

# O Nascimento das Partículas Elementares<sup>1</sup>

*Cesar Lattes*

Eu recebi um telefonema do Presidente do CNPq, Prof. Tundisi, há uma semana, ou mais, me convidando para falar nesta cerimônia e, finalmente, anteontem recebi o convite oficial propondo o título “*O Nascimento das Partículas Elementares*”. Este é o título de um Congresso que ocorreu em Batavia, no FERMILAB, nos anos 80, envolvendo historiadores, físicos e outras pessoas, com a duração de uma semana<sup>2</sup>. Quer dizer, fica difícil em uma hora fazer a mesma coisa, não é? Vou, portanto, selecionar algumas coisas.

Eu gosto da Bíblia e lá no *Ecclesiastes* (7, 16) está escrito pelo Rei Salomão o seguinte: — “*Não busque ser demasiado sabio, nem demasiado justo. Você quer se arruinar?*”. De maneira que eu não vou buscar esse caminho. Quanto ao título, acho que ele é um pouco estranho: “Nascimento” tem um significado antropomórfico, a não ser que sejamos animista (eu sou um pouco animista); “Elementares” já sabemos que não são mais elementares; e o conceito de “Partículas” é relativo...

Costuma-se iniciar a conversa sobre as partículas elementares com os Gregos, com Leucipo e Demócrito, cerca de 500 a.C., fundadores da Teoria Atômica, mas sem uma base empírica. Além desta corrente, havia outra, cujo maior expoente foi Aristóteles. A corrente atomista de Demócrito passou para o Império Romano através de Epicuro, e Lucrécio, o poeta, escreveu o *De Rerum Natura*, que deu origem à Teoria Atômica. Mas não foi só na Grécia que se discutiu o atomismo. Também na Índia e na China existiram pensadores que discutiram teorias atômicas.

Maimônides<sup>3</sup>, um judeu árabe, português, que viveu por volta do ano 1.000, era atomista, mas não só para matéria; era também atomista no que se refere ao espaço e ao tempo. Eu gosto dessa idéia. Também Copérnico e Newton eram atomistas. Do início do segundo milênio até Copérnico e Newton a Ciência ficou meio parada, por causa da autoridade de Aristóteles.

Newton não se compromete ao dizer que “não fazia hipóteses”. Ele atribui a Deus a criação dos átomos e diz que Ele fez os átomos da maneira que dessem para fazer o Mundo como ele queria<sup>4</sup>. Gassendi, mais ou menos contemporâneo de

<sup>1</sup> Palestra de abertura da Comemoração dos 45 Anos do CNPq, realizada no IMPA, Rio de Janeiro, no dia 11 de outubro de 1996. Texto editado por F. Caruso e A. Troper, a partir da transcrição de vídeo feita por Sônia Ribeiro, e revisto pelo Prof. Lattes. O título da Conferência foi mantido, embora, como o leitor logo verá, o Prof. Lattes talvez tivesse optado por outro. Os editores gostariam de esclarecer que eles se renderam ao bom humor e ao estilo coloquial do seminário do Prof. Lattes e, portanto, na medida do possível, procuraram preservar estas características no texto escrito. Eles gostariam de agradecer ao Prof. Alfredo Marques pela colaboração na edição deste texto e a Roberto Alves pela digitalização das imagens.

<sup>2</sup> N.E. Cf. Laurie M. Brown, Max Dresden and Lillian Hoddeson (Eds.), *Pions to Quarks*, Cambridge, Cambridge University Press, 1989.

<sup>3</sup> N.E. Maimônides nasceu em Córdoba, Espanha, e viveu de 1135 a 1204.

<sup>4</sup> N.E. “*All these things being consider'd, it seems probable to me tha God in the beginning form'd Matter in solid, massy, hard, impenetrable, moveable Particles, of such Sizes and Figures, and with such other properties, and in such Proportion of Space, as most conduced to the End for wich he formed them; and that these primitive Particles being Solids, are incomparably harder than any porous bodies compounded of them; even so very hard, as never to wear or break in pieces; no ordinary Power being able to divide what God himself made one in the first creation.*” (Newton: *Opticks*).

Newton, foi o primeiro que, em 1650, distinguiu átomo de molécula. Daniel Bernoulli deu o primeiro passo importante: deduziu que a pressão era devida à quantidade de movimento das moléculas batendo nas paredes do recipiente. Se continuarmos neste caminho chegaremos a Lavoisier. Antes dele havia uma confusão muito grande entre misturas e compostos *etc.* Lavoisier definiu, de uma maneira operacional, que o que não podia se decompor era elemento e classificou uns 30. Além disso, descobriu, junto com Lomonosov, a conservação da massa, que é importante para se entender o resto da Física.

Um passo importante na Teoria Atômica, ou das Partículas Elementares, foi dado pela Química. Com os 30 elementos de Lavoisier, Proust enunciou a “lei das proporções definidas”, *i.e.*, que as massas dos compostos estavam sempre num quociente determinado.

Dalton e Gay-Lussac mostraram que a “lei da composição dos gases” também envolvem números inteiros. A coisa foi posta em ordem por Avogadro com a hipótese de que todo gás, à pressão e à temperatura constantes, tem o mesmo número de moléculas. Foi o químico italiano Cannizzaro quem primeiro viu claramente a distinção entre peso molecular e peso atômico e ampliou e aplicou a hipótese de Avogadro à Teoria Atômica.

A primeira idéia de átomo com um núcleo e alguma coisa ao redor é de 1828, mas a atração, era suposta gravitacional — foi Ampère que deu a idéia de forças elétricas. Em 1833, Faraday apareceu e, com a lei da eletrólise, ele chegou aos íons positivos e negativos. Stoney, um físico inglês, chegou a avaliar a carga quântica. Ele mostrou que para entender as leis da eletrólise era preciso supor que a carga era múltipla de pedacinhos sempre iguais e avaliou da ordem de  $10^{-10}$  unidades eletrostáticas, talvez 10 vezes menos do que se admite hoje. Então *eléctron*, inicialmente, não denotava a partícula elétron; era o quantum de carga elétrica (1891).

Por outro lado, se tinha a tabela Periódica de Mendeleiev para os elementos químicos. Mendeleiev e outros mostraram que havia uma periodicidade nos elementos e, inclusive, nas vagas dos períodos e previram a existência de outros elementos que foram descobertos mais tarde.

O átomo, de repente, deixou de ser uma coisa única, porque J.J. Thomson mediu a razão entre a carga e a massa do elétron ( $e/m$ ) e mostrou que se tratava de uma partícula de massa aproximadamente 2.000 menor que a massa do hidrogênio. Thomson mediu  $e/m$  e Kaufman mostrou que esta razão varia com a velocidade (diminui à medida que a velocidade aumenta). Isto ainda no século passado.

Em 1900, o pessoal achava que a Física estava tão adiantada, como está agora, que era só uma questão de mais algumas casas decimais nas medidas; mas, de repente, Beckerel descobriu a radioatividade. Ele, Madame Curie e Pierre Curie mostraram que havia emissão de partículas de grande energia por certos elementos químicos e Mme. Curie mostrou que os chamados raios  $\beta$  eram elétrons negativos, enquanto Rutherford mostrou que as chamadas partículas  $\alpha$  eram núcleos de hélio.

Por outro lado, Soddy mostrou, a partir das cadeias radioativas, que havia elemento de mesma propriedade química, mesmo número atômico, mas de massas diferentes. Foi ele quem introduziu o conceito de isótopo. Mais tarde, Astron conseguiu separar experimentalmente os isótopos. Utilizando campos magnéticos e elétricos ele separava vários valores de  $q/m$  e mostrou que certos átomos eram compostos de vários tipos de núcleos de massas diferentes, embora quimicamente quase idênticos (mesma carga nuclear).

Bom, o átomo era indivisível, mas de 1908 a 1911 Geiger e Marsden, que trabalhavam no laboratório de Rutherford, fizeram o espalhamento de partículas  $\alpha$  de altas energia — emitidas por uma amostra de polônio — por vários elementos, em particular o berílio, e viram que, contrariamente ao modelo da moda (o modelo de Thomson), segundo o qual a carga positiva estava distribuída por todo ou quase todo o átomo de raio  $10^{-8}$  cm, havia um caroço com quase toda a massa atômica, e raio da ordem de cem mil vezes menor que o do átomo. Esta pequena região é o *núcleo*, como foi interpretado por Rutherford. Assim, nasceu o átomo nuclear. Este átomo nuclear, pelas leis da eletrodinâmica, não seria estável e nisso Niels Bohr deu um jeito com seus postulados. Só a Mecânica Quântica mais tarde, em 1925-6, resolveu os paradoxos introduzidos por Bohr.

Rutherford também fez a primeira reação nuclear. Ele arreventou não só o átomo; ele arreventou o núcleo, mandando partículas  $\alpha$  em nitrogênio obtendo oxigênio e prótons (núcleos de hidrogênio). Foi ele quem cunhou o nome *próton*, em 1920, na Reunião da Sociedade Inglesa de Física.

Nesse mesmo ano de 1920, Rutherford proferiu a *Bakerian Lecture* em uma importante reunião da Sociedade Inglesa de Física, cujo título foi: “O Nêutron”. Sua idéia era a seguinte. Para entender a diferença de massa entre o oxigênio comum, que tem massa 16, e o outro de massa 17, obtido através do bombardeamento do nitrogênio com partículas  $\alpha$ , ele imaginou que deveria existir uma partícula neutra de massa um pouco maior que a do próton. O neutron só foi descoberto 12 anos mais tarde por Chadwick.

