I) ou(III); daí a razão pela qual os autores só puderam dar um limite superior para a porcentagem do processo (III).

3. *Obtenção e detecção dos mesons* - Os mesons π^+ , por nós estudados, foram obtidos pelo bombardeio de um alvo de grafite por protons de energia igual a 350 milhões de eletrons-volts, acelerados no ciclotron de 184 polegadas, de BERKELEY. Para protons desta energia pode-se desprezar a energia de ligação dos nucleons no carbono, de modo que as reações responsáveis pela produção dos mesons π^+ são:



A detecção dos mesons foi feita por um método analogo ao de GARDNER e LATTES (17), sendo que, neste caso, não foi usado o canal e a distância do alvo à chapa (TA', na figura 1) foi maior (7 polegadas para 3 das chapas examinadas e 11 polegadas para as outras duas) afim de evitar que mesons μ^+ resultantes da desintegração de mesons π^+ em repouso no alvo atingissem a emulsão.

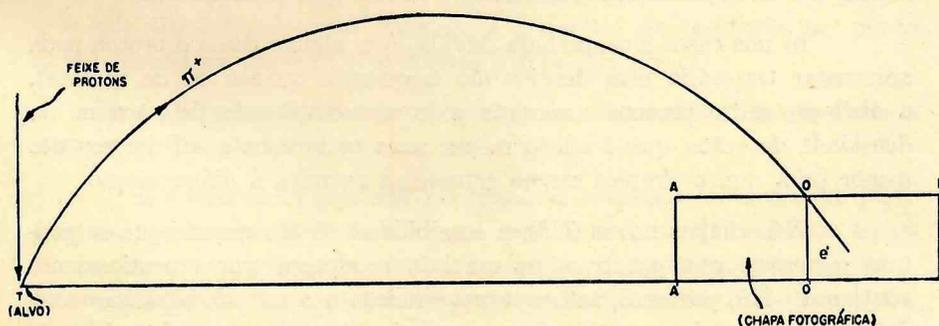


FIG. 1

Nessas condições, os mesons produzidos no alvo ficam sujeitos ao campo magnético do ciclotron (aproximadamente 14.000 gauss, normal ao plano da figura) e descrevem órbitas helicoidais no vácuo. Os mesons saem do alvo em todas as direções e com energias variando de 0 a 50 milhões de eletrons-volts, de maneira que apenas uma pequena porção (de energias e direções adequadas) é desviada pelo campo magnético na direção da chapa fotográfica e entra na emulsão através da face cujo corte é AB , na figura 1.

Além dos mesons, também entram na emulsão, pela mesma face, em uma proporção muito maior, outras partículas carregadas tais como protons, deuteron, tritons, helions, etc. resultantes de desintegrações produzidas no alvo ou nas paredes do ciclotron pelos protons incidentes ou por neutrons secundários. A presença de tais partículas é altamente prejudicial, pois dificulta sobremaneira a pesquisa das trajetórias dos mesons e a identificação das mesmas.

4. *Métodos de observação* - Sendo os mesons apenas uma porção reduzida das partículas detectadas na chapa, a primeira parte do trabalho consiste em selecionar as trajetórias de mesons das de outras partículas.

Nas chapas antigas (C3), de pouca sensibilidade, a distinção entre trajetórias de mesons e as de protons ou outras partículas pesadas podia ser feita por simples inspeção visual, pois:

a) a trajetória dos mesons é irregular em direção devido aos choques do meson em movimento com os eletrons dos átomos da emulsão; a trajetória dos protons, etc, é *geralmente* retilínea, pois, graças à sua maior massa, o desvio produzido por colisão é menor que para mesons.

b) nos casos em que haja dúvida, (em alguns casos o proton pode apresentar trajetória com desvios tão frequentes quanto os de mesons), a distinção entre protons e mesons pode ser completada pelo exame da densidade de grãos que é muito menor para os mesons e suficientemente menor para que o simples exame superficial permita a diferenciação.

