

Cesar Lattes 70 Anos

A NOVA FÍSICA
BRASILEIRA

Neusa Amato

Carlos Aguirre B.

Giulio Bigazzi

C.A.A. de Carvalho

Hervasio de Carvalho

Marcello Damy

J.J. Giambiagi

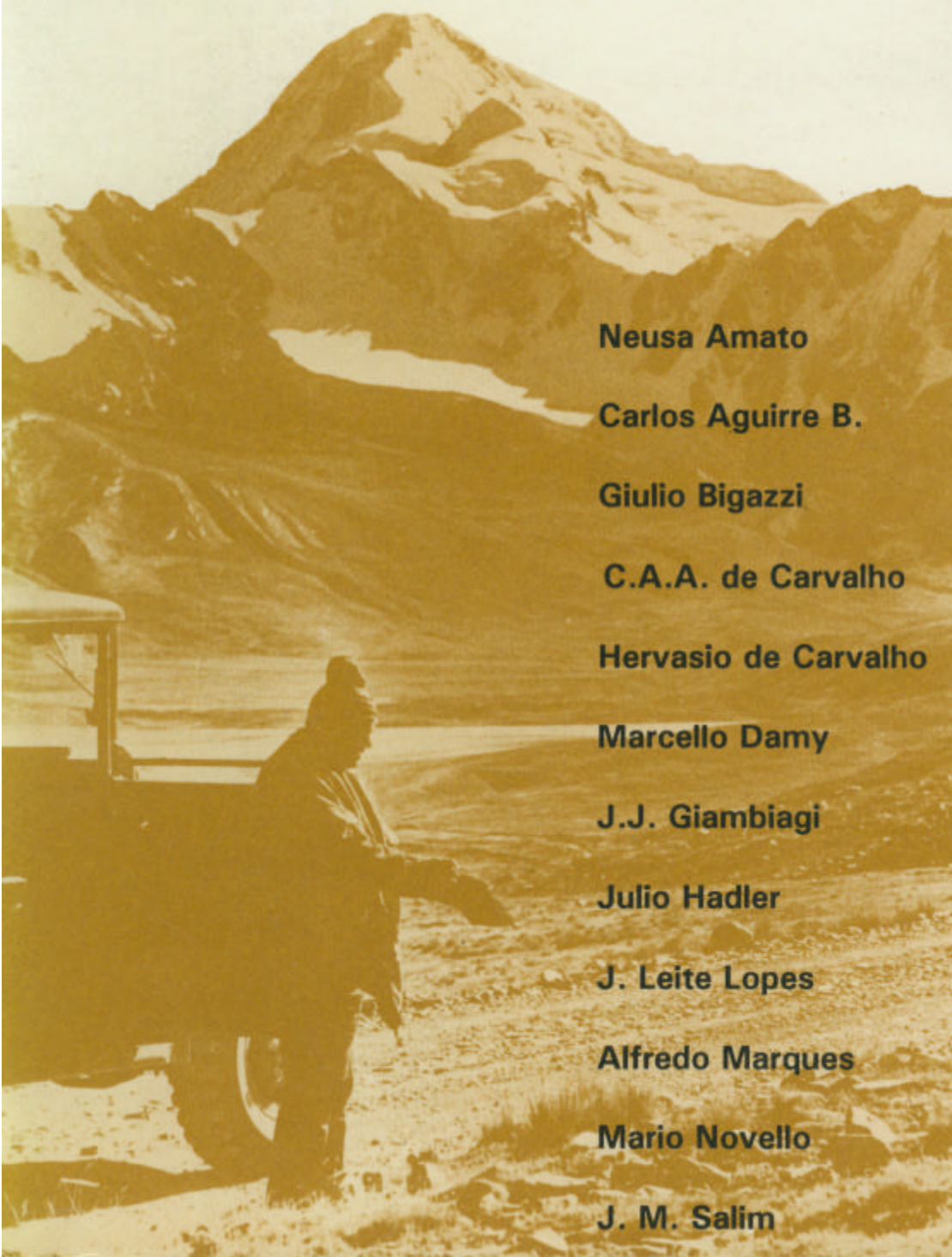
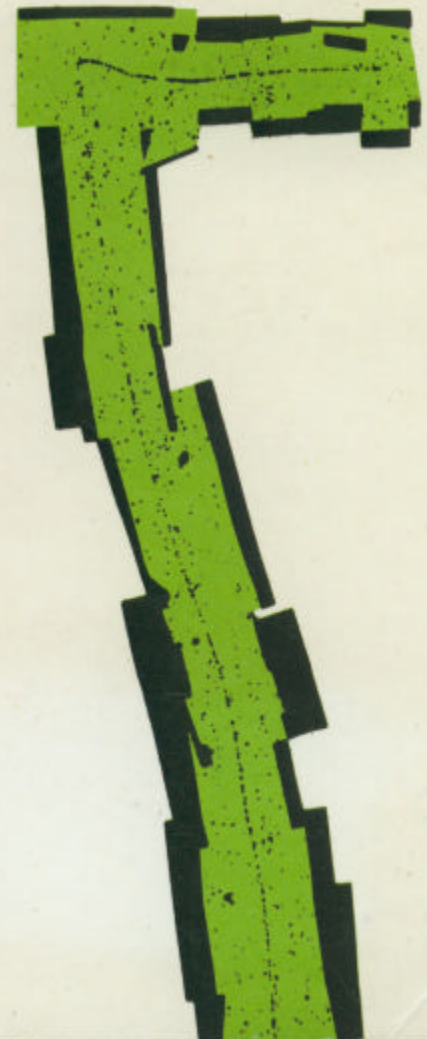
Julio Hadler

J. Leite Lopes

Alfredo Marques

Mario Novello

J. M. Salim



... Este livro é um relato sobre os feitos que este cientista criativo e empreendedor lega à posteridade....*J.I. Vargas, Ministro da Ciência e Tecnologia*

...É um trabalho incessante, para cérebros privilegiados, como o de Cesar Lattes, que durante muitos e muitos anos continuará a contribuir para o desenvolvimento de nossas idéias...*Marcello Damy de Souza Santos*

...Guardo a mais agradável lembrança dos laços de companheirismo e amizade, de amistosa convivência característica daqueles anos... A figura de Lattes, nesse particular, é relembada como fraternal traço de união...*Hervasio G. de Carvalho*

...O prestígio de Lattes foi espetacular - na época a revista *Life* estampou em sua capa uma foto de Lattes em Berkeley - e ele era chamado a fazer seminários e dar resultados sobre as pesquisas que realizava, nos EUA e na Europa... *J. Leite Lopes*

In spite of enormous limitations to develop new knowledge, there are institutions and researchers in small developing countries which have made transcendental contributions to science... *Carlos Aguirre B., Presidente da Academia de Ciências da Bolívia.*

Cesar Lattes is a celebrated authority in particle physics and cosmophysics. Few people know that he was a pioneer of the fission track dating method also...*G. Bigazzi, Istituto di Geocronologia e Geochimica Isotopica, Pisa Italia.*

Para Edson e Mirte, amigos
de todas as horas, com um abraço

João

Benfante

31/12/1994 A.D.

Cesar Lattes

70 Anos

A NOVA FÍSICA BRASILEIRA

Cesar Lattes

70 Anos

A NOVA FÍSICA BRASILEIRA

*Homenagem ao Prof. Cesar Lattes
ao ensejo de seus 70 anos, sob os
auspícios do CNPq*

Presidente do CNPq
Lindolpho de Carvalho Dias

Diretor do CBPF
Amós Troper

Editor
Alfredo Marques

Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas
1994

Editor: **Alfredo Marques**
Capa e Projeto Gráfico: **Carmen Franco e Denise Alvarez**
Fotolito e Impressão: **A.I.G.Ltda, Sta.Clara 313/207,Rio**

Ficha Catalográfica:

Alfredo Marques, Editor
Cesar Lattes 70 Anos: a Nova Física Brasileira,
Rio de Janeiro, CBPF, 1994, 212 p.

1.Retrospecto de fatos marcando a nova física brasileira, a reforma universitária, o projeto nuclear brasileiro,em conexão com os trabalhos de Cesar Lattes, dentro e fora do país.

ISBN: 85-85752-01-7

Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas
R. Xavier Sigaud 150, 22290-180, Rio de Janeiro,RJ



Índice

Matérias Diversas

- Nota do Diretor 9
Nota do Editor 10
Telegrama de S.Excia. o Presidente Itamar Franco 11
Prefácio do Exmo. Sr. José Israel Vargas,
Ministro da Ciência e Tecnologia 13

Tópicos Editoriais

- Breve Nota Biográfica 15
Professores, Amigos, Colaboradores 21
Breve Histórico da Descoberta do Píon 31
Expedições 38
Incêndio 50

Artigos

- Homenagem a Cesar Lattes 56
Chicago e Outras Reminiscências 62
Cesar Lattes, o CBPF e a Nova Física no Brasil 70
Influência de Cesar Lattes na Física Argentina 94
Cesar Lattes y el Desarrollo de la Ciencia en Bolivia 97
Cesar Lattes: a Pioneer on Fission Track Dating 124
A Colaboração Brasil-Japão 152
Estados Coerentes de Píons 161
Scalar-Vector Theory and Electrodynamics 178
Bibliografía 184

Autores

Alfredo Marques	183
Carlos Alberto Aragão de Carvalho	160
Carlos Aguirre B.	96
Giulio Bigazzi	122
Hervasio G. de Carvalho	61
José Leite Lopes	69
José Martins Salim	177
Juan José Giambiagi	93
Julio Cesar Hadler Neto	123
Marcello Damy de Souza Santos	55
Mario Novello	176
Neusa Amato	151

Nota do Diretor

O Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, CBPF, que tanto deve ao Professor *Cesar Lattes* pela sua excelsa contribuição para a sua fundação, em 1949, tem o privilégio de apresentar à comunidade científica brasileira este livro, em homenagem a seus setenta anos.

Na realidade, a obra de *Cesar Lattes* - que marcou a emergência da física das partículas elementares - deu um grande impulso à pesquisa científica no Brasil pós-guerra. Além da fundação do CBPF, a repercussão de seus trabalhos na sociedade brasileira serviu como um grande estímulo para a criação do Conselho Nacional de Pesquisas (CNPq), em 1951. A partir de então a ciência brasileira tem crescido significativamente; em particular, atualmente é grande o número de institutos de física de excelente qualidade científica disseminados em nosso país.

Nossos agradecimentos aos colaboradores deste livro, alguns dos quais trabalharam ao seu lado para que o CBPF tivesse o desenvolvimento que o coloca como uma instituição de excelência de prestígio internacional.

De modo muito especial agradecemos ao Prof. *Alfredo Marques* que se dedicou de forma incansável à publicação deste Festschrift.

Nossos agradecimentos igualmente ao CNPq pelo apoio dado à publicação deste livro.

Amós Troper

Nota do Editor

Os feitos científicos do prof. *Cesar Lattes* tiveram tais repercussões que seria descabida a pretensão de apresentá-los num volume deste porte; o propósito de homenageá-lo, ao ensejo de seu septuagésimo aniversário, parece-me, entretanto, ter sido atingido, dado o valor dos testemunhos aqui reproduzidos, o prestígio científico de seus autores, a sinceridade e calor de suas manifestações.

