

Entrevista sôbre a Bola de Fogo ("Fireball"), tomada no dia 21 de março de 1972.

Entrevistado: Prof. Fujimoto. Entrevistador: Roberto A. Martins

R - Gostaria de saber qual foi a primeira pessoa que teve a idéia da existência da Bola de Fogo.

F - A idéia nasceu muito tempo atrás. Não sei exatamente quem foi o primeiro, mas eu diria que Gleb Wataghin foi um dos primeiros que sugeriu sua existência.

R - Quando foi isto ?

F - Suponho que foi durante o tempo de guerra: 1942, 1943, creio eu.

R - Antes da descoberta dos mésons pi ?

F - Antes do méson pi.

R - O que êle propôs ? Qual era sua idéia sôbre a Bola de Fogo ?

F - Bem, eu penso que Heisenberg também teve a mesma idéia: os físicos teóricos acreditam que, se você utiliza energias cada vez mais altas, algo novo acontecerá. Já naquela época, existia a teoria de Yukawa, e o méson foi descoberto (muon). Mas ainda não haviam sido descobertos os pions, e os muons não concordavam muito com a ~~teoria~~ <sup>teoria</sup>. Deveria haver algo, não é ? Era a opinião geral naquela época: antes da guerra e também durante a guerra. Por isto, muitos teóricos pensaram que a teoria dos mésons estava correta, mas não 100% correta. A teoria dos mésons é correta para certo campo de energias, mas se você vai para energias mais altas, ~~a teoria~~ <sup>a teoria</sup> dos mésons falhará. E nestas energias mais altas, êles esperavam algo de novo. Eles não colocaram o nome de Bola de Fogo, mas a idéia é muito semelhante. Eles imaginaram que haveria um novo ente, e que dela sairiam mésons. Esta era a idéia de Wataghin, de Heisenberg, e seus discípulos.

R - E êles previram a massa ...

F - Não, não. Só a existência. Não sei se isso pode ser chamada de previsão, mas êles colocaram argumentos teóricos, segundo os quais os mésons não apareceriam diretamente, mas viriam de uma outra coisa, que não conheciam. Esta é a contribuição dêles. Depois, seguiram-se muitas investigações, e depois disto, encontramos (Powell, Occhialini, etc) dois tipos de mésons. E a existência dêstes dois tipos de mésons foi prevista teoricamente pelo professor Sakata. Então, êles foram encontrados experimentalmente, e previstos teoricamente. E depois de encontrar êstes dois mésons, verificou-se que as experiências com mésons e a teoria dos mésons não se encontravam em grande contradição. Posteriormente, as experiências foram melhoradas, e encontramos que, quando raios cósmicos de muito alta energia incidem sôbre partículas, mésons são produzidos, não um, mas vários ao mesmo tempo. Estes grupos são chamados de "chuveiros". Estes chuveiros são a expressão daquilo que em teoria se chama "produção múltipla". Os mésons não são

produzidos um por um, mas em um grupo. Dez, vinte, algumas vezes trinta, ou mesmo cem, todos de uma vez.

R - E como isto era explicado ? esta produção múltipla ?

F - Foram revividas as velhas idéias de Heisenberg, e Wataghin, sobre este novo ente, e começaram a pesquisar.

R - Era a única explicação ?

F - Creio que sim. Mas, é claro, não podemos ver a Bola de Fogo diretamente, mas não duvidamos dela, pela formação dos mésons. Nós observamos grupos de mésons, e reconstruímos o ente de onde êles vêm. E é isto que chamamos de Bola de fogo.

R - E qual é a maior diferença entre a Bola de Fogo e ressonâncias comuns ?

F - Aí entram tópicos muito novos. ( desenha esquema 1 e vai explicando ) : a partícula incidente se choca contra um núcleo, e produz um grande número de partículas; chamamos isto de chuveiro. Estes (partículas produzidas) são píons, algumas vezes um kaon, e acreditamos que não é produzido diretamente, mas que em B uma Bola de Fogo, e que ela se transforma em mésons. Mas, fazendo mais experiências, verificamos que nem sempre há uma só bola de fogo; algumas vezes há duas.

R - As bolas de fogo aparecem apenas em choques entre núcleons ?

F - Bem, não sabemos isto particularmente, mas provavelmente um méson se chocando contra um núcleo também produz bolas de fogo. Núcleons, mésons, tôdas as partículas de interação forte (hadrons), suponho que podem dar lugar à formação de bolas de fogo, em colisões.

R - Qual seria o diagrama de Feynmann da produção da bola de fogo ?

F - Isto eu não sei, eu não sei; porque ninguém sabe ainda se a bola de fogo deve ser colocada entre as partículas elementares. Se êste ente é uma partícula elementar, então o diagrama de Feynmann funciona. Ele só se aplica a partículas elementares.