A emissão de raios  $\beta$  pelos núcleos trouxe problemas, pois o espectro de emissão  $\beta$  era contínuo; havia algumas linhas, mas o espectro de energia era contínuo e Niels Bohr chegou a cogitar que a lei da conservação de energia fosse violada em alguns processos elementares. Guido Beck, que posteriormente trabalhou no Brasil, invocando esta idéia de Bohr, elaborou uma teoria que descrevia razoavelmente o espectro do decaimento  $\beta$ . Mas Pauli não gostou disso e postulou a existência de uma partícula neutra, muito penetrante, que se encarregava de roubar energia. A esta partícula Fermi chamou de *neutrino* e usou esta idéia original na teoria dele de emissão  $\beta$ , em 1934, que funcionou bem.

O neutrino, na verdade, só foi detectado em 1953, porque ele é muito penetrante; ele atravessa facilmente o diâmetro da Terra. Então, foi preciso um reator de grande potência produzindo muitos neutrinos por decaimento  $\beta$  para provocar uma reação do tipo  $\nu + p \rightarrow n + e^+$ .

Sobre o elétron positivo — o pósitron — quero dizer que, em 1932, Anderson obteve em uma câmara de Wilson a fotografia mostrada na Fig. 1. Como os físicos aqui são poucos, eu vou explicar a idéia geral desta câmara. Em um recipiente com um êmbolo que pode expandir um gás — que pode ser ar e um pouco de vapor d'água — se provoca a expansão rápida, à temperatura baixa, e a água tende a se condensar em gotas. A expansão tem que estar calibrada pois, se for muito pequena, o vapor não condensa, e se for muito grande dá uma nuvem. Com a expansão certa (que condensa em gotas), o rastro de ionização deixado pela passagem da partícula carregada na câmara condensa-se em gotas, e assim se vê a trajetória da partícula. A fotografia está certa; neste caso a partícula carregada vem de baixo atravessa uma camada sólida muito fina de chumbo e continua. Vocês podem ver que a curvatura é menor na parte inferior da foto da Fig. 1 e é maior na parte superior, por isso se diz que ela vem de baixo.

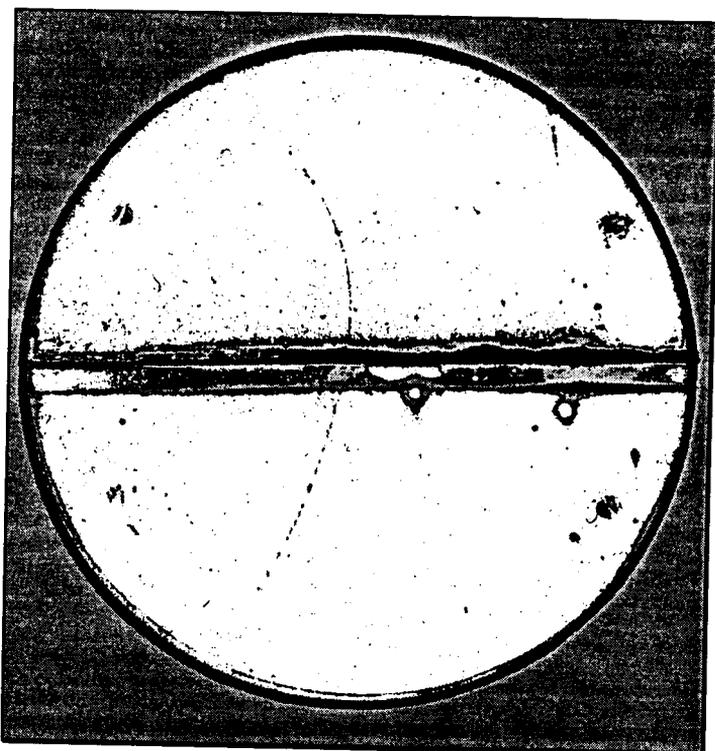


Figura 1: Fotografia (em negativo) do traço de ionização deixado por um pósitron em uma câmara de nuvem no experimento de Anderson, ao atravessar uma placa de chumbo de 6 mm. Extraída do livro de John Darius; *Beyond Vision*, Oxford Univ. Press; Oxford, 1984, que utilizou como fonte a foto do *Science Museum* de Londres.

Anderson já tinha um caso deste tipo (antes de colocar o chumbo no diâmetro da câmara) mas o Millikan, que era o chefe dele, dizia que eram elétrons que vinham de baixo. Quando Anderson apresentou esta fotografia em Cambridge o Rutherford perguntou se ele tinha certeza que não tinha mudado o campo magnético. Este é o *pósitron*, que dizem que Dirac havia previsto na teoria dele, mas, na realidade, quando ele obteve a sua equação linear, relativística, ele obteve soluções de energia negativa e positiva, mas ele achava que as soluções de energia negativa correspondiam aos prótons. Foi preciso gente como Oppenheimer explicar para ele que não dava certo; se aquelas soluções fossem prótons, o hidrogênio seria instável; teriam que ser partículas da mesma massa que o elétron mas carga positiva, como os pósitrons.

Então o nêutron e o pósitron, que são mais ou menos descobertos simultaneamente, são as duas partículas elementares que não nasceram na década de 30, estavam lá.

É interessante que no caso do nêutron a detecção foi da seguinte maneira: bombardeando o Berílio com partículas  $\alpha$ , Bothe e companheiros, obtiveram uma radiação muito penetrante e Irène e Joliot Curie pensaram que fosse raio X, que dava Efeito Compton nos prótons; só que este efeito nos prótons é muito pequeno, não dava. Chadwick, que conhecia a aula do Rutherford de 12 anos antes, fez imediatamente a experiência correta e mostrou que tratava-se de uma partícula de massa um pouquinho maior que a do próton. Isso foi publicado e o grupo de Berkeley que dispunha de um Ciclotron de 1 milhão de volts e de deutério, que Urey havia separado, pode bombardear com deutério vários alvos, e obtinha sempre um grupo de

prótons. Os físicos deste grupo achavam que era o nêutron que se soltava e obtiveram a massa diferente da do Chadwick. O Rutherford pediu uma amostrazinha de água pesada e bombardeou um alvo de água pesada com água pesada e mostrou que não eram o que os americanos diziam. Não é que a massa do Chadwick estivesse errada; eles estavam detectando, na verdade, o resultado de 2 reações:  $deuteron + deuteron \rightarrow H_1^3 + próton$  e  $deuteron + deuteron \rightarrow He_2^3 + neutron$ , que hoje em dia são reações bem conhecidas porque são importantes para a bomba de Hidrogênio.

Logo depois que o Anderson detectou o pósitron, Occhialini foi trabalhar em Florença. Aprendeu a fazer contadores Geiger, que contam partículas elementares ionizantes, e a fazer coincidências eletrônicas com Rossi. Depois ele foi para Cambridge para trabalhar com Blackett, que tinha uma câmara de Wilson há muito tempo, e montou um dispositivo para disparar e fotografar automaticamente o que a câmara de Wilson mostrava. Quando a câmara de Wilson expande, formam-se gotinhas aonde tem carga e foi assim que se descobriram os primeiros chuviscos com elétrons e pósitrons (Cf. Fig. 2), que são os chuviscos eletromagnéticos<sup>5</sup>. Bom, essas eram as partículas elementares até 1934.

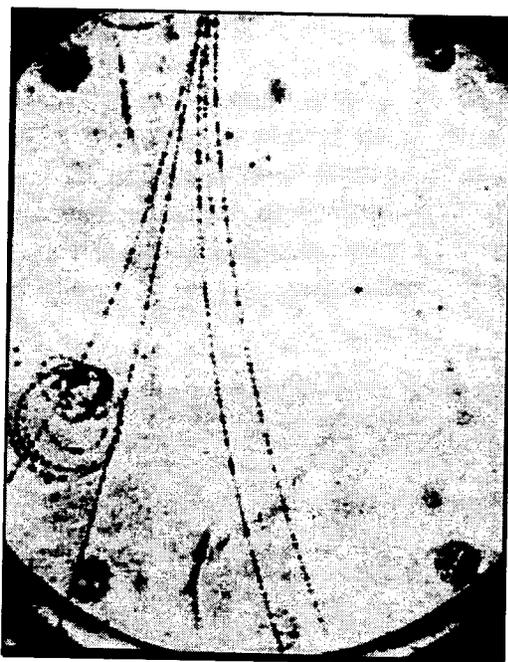


Figura 2. Negativo da fotografia feita por Anderson no topo de uma montanha no Colorado, mostrando a criação de um “chuvisco” de 3 elétrons e 3 pósitrons a partir de raios cósmicos. Os elétrons se curvaram para a esquerda e os pósitron para a direita. Extraída do livro de Frank Close, Michael Marten & Christine Sutton, *The Particle Explosion*, New York, Oxford University Press, 1987, p.74.

<sup>5</sup> N.E. Blackett e Occhialini deram, pouco mais tarde, uma importante contribuição ao estudo e à interpretação destes tipos de “chuvisco”, que resultam da materialização de raios gama (fótons de alta energia) de origem cósmica em um par elétron-pósitron, fenômeno este que só pode ocorrer, de modo a satisfazer a conservação de momento e energia, na vizinhança de núcleos.