Leitores interessados encontrarão material para compreender as dimensões das realizações desse brasileiro simples no trato, requintado e exigente no trabalho, presença espirituosa e interessada no laboratório, caloroso na amizade, tenaz na busca de suas metas. Encontrarão também dados expressivos de uma época rica em resultados científicos da maior relevância. Para nós, brasileiros, este foi o período da implantação de dois grandes programas da sociedade: o Projeto Nuclear e a Reforma Universitária; em ambos foi vital a participação dos cientistas e, em particular, dos físicos.

Além das contribuições de eminentes cientistas, apresentamos pequenos textos acompanhados de documentação fotográfica. São relatos fixando alguns aspectos históricos, com a pretensão de veicular informação extra. Também incluímos resumos dos *Curriculum Vitae* dos colaboradores, obtidos a partir dos dados pessoais. O espaço limitado e nosso viés pelas contribuições ao projeto nuclear e à reforma da universidade, podem ter induzido deformações, para as quais conto com a indulgência de todos.

Agradeço ao Prof. *A. Troper*, Diretor do CBPF, pelo apoio irrestrito e continuado estímulo; às colegas *Lelé Ribeiro Gil* e *Alice Rivera*, pela permanente assistência em múltiplas tarefas, desde a composição de textos no computador à sua revisão e correção. A documentação fotográfica devo ao acervo do CBPF, a *Lattes*, a *Georges Schwachheim*, a *Neusa Amato* e a *Luiz Reis*. Agradeço à *Denise Alvarez* e *Carmem Franco*, pelo muito que fizeram para conferir aos textos uma apresentação de bom gosto que, espero, seja por todos acatada.

Alfredo Marques

Nota

Recebemos do Gabinete do Exmo. Sr. Ministro da Ciência e Tecnologia cópia de telegrama encaminhado por S. Excia. o Sr. Presidente da República Itamar Franco ao Professor Cesar Lattes, por ocasião da data de seu natalício, a 11 de julho de 1994:

*Em nome do Governo brasileiro e do meu
próprio envio ao ilustre cientista calorosos
cumprimentos pelo seu septuagésimo
aniversário e pela vida exemplar de dedicação
e liderança na criação científica em nosso
próprio país.*

Atenciosamente,

Itamar Franco

Prefácio

Nota do Editor

Este livro é uma iniciativa do CBPF para homenagear os setenta anos de um colega muito especial: *Cesar Lattes*.

Não fossem os setenta anos, em si, já merecedores de nossa mais calorosa homenagem, relevam, no caso, também outros penhores: deve-lhe a física brasileira e, em particular, o CBPF, inestimáveis serviços.

Muito jovem ainda participou de uma descoberta notável, observando, na radiação cósmica, a produção do meson- π e sua descendência. Segundo as idéias da época aquela partícula desempenharia papel dominante na ação das forças nucleares, de modo que a descoberta encheu de esperanças não somente os cientistas, mas engenheiros, políticos, todos, enfim, que nela viam novas promessas de crescentes aplicações da ciência nuclear na produção da energia indispensável ao desenvolvimento dos povos. Ano seguinte ao da descoberta, 1948, produz artificialmente o méson- π num acelerador recentemente construído, incorporando um princípio novo de operação, sobre cujo desempenho pesavam naturais desconfianças. Para alegria da equipe que projetou e construiu a máquina, o méson- π foi produzido por ela, com todo o sucesso. A repercussão da produção artificial do pión ultrapassou, talvez, a da sua descoberta: iniciava-se uma nova "era" na física, a do estudo das partículas elementares produzidas artificialmente em aceleradores, era que ainda não esgotou suas possibilidades, como testemunham tantas descobertas recentes e fundamentais nesse campo, bem como os grandes investimentos em mega-aceleradores de partículas.

No Brasil esses feitos não apenas catalisaram a fundação do CBPF mas reforçaram imensamente os esforços em curso para a criação ou renovação de outros centros, em S. Paulo, B. Horizonte, Porto Alegre e Recife; abriram os caminhos para, enfim, tornar realidade a criação do Conselho Nacional de Pesquisas, em 1951.

Este livro é um relato sobre os feitos que este cientista criativo e empreendedor lega à posteridade, relato eloqüente, humano e cheio de dados

que propiciam ao leitor preciosas informações sobre um período cientificamente exaltante, para o mundo e para nós, brasileiros.

Abrilham esta homenagem, com seus depoimentos, cientistas que participaram ativamente do desenvolvimento da pesquisa nos últimos quarenta anos, relacionando-se com *Lattes* por diferentes vínculos: professores, colegas de primeira hora, alunos da primeira geração e outras personalidades, ao lado dos jovens físicos, todos que tiveram destaque na edificação da física moderna no Brasil e no exterior.

Estamos, pois, felizes, seus amigos e admiradores, de podermos rememorar conquistas científicas fundamentais tão auspiciosas, justamente no ano em que se comemora os setenta anos do protagonista maior desses feitos.

José Israel Vargas
Pesquisador Titular do CBPF
Ministro da Ciência e Tecnologia

Breve Nota Biográfica

Cesare Mansueto Giulio Lattes nasceu em Curitiba a 11 de julho de 1924, filho de *Giuseppe Lattes* e de *D. Carolina Maria Rosa Lattes*. É casado com *D. Martha Siqueira Neto Lattes*, tem quatro filhas e nove netos.

Fez seus estudos, primário na Escola Americana de Curitiba entre 1929 e 1933, e secundário no Instituto Médio Dante Alighieri, em S. Paulo, de 1934 a 1938. Ingressou no Departamento de Física da Faculdade de Filosofia Ciências e Letras da USP, concluindo o Bacharelado em 1943; recebeu desta Universidade o Título de Doutor Honoris Causa em 1948. É Professor Titular aposentado da Universidade Federal do Rio de Janeiro, do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas e da Universidade Estadual de Campinas.

Sua carreira científica teve início em meados dos anos 40, no então Departamento de Física da Faculdade de Filosofia Ciências e Letras da Universidade de S. Paulo, quando publicou trabalho científico sobre a abundância de núcleos no universo, sob a orientação de *Gleb Wataghin*.

Desde então teve seu nome ligado a resultados científicos da maior repercussão e a iniciativas das mais fecundas para o progresso da ciência no Brasil e na América do Sul. A descoberta do pión em 1947, em colaboração com *G. Occhialini* e *C.F. Powell*, foi o marco em sua carreira que se fez acompanhar das mais significativas consequências.

De um lado a descoberta revelava a partícula, presumivelmente, responsável pelo comportamento das forças nucleares. O alcance desse feito ultrapassou as fronteiras da ciência fundamental dadas as expectativas que então revestiam qualquer ampliação de conhecimentos nesses domínios: o desenvolvimento da energia nuclear, no pós-guerra, demandava formulações que o aliviassem do empirismo oneroso e, muitas vezes, arriscado com que vinha se fazendo. A produção artificial daquela partícula, em 1948, ainda por *Lattes* mas agora em associação com *Eugene Gardner*, no recém-construído sincro-ciclotron da Universidade da Califórnia, em Berkeley, marcou o início de formidável corrida para a construção de aceleradores mais e mais potentes que caracterizou a física nuclear do pós-guerra.

De outro lado, amplas aberturas no terreno da institucionalização da ciência, no Brasil e na América do Sul, acompanharam essa descoberta, ligadas diretamente ao regresso e permanência definitiva de *Lattes* no continente sul-americano.

Lidera um grupo científico que em 1949 criou o Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, instituto que polarizou e agasalhou iniciativas como a da formação do Instituto de Matemática Pura e Aplicada, a da Escola Latino-Americana de Física, o Centro Latino-Americano de Física, enquanto se destacava pela atividade de pesquisas em nível internacional, pelas medidas de modernização dos currículos de ensino da física e as de formação do pessoal que constitui hoje parcela ponderável da liderança científica atuante na física brasileira.

No mesmo ano, junto com colegas bolivianos, cria em La Paz, as condições para o que viria a ser o Laboratório de Física Cósmica, a partir de uma velha estação de observações meteorológicas, onde obtivera os registros dos eventos que levaram à descoberta do pión. Cedo esse Laboratório se transformava em centro científico do maior interesse internacional, abrigando em suas dependências equipamentos e cientistas de todas as partes do mundo que ali escreveram importantes capítulos do conhecimento sobre a radiação cósmica.

Ambas as instituições resistiram aos duros testes do tempo, tendo o Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas sido absorvido pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico do governo brasileiro, e o Laboratório de Chacaltaya, hoje Laboratório de Física Cósmica, pela Universidad Mayor de San Andrés, constituindo o principal organismo de seu Instituto de Física.

Sua atuação no Brasil durante os primeiros anos teve, também, papel importante na catalização dos esforços que levaram finalmente à criação do Conselho Nacional de Pesquisas - atual Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - em 1951. Pela criação de um órgão com suas características lutava de há muito a comunidade científica brasileira, constituída em sua maioria por pesquisadores nas ciências biológicas; a eles vieram se aliar grupos de interessados no desenvolvimento da tecnologia nuclear, mas sem poder de transação com a burocracia, face à escassa tradição e

à falta de autoridade científica reconhecida naqueles domínios. O Conselho Nacional de Pesquisas deu novo impulso à pesquisa científica e tecnológica no Brasil, tendo contado com *Lattes* na composição de seu primeiro Conselho Diretor.

Diretor Científico do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas desde a fundação, e principal consultor científico nos primeiros anos do Laboratório de Chacaltaya, deixa esses encargos em 1955 para uma curta temporada nos Estados Unidos. Recusando convites os mais honrosos, como o de substituir o falecido *Enrico Fermi* na chefia do seu Instituto na Universidade de Chicago, retorna ao Brasil dois anos depois para criar, na USP, um laboratório para estudos de interações a altas energias na radiação cósmica. Participa, em 1962, do grupo pioneiro que organizava a Universidade Estadual de Campinas, transferindo-se para essa cidade no ano seguinte e dando início à formação de seu Instituto de Física. Em curto período essa universidade conquistou elevado conceito nos meios universitários brasileiros e, em particular, seu instituto de física é creditado como dos melhores no Brasil, cercado de grande prestígio e projeção internacional.

Não obstante a singular repercussão da descoberta do pión, as contribuições científicas não se esgotam, absolutamente, nesse memorável feito. Dono de rara versatilidade seus trabalhos incluem contribuições do maior mérito em variados campos da física moderna, desde pesquisas teóricas sobre as origens e abundância de espécies nucleares no universo e eletrodinâmica clássica, até desenvolvimentos instrumentais, na área das emulsões nucleares, estes últimos cercados de auspiciosas aberturas; como membro do grupo de Bristol, na segunda metade dos anos 40, é participante da brilhante sequência de desenvolvimentos que culminaram na elevação das emulsões nucleares, antes precários dispositivos de registros ionográficos, à categoria de instrumentos de medição. Esses trabalhos não somente viabilizaram a descoberta do pión, como a de outras partículas elementares, bem como o estudo detalhado de suas propriedades físicas. A partir de 1962 lidera a reunião de grupos brasileiros e japoneses num projeto de longo alcance sobre interações a altas energias na radiação cósmica: a Colaboração Brasil-Japão. Desde então os resultados pioneiros desse grupo, em domínios então fora do alcance dos mais potentes aceleradores em operação ou em projeto, ganharam elevado prestígio nos meios

científicos internacionais, considerados como promissoras aberturas para expansão das fronteiras da física moderna.