Nas chapas novas (G5), a sensibilidade é tão grande que os protons e mesons que penetram na emulsão produzem traços praticamente contínuos. Há, portanto, saturação na emulsão e o método b), acima citado, não pode mais ser utilizado para distinguir entre os vários tipos de partículas. Essa desvantagem, inexistente no trabalho do grupo de BER-

KELEY (16), é compensada no nosso pelo fato de que, graças à maior sensibilidade das novas emulsões, todas as trajetórias de mesons μ^+ devidos ao processo (I) são visíveis, *qualquer que seja sua direção*. Em vista disso, selecionamos todas as trajetórias sinuosas, que começam na face cujo corte é representado na figura 1 por \overline{AB} e terminam na emulsão.

Essas trajetórias selecionadas podem ser divididas em dois grupos:

1) Trajetórias que são seguramente de mesons π^+ com desintegração μ^+ (foram encontradas 200).

2) Trajetórias que apresentam aspecto semelhante às de mesons mas não são seguidas por trajetórias de meson μ (foram encontradas 80).

A seleção foi feita com oculares 5 x e objetiva de imersão 100x. Devido à grande espessura de emulsão (200 microns) e à enorme densidade de partículas, o grande aumento usado se torna necessário para que seja possível melhor distinção dos traços.

5. Métodos de medida:

Para decidir se as trajetórias do grupo 2, eram de mesons, fizemos as seguintes medidas:

a - Medimos, com o aumento acima citado, o alcance (R), isto é, o comprimento do traço de cada partícula selecionada, por meio de um micrômetro previamente calibrado, que foi adaptado à ocular do microscópio.

b - Medimos, por meio de um goniômetro adaptado à ocular, o ângulo (θ) formado pela tangente à trajetória da partícula no ponto O de entrada na emulsão e a normal à face \overline{AB} (fig. 1).

c - Fizemos a leitura, na platina do microscópio, da coordenada horizontal do ponto O.

d - Nossas chapas não permitiam a contagem de grãos na parte final das trajetórias. Desprezamos, em cada uma delas, 378 microns, a partir do fim da trajetória, e contamos os grãos nos 378 microns seguintes. Nessas contagens empregamos objetiva de imersão 100x e oculares 10x. Cada contagem foi feita duas vezes e a discordância máxima foi de 3%, para uma mesma trajetória.

Obtidas essas medidas, procedemos como explicamos a seguir:

6. Cálculo da massa pelo alcance e raio de curvatura (18)

Suponhamos que uma partícula carregada tenha origem no alvo e penetre na chapa pela face \overline{AB} (fig 1). Se o campo magnético H é uniforme, teremos pela fórmula clássica para a energia de uma partícula carregada:

$$E = \frac{e^2}{2mc^2} (H \rho)^2$$

onde ρ é o raio de curvatura da trajetória, c a velocidade da luz no vácuo, m a massa e e a carga da partícula. O raio pode ser determinado se conhecermos:

1) o ângulo θ' , 2) a distância $\overline{TA'}$ do alvo à chapa, 3) a distância \overline{AO} . $\overline{TA'}$ é conhecida para cada exposição da chapa e \overline{AO} é a diferença entre as coordenadas horizontais de O e A, lidas na platina do microscópio.