Em 1934, Yukawa, sabendo que o núcleo, conforme medido por Rutherford, tem uma massa igual a quase toda a massa do átomo, e o raio da ordem de  $10^{-13}$  cm, tentou entender as forças que mantinham o próton e o neutron ligados, porque 2 prótons de cargas positivas deviam se repelir, enquanto dois neutrons não se atraem. Ele postulou que, assim como o fóton é intermediário da interação eletromagnética, havia alguma coisa que era intermediária da interação nuclear: é o *méson de Yukawa*, e calculou que a massa deste méson deveria ser cerca de 200 massas eletrônicas; isso foi em 34.

Em 1937, Anderson & Neddermeyer e Street & Stevenson (dois grupos independentes) obtiveram fotografias que mostravam a existência de partículas com massa de mais ou menos 200 vezes a massa do elétron. Os teóricos, que não tinham dado bola até então, de repente se entusiasmararam e fizeram as *teorias mesônicas* das forças nucleares.

O Anderson chamou essa partícula de *mésotron*, porque ele não sabia grego; mas devia ser *méson*, intermediário (quanto à massa) entre próton e elétron. Na verdade Anderson acabou acertando porque se viu depois que o méson  $\mu$  (como é conhecida hoje esta partícula) não é um méson, mas sim um “elétron pesado”.

O próprio Yukawa previa que o méson era instável e desintegrava-se em elétron e mais alguma coisa.

Mas, como estamos no Brasil, vamos falar um pouco do que foi feito no Brasil. A Física Moderna no Brasil iniciou-se em 1934, com a Fundação da USP e com o contrato de especialistas estrangeiros. Teodoro Ramos, um bom matemático, que foi o encarregado de organizar a Universidade, achou que devia ir buscar na Europa os professores. Para a Física consultou Enrico Fermi que indicou o professor Gleb Wataghin, que pode ser considerado o pai da Física Moderna brasileira.

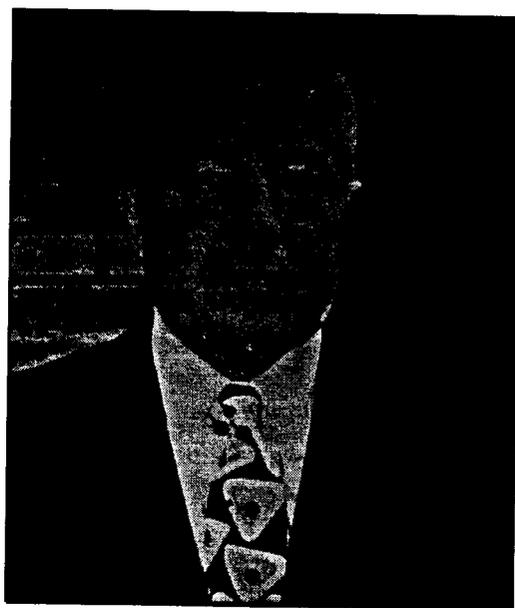


Figura 3. Prof. Gleb Wataghin. Foto gentilmente cedida pelo CBPF.

Russo de origem, formado na Ucrânia, durante a guerra civil, por ser filho de nobres, foi parar em Turim e tocava piano no cinema até que o Professor Perucca ofereceu a ele um cargo na Escola Politécnica e depois no Instituto de Física.

O Prof. Wataghin sabia que há dois comprimentos básicos na Física. Um deles relaciona-se ao raio clássico do elétron, ao comprimento de Compton do  $\mu$  e o alcance da força nuclear (ou o raio nuclear) que são todas grandezas da ordem de  $1 F$ :

$$\frac{e^2}{m_e c^2} \approx \frac{h}{m_\mu c} \approx \frac{q^2}{m_N c^2} \approx 10^{-13} \text{ cm} = 1F$$

onde  $e$  é a carga elétrica do elétron ( $e^2/\hbar c \approx 1/137$ ),  $q$  é a carga da interação nuclear ( $q^2/\hbar c \approx 15$  era o valor da época),  $h$  é a constante de Planck e  $m_e$ ,  $m_\mu$  e  $m_N$  são, respectivamente, as massas do elétron, do múon e do núcleo. Ele cismou que não era coincidência, que isto era um comprimento fundamental. Logo ele chegou ao Brasil e publicou no *Zeitschrift für Physik* um trabalho aonde, a partir da idéia que acima de certa energia era preciso tomar cuidado com a Física, ele previu a produção múltipla de partículas: *múltipla*, não *plural*, i.e., numa colisão só, várias partículas são produzidas. Isso foi em 1934, antes, portanto, do méson de Yukawa, que foi de 1935. E quando saiu o méson de Yukawa, Wataghin disse: “*é produção múltipla de méson.*”

Aluno do Prof. Wataghin, Marcelo Damy de Souza Santos, uma vez formado, foi à Inglaterra, aprender a fazer contadores rápidos de partículas elementares.



Figura 4. Prof. Marcelo Damy de Souza Santos.  
Foto gentilmente cedida pelo Prof. Alfredo Marques.

O Prof. Marcelo, inclusive, inventou um circuito muito mais rápido, dez vezes mais rápido do que se usava na Inglaterra, e então foi feita esta experiência aí (Cf. Fig. 4).

Quatro contadores em coincidência, exigindo que os quatro fossem disparados ao mesmo tempo, com um poder de resolução de  $10^{-7}$  s, enquanto o aparato inglês

permitia uma resolução de  $10^{-6}$  s. Podia-se mostrar que coincidências casuais, *i.e.*, coisas independentes que atravessassem os quatro contadores eram desprezíveis. Wataghin conclui, então, que era produção múltipla de mésons. Múltipla quer dizer: numa só colisão saem vários mésons, enquanto que plural é uma cascatinha, um méson de cada colisão. Isso foi confirmado uns 6 meses depois por um grupo inglês, liderado pelo físico húngaro Janossy, só que eles achavam que era produção plural. Essa controvérsia continuou por 10 anos e só quando apareceram máquinas como o Cósmotron, que acelera partículas acima de 1 bilhão de volts, é que viram que era produção múltipla mesmo. Mas Wataghin, mesmo antes disso, junto com Sala, fez experiências colocando água em cima dos detectores e mostraram que havia produção múltipla de mésons em hidrogênio, e com hidrogênio não dá para ser plural; quer dizer, se fosse Carbono tinha uma cascatinha, mas hidrogênio tem que ser múltipla. Logo, a produção múltipla foi descoberta no Brasil, em 1940.

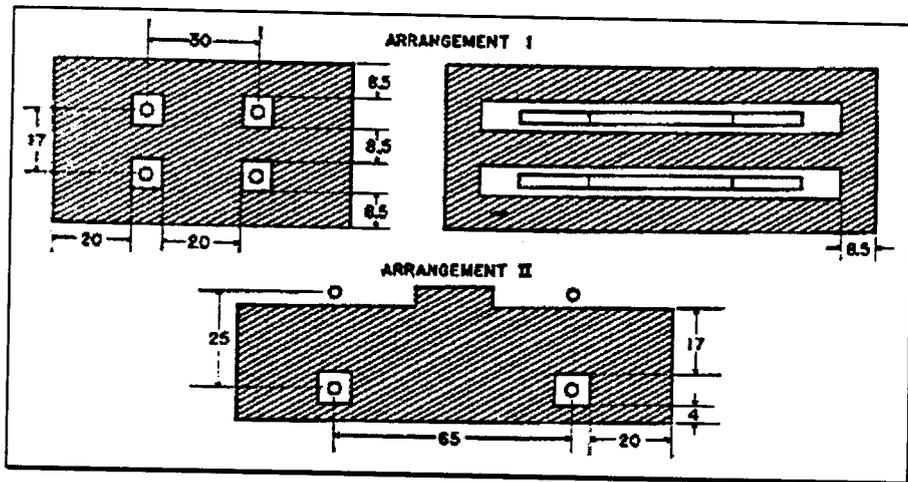


Figura 5. Arranjo do telescópio no experimento realizado a 800 m de altitude. Os blocos absorventes são de chumbo. Extraído de *Phys. Rev.* 57, 61 (1940).

Bom, se o pai da Física brasileira foi Wataghin, a mãe foi Giuseppe Occhialini, ou vice-versa (*risos na platéia*). Occhialini era antifascista e depois que terminou o trabalho dele com Blackett, na Inglaterra, voltou para a Itália, mas estava quente e, numa férias do Wataghin em Turim, o pai do Occhialini, que era Diretor do Instituto de Física de Genova, pediu ao Wataghin para dar um jeito de levar seu filho para o Brasil, senão ele iria se meter em encrenca. E Occhialini veio para o Brasil; é esse Senhor que se vê na fotografia abaixo, falecido há uns 2 anos atrás.



Figura 6. Prof. Giuseppe Occhialini.  
Foto gentilmente cedida pelo CBPF.

Occhialini foi para a Inglaterra ainda durante a Guerra como voluntário, para combater o pessoal do eixo, porque era antifascista. Chegou lá e o colocaram para lavar pratos no restaurante militar. Foi preciso um telefonema para o Blackett, a partir do qual mandaram-no para a Universidade de Bristol — uma universidade particular pequena —, aonde estava Powell, que era um pouco esnobado porque tinha se recusado a fazer serviço de guerra e era considerado bem esquerdista. Powell trabalhava com emulsões fotográficas, mas ele era conservador, e, naquele tempo, eram ainda as emulsões fotográficas que se usavam para fotografia do dia-a-dia e tinham sido usadas em Física Nuclear por Marieta Blau e por Kinoshita, no Japão, no começo do século.