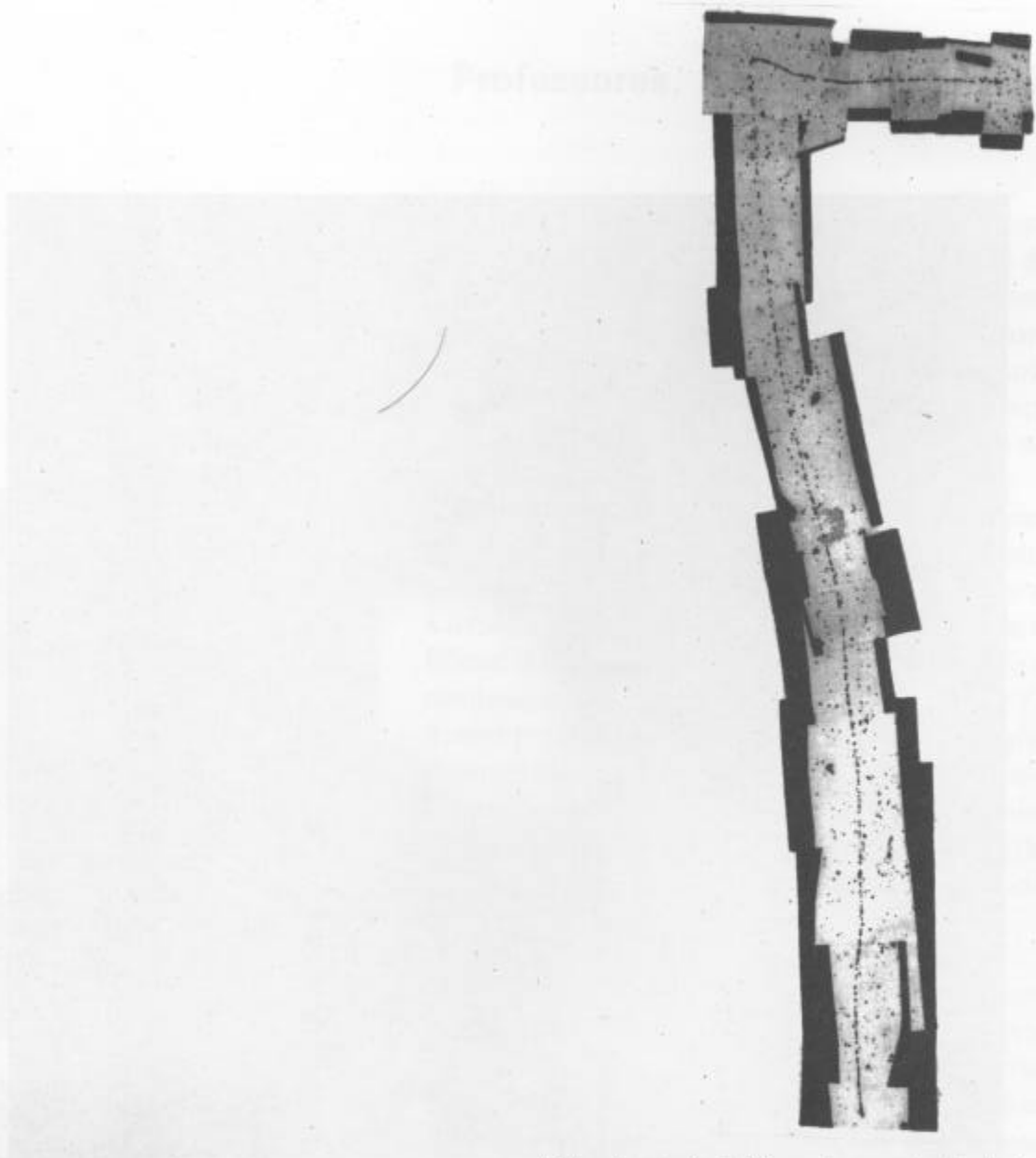
Membro da Academia Brasileira de Ciências, da União Internacional de Física Pura e Aplicada, do Conselho Latino-Americano de Raios Cósmicos, das Sociedades Brasileira, Americana, Alemã, Italiana e Japonesa de Física, entre outras associações, ocupou numerosas vezes posições de conselheiro, quando contribuiu com sua experiência e visão pioneira para a formulação de políticas e diretrizes de ação. Tem sido alvo de repetidas homenagens por parte de organizações oficiais e privadas no Brasil e no exterior e inúmeras vezes foi escolhido paraninfo ou patrono de contingentes de novos estudantes, formandos em ciências exatas e aplicadas. Entre prêmios, medalhas e comendas, recebeu, no Brasil, o Prêmio Einstein de 1950, o Prêmio Fonseca Costa, do CNPq, em 1958, a Medalha Santos Dumont em 1989, a Medalha comemorativa dos 25 anos da SBPC e placa comemorativa dos 40 anos dessa sociedade, o símbolo comemorativo dos 40 anos do CNPq, a placa de prata outorgada pela Prefeitura do Município de Campinas, em 1992, e muitos outros. Orgulha-se, particularmente, da iniciativa de dezenas de municípios brasileiros que lhe deram o nome a escolas municipais, bibliotecas, praças, ruas.

Sua atuação no continente sul-americano foi reconhecida pelo governo boliviano, que lhe concedeu o título de cidadão honorário daquele país, em 1972, pelo governo da Venezuela, que lhe conferiu a comenda Andrés Bello em 1977, e pela Organização dos Estados Americanos, que lhe outorgou o prêmio Bernardo Houssay, em 1978; em 1987 recebeu o Prêmio de Física da Academia do Terceiro Mundo.

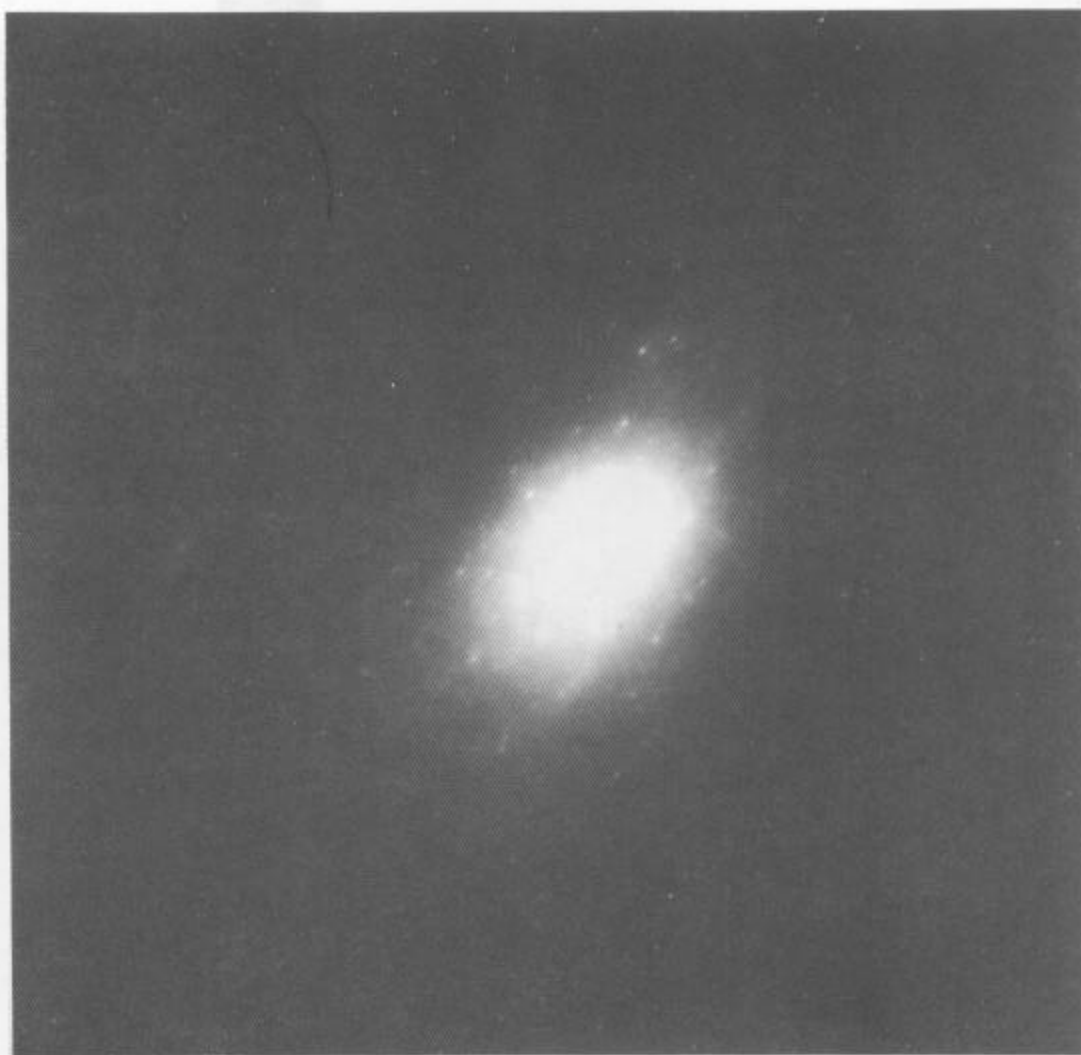
Pessoa simples, oferece o calor de sua intimidade indistintamente a quantos o procuram; vê com acentuada preocupação os usos destorcidos dos conhecimentos científicos no mundo moderno e manifesta suas opiniões sem reverências, à revelia de preconceitos e interesses menores. Observa com o maior interesse os progressos obtidos no estudo do câncer pela utilização dos píons que descobriu. Esta será, talvez, a maior gratificação que espera receber de sua vida devotada ao progresso da ciência e combate ao subdesenvolvimento.



Cesar Lattes em Chacaltaya, por ocasião da renovação do convênio com a Universidad Mayor de San Andrés para utilização das facilidades de pesquisa do Laboratório de Física Cósmica



Fotomicrografia do 2º evento encontrado de desintegração π - μ , autografada pelos autores e dedicada ao Alte. *Alvaro Alberto Motta e Silva* primeiro presidente do CNPq que seria criado cerca de três anos mais tarde. Reproduzida de original cedido pelo Prof. Cesar Lattes.



Secção transversal da superfamília *Andromeda*, encontrada pela Colaboração Brasil-Japão. Ainda se passarão muitos anos até que esse formidável evento seja satisfatoriamente analisado e compreendido

Professores, Amigos, Colaboradores

Apresentamos, nas páginas seguintes, documentação fotográfica focalizando mestres e companheiros das atividades de *Lattes*. Há muito mais a mostrar mas isto levaria esta homenagem a proporções desmedidas. Também adicionamos breves palavras apenas sobre alguns daqueles, já falecidos, que tiveram maior influência sobre *Lattes*. Nomes e referências a um ou outro dado mais relevante estão incluídos nas legendas das fotos.