$$\rho \text{ será: } \rho = \frac{\overline{TO}}{2 \cos \theta} \quad (1)$$

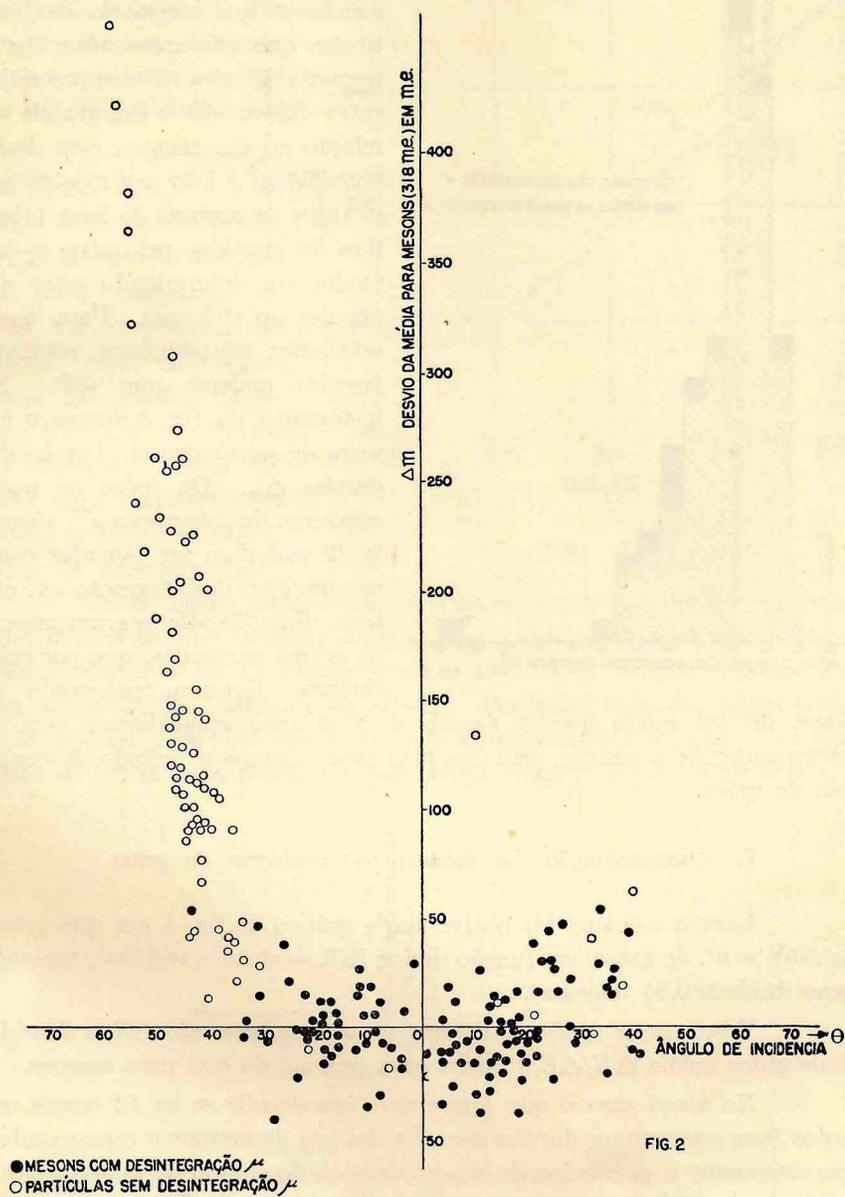
$$\text{sendo } \theta = \theta' - \alpha \text{ e } \operatorname{tg} \theta = \frac{\overline{AA'}}{\overline{TA} + \overline{AO}}$$

Por outro lado temos uma fórmula empírica:

$E = kz^{2n} m^{1-n} R^n$ (2), que nos dá a energia de uma partícula onde $K=0,251$ e $n=0,581$ são constantes, m é a massa da partícula (tomando como unidade a massa do próton), R o alcance na emulsão (em microns) Z a carga (em cargas eletrônicas) e E a energia (em MeV.). De (1) e (2) podemos tirar a massa da partícula.

Determinamos a massa média de 113 casos de mesons com desintegração μ^+ e obtivemos 318 m. e. Como não nos interessava a determinação precisa da massa do meson π^+ , o que já foi feito pelo grupo de BERKELEY (19), não fizemos nenhuma correção em nossos resultados.