Na figura abaixo (Fig. 7) a mais à esquerda é a emulsão fotográfica que Occhialini viu o Powell usar. É até uma fotografia fácil por se tratar de um traço praticamente rasante à superfície bem plana da emulsão, de maneira que está toda em foco, mas, quando a trajetória da partícula está inclinada em relação ao plano da emulsão é duro de ver. Mas Occhialini tinha muita imaginação e tinha medo de estar vendo prótons aonda não havia. Ele então telefonou para a fábrica *Ilford* e saiu essa outra fotografia que está melhorzinha (foto do centro na Fig. 7): é a chamada emulsão C2, de 1946. Esse detector é 2000 vezes mais denso que a câmara de Wilson e, portanto, pode parar muito mais coisa por unidade de volume. Em compensação, com o campo magnético muito intenso, os traços são muito curtos. Mais tarde, fizeram emulsões sensíveis ao mínimo de ionização (foto mais à direita na Fig. 7).

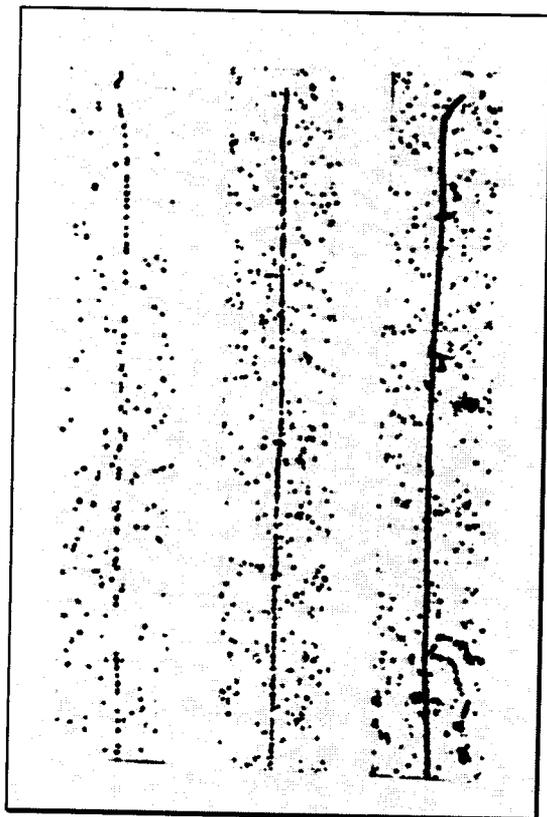


Figura 7. Traços deixados por prótons em diversas emulsões na proximidade do final de seus alcances. Extraído do livro C.F. Powell, P.H. Fowler and D.H. Perkins, *The Study of Elementary Particles by the Photographic Method*, London, Pergamon Press, 1959.

Na época, em que Occhialini tinha estado no Brasil, ele trouxe uma câmara de Wilson, igual à do Blackett, mas não se conseguiu colocá-la para funcionar. Eu tinha resolvido trabalhar em Física Experimental, porque com o Wataghin e Schönberg era muita conta; só a lagrangeana de um campo eletromagnético de um elétron puntiforme com momento de dipolo tinha 99 termos! Esta minha decisão levou-me ao Occhialini e lhe disse que gostaria de trabalhar com ele. Occhialini, durante a guerra, havia sido guia de montanha em Itatiaia, porque era considerado inimigo sendo italiano, mas depois ele precisou de dinheiro para viajar para a Inglaterra e veio a São Paulo dar um curso sobre Raio X. Quando eu falei que queria trabalhar com ele, ele me disse para esperar um pouquinho. Foi lá dentro do laboratório e depois de um tempo voltou com um tubo de ensaio na mão e me disse para segurá-lo. Eu o segurei e queimei o meu dedo. Perguntei a ele qual era a idéia. Occhialini respondeu: — “*É para te ensinar a não confiar em ninguém.*” (risos na platéia).

Occhialini foi então para a Inglaterra e eu consegui colocar uma outra câmara para funcionar, porque a dele estava envenenada. Mandei uma fotografia para ele, ele mandou de volta fotografias como essas que vocês viram anteriormente (Fig. 8) e eu vi que se eu estava querendo ver mésons parando, a emulsão era duas mil vezes mais eficiente e pedi para ele me arrumar um lugar lá em Bristol. Ele conseguiu um auxílio de 15 libras por mês, dado pela fábrica de cigarros Wills — foi aí que eu comeci a fumar —, e a Fundação Getúlio Vargas, com o prestígio do Leopoldo Nachbin, me pagou a viagem num cargueiro.

Isto foi logo depois da Guerra e o cargueiro levou quarenta dias para chegar em Liverpool. Lá constatei uma coisa estranha: o Powell era conservador e continuava a usar as chapas antigas e essas chapas novas ficavam em cima da mesa.

Então me disseram para determinar a relação entre o alcance, o comprimento do traço, e a energia. Eu fiz isso com as reações nucleares de dêuterons com níquel, berílio e boro no gerador Cockroft-Walton de Cambridge, de um milhão de volts, mas também carreguei chapas com *bórax*<sup>1</sup> (Fig. 8).

Então eu tive a idéia de expor as emulsões em montanha, para determinar a energia de nêutrons cósmicos. Como Occhialini ia para o *Pic du Midi*, a 2.800 metros de altitude, pedi a ele que levasse algumas emulsões. O traço mais a esquerda (Fig. 9.a) corresponde ao evento obtido em laboratório, de 13 milhões de volts, e o da direita (Fig. 9.b) ao evento de 40 milhões de volts, este último obtido na montanha. A partir dele dá para determinar a energia e a quantidade de movimento da partícula incidente e constatar que ela tinha a massa de nêutron.

Bom, foi sorte a gente ter colocado bórax, porque dentre todas as chapas que foram colocadas no alto do *Pic du Midi*, as que não tinham bórax não registraram praticamente nada. Havia um enfraquecimento da imagem latente e só se pegava o resultado dos últimos dias de exposição. Mas aquelas com bórax mostraram, dentre outras, a partícula  $\pi^-$  entrando na emulsão porque a ionização aumenta quando a velocidade diminui. Sabe-se que ela é mais leve do que o próton pela curvatura e deve ser negativa (Fig. 9) porque ela entra no núcleo e arrebenta, transformando massa em energia, liberando cerca de 250 milhões de volts. Portanto, foi graças ao bórax que passamos a perna nos outro laboratórios.

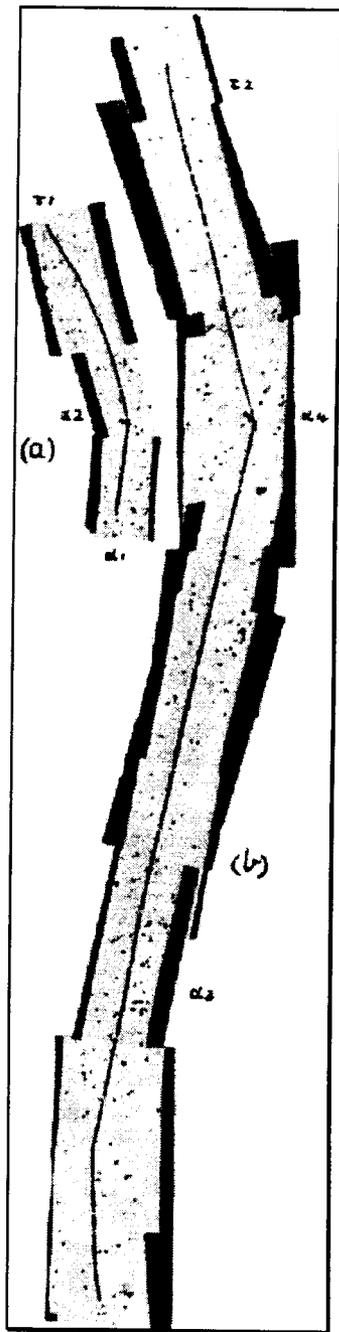


Figura 8. Mosaicos de fotomicrografias que permitiram a determinação da energia e momentum de nêutrons rápidos em Raios Cósmicos. *Nature*, March 8, (1947).

<sup>1</sup> N.E. Tetraborato de sódio.

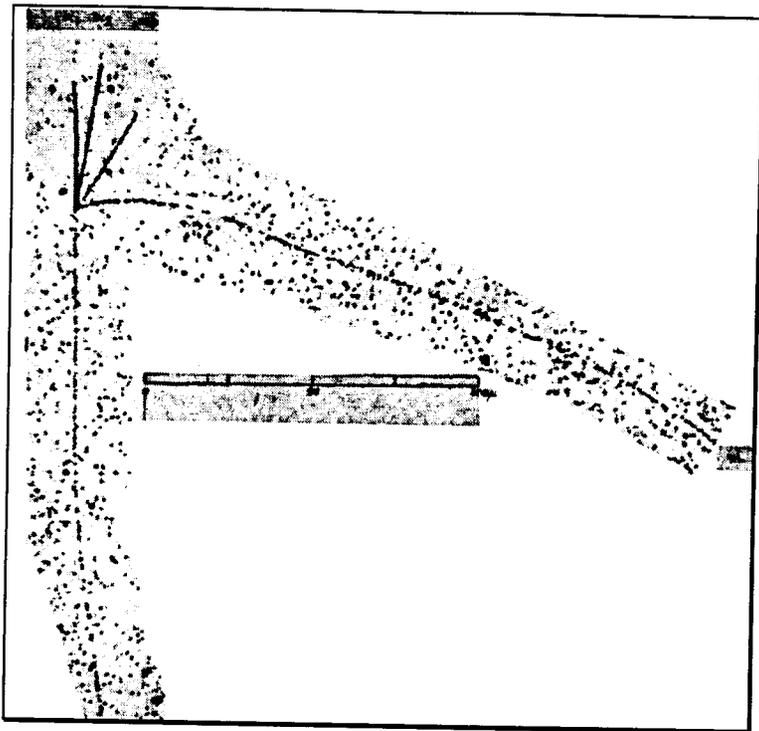


Figura 9. Méson  $\pi^-$  capturado por  $C_6^{12}$ , *Nature* (May 1946), p. 697.