Gleb Wataghin (1900-1986) É reconhecido como o precursor da moderna física brasileira, mérito cujo aval se encontra nas repercussões dos resultados de suas atividades à frente do Departamento de Física da Faculdade de Filosofia Ciências e Letras da USP. Aqui chegou em 1934, comissionado pelo governo italiano, trazido por *Teodoro Ramos* por indicação de *Enrico Fermi*. A *Wataghin* se deveram as medidas de constituição dos currículos, da formação científica através da pesquisa e do apoio ao trabalho experimental. Essas medidas levariam, já em 1940, a uma descoberta de repercussão internacional sobre a produção múltipla de partículas em chuveiros penetrantes.

Por trás de cada uma das grandes figuras das primeiras gerações de físicos na USP encontra-se invariavelmente a presença amável, calorosa e diligente, de *Gleb Wataghin*. Russo de nascimento, viveu seus primeiros anos entre a agitada atmosfera política que culminou com a queda dos *Romanov* em sua terra natal, e a 1ª Guerra Mundial. Emigrou para a Itália onde as pressões da sobrevivência o



Gleb Wataghin, fundador da moderna física brasileira.

levaram a exercer ofícios inusitados, como o de pianista em salas de exibições cinematográficas, fazendo uma espécie de trilha musical, antes do cinema sonoro. Terminou seus estudos e fez uma bem sucedida carreira onde não faltou a convivência amistosa com grandes vultos da física do século XX, como *W. Heisenberg*, *Tulio Levi-Civita*, *George Gamow*, entre outros. Desembarcou em S. Paulo pouco antes das operações militares da segunda guerra e retornou à Itália tão logo terminou. A Universidade de Campinas, por iniciativa de *Marcello Damy de Souza Santos*, sob o aplauso de toda a comunidade científica brasileira, homenageou-o, quando ainda em vida, dando seu nome ao Instituto de Física: *Instituto de Física Gleb Wataghin*.

Mario Schönberg (1914-1990) Cientista e intelectual de amplo espectro de interesses e atividades, destacou-se na categoria de físicos (em franca extinção) que via nessa disciplina mais que um mero procedimento para fazer previsões úteis. *Wataghin* dizia que já encontrara em *Schönberg* um pesquisador completo, quando aqui chegou. Muito jovem ainda produzia resultados da maior repercussão, associado a destacados líderes da comunidade internacional, como *S. Chandrasekar* e *G. Gamow*. Suas idéias sobre geometrização da física antecederam de muitos anos as aplicações dos grupos de simetrias na classificação das partículas elementares. Seus interesses intelectuais diversificados o levaram, a par da física, à destacada liderança na crítica das artes plásticas brasileiras, sendo nome obrigatório nas bancas de concurso e outros julgamentos de mérito artístico. Levaram-no também à política, tendo exercido o mandato de Deputado à Assembleia Legislativa do Estado de S. Paulo pelo Partido Comunista Brasileiro, de cujo Comitê Central fez parte. Por suas idéias e ligações políticas foi compulsoriamente



Mario Schönberg. Físico, intelectual e político. Esteve presente aos mais significativos eventos marcando o desenvolvimento da física, das artes plásticas e da política no Brasil, desde os anos '40.



Giuseppe Occhialini. Físico experimental de excepcionais méritos. Responde pela opção de Lattes por esse ramo da física.

aposentado e preso, após o movimento militar de 1964. No exterior *Lattes* recolheu assinaturas de eminentes cientistas, pedindo pelo relaxamento de sua prisão. Foi anistiado no fim do período militar mas faleceu sem reassumir sua posição na USP. Deu importante apoio ao estabelecimento da Colaboração Brasil-Japão em seus primeiros anos.

Giuseppe Occhialini (1908-1994) Foi o que muitos consideram um “iluminado”. Pouco reverente às matemáticas, *Occhialini* era dono de invulgar intuição. Sabia descrever qualitativamente qualquer fenômeno, identificando com excepcional acerto os dados relevantes de sua organização. Era um mestre na elaboração de experimentos reveladores dos aspectos essenciais a serem observados. Entretanto, como *Ernest Rutherford*, pagou alto preço por desprezar a erudição matemática. Para dizer o menos, foi o criador da câmara de Wilson “gatilhada”, que mudou qualitativamente o emprego daquele instrumento, ensejando novas descobertas, inclusive levando o prêmio Nobel a *P.M.S. Blackett*, seu colaborador nesses trabalhos; sua capacidade de persuasão e contínuo estímulo foram essenciais para a fabricação de emulsões com maior concentração de elementos sensíveis, por *C. Waller*; na fábrica Ilford, que propiciaram novas descobertas e estudos aprofundados de partículas; contribuiu com numerosas idéias para os progressos na técnica de emulsões nucleares, levados a cabo em Bristol, que redundaram na descoberta do pión, viabilizando, inclusive, o uso de emulsões espessas, através de uma engenhosa técnica para revelações. Seria extensa a lista de dispositivos que criou no decorrer de longos anos de atividades, com o fito de aperfeiçoar ou inovar a instrumentação de medidas; importa também destacar a clarividência que revelou com relação aos fenômenos

novos, trazidos no bojo da radiação cósmica, tratada, até
começos dos anos '30, como fenômeno de ionização.

Correm sobre *Occhialini* numerosas histórias. Uma delas,
contada por *Lattes*, muito reveladora de sua personalidade,
é a seguinte. Logo que chegou à Inglaterra, em começos
dos anos '30, associou-se ao laboratório de *P.M.S.*

Blackett. Ouviu histórias sobre as origens aristocráticas das
pessoas portadoras de muitos nomes, o próprio *Blackett* e
outros, como *C.T.R. Wilson*, etc e logo imaginou a
humilhação que seria assinar um trabalho com *Blackett*, ele
que, em respaldo ao musical *Occhialini*, só tinha mesmo o
Giuseppe simplório, bíblico. Ao ser indagado por *Blackett*
de como gostaria de ver seu nome registrado nas
publicações de trabalhos, e se gostaria de adicionar o nome
de alguma sociedade científica a que pertencesse (como o
FRS de *Blackett*) respondeu: "*G.P.S. Occhialini*" ! ("P" de
Peppino, "S" de *Sommerfeld*, a quem muito apreciava, e,
como sociedade, apresentou S.M.C. de "*Società degli*
Molto Criticati"). *Blackett* desconfiou da sociedade mas
inseriu seu nome como *G.P.S. Occhialini*, com o qual
assinou, daí por diante, todos os trabalhos científicos.
Faleceu a 30 de janeiro deste ano.

Lattes, tendo iniciado a carreira científica publicando
trabalhos de conteúdo teórico, primeiro com *Wataghin*,
depois com *Schönberg*, foi certamente influenciado por
Occhialini em sua opção pela física experimental.



Lattes (E), Georges Schwachheim (C), Alfredo Händel, em Chacaltaya, anos 50.



De pé, ao fundo: Cesar Lattes, Hideki Yukawa, Walter Schutzer; sentados, em primeiro plano: Hervaldo de Carvalho, José Leite Lopes e Jayme Tiomno. Fotografou o grupo o falecido Pe. Xavier Roser.



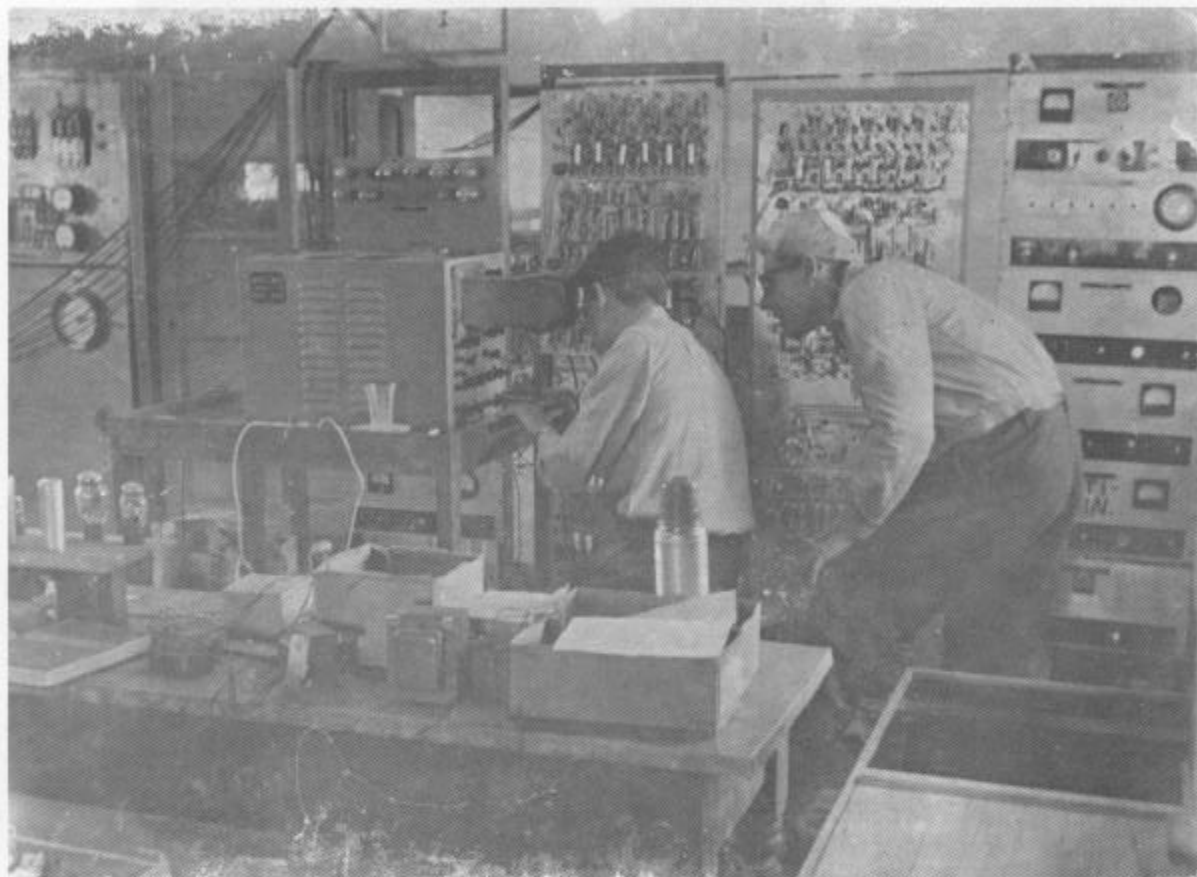
O grupo de Bristol: 1-Sra. I.Powell; 2-Sra. Andrews; 3-Sra. Roberts; 4-Sra. Ashton; 5- H.Heitler; 6-Sr. Gaffiker; 7-E.Samuel; 8-Marieta Kurz; 9-C.F.Powell; 10-Owen Locke; 11-D.T.King; 12-Cesar Lattes; 13-Ugo Camerini; 14-Connie Dillsworth; 15-C.Bannister; 16-H.Muirhead; 17-Y.Goldschmit-Clérmont; 18-Giuseppe Occhialini; 19-D.Ritson



O grupo de Bristol



Ismael Escobar (E), Andrea Wataghin (C), Cesar Lattes (D) .