R - A bola de fogo aparece na interação entre duas partículas. Mas é a bola de fogo que causa a interação, ou ela é apenas um resultado secundário da interação?

F - Não consegui entender sua pergunta...

R - Bem, o pión produz a interação entre dois prótons, por exemplo. A bola de fogo tem êste mesmo tipo de função ?

F - Não, eu não sei... ninguém sabe. A única coisa que podemos dizer, no momento é isto: suponha que você faz uma experiência, onde um núcleo de carbono colide com um próton. O carbono é composto por doze núcleons, e mesmo que o próton

penetre através do núcleo do carbono, o número de colisões não é muito grande; talvez uma, talvez duas. Mas suponha um núcleo pesado, como o chumbo. Então, temos muitos núcleos dentro, e neste caso, quando o próton incide, pode aparecer uma bola de fogo na primeira interação, e depois interagir com este núcleon, este, este... Poderia ser ... Mas a única coisa que se conhece atualmente é a bola de fogo que surge do carbono, ou hélio, e são mais ou menos semelhantes. Não há diferença sensível.

R - E estes dois tipos de bola de fogo - a grande e a pequena ?

F - Na experiência de Chacaltaya, que estamos realizando em colaboração com o Brasil, foram notadas bolas de fogo de dois tipos. Teoricamente, há argumentos a favor da existência. E experimentalmente, é muito provável, mas os dados ainda não são conclusivos. Estamos verificando se elas existem ou não, qual é a forma delas: se são esferas, em forma de cigarro, ou discos (3), e qual é a massa, a temperatura, etc. Este é o objetivo das experiências de Chacaltaya. E descobrimos que a menor bola de fogo é isotrópica, como uma esfera, e a temperatura é sempre constante, e fomos bem sucedidos em medir a massa das bolas de fogo; e descobrimos que há dois tipos de ~~xxxxxx~~ bolas de fogo, uma mais leve, outra mais pesada.

R - Existe alguma explicação teórica para esta diferença ?

F - Não.

R - Ninguém sabe porque não há só um tipo de bolas de fogo ?

F - Ninguém sabe. O número de partículas elementares não é pequeno; há os píons, kaons, lâmbdas, e além disto muitas ressonâncias: centenas de partículas, agora. Mas qual é a relação entre a bola de fogo e estas partículas, ninguém sabe. Tudo o que se sabe é que, quando se utiliza energias muito altas, com raios cósmicos, observa-se apenas dois tipos de eventos. (4) Esta é a parte japonesa dos dados, a parte brasileira você pode ver ali; Esta é a pequena bola de fogo, e esta é a grande. Dois tipos. ( ~~xxxx~~ A aparelhagem seria capaz de captar bolas de fogo de massas muito menores e muito maiores do que estas ?). Esta é uma nova experiência. Nas antigas, também se observa isto, mas estes dados são novos. (Mostra os dados brasileiros, e mostra que coincidem).

R - Existe alguma evidência da existência das bolas de fogo que tenha provindo dos grandes aceleradores ?

F - Sim. Até agora, não há muita investigação séria. Só posso citar ... .. Nosso grupo, no Japão, fez investigações para procurar evidências da existência deste ente nos aceleradores, e encontramos. Também os soviéticos fizeram mais ou menos a mesma investigação, e mediram a massa, e obtiveram o mesmo resultado, aproximadamente. Mas nesse caso não é tão claro. ~~(X)~~ Produz-se o choque entre um próton e um alvo, <sup>(câmara de bôlhas)</sup> mas a energia do próton não é tão alta. Algumas vezes, observa-se a bola de fogo, mas nem sempre. Na maioria dos casos, observam-se ressonân-

cias. Em mais ou menos 10% observamos bolas de fogo. E ainda não está completamente claro como distinguir entre êles. Mas a energias mais altas, podemos observar a emissão da bola de fogo mais claramente. Recentemente, entrou em funcionamento um grande acelerador no CERN, Europa, e não é linear, mas curvo. 25 GeV vindo deste lado, (5), outro feixe vindo de cá, e êles se chocam. Assim, podem ser feitas experiências a energias muito altas. Dois feixes vêm nesta direção e nesta direção, e aqui pode acontecer a interação. Então saem partículas por aqui. Eles medem a distribuição angular dos píons que são emitidos nesta colisão. Mas esta experiência não está completamente clara, pois não se pode medir as partículas que vêm para cá e para cá. (tubos aceleradores). A medição é muito limitada. E notaram nesta experiência que mais partículas são emitidas nesta direção e nesta direção do que a 90 graus, mostrando que é muito consistente com a produção de duas bolas de fogo. (6). Não há outras explicações. Muito recentemente, os americanos puseram em funcionamento o grande acelerador de 200 GeV, mas não há resultados ainda. Temos que esperar um pouco.

R - Há algum número quântico associado a estas bolas de fogo ?