Agora, uma moça do nosso grupo, chamada Marieta Kurz, depois de um tempo, descobriu o evento mostrado na Fig. 10.

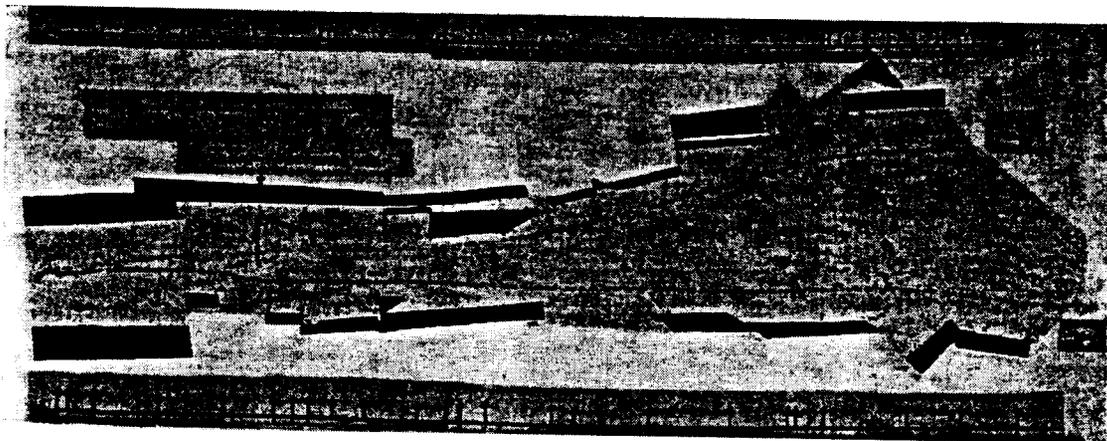


Figura 10. Desintegração espontânea de méson  $\pi^+$  em  $\mu^+$ . *Nature*, May 24, 1947, p. 695.

A trajetória é tortinha como deve ser a do méson que tem massa menor que o próton, sofre espalhamento múltiplo, pára num certo ponto e sai outra partícula que, infelizmente, saía da superfície da emulsão, mas, pela quantidade de grãos, sabíamos que a trajetória estava quase no fim. Uma semana depois, foi vista a outra, pela Sra. Roberts, aonde estava tudo dentro do campo da emulsão e as duas tinham aproximadamente 600 microns de comprimento (Figura 11).

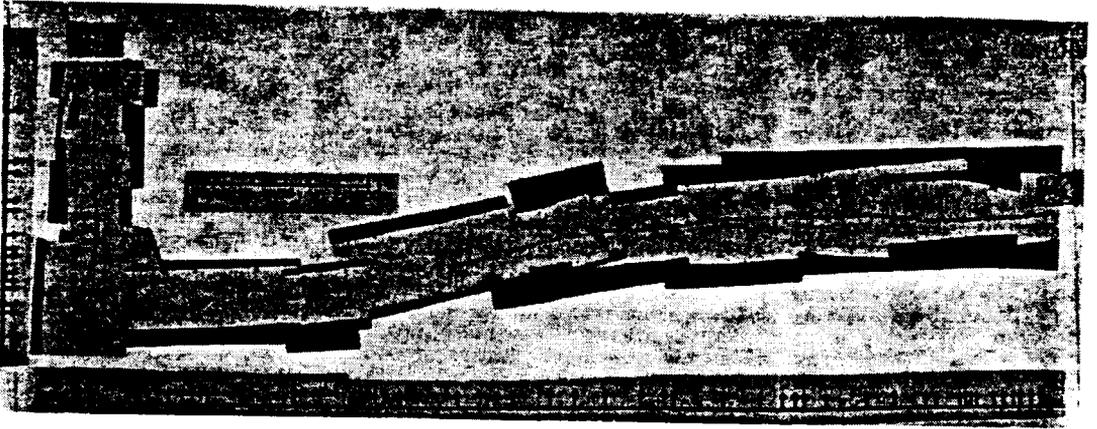


Figura 11. Como acima (Fig. 10). *Ibid.*

Estava mais ou menos óbvio que se tratava de um processo fundamental e que havia dois tipos mésons. Nós não sabíamos que, em 1942, um dos colaboradores de Yukawa tinha verificado que a produção de méson era rápida (interação forte) mas a absorção debaixo da terra era lenta, (interação fraca).

O Sakata viu logo que não dava para entender o fenômeno: se era produzido fortemente, deveria ser absorvido fortemente. Então ele supôs, e publicou em 1942, a teoria de dois mésons. O primeiro seria o méson de Yukawa que decaía no segundo, que era o penetrante. E é o que vimos aqui, mas na época nós não sabíamos.

Esses resultados foram obtidos com chapas expostas nos Pirineus, a 2.800 m de altitude. Como havia outros pesquisadores expondo chapas em avião, achamos que deveríamos andar rápido. Assim, fui ao Departamento de Geografia de Bristol e vi que a 20km de La Paz, tinha um clube Andino e que se podia ir de automóvel a 5.500 metros de altura — *eighteen thousand feet* — (Chacaltaia). Então me pagaram uma viagem até lá e eu levei comigo as chapas até o topo onde foi feita a exposição. Quando tem neve o meio de transporte para chegar ao topo é um burrinho de cargas, que batizei de meu auxiliar.

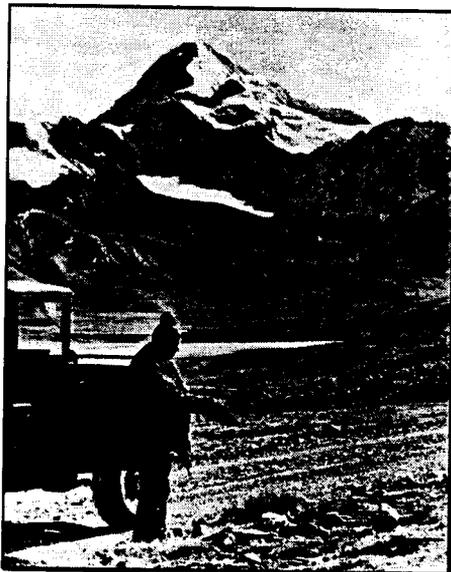


Figura 12. Cesar Lattes no caminho para Chacaltaia.

Bem, as chapas ficaram um mês lá, depois eu fui buscá-las, revelamo-nas e apareceu muito mais coisas. Na foto abaixo vocês vêem um méson criado por raios cósmicos. Vocês estão vendo o “nascimento” do méson numa colisão com o núcleo, que se arrebenta e o méson de carga negativa pára e transforma sua massa em energia e arrebenta outro núcleo.

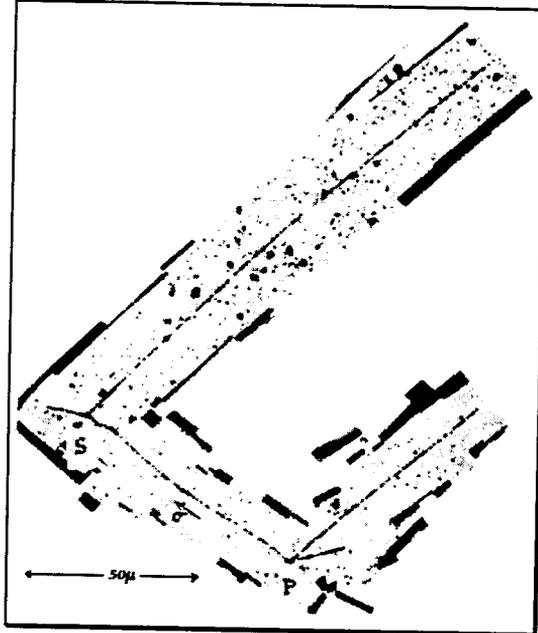


Figura 13. Emissão e absorção de méson  $\pi^-$ . *Nature*, October 11, 1947, p. 490.

Bom, vamos mostrar mais dois  $\pi$  e  $\mu$ . Esses eventos são mais claros (Fotos 14,15).