Rudolph C. Thom (E) e Ricardo Palmeira (D), estudantes pernambucanos. Thom foi dos primeiros a estabelecer uma ponte com a indústria, fundando a empresa Braselle, ocupando-se originalmente de instrumentação científica. Ricardo Palmeira esteve no M.I.T., com Bruno Rossi, na NASA e no INPE. A foto é do laboratório em Chacaltaya, anos '50.



R.C. Thom, Fernando de Souza Barros, estudantes pernambucanos, e Suzana Lehrer, mais tarde senhora Souza Barros, da Argentina, estagiando em Chacaltaya, anos '50. Os dois últimos são atualmente Professores Titulares na UFRJ.

Breve Histórico da Descoberta do Píon

Já em começos dos anos '30 verificava-se experimentalmente que a radiação cósmica secundária, isto é, em trânsito pela atmosfera, apresentava uma componente constituída de partículas capazes de penetrar até 1 m de chumbo¹. *Anderson e Neddermeyer*, examinando fotografias tomadas em câmaras de Wilson confirmaram a presença da componente penetrante, associando sua acompanhante, de menor poder de penetração, com elétrons (e pósitrons)². Essa componente ficou conhecida como "mole", dado seu baixo poder de penetração. Nesse trabalho concluíram, também, que a componente penetrante perdia energia cinética por processos mais suaves e gradativos que os dos elétrons. No ano de 1934 foi publicada a teoria de *Bethe e Heitler* para os processos de criação de pares de partículas e para a radiação eletromagnética de partículas carregadas; o sucesso da interpretação da componente "mole" através daquelas idéias, foi tão grande que se tentou lançar a alternativa de que a componente penetrante fosse constituída por prótons já que, com maior massa, perderiam menos energia em processos daquele tipo. Essa alternativa, não teve, entretanto, vida longa pois as partículas da componente penetrante possuíam os dois estados de carga, positiva e negativa. Em 1937 *Anderson e Neddermeyer*³ mostraram que parte da componente penetrante era constituída de partículas com massas intermediárias entre as do elétron e do próton, sendo desde então conhecidas por "mésons". Ainda no ano de 1937, operando também uma câmara de Wilson com campo magnético mas com condições mais favoráveis para a determinação da ionização das partículas,

*Street e Stevenson*⁴ foram capazes de determinar a massa do méson: $\approx 175 m_e$, valor que, após a análise de um maior número de eventos foi elevado para $200 m_e$.

A eclosão da 2^a Guerra Mundial, em setembro de 1939 trouxe dificuldades imensas para o prosseguimento dos trabalhos científicos, mas não o suficiente para interrompê-los. Em 1940 *Bruno Rossi* e colaboradores publicavam um trabalho onde compararam a evolução da intensidade da componente penetrante com a altitude, na atmosfera livre, com a que se obtém interpondo blocos de carbono, mostrando que a presença dessa quantidade adicional de matéria produzia um efeito de amortecimento na intensidade medida⁵. Em 1941 *Rasetti*⁶ detectou uma fração instável na componente penetrante, mostrando a presença de uma atividade sob forma de emissão de partículas ionizantes, retardada com relação à passagem do grupo penetrante e decaindo com vida de $\approx 2\mu s$. A observação desse efeito confirmava expectativas de *Rossi* e outras levantadas alguns anos antes, a partir de anomalias encontradas na distribuição em altitude e na distribuição zenital da intensidade da radiação cósmica⁷. Às observações de *Rasetti* sobre instabilidades na componente penetrante seguiram-se os excepcionais experimentos de *Conversi, Pancini e Piccioni*, mostrando que partículas da componente penetrante com cargas elétricas opostas comportavam-se diferentemente no que diz respeito a sua absorção nuclear, modulando a vida média da atividade associada⁸.

As investigações sobre a componente penetrante tiveram prosseguimento após o fim da 2^a Guerra, tendo como protagonista o grupo trabalhando no laboratório H.H.Wills⁹ da Universidade de Bristol, chefiado por *C.F. Powell*¹⁰. A retomada se deu em 1947, com trabalhos de *Lattes* e



Foto 1 Reação nuclear induzida por um pión (trajetória mais longa, percorrendo a foto de baixo ao alto) em um núcleo da emulsão carregada com B (ref.[11]). Reproduzida de C.F.Powell, P.Fowler, D.H. Perkins, *The Study of the Elementary Particles by the Photographic Method*, Pergamon Press, Londres 1959.

Occhialini sobre a detecção de nêutrons na radiação cósmica, usando emulsões carregadas com bórax; além de detectarem eventos corretamente interpretados como reações produzidas por nêutrons com o Boro do bórax, obtiveram um resultado novo que garantiu a Bristol a dianteira sobre outros grupos que investigavam a radiação cósmica com emulsões: é que a extinção progressiva das imagens latentes com o tempo decorrido entre a sensibilização e a revelação ("fading"), diminuía sensivelmente nas placas carregadas com bórax. Os eventos tiveram sequência com trabalhos de *Occhialini* e *Powell* em Bristol¹¹, usando essas placas, expostas no Pic du Midi nos Pirineus (~ 3.000 m), e, independentemente, *D.H.Perkins*, no Imperial College of Science and Technology, com placas expostas a 30.000 m, em vôos de aviões da Real Força Aérea. Examinando essas emulsões, encontraram uma componente nuclearmente ativa, com massa intermediária entre a de elétrons e prótons, portanto assimiláveis aos mésons de *Anderson* e *Neddermeyer* e de *Street* e *Stevenson* (foto 1). As medições de massa não puderam ser feitas com exatidão, em função da falta de uma relação alcance-energia para as emulsões, problemas de extinção de imagem latente ("fading") e da raridade dos eventos, mas a combinação de vários métodos, embora cada um com sua precariedade, (alcance-espalhamento múltiplo; alcance-contagem de grãos; balanço de energia nos secundários das reações observadas), foi suficiente para assegurar que se tratava de partículas com massas intermediárias entre o elétron e o próton. Vale mencionar que o número de eventos encontrados por *Occhialini* e *Powell*, com as placas carregadas com bórax, foi maior que os casos encontrados por *Perkins*, mesmo expondo a altitude mais elevada. A revista *Nature* de 25 de maio de 1947 apresentou o trabalho assinado por *Lattes*, *Muirhead*,

Occhialini e Powell¹² onde se estampavam fotomicrografias de dois eventos que mostraram ser, pelo balanço energético (negativo) de reações possíveis com núcleos da emulsão, exemplos de desintegração do méson (fotos 2 e 3). Foram estes dois, assim, os primeiros casos observados de desintegração de um méson em outro. No mesmo trabalho mostraram dois outros eventos, um do tipo já encontrado por Perkins e por Occhialini e Powell, isto é, de evento nuclear produzido por um méson, e outro de produção de méson num evento nuclear registrado na emulsão. Medições de massas foram praticadas em todos os eventos usando combinações dos métodos acima referidos, com os seguintes resultados: i) os mésons secundários emitidos nos dois casos de desintegração tem alcances aproximadamente os mesmos e portanto são emitidos com a mesma energia cinética, sugerindo a emissão simultânea de uma partícula neutra não observável; ii) as massas obtidas nesses dois casos foram de $300 \pm 50 m_e$ para o primário e para o secundário, admitindo uma diferença não maior que $100 m_e$ entre primário e secundário; iii) no evento onde o méson é emitido numa reação nuclear dentro da emulsão e pára no seu interior, o secundário é perdido por estar muito próximo a uma das superfícies limites da emulsão; a massa obtida para o primário foi de $375 \pm 70 m_e$; iv) no evento onde um méson produz uma reação num núcleo da emulsão a massa obtida foi de $250 \pm 50 m_e$.

As dificuldades na determinação precisa das massas ligam-se, de um lado à aplicação de uma relação alcance-energia confiável para emulsões C2, a um número suficiente de casos, a partir da qual os processos de medição de alcance e de contagem de grãos pudessem ser mais exatamente associados com as energias cinéticas, cargas, massas e com a ionização das partículas; além disso