No gráfico da fig. 2 estão representados os desvios Δ_m em relação à massa média 318 m. e., para mesons com desintegração μ^+ e para as outras partículas selecionadas, em função do ângulo θ .





Da análise deste gráfico, conclue-se que a maioria das partículas que não apresentam desintegração μ , têm θ compreendido entre -35° e -50° e Δ_m grande em relação ao dos mesons com desintegração μ^+ . Isto nos mostra que se trata de protons do feixe primitivo ou emitidos pelo alvo e desviados em determinado setor das paredes do ciclotron. Para nossa estatística consideramos, somente, ângulos maiores que -35° . No histograma da fig. 3 damos o número de partículas em função dos desvios Δ_m . De todas as partículas sem desintegração μ^+ , somente 12 poderiam ser tomadas como mesons com desintegração em eletron. Para decidir se eram mesons ou outras partículas, que por coincidência, tivessem penetrado na

chapa de tal modo que o ângulo e o alcance coincidissem com os correspondentes a mesons emitidos pelo alvo, usamos o método de contagem de grãos.

7. Discriminação dos mesons por contagem de grãos

LATTES e outros (4) obtiveram o gráfico da fig. 4 em que temos $\log N$ ($N = n^\circ$. de grãos) em função de $\log R$ ($R =$ alcance residual, tomando como unidade 0,85 microns).

Vemos neste gráfico que para um mesmo intervalo ΔR , a densidade de grãos média $\Delta N/\Delta R$ é maior para protons do que para mesons.

No nosso caso o que interessava era decidir se os 12 traços restantes (que apresentam desvios semelhantes aos de mesons e correspondem aparentemente a partículas de massa igual à do meson π , quando usado o método de (18)) seriam ou não na realidade, devidos a π^+ desintegrando-se em eletrons, cujas trajetórias não seriam visíveis.

Sendo assim desprezamos, a partir do fim das trajetórias, 378 microns e contamos os grãos dos seguintes 378 microns.

Nos histogramas das figuras 5, 6, 7 e 8 temos o nº de partículas em função do desvio da média para contagens de grãos de trajetórias de mesons com desintegração μ . No gráfico da figura 9 temos os desvios da contagem média de grãos para trajetórias de mesons π com desintegração μ , já normalizados.

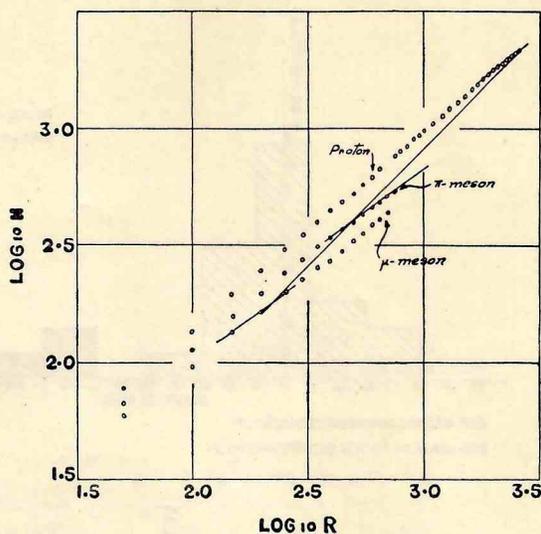


FIG. 4

Vemos neste gráfico que os mesons com desintegração μ estão todos dentro de uma faixa de largura igual a três vezes o erro médio quadrático, enquanto os 12 restantes estão todos fóra (o mais próximo tem uma probabilidade 1/1000 de ser meson). Por outro lado, contagens feitas em trajetórias características de protons mostram que a relação entre o nº médio de grãos para protons e para mesons, no intervalo considerado, é