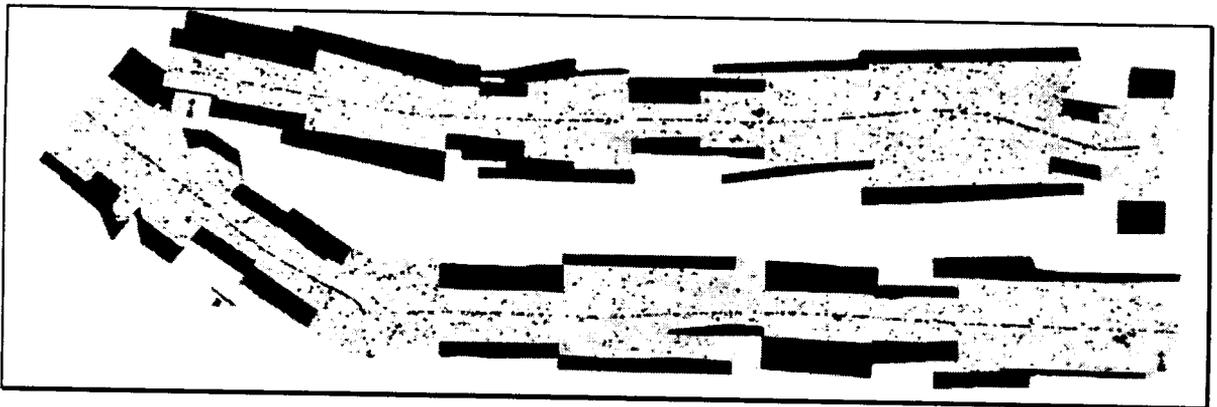


Figura 14. *Nature*, October 4, (1947).

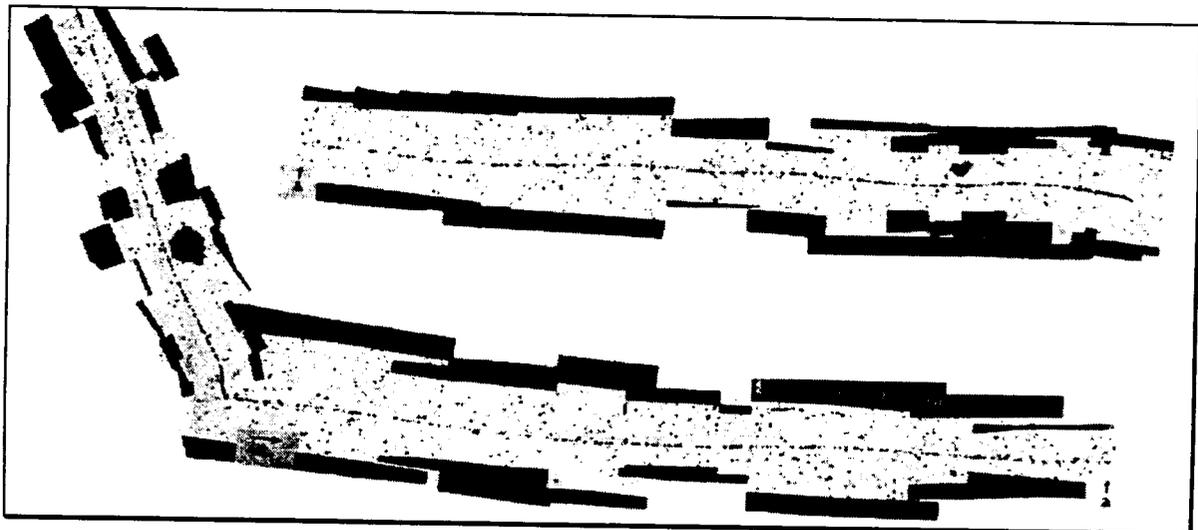


Figura 15. Pion decay. *Nature*, October 4, (1947).

As faixas pretas são um truque do Prof. Occhialini. Isso é um mosaico de fotografias porque estão em diferentes planos focais. Sem a faixa preta daria a impressão de tapeação, de que está tudo bem focalizado. Então, em várias fotografias ele deixou a faixa preta, para ser honesto, para mostrar que era um mosaico. Novamente o aspecto é o mesmo e, ao todo, foram detectadas umas 30 partículas. Contando os grãos, cuja densidade é proporcional à ionização, deu para mostrar que a massa do  $\pi$  que pára é maior do que a do  $\pi$  que sai, da ordem de 1,4 para 1; a massa que entra é da ordem de 300 e a que sai da ordem de 200 massas eletrônicas.

A última partícula descoberta, agora a gente lê no jornal — eu não leio mais revista científica, porque é demais —, ou melhor, a última partícula para a qual há indicação de que ela existe é chamada de quark *top*, com massa 140 milhões de volts, aproximadamente. O artigo é constituído de 4 páginas escritas e 2 páginas de assinaturas dos autores e nomes das instituições<sup>1</sup>. Eu quero mostrar que o grupo aqui era menorzinho (*risos na platéia*).

---

<sup>1</sup> N.E. Trata-se do artigo da descoberta do *top* pela Colaboração DZERO, da qual faz parte um grupo brasileiro do LAFEX/CBPF. Cf. Abachi, S. *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* 74, 2632 (1995).



Figura 16. “O Grupo de Bristol”. Fotografia gentilmente cedida pelo CBPF.

O chefe inglês, o Powell, está na extrema esquerda; a secretária dele que está em baixo era a própria mulher dele, que batia à máquina; as três moças são microscopistas. O careca é o *factotum*, o outro é fotógrafo, o barbicha é penetra (*risos na platéia*) e a da ponta é a Marieta Kurz, que viu o primeiro méson  $\pi$ . E os físicos são os de baixo: na frente, Muihead e Goldschmit (que infelizmente morreu), Occhialini, Ritson, Locke, King, eu e Camerini e tem o mecânico também. Era um grupo relativamente pequeno e dividimos o trabalho. Nós — Lattes, Muihead, Occhialini e Powell —, medimos a massa por contagem de grãos e os outros 4 mediram pelo espalhamento coulombiano múltiplo: o méson se desvia de uma linha reta e dá para calcular a sua massa. Isso foi publicado em outubro de 1947. Em dezembro de 1947, Rochester e Butler, ex-alunos de Blackett, usando uma câmara de Wilson que era do Blackett, com controle automático, publicaram duas fotografias. Eu só tenho uma aqui.

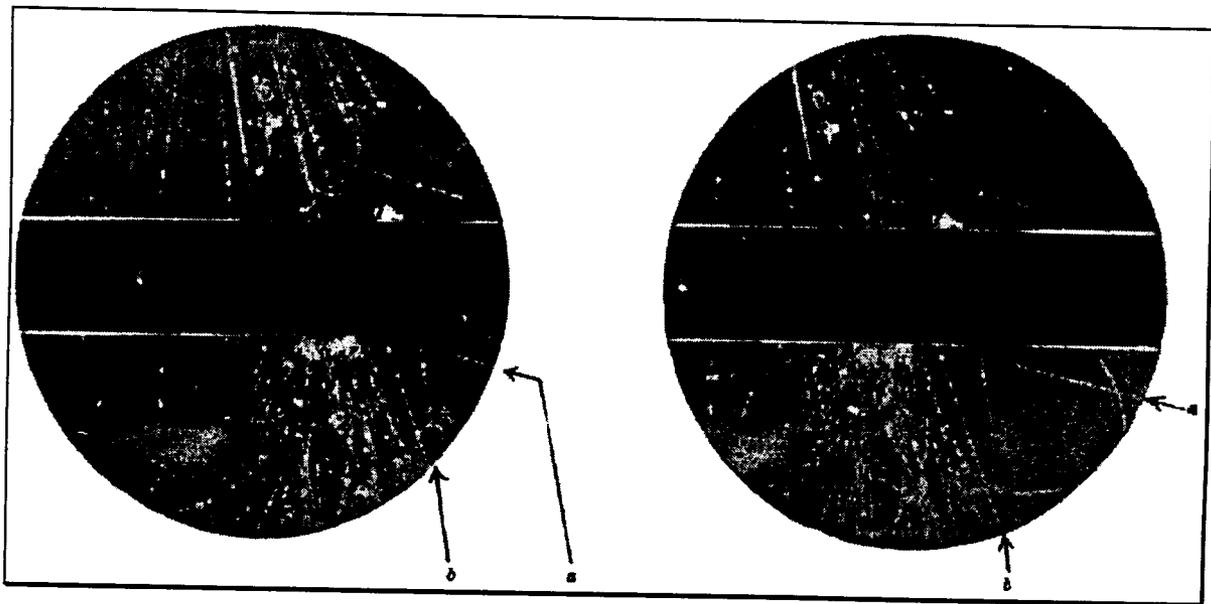


Figura 17. Produção das chamadas partículas V.

Essa fotografia mostra esse V aqui na parte inferior direita da foto que, exatamente por isto, foi chamado partícula V. Isto é de dezembro de 47 e o nosso trabalho é de outubro de 47. Eles concluíram que era alguma coisa neutra que decaía em um próton e em um méson negativo dos nossos; chamava-se partícula V.

Outra fotografia revelou as partículas K, chamadas de partículas estranhas. Estas partículas eram chamadas de estranhas pelo seguinte: elas são produzidas fortemente e decaem lentamente, *i.e.*, para poder ser vista na câmara de Wilson tem que ter uma vida média maior que  $10^{-10}$  s, e isso é lento, em Física Nuclear onde os tempos característicos são da ordem de  $10^{-23}$  s. Abraham Pais, que foi citado hoje, levantou a hipótese de que devia haver produção associada que só podia produzir duas partículas estranhas de cada vez e haveria algum número quântico a ser conservado. Desta forma, na produção não haveria problema, mas no decaimento seria uma partícula estranha que ia decair em outrans não estranhas, e isso não poderia acontecer rapidamente. Isto foi chamado de produção associada.