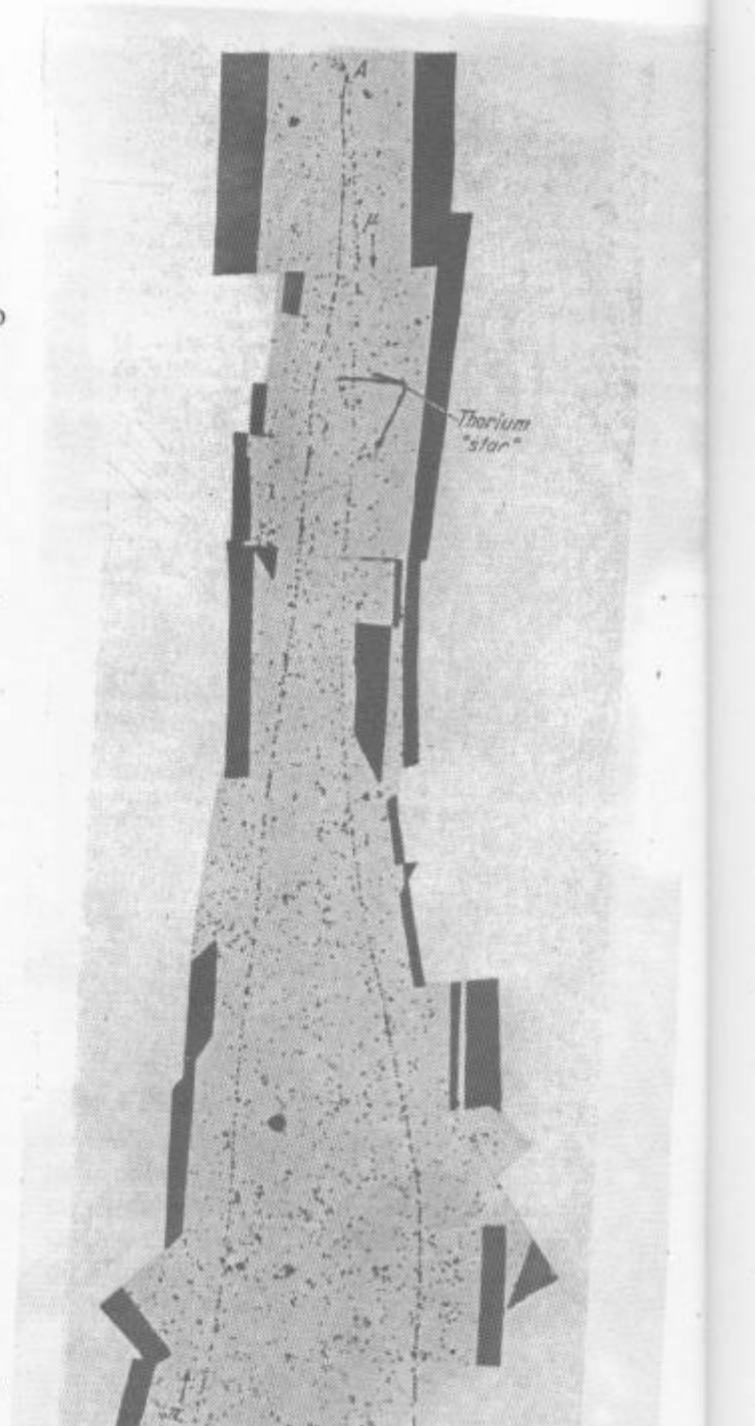


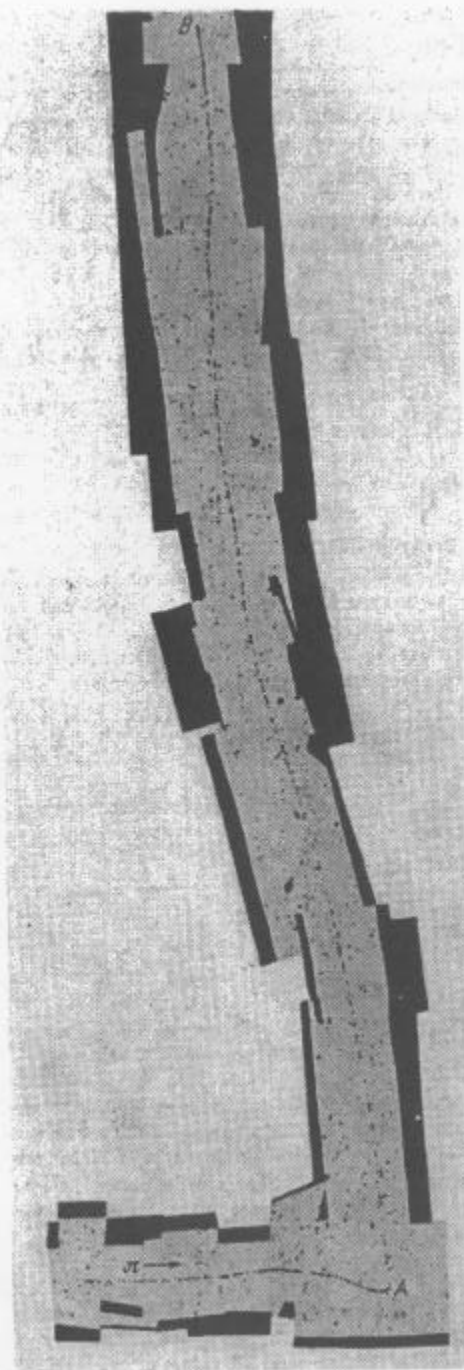
Foto 2 Fotomicrografia do 1º caso encontrado de desintegração $\pi-\mu$ (ref.[14]). O méson- π sobe de baixo, à esquerda, para o alto, onde desintegra num méson- μ em "A". Reproduzida de C.F.Powell, P. Fowler, D.H. Perkins. *The Study of Elementary Particles by the Photographic Method*, Pergamon Press, Londres 1959.

viabilizaria calibrações com partículas de carga e massa conhecidas, cruzando a área de exploração da emulsão, ensejando avaliar a presença e o grau de extinção da imagem latente. Essa relação alcance-energia fora obtida por *Lattes, Fowler e Cüer*¹³ mas o pequeno número de eventos analisados não permitiu que se eliminassem estatisticamente as causas residuais de flutuações. Apesar do progresso obtido com a presença de bórax na emulsão, a incidência do processo de "fading", ainda impedia que se aumentasse arbitrariamente o tempo de exposição, para obter um maior número de eventos. A exposição de emulsões em Chacaltaya, sítio usado por *Lattes* para expor algumas chapas, aproveitando-se do período de férias do laboratório, foi essencial para a superação dessa dificuldade, pois o número de eventos aumenta exponencialmente com a altitude, evitando assim que se tivesse de recorrer a exposições intoleravelmente longas.

A relação entre as massas das partículas primária e secundária na desintegração do méson foi resolvida satisfatoriamente em trabalhos, assinados por *Lattes, Occhialini e Powell*, publicados logo a seguir¹⁴ onde 31 eventos de desintegração puderam ser satisfatoriamente analisados; o valor obtido para a relação m_{π}/m_{μ} foi de 1.65 ± 0.11 . Ficava assim demonstrada a existência de duas partículas diferentes, às quais deram os nomes de méson- π e méson- μ , com massas intermediárias entre a de elétrons e prótons, uma se desintegrando na outra, com a participação de uma partícula neutra, não observada. O méson- π era uma partícula nova e o - μ era o méson de *Anderson, Neddermeyer, Street e Stevenson*. A instabilidade do múon, aquela observada por *Rasetti* e por *Conversi Pancini e Piccioni*, só pôde ser encontrada, por métodos fotográficos, um ano depois, em câmaras de Wilson, e um pouco mais

tarde, pelo próprio grupo de Bristol, após o desenvolvimento de emulsões G5, sensíveis a elétrons¹⁵. A interpretação do pión como a partícula de *Yukawa*¹⁶ teve a mais ampla repercussão, dentro e fora dos meios científicos; sua produção artificial em 1949 por *Gardner e Lattes*¹⁷, no recém construído sincrociclotron de Berkeley, confirmou as expectativas de *E.O. Lawrence* e colaboradores sobre a máquina que desenvolveram, justificando o empreendimento e abrindo uma verdadeira “era” científica, a era dos aceleradores de partículas, que apenas agora mostra sintomas de exaustão e, assim mesmo, por razões alheias ao interesse científico.

Foto 3 O segundo evento observado de desintegração $\pi-\mu$ (ref.[14]). Neste caso o pión pára em “A”, onde o múon é emitido. Um dos originais desse evento, reproduzido em outra parte deste livro, foi autografado e dedicado pelos autores ao Alte. *Alvaro Alberto*. Reproduzido de C.F. Powell, P. Fowler, D.H. Perkins, *The Study of Elementary Particles by the Photographic Method*, Pergamon Press, Londres 1959.



-
- ¹ B.Rossi, *Naturwiss.* **20**, 65 (1932)
- ² C.D.Anderson, S.H.Neddermeyer, *Proc.Int.Conf.Phys.,London*, **1**, 171 (1934)
- ³ S.H.Neddermeyer, C.D. Anderson, *Phys.Rev.* **51**, 884 (1937)
- ⁴ J.C.Street, E.C.Stevenson, *Phys.Rev.* **52**, 1003, (1937)
- ⁵ B. Rossi, N. Hilberry, J.B.Hoag, *Phys. Rev.* **57**, 461 (1940)
- ⁶ F.Rasetti, *Phys.Rev.* **59**, 706 (1941)
- ⁷ D.H.Follet, J.D. Cranshaw, *Proc.Roy.Soc.* **A155**, 546 (1936);
P.Auger, P.Ehrenfest, A.Freon, A.Fournier, *Comp.Rend.* **204**, 254 (1937)
- ⁸ M.Conversi, E.Pancini, O.Piccioni, *Phys.Rev.* **68**, 232 (1945);
Phys.Rev. **71**, 209 (1947)
- ⁹ O sr. H.H.Wills foi o proprietário de uma fábrica que ainda hoje produz uma das marcas de cigarros mais consumidos na Inglaterra; doava subvenções financeiras valiosas para a manutenção do laboratório.
- ¹⁰ Uma relação dos membros do grupo se encontra na legenda de sua foto.
- ¹¹ G.P.S.Occhialini, C.F.Powell, *Nature*, **159**, 186 (1947); D.H.Perkins, *Nature*, **159**, 126 (1947)
- ¹² C.M.G.Lattes, H.Muirhead, G.P.S.Occhialini, C.F.Powell, *Nature* **159**, 694 (1947)
- ¹³ C.M.G.Lattes, P.Fowler, P.Cüer, *Nature*, **159**, 301 (1947)
- ¹⁴ C.M.G.Lattes, G.P.S.Occhialini, C.F.Powell, *Nature* **160**, 453 (1947); *Nature* **160**, 486 (1947); *Proc. Phys. Soc.* **61**, 173 (1948)
- ¹⁵ R.W.Thompson, *Phys.Rev.* **74**, 490 (1948); R.H. Brown, U.Camerini, P.Fowler, H.Muirhead, C.F.Powell, D.Ritson, *Nature*, **163**, 47 (1949).
- ¹⁶ H.Yukawa, *Proc.Phys.Math.Soc.Japan*, **17**, 48 (1935)
- ¹⁷ E.Gardner, C.M.G.Lattes, *Science*, **107**, 270 (1948)

Expedições

Os começos dos estudos da radiação cósmica se fizeram em vôos tripulados de balões, marcados pela intrepidez e pela competência científica. *Kolhöster* chegou a atingir 9 km de altura na cesta de um balão estratosférico, em condições de pressurização e conforto térmico nada comparáveis às de um jato moderno; pela audácia¹ aproximam-se esses pioneiros aos corajosos, exploradores que empreenderam expedições às calotas polares, ao interior da África, à hiléia amazônica, à Lua. A partir do final dos anos '20 os físicos da radiação cósmica puseram gradualmente os pés no chão, seus movimentos e os dos seus instrumentos passando a se inserir mais propriamente na idéia mais convencional de expedição. Estações foram construídas em altitudes de montanha (~ 3500 m); a investigação do efeito de latitude demandou muitas expedições marítimas, os dados sobre a intensidade da radiação cósmica sendo tomados em instrumentos sediados em embarcações enquanto estas se deslocavam pelas diferentes latitudes; outras levaram missões de pesquisadores a diferentes latitudes para lançar balões-sonda não tripulados².

Em começos dos anos 50 o CBPF era autônomo na fabricação dos seus principais instrumentos de pesquisas sobre a radiação cósmica: possuía uma linha própria de fabricação de detectores Geiger-Müller, então amplamente utilizados para aqueles fins, e de instrumentos eletrônicos para a alimentação dos detectores e processamento dos impulsos. Fontes de alimentação de 'baixa' tensão (250 V) para instrumentos diversos, e de alta tensão (2500 V), para os detectores, escalímetros, osciladores,

amplificadores discriminadores , tudo numa linha a tubos de vácuo, segundo padrões internacionalmente adotados³. Os cintiladores começavam a ser utilizados e, embora não se fabricassem aqui os cristais/plásticos, fabricavam-se os cintiladores líquidos e os tubos fotomultiplicadores se encontravam facilmente no comércio pois eram utilizados em aplicações industriais diversas (os tubos eram RCA 931A e 1P21, usados como fotocélulas em elevadores e outros sistemas). Os instrumentos assim construídos eram posteriormente levados a Chacaltaya.

O nome “expedição” continua sendo usado, mesmo quando os níveis de intrepidez e desconforto são bem mais baixos, sempre que envolvam situações desviando seus protagonistas para locais distantes, por prazos mais ou menos longos, quebrando suas rotinas habituais. No caso de Chacaltaya há ainda um ingrediente extra nos efeitos provocados pela altitude. A 5200 m a pressão atmosférica é cerca da metade do seu valor ao nível do mar, requerendo um período de adaptação de alguns dias para o organismo se acomodar com o teor mais baixo de oxigenação. Nesse período é comum a rutura de vasos capilares no nariz e a ocorrência de um estado de sub-oxigenação chamado “soroche”, no dialeto aimara, que, em casos extremos, pode levar à coma. Nada, porém, que um simples chá de folhas de coca não possa curar.