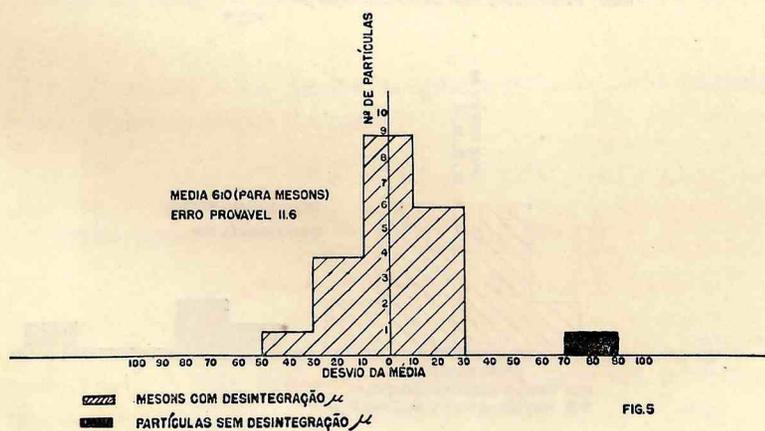
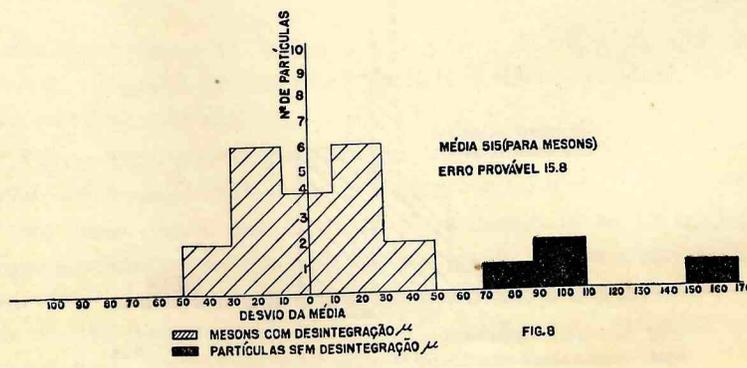
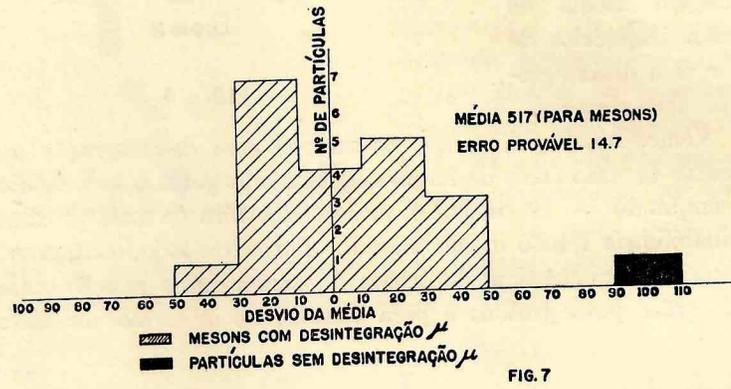