Bom, deixa eu comentar rapidamente como é que foram produzidos artificialmente 3 mésons na Califórnia. Lá havia um Ciclotron que podia acelerar partículas  $\alpha$  até 400 milhões de volts (380 MeV, na verdade).

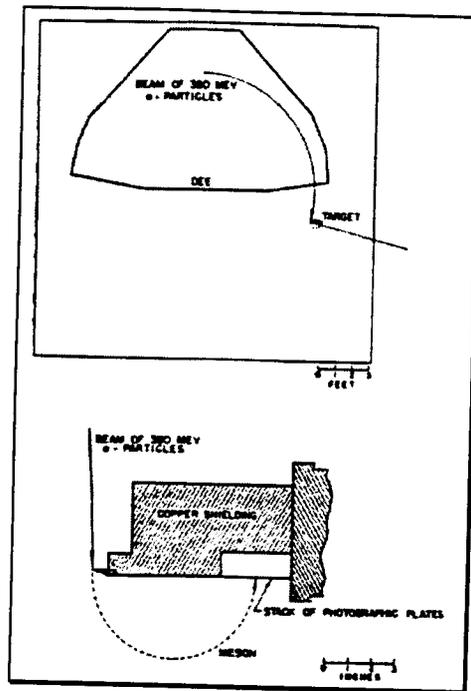


Figura 18. Esquema do aparato no Ciclotron de Berkeley. *Science*, March 12, (1948), vol. 107.

A sua construção foi iniciada logo após a descoberta do méson por Anderson, com doação da Fundação Rockefeller. Mas, durante a guerra, foi usado para separar urânio 235 e pulverizar em cima de Hiroshima. Terminada a guerra botaram-no para funcionar e, em novembro de 46, ele estava com plena carga. No entanto, o pessoal lá acreditava em um outro méson com massa menor e não conseguiram detectar o méson  $\pi$ . Foi só depois que eu cheguei que os convenci que tinham que procurar um méson de massa maior e assim detectamos o méson  $\pi$  em laboratório. Deu certo.

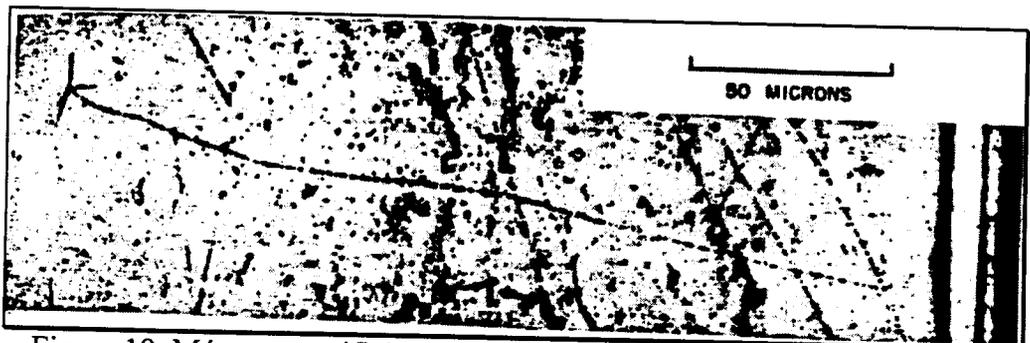


Figura 19. Méson  $\pi^-$  artificial. *Science*, March 12, (1948), vol. 107, p. 271.

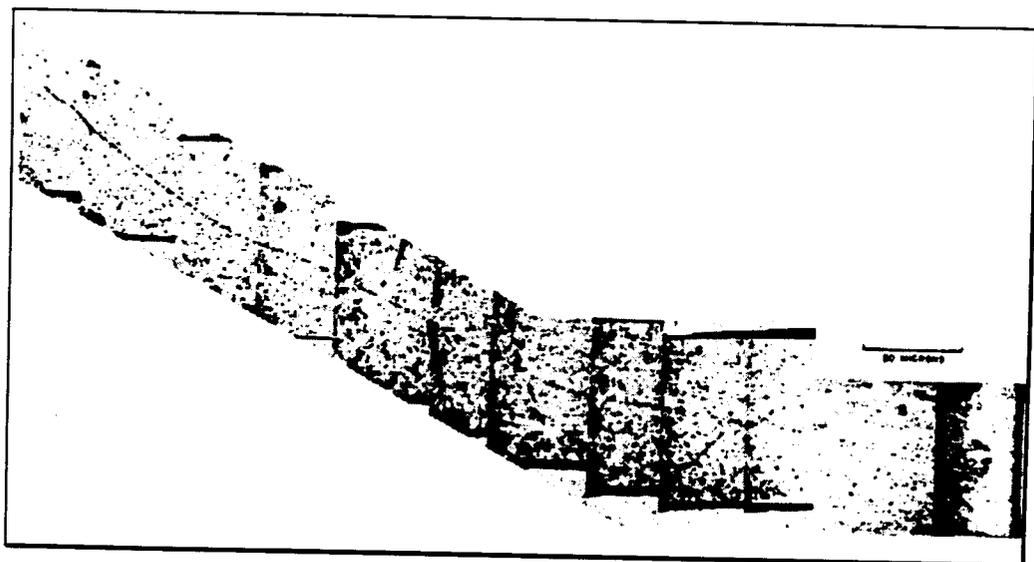


Figura 20. Fotos de dois mésons produzidos artificialmente. *Ibid.*

Depois dos primeiros trabalhos foram feitas chapas aonde podia se ver mínimo de ionização. Assim ao invés de vermos só o méson pesado, decaindo no leve, vimos o pesado decaindo no leve e do leve sai o elétron.

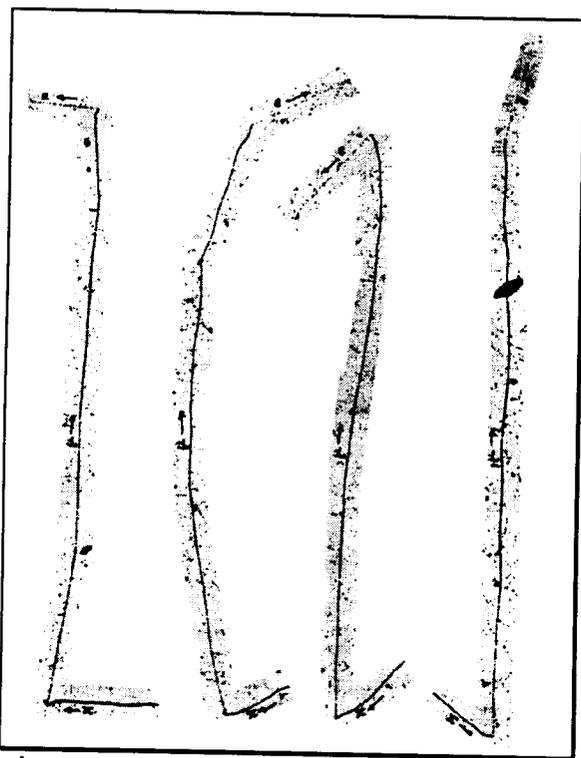


Figura 21. Decaimento sucessivo do méson  $\pi$ :  $\pi \rightarrow \mu \rightarrow e$ . Extraído do livro C.F. Powell, P.H. Fowler and D.H. Perkins, *Op. Cit.*, p. 245.

Para explicar porque a produção era forte e o decaimento era lento, Pais propôs que era produção associada. Tinha um novo número quântico, chamado estranheza, que devia se conservar. Então o méson  $\pi$  não é estranho mas dá o  $K^0$  e o  $\Sigma^0$  que têm estranheza oposta. Bom, nessa época o Sakata já tinha previsto que havia dois tipos de

mésons e previu também que o  $\mu$  não decaia em um elétron mais um neutrino ( $e \nu$ ). Isto só foi possível mostrar alguns anos depois.

O Prof. Leite Lopes, a par do que estava acontecendo, em 1958, publicou um trabalho fundamental, onde ele tentava unificar a interação eletromagnética, bem conhecida, com a interação fraca, que é responsável por essas desintegrações lentas e postulou, chegou à conclusão de que devia haver fótons intermediários mas de massa grande (os bósons intermediários). Ele se assustou porque sua estimativa deu 60 massas nucleônicas, mas publicou, sendo o primeiro. Mais tarde, Gell-Mann e Feynman fizeram essa teoria e finalmente esses bósons foram encontrados, no CERN, em 1983, pelo grupo liderado pelo Rubbia, usando um acelerador de bilhões de volts.

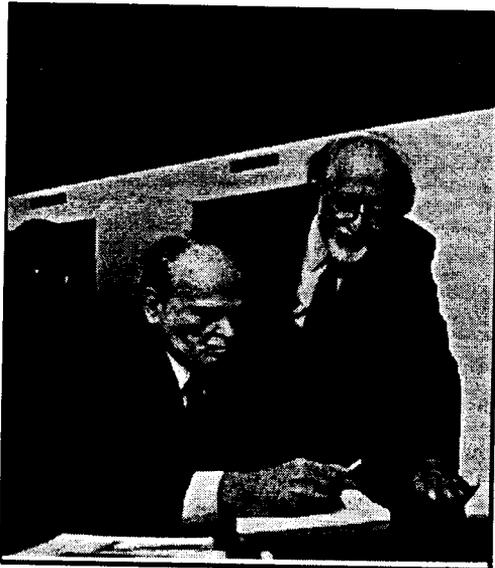


Figura 22. Leite Lopes com Cesar Lattes, no CBPF em 1994, por ocasião das solenidades em homenagem aos setenta anos de Cesar Lattes.