Sempre que possível usavam-se as facilidades postas à disposição pelo Correio Aéreo Nacional que, em seus vôos regulares a La Paz, destinava um número limitado de acomodações para pessoas e carga do CBPF. O CBPF e de um modo geral as relações Brasil-Bolívia muito devem a essa eficiente organização.

Os vôos começavam no Aeroporto do Galeão no Rio, ao nível do mar e terminavam no Aeroporto de La Paz, a 4000 m de altura, numa extensa planície cercada de picos

nevados, conhecida como El Alto. O número de horas de vôo nos aviões Douglas DC-3 era mais ou menos o mesmo em qualquer viagem mas o número de horas parado em Corumbá ou Sta. Cruz de la Sierra era imprevisível, dependendo das condições de tempo na cordilheira. É bom lembrar que as vizinhanças do aeroporto de El Alto são pontilhadas de montanhas que, como Chacaltaya, estão acima de 5000 m de altura: o Ilimani, granito imponente com neves eternas, o majestoso Huayna-Potosí, com mais de 6000 m, o Orurata e outros. Os tetos devidos à propulsão a hélice as condições de abordagem do aeroporto, a 4000 m, e as limitações da época em instrumentos de bordo e de terra, impunham aproximação visual, particularmente numa espécie de *cañon* entre os costados nevados daqueles altíssimos picos, conhecido pelos pilotos como "el paso". Caso não houvesse condições de aproximação visual, isto é, "el paso" não estivesse livre, o vôo parava em Corumbá, última escala brasileira, ou Sta. Cruz de la Sierra, primeira na Bolívia, até que as condições na cordilheira se tornassem favoráveis, o que poderia levar alguns dias⁴.

Quando se tratava de unidades excessivamente pesadas, ou volumosas uma autêntica expedição era requerida. Foi assim com uma câmara de Wilson doada por *Marcel Schein*, de Chicago, e com uma caminhonete adquirida pelo CBPF para operar em Chacaltaya. A operação envolvia uma equipe numerosa, para acompanhar e instalar os instrumentos, para contratar e pagar serviços, fretes especiais, desembaraço aduaneiro, e tudo o mais que se fizesse necessário. Em geral o pessoal científico e técnico acumulava várias dessas funções. Nesses casos o procedimento era: de trem até Bauru, onde a carga era transferida para vagões da estrada de ferro Brasil-Bolívia, seguindo até Corumbá, daí, ainda na ferrovia, até Porto

Soares, Roboré, de caminhão até Pozo del Tigre, já em território boliviano, onde, por tração animal se atravessava o Rio Grande: na outra margem reembarcava-se a carga em viaturas tipo pick-up, tomava-se uma picada na floresta conhecida como Camino Real que terminava em Sta. Cruz de la Sierra, 40 km após a travessia do rio. Daí por estrada asfaltada até Cochabamba, de onde a carga seguia curso mais civilizado até La Paz.

Para quem nunca enfrentou os desconfortos de uma viagem em trem cargueiro, com tração a vapor, é bom mencionar que as sensações em nada se assemelham àquelas evocadas pelo "trenzinho caipira", poesia na pauta e no verso. Os fumos muito negros buscam, velozes, o céu mas são turbilhonados ao longo da composição, penetrando em todos os espaços, tudo impregnando com um forte cheiro cáustico, sulfuroso, como se Satanás em pessoa estivesse a bordo; os rostos das pessoas, afogueados pelo calor intenso, adquirem após algumas horas uma espécie de textura "sal-e-pimenta" deixada pelos micro-sulcos negros das fagulhas que descem com a fumaça; também as roupas tornam-se rapidamente "sal-e-pimenta", para dizer o menos. O número de acontecimentos inusitados com poder para fazer aquele trem parar por muitas e muitas horas é absolutamente inacreditável.

Conforta, é claro, a paisagem imensa, as noites mornas, alvoreada e anoitecer esplendorosos, o povo simples, muito pobre, sempre disposto a um obséquio com o permanente ar resignado dos que perdoam não importa o que.

Em certos trechos da cordilheira, transporte de carga ou simples passeio se transformava em arriscada tarefa. Cavadas nas lombadas dos ígneos maciços, as estradas, em certos trechos, acomodavam apenas uma viatura de cada vez embora trafegadas em mão dupla. No cruzamento entre

duas viaturas a preferência é de quem sobe a cordilheira, não importando o tipo de declive local; o carro não preferencial tem de recuar em marcha-a-ré, ladeira acima, se preciso, até abrir espaço para o que tem a preferência. As estradas são pontilhadas de curvas fechadíssimas, tipicamente de mais de noventa graus, e a altitude faz assentar aqui e ali espessas nuvens que impedem completamente a visão, de modo que é comum se ver os pequenos caminhões que recuaram para dar passagem aos que vem em sentido contrário com uma das rodas completamente fora da estrada; pequenas cruces de madeira (muitas), à beira dos caminhos, assinalam os locais onde alguém menos feliz despencou no abismo. Autênticos heróis, campeões do auto-controle e da competência profissional, aqueles caminhoneiros da cordilheira.

As expedições de hoje não se fazem com o mesmo volume de trabalho e risco. O material fotográfico para as câmaras da Colaboração Brasil-Japão, por exemplo é despachado em avião, pois apresenta peso e volume perfeitamente compatíveis com esse procedimento; o chumbo e materiais estruturais das câmaras são comprados na Bolívia e entregues pelos próprios fornecedores no sítio de instalação, no Laboratório. O material eletrônico para grandes experimentos segue hoje, também, por via aérea, graças às reduções em peso e volume viabilizadas pela microeletrônica e, é claro, ao melhor desempenho das aeronaves modernas.

As fotografias aqui anexas são uma lembrança eloqüente do quanto custou em empenho pessoal o empreendimento capitaneado por *Lattes*, que finalmente abriu espaço para a moderna física experimental no CBPF e no país.

¹ Alguns contestam esses méritos, no caso de Kolhöster, alegando que corajosos mesmo foram os que permaneceram em terra, em meio aos gases letais, bombas, granadas e outros recursos pirotécnicos da 1ª Guerra Mundial.

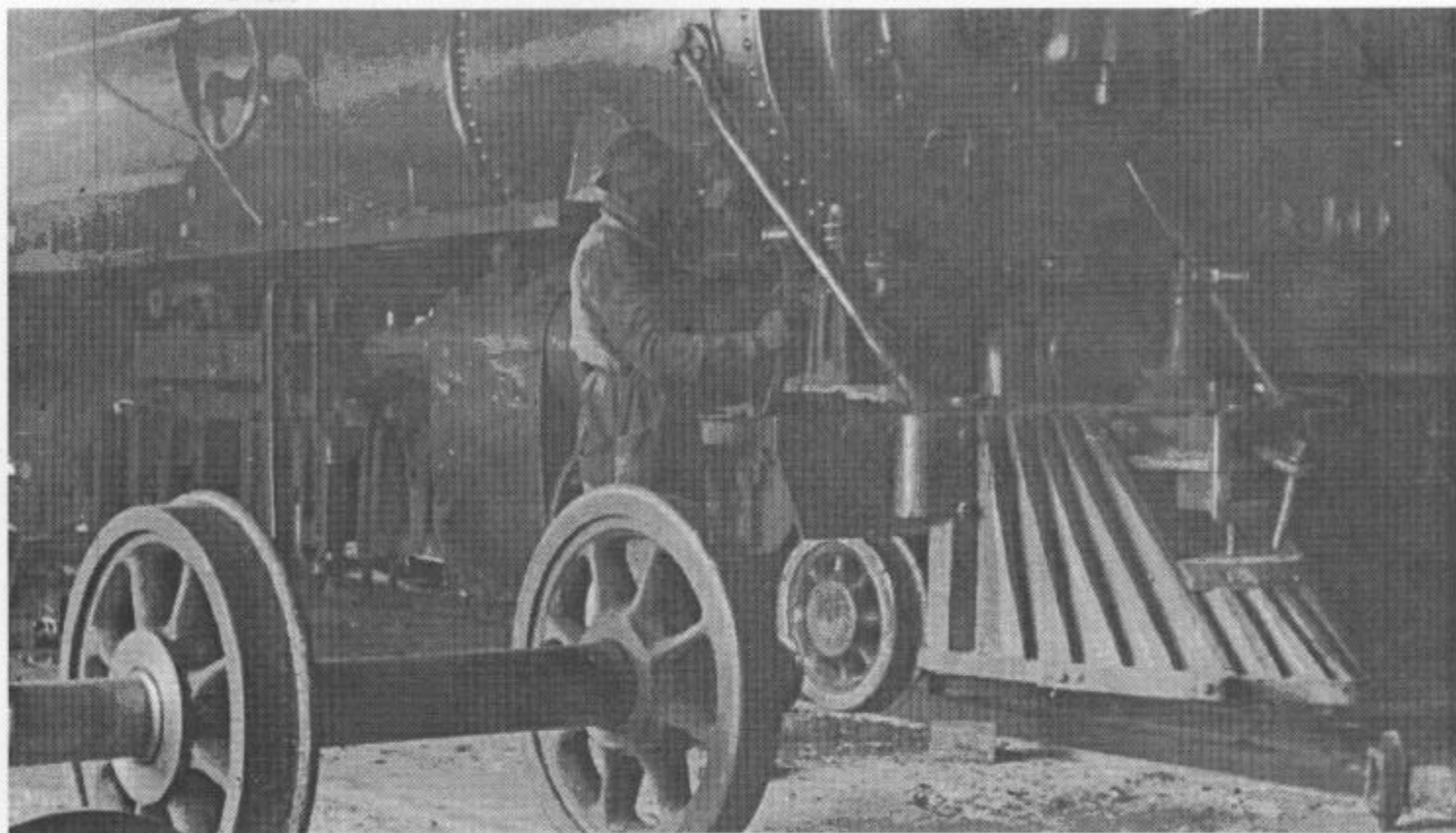
² Uma dessas expedições nos é particularmente significativa: foi chefiada pelo Prof. Arthur H. Compton para lançar balões na região de Bauru, SP; a expedição-Compton, como ficou conhecida, terminou com um simpósio publicado pela Academia Brasileira de Ciências em 1941.

³ William C. Elmore and Mathew Sands, Electronics-Experimental Techniques, Nuclear Physics Series Manhattan Project, McGraw-Hill Book Co. 1949.

⁴ Algumas vozes mais desconfiadas costumavam alegar que não somente as condições climáticas regulavam a duração da escala mas também alguns hipotéticos casos amorosos, mantidos por membros da tripulação naquelas sedutoras cidades.



Douglas DC-3 do Correio Aéreo Nacional da FAB. Responde pelo sucesso das atividades em Chacaltaya



Locomotiva a vapor da Estrada de Ferro Brasil-Bolivia



Sesta.