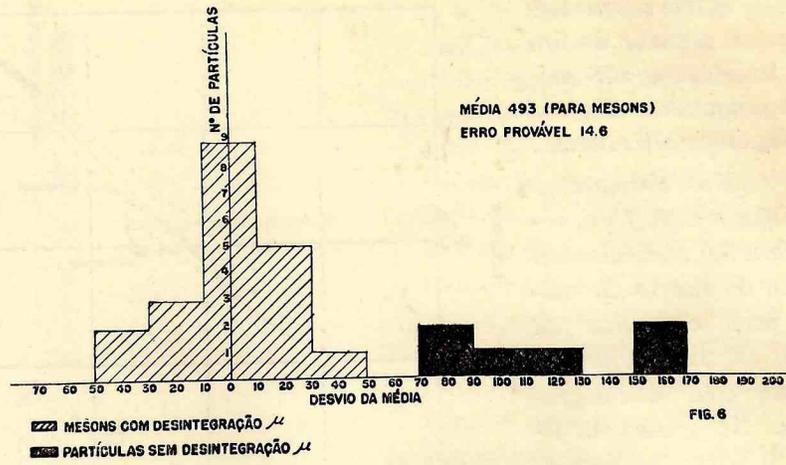
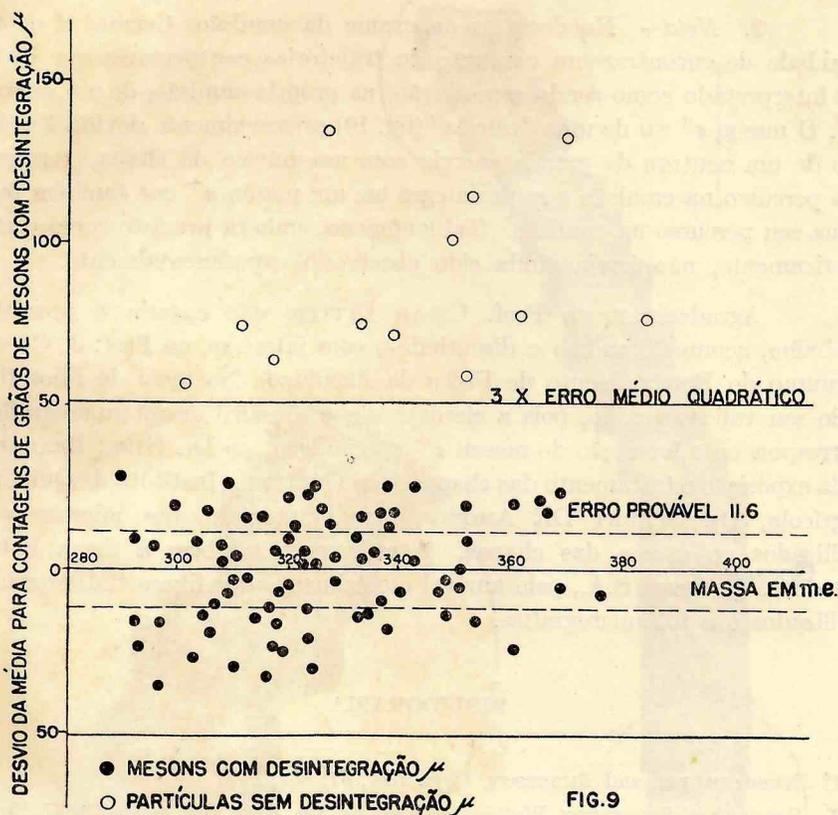