F - Não, não sei. Medindo mais acuradamente a distribuição angular dos píons, verifica-se que é isotrópico, mas isto não significa necessariamente que o spin da bola de fogo é zero. Mas por enquanto ainda não se encontrou spin.

R - Qual é a precisão das medidas da experiência de Chacaltaya ? Têm-se certeza de que as duas bolas de fogo são realmente duas ?

F - Estou bastante certo. Não posso contar-lhe qual é a precisão na experiência. Usualmente, quando se quer medir a energia de partículas elementares, é difícil medir a energia na região de altas energias. Se você põe um magneto aqui (7), e a partícula é muito veloz, isto (a trajetória) se torna quase reta. O método que utilizamos são as câmaras (8) de emulsão, um sanduíche de placas de chumbo, e chapas fotográficas de raios X, e emulsão. Raios gama muito energéticos ou elétrons entram aqui e produzem um chuveiro. Contamos então o número de chuveiros, é como isto aqui (mostra foto de placas com manchas). Suponha que a partícula vem por aqui, e ela começa um chuveiro, e por fim desaparece. Contamos o número de partículas que penetram aqui, e aqui, e aqui. Há um máximo em certo ponto, e depois os sinais desaparecem. Medimos o número do máximo simplesmente fazendo interpolação, e este número é proporcional à energia. Isto é bastante preciso.

R - Quem deu o nome de bola de fogo ?

F - Há tanta gente, que não sei dizer exatamente quem. (6-10). A idéia das duas bolas de fogo (produzidas na colisão) foi iniciada em 1956 por Niu, no Japão, Coconi, e Miodowich (?), polonês. Fermi, Landau, Wataghin e Heisenberg trabalharam no assunto. Estes são os teóricos, os outros experimentais.

R - Tem-se bastante certeza de que a bola de fogo não é um novo estado do núcleon ?

F - Vamos descobrir, espero. Não temos idéia. Poderia viajar junto do próton, ou ter existência independente. Inicialmente, concentramos nosso estudo nos píons, e esquecemos dos núcleons. Mas agora vamos construir uma nova aparelhagem, e poderemos descobrir a direção do próton. Então, poderei responder a essa pergunta, mas não agora.

R - Qual é a relação entre a bola de fogo e quarks ?

F - Quarks ? Eu não sei, pois os quarks nunca foram descobertos. A evidência, agora, é negativa. Não há nenhuma teoria que relacione os quarks à bola de fogo. É preciso antes ver se os quarks existem, para depois procurar uma relação.

. . .

Estou muito interessado em saber como a bola de fogo está relacionada às partículas elementares, mas atualmente não temos jeito de fazer experiências.

Inicialmente, pensava-se que a bola de fogo era esférica, um gás de mésons, a energias muito altas (temperatura muito alta). (11). É esta a idéia que se relaciona mais com o nome, bola de fogo. Mas se fôsse, assim, deveríamos ter bolas de fogo de vários tipos. Mas o pico observado é bastante nítido. Então, como existem átomos de matéria, elementos de matéria, parece haver o átomo de bola de fogo, a bola de fogo elementar. E esta bola de fogo unitária foi primeiramente notada por Hasegawa (teoria ou experiência ?). Os dados experimentais mostram um pico, mas não se sabe se é um pico, ou se há uma largura (spread). (12). Poderiam ser erros experimentais, ou uma largura natural. Não medimos realmente a massa da bola de fogo, mas uma parte da massa. Suponha a bola de fogo (13), que emite píons mais, menos e neutros. Os neutros se desintegram em 2 gama. Observamos apenas este tipo, só o neutro. A bola de fogo pode ter só 1/4, 1/3 de píons neutros, etc. Podemos observar os outros píons, mas não medir suas energias. A porcentagem dos píons neutros deve, em média, ser constante, mas pode variar um pouco, e mesmo que a massa da bola de fogo fôsse constante, apareceria então um alargamento do pico. De qualquer forma, a bola de fogo não é contínua, como água, mas possui um elemento.

R - Há alguma relação entre ~~estes~~ gás de mésons e as nuvens de mésons dos prótons ?

F - As nuvens dos prótons são virtuais. Não têm suficiente energia para sair. Mas se você dá energia, ela pode sair.

R - Mas se esse gás de mésons tem um tipo de atomicidade, deveríamos também pensar que haveria uma atomicidade na nuvem mesônica dos prótons.

F - Sim, suponho que sim. E isto pode estar relacionado à estrutura das partículas fundamentais. Os mésons são compostos pelas partículas de Sakata, e isto pode estar relacionado à atomicidade. Mas não sabemos como relacionar estas duas informações. É muito difícil. É possível que a mecânica quântica não funcione,

e seja necessário um novo tipo de teoria aqui. Ninguém sabe. Precisamos de novas experiências.

. . .