Parada em S. José de Los Chiquitos



Travessia do Rio Grande



Camino Real de Santa Cruz



Chegada a Chacaltaya da Câmara de Wilson

Incêndio

As dificuldades envolvendo o trabalho de pesquisas sempre foram muito grandes no Brasil; as amarras do sub-desenvolvimento renovam-se como hidra de mil faces¹, colocando obstáculos cuja superação mobiliza esforços gigantescos. Não obstante, o CBPF destacou-se, graças à operosidade dos seus fundadores e de muitos outros seguidores, como instituição modelar na área da física, antecipando em cerca de 20 anos a reforma universitária, em lento amadurecimento já à época de sua criação. Avançou metas e colocou regras para o desempenho científico e para o seu gerenciamento muito adiante do que se tinha naquela época e mesmo, em parte, do que se tem ainda hoje; era uma instituição adulta, autônoma para decidir sobre suas linhas científicas, seu gerenciamento e aplicação de seus recursos.

Não foram poucos os problemas que enfrentou para manter-se nessa frente; além da luta contra os entraves do sub-desenvolvimento, encarou os problemas que a adversidade traz ao cotidiano das pessoas e de suas organizações, sem pedir licença. Foi assim que numa manhã de abril de 1959 alguns membros da casa despertaram com a notícia, veiculada pelas rádios, de que a sede do CBPF fora consumida por um incêndio. Felizmente a catástrofe não fora total: a maior parte das instalações foi salva pelos eficientes bombeiros. Atingiu, entretanto, o coração do CBPF, a biblioteca e a microscopia onde se encontrava entre outros o laboratório de *Cesar Lattes*. Instaladas no pavilhão Mario de Almeida - única edificação disponível à época - a biblioteca, onde hoje se encontra a sede do CLAF, e a microscopia, logo

abaixo, onde se situa a gráfica, ambas as unidades foram seriamente danificadas.

A microscopia perdeu quase todos os microscópios, inclusive um Koristka, ainda em instalação, o mais avançado da época para trabalhos com emulsões nucleares, todo o material de pesquisas, emulsões não expostas, gráficos e anotações de trabalhos correntes, etc. Praticamente nada sobrou além da cinza branca e ácida dos metais calcinados e do cheiro amargo da madeira chamuscada. Na biblioteca o prejuízo não foi menor: preciosas coleções de periódicos científicos, obras raras, livros, foram reduzidos a massas semi-carbonizadas, empapadas com a água das mangueiras. Quem consultar textos no setor de periódicos antigos do CBPF encontrará, sem dificuldade, volumes que puderam ser salvos com avarias menores, apenas molhados e escurecidos pela temperatura que não chegou a consumi-los.

Foi com grande pesar que os membros da casa fizeram o levantamento daquelas perdas. Naqueles tempos a conquista das facilidades de pesquisa representavam imenso empenho pessoal, atuação permanente, durante meses e mesmo anos, junto a pessoas ou organizações que, boa vontade a parte, não estavam afeitas a esse tipo de solicitação: o prédio sede do CBPF até hoje em uso, o Pavilhão Mario de Almeida, resultou de uma doação do industrial e banqueiro *Mario de Almeida*; o cotidiano da instituição nos seus primeiros anos, salários, despesas com administração, materiais diversos necessários à pesquisa, foram garantidos pela Confederação Nacional da Indústria, então presidida por *Evaldo Lodi*; a constituição inicial da biblioteca e da microscopia² foi garantida por uma subvenção de Cr\$5.000.000,00 (≈US\$270.000,00, na época) aprovada pela Assembleia Legislativa, por iniciativa do parlamentar *Luiz Paes Leme*. Em todos esses

eventos a interferência pessoal de *Lattes*, de *João Alberto Lins de Barros*, Presidente do CBPF, Ministro de *Vargas*, e de muitos outros foi essencial para o sucesso da iniciativa.

Não faltou, após o incêndio, a solidariedade de autoridades, instituições, parlamentares, do público em geral, de modo que em pouco tempo aquele infausto episódio estava completamente superado. A CNEN e o CNPq prontificaram-se a substituir os microscópios perdidos e a Fundação Ford ofereceu substancial ajuda financeira que permitiu ao CBPF recompor a maioria das coleções danificadas; a biblioteca tem uma placa alusiva a este episódio, registrando o agradecimento do CBPF àquela organização pela ajuda concedida.

¹ Inclusive, e não raro, a “face” do desenvolvimento

² O primeiro trabalho científico realizado integralmente no CBPF foi realizado com microscópios emprestados



Escombros da cobertura da biblioteca deixados pelo incêndio de 1959



Ao centro e à direita da bancada os restos de dois microscópios "Cooke, Throughton & Simms"; à esquerda cinzas do "Koristka".

Marcello Damy de Souza Santos



Nasceu em 1914. Formou-se em Engenharia Elétrica em 1935, pela Escola Politécnica; em 1936 obteve os graus de Bacharel e Licenciado em Física pela FFCL da USP. Seguiu para Cambridge, Inglaterra, em 1938 para estudos no Cavendish Laboratory, sob a direção de Sir *W.L.Bragg*, interrompidos pelo início da 2ª Guerra Mundial, em setembro de 1939. Finda a Guerra permaneceu dez meses como Visitante na Universidade de Illinois, onde trabalhou com *W.D.Kerst*, o criador do Betatron, e *M.Goldhaber*.

Em 1937 era Assistente da cadeira de Mecânica Racional; em 1941 assumia a cadeira de Física Geral e Experimental da qual se fez Titular por concurso de títulos e provas, em 1954. Organizou e foi o primeiro diretor do Instituto de Física da UNICAMP (1969-1972); organizou o curso de Física Nuclear na PUC/SP (1973-1980). Orientou inúmeras teses em nível mestrado e doutorado, na FFCL da USP, na PUC/SP e no I.E.A., atual IPEN (Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares). A energia nuclear recebeu, por suas mãos, vigoroso impulso: foi duas vezes Presidente da Comissão de Energia Nuclear, principal personagem na criação do Instituto de Energia Atômica (atual IPEN) e na instalação de um reator de pesquisas naquele instituto. Recebeu numerosas homenagens: o Troféu Bandeirantes (1958), o Troféu *João Ramalho* (1959), o Prêmio *Nami Jaffet* para ciências (1964); a Ordem do Mérito Naval, por serviços relevantes prestados à Marinha brasileira durante a Guerra, e a Medalha dos 30 Anos do CNPq (1981). No seu 70º aniversário recebeu carinhosas homenagens da SBPC e da Academia Paulista de Ciências. É Professor Emérito da USP e continua à frente de um ativo grupo de pesquisas no IPEN.

Co-autor do trabalho científico que marcou a arrancada do Brasil para a física moderna, e de numerosos trabalhos científicos, instalou um Betatron, modelo de organização e produtividade científica, no Departamento de Física; é brilhante como físico experimental e um realizador de raros méritos.

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Cidade Universitária, S.Paulo.

Homenagem a Cesar Lattes

Marcello Damy de Souza Santos

Quando penso em *Cesar Lattes* sempre me afloram à mente vários aspectos complementares da sua personalidade: a sua incomensurável intuição dos fenômenos e das técnicas da física experimental, a sua criatividade, o seu profundo conhecimento das teorias pertinentes aos fenômenos que estuda e a sua indomável energia na realização dos problemas que o preocupam.

Do ponto de vista humano, ao lado de um caráter sem jaça, são características suas - ao lado de outras qualidades - a sua total ausência de "canonicidade", aliada à uma indômita coragem moral, uma grande bondade e a lealdade para com seus amigos. Essas qualidades raramente coexistem em um único indivíduo e, por isso, *Lattes* é uma figura ímpar no cenário da física e nos meios científicos do país e do exterior.

Na história da física no Brasil, 1941 tornou-se um ano importante - pois foi nesse ano que *Lattes* se submeteu ao exame vestibular para o curso de Física da antiga Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo. Em meio a cerca de uma centena de alunos que realizavam sua prova escrita, *Lattes* chamou a minha atenção - e a de *Mario Schönberg* - pela quantidade de folhas de papel almaço que solicitava durante a prova. Naqueles tempos - e já se vão 53 anos - era hábito dos examinadores circular pela sala para fiscalizar e acompanhar a execução da prova. *Lattes* discorria fluentemente e com grande precisão de detalhes sobre os temas e problemas propostos e, se bem me lembro, foi o único candidato a obter nota máxima.

Lattes foi meu aluno de Física Geral e Experimental e sempre se destacava pela pertinência das perguntas que fazia durante as aulas e pelo brilho com que se portava nos exames parciais e finais. Em virtude dessas qualidades manifestadas em todas as disciplinas do curso, os Professores *Wataghin* e *Occhialini* convidaram-no, ainda aluno, a participar das pesquisas que se realizavam sob sua direção.

Inicia assim a sua carreira entre a física teórica de *Wataghin* e a física

experimental de *Occhialini* que, na ocasião, construía uma câmara de Wilson de grandes dimensões, telecomandada por contadores Geiger - uma versão modificada e aperfeiçoada do modelo que havia construído no Cavendish Laboratory (Cambridge, Inglaterra) com *P.M.S. Blackett* e com a qual estudavam os showers de raios cósmicos e observavam, pela primeira vez, a produção de pares de elétrons devidos a fótons de alta energia, que constituem grande parte da radiação cósmica mole.

Lattes bacharelou-se em física e, a partir de 1944 tornou-se terceiro assistente científico da cadeira de Física Teórica e Matemática regida pelo Prof. *Gleb Wataghin* na Faculdade de Filosofia Ciências e Letras da Universidade de São Paulo. Ao lado de suas pesquisas sobre a física teórica *Lattes* mantinha um grande interesse e participava das pesquisas de física experimental do Prof. *Giuseppe Occhialini*. No final do ano o seu interesse polarizou-se na física experimental e passou a trabalhar intensamente com *Occhialini* na câmara de Wilson durante todo o ano de 1945.

Durante o período de sua formação científica o nosso laboratório atravessava anos difíceis desde a entrada do Brasil na 2ª Guerra Mundial, a maior parte dos professores e assistentes foram mobilizados para a solução de vários problemas técnico-científicos com que se defrontavam nossas forças armadas e passaram a se dedicar ao estudo de problemas como a detecção de submarinos e de navios de superfície, passando a estudar e construir equipamentos de sonar e de sondagens por meio de ultra-sons, ao lado de estudos e construção de instrumentos para a medida da velocidade de projéteis e equipamento portátil para comunicação. Todo o trabalho de pesquisa, desenvolvimento e construção de protótipos passou a ser feito em nossa oficina mecânica que sofreu na época uma enorme ampliação para atender aos novos encargos do Departamento de Física. Entretanto, apesar dessas atividades, que se tornaram prioritárias, uma grande área do laboratório foi reservada para os grupos de pesquisa dos professores *Wataghin* e *Occhialini* e de seus colaboradores e todo o auxílio necessário para a construção de seus aparelhos continuou a ser oferecido com a prioridade necessária. Em consequência, o grupo de pesquisa em raios cósmicos ficou restrito ao dos professores mencionados.

Em fins de 1944 *Occhialini* transferiu-se para a Universidade de Bristol e,

a seu convite, *Lattes* para lá seguiu e passou a trabalhar como “Research Associate” de *Occhialini*.

Nessa Universidade, sob a direção geral do Prof. *Cecil Powell*, continuou suas pesquisas com *Occhialini