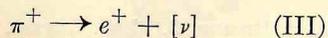
FIG. 5



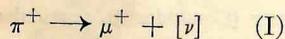


1,22 e, portanto, estas 12 partículas estão na região correspondente a prótons.

8. *Conclusão* - Os resultados obtidos permitem-nos concluir que, caso exista, a desintegração do tipo:



deve ser muito menos provável do que a outra do tipo:



pois nos 200 casos de π^+ observados, todos se desintegram segundo este último esquema. A vida média do processo (III) deve ser, portanto, muito maior que a do (I), que sabemos ser da ordem de 10^{-8} seg.

9. *Nota* - No decorrer do exame da emulsão, tivemos a oportunidade de encontrar um conjunto de trajetórias concorrentes que pode ser interpretado como sendo a produção, na própria emulsão, de um meson π^+ . O meson π^+ sai de uma "estrela" (fig. 10) provavelmente devida à colisão de um neutron de grande energia com um núcleo da chapa, termina seu percurso na emulsão e se desintegra em um meson μ^+ que também termina seu percurso na emulsão. Tal fenômeno, embora previsto como certo teoricamente, não havia ainda sido observado experimentalmente.

Agradecemos ao Prof. CESAR LATTES, que sugeriu o presente trabalho, acompanhando-o e discutindo-o com interesse, ao Prof. J. COSTA RIBEIRO do Departamento de Física da Faculdade Nacional de Filosofia, pelo seu valioso auxílio, pois a ele devemos o mosaico de fotomicrografias correspondente à criação do meson π^+ na emulsão, ao Dr. HUGH BRADNER pela exposição e tratamento das chapas, e ao Diretor do Instituto de Química Agrícola, Dr. FLEURY DE AMORIM, pelo empréstimo dos microscópios utilizados no exame das chapas. Agradecemos também à firma Foto-Produtos do Brasil S.A., pelo amável oferecimento dos filmes "Microgran" utilizados nas fotomicrografias.

BIBLIOGRAFIA

- (1) NEDDERMEYER and ANDERSON, Phys. Rev. 51, 884, 1937
- (2) STREET and STEVENSON, Washington Meeting Am. Phys. Soc., - April 1937, Phys. Rev. 51. 1005 (1937).
- (3) LATTES, C. M. G., MUIRHEDAD H., OCCHIALINI, G. P. S., and POWELL, C. F., Nature 159, 694, 1947.
- (4) LATTES, C. M. G., OCCHIALINI, G. P. S., POWELL, C. F., Nature, vol. 160, pgs. 453 e 486.
- (5) R. B. LEIGHTON, C. D. ANDERSON, A. J. SERIFF, Phys. Rev. 75, 1432, 1466 (A) (1949).
- (6) EUGENE GARDNER, A. S. BISHOP, C. M. G. LATTES, Phys. Rev. 75, 1468 (1949).
- (7) H. NERESON and B. ROSSI, Phys. Rev. 64, 199 (1943).
- (8) E. A. MARTINELLI and W. K. H. PANOFSKY, Phys. Rev. 77, 465 (1950)
- (9) STEIBERGER and PANOFSKY (Comunicação particular)
- (10) H. L. BRADT, M. F. KAPLON and B. PETERS, Helv. Phys. Acta, 23, 24 (1950)
- (11) BROWN, R., CAMERINI, U., FOWLER, P. H., MUIRHEAD, H., and POWELL, C. F. Nature, 163, 47, 82, 1949.
- (12) LEPRINCE-RINGUET, L. et L'HERITIER, M. J. J. Phys, et Rad., 7,66,1946

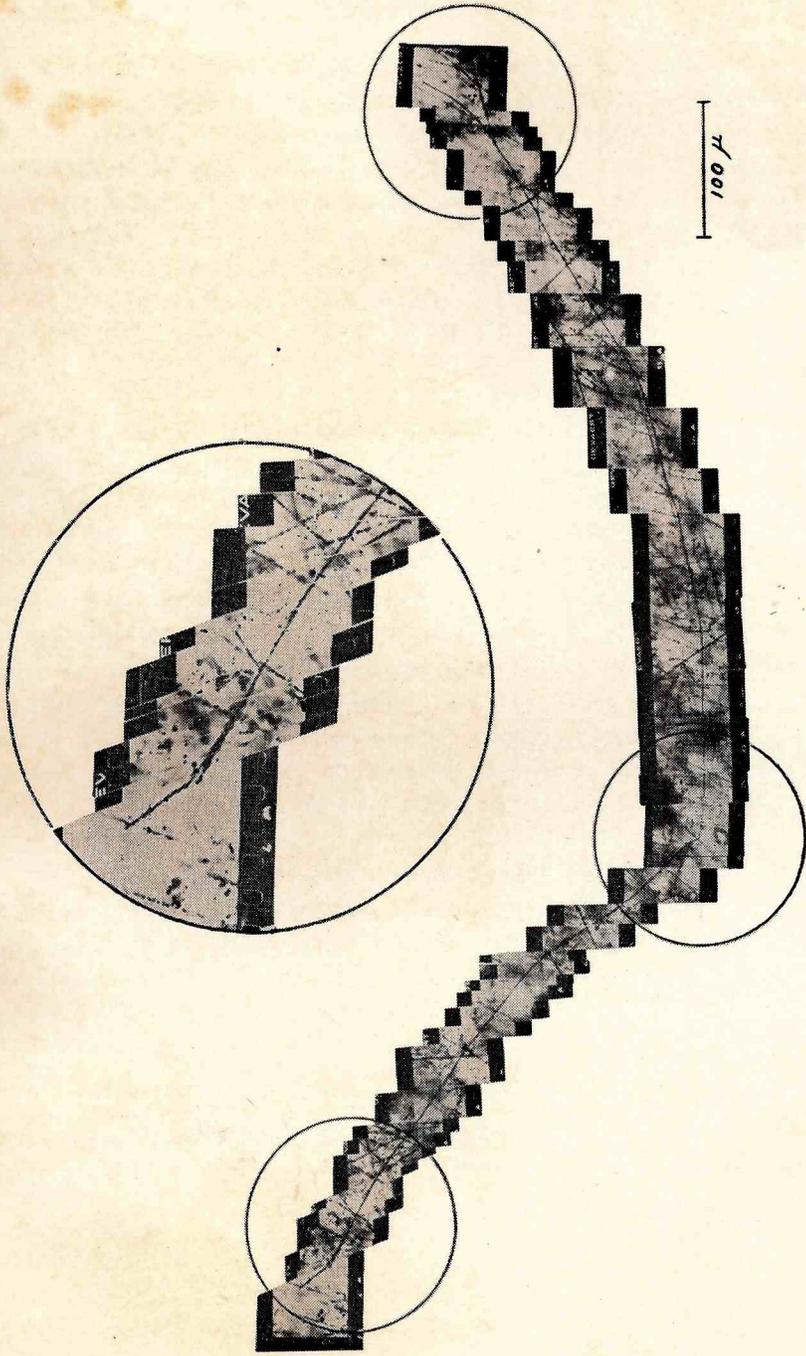


FIG. 10

- (13) ROCHESTER, G. D. and BUTTER, C. C., *Nature*, 160, 856, 1947.
- (14) LEPRINCE-RINGUET et C. PEYROU — *Journal Phys. Rad.*, 11, 243 (1950)
- (15) LEPRINCE-RINGUET, L., et al *C. R. Sci. Paris*, 226, 1897, 1948
- (16) LATTES C. M. G. (Comunicação Particular)
- (17) JOHN BURFENING, EUGENE GARDNER and C. M. G. LATTES, *Phys. Rev.*, 75, 382 (1949).
- (18) E. GARDNER and C. M. G. LATTES, *Science* 107, 270 (1948)
- (19) F. M. SMITH, WALTER H. BARKAS, A. S. BISHOP, HUGO BRADNER, and EUGENE GARDNER, *Bul. Am. Phys. Soc.* 24, 8, 9(1949).

Summary: Two hundred cases of meson decay have been studied in order to verify if, beyond the known type of decay of the π^+ meson in a light μ meson and a neutrino, a different type of disintegration of the π^+ meson directly in one positivel eectron and a neutrino (which is theoretically possible) should be observed and, if so, what should be the probability of ocurrence of such a process. The π^+ mesons studied have been produced by bombarding targets of carbon with protons of 350 MeV in the cyclotrons of 184 inches, at the Radiation laboratory, in Berkeley, and have been detected with nuclear emulsions G.5. Associating the method of mass determination by the range and the radius of curvature, with the method of grain couting, it has been possible to verify that, in the 200 cases under examination, all the mesons decayed following the scheme: $\pi^+ \rightarrow \mu^+ + [\nu]$.

During the investigation a system of three tracks departing from the same point has been observed, which is probably a "star" of thee branches, produced by the capture of a high energy neutron by a nucleus of the emulsion. One of the branches is due to a meson which decays in a μ meson whose track is totally observed and ends in the emulsion.

Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, Rio de Janeiro, Julho de 1950.

Apresentado pelo acadêmico CESAR LATTES