Eu tentei mostrar para vocês que essa coisa não é só imaginação, não é só teoria. Para Demócrito era só imaginação, mas aqui tem coisas palpáveis. Não se sabe se antes do Prof. Lederman detectar o Y, se o Y existia; não se sabe, isso não se pode provar, mas é fé da gente, que há uma realidade objetiva. Berkeley não acreditava nisso.

Bom, as coisas foram se complicando. Apareceram, assim, além do raio  $\gamma$ , os bósons intermediários  $W^+$ ,  $W^-$  e  $Z^0$ .

Sakata fez uma proposta de uma teoria aonde as partículas elementares tinham a estrutura composta. Ele não foi o primeiro, pois o primeiro foi de Broglie, que propôs que o fóton era um par de neutrino-antineutrino. Depois o Fermi e o Yang propuseram que o méson  $\pi$  era um par de nucleon e anti-nucleon. Quando eu perguntei ao Fermi se ele acreditava naquilo, ele disse: "*There is a fifty-fifty chance that it is right.*" (risos na platéia).

Mas Sakata pegou o que se conhecia na época, um ur-proton ( $p^*$ ), o ur-neutron ( $n^*$ ) e o ur-lambda ( $\Lambda^*$ ), que eram as partículas elementares conhecidas na época (Conferência de Kiev, de 1959), e supôs que o estado  $p^* \bar{n}^*$  fosse o méson  $\pi$ , que  $p^* \bar{\Lambda}^*$  desse para fazer o méson K e três deles dessem para fazer o nucleon e, deste modo, conseguiu uma classificação razoável das partículas conhecidas na época. Mas depois ele achou, usando Teoria de Grupos, que precisava acrescentar mais uma

partícula, e previu a existência de outra, que foi descoberta pelo Niu, que a chamou de partícula X. Isso foi anterior à descoberta do *charm*, descoberto na América do Norte um pouco depois, com colisão elétron-pósitron, que dava uma ressonância e não era nem prótonica, nem neutrônica, nem estranha: era *charmosa*, era diferente.

Bom, não vou falar dos vários modelos, falo do último, o último modelo é o modelo de Quarks, é o nome que o Gell-Mann deu, está ligado ao livro de J. Joyce<sup>2</sup>. Seriam partículas que têm carga elétrica igual a 1/3 ou a 2/3 da carga eletrônica, dizem que há 3 pares:

up	strange	top
down	charm	bottom

e são pesadas, e de acordo com os autores dessa teoria, dá para se construir uma descrição das partículas elementares, com exceção das leves (dos léptons): e,  $\mu$ ,  $\tau$ ,  $\nu_e$ ,  $\nu_\mu$ ,  $\nu_\tau$  e dos bósons.

O pessoal acha que com isso dá pra descrever o Universo até  $10^{-43}$  s depois da Criação, mas não dá muito certo porque há, pelo menos, 20 parâmetros que têm que ser obtidos da experiência. Além disto já são muitas partículas de novo e, além do mais, os quarks têm 3 cores (um tipo de carga relacionado à interação forte) cada. Lavoisier tinha só 30 partículas, né? Aqui são mais de 50!

Bom eu tentei dar uma idéia da evolução da Física de Partículas, dentro do limite de tempo que dispunha. Maiores detalhes poderão ser encontrados em um livrinho bom publicado pelo Santoro e pelo Caruso<sup>3</sup>.

---

<sup>2</sup> N.E. Quando este nome foi escolhido por Gell-Mann, em 1963, ele só tinha em mente o som da palavra, e não a grafia; algo como "*kwork*". Mais tarde ele encontrou a palavra *quark* no seguinte trecho do livro *Finnegan's Wake* de James Joyce:

*"Three quarks for Muster Mark!  
Sure he hasn't got much of a bark  
And sure any he has it's all beside the bark."*

<sup>3</sup> N.E. F. Trata-se do livro contendo as contribuições à sessão da LISHEP93 dedicada a professores de segundo grau e licenciandos: F. Caruso & A. Santoro (Eds.), *Do Átomo Grego à Física das Interações Fundamentais*, Rio de Janeiro, AIAFEX, 1994.

Para concluir, gostaria de dizer que quando eu voltei da Califórnia com os mésons artificiais, não dava para fazer um Cíclotron no Brasil e, então, nós fomos para a Bolívia de novo e continuamos estudando raios cósmicos. Atualmente existe uma cooperação Brasil-Japão que estuda, há mais de 30 anos, interações de  $10^{16}$  eV,  $10^{17}$  eV e  $10^{18}$  eV — sempre 10 a 100 vezes acima das máquinas —, e se encontram coisas novas<sup>4</sup>. Não vou entrar em detalhes aqui e só vou mostrar o caso típico de produções múltiplas de mésons, prevista pelo Wataghin.

Essa partícula incidente, o núcleo arrebenta e há o cone para frente e para trás no centro de momentum e você tem no Lab., fica o cone fechado e aberto, produção múltipla, aquela do Wataghin, Souza Santos e Pompéia, de 1940. Só que nós agora estamos vendo energias bem maiores do que essas, o ângulo de abertura  $10^{-5}$ ,  $10^{-6}$  rad. Então não se pode ver assim; é necessário colocar chapas de chumbo e olhar as cascatas eletromagnéticas dos raios  $\gamma$  nos mésons neutros.

Então isso é para dar uma idéia do que os físicos fazem atualmente para fazer jus ao salário de fim de mês. E, para terminar, como eu comecei com Salomão, vou citar Salomão. O *Ecclesiastes* (12, 12) diz assim: “*Não te metas a escrever livros nem estudes muito. Cansa a carne*”.

Muito obrigado.



Figura 24. Produção múltipla de mésons. Extraída de C.F. Powell, P.H. Fowler and D.H. Perkins, *op. cit.*, p. 629.

#### PUBLICAÇÕES DE CESAR LATTES NO PERÍODO 1947-1957<sup>5</sup>

1. C.M.G. Lattes, H. Muirhead, G.P.S. Occhialini and C.F. Powell, “Processes involving charged mesons”, *Nature*, 1947; **159**: pp. 694-697.
2. C.M.G. Lattes and G.P.S. Occhialini, “Determination of the energy and momentum of fast neutrons in cosmic rays”, *Nature*, 1947; **159**: pp. 331-332.
3. C.M.G. Lattes, G.P.S. Occhialini and C.F. Powell, “Observation on the tracks of slow mesons in photographic emulsion”, *Nature*, 1947; **160**: pp. 486-492.

<sup>4</sup> N.E. Podemos citar como exemplo os eventos *Centauro*.

<sup>5</sup> N.E. Achamos oportuno dar as referências dos trabalhos do Prof. Cesar Lattes neste período. Extraído do livro A. Marques, *Cesar Lattes 70 Anos: A Nova Física Brasileira*, Rio de Janeiro, CBPF, 1994, pp. 188-190, onde o leitor pode encontrar a relação completa dos trabalhos do Prof. Lattes.

4. C.M.G. Lattes, M. Schönberg and W. Schutzer, "Classical theory of charged point-particles with dipole moments", *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 1947; **19**, pp. 193-245.
5. C.M.G. Lattes, P.H. Fowler and P. Cuer, "A study of the nuclear transmutations of light elements by the potographic method", *Proc. Phys. Soc.*, 1947; **59**: pp. 883-900.
6. C.M.G. Lattes, P.H. Fowler and P. Cuer, "Range-energy relation for protons and  $\alpha$ -particles in the new Ilford "nuclear research" emulsions", *Nature*, 1947; **159**: pp. 301-302.
7. C.M.G. Lattes, G.P.S. Occhialini and C.F. Powell, "A determination of the ratio of the masses of  $\pi$ - and  $\mu$ - mesons by the method of grain-counting", *Proc. Royal Phys. Soc.*, 1948; **61**: pp. 173-183.
8. E. Gardner and C.M.G. Lattes, "Production of mesons by the 184-inch Berkeley cyclotron", *Science*, 1948; **107**, pp. 270-271.
9. J. Burferin, E. Gardner and C.M.G. Lattes, "Positive mesons produced by the 184-inch Berkeley cyclotron", *Phys. Rev.*, 1949; **75**: pp. 382-387.
10. H.L. Anderson and C.M.G. Lattes, "Search for the electronic decay of positive pions", *Nuovo Cim.*, 1957; **6**: pp. 1356-1381.
11. C.M.G. Lattes and P.S. Freier, "Angular correlation between pions and muons measured in nuclear emulsions", *Proc. of the Padova Conf.*, 1957; **5**: p. 17.
12. P.H. Fowler, P.S. Freier, C.M.G. Lattes, E.P. Ney and S.J.St. Lorant, "Angular correlation in the  $\pi$ - $\mu$ -e decay of cosmic ray mesons", *Nuovo Cim.*, 1957; **6**: pp. 63-68.
13. P.H. Fowler, P.S. Freier, C.M.G. Lattes, E.P. Ney and D.H. Perkins, "A cosmic ray jet in the  $10^{15}$  eV energy range", reported at *Varenna Int. Conf. on Cosmic Radiation*, June 1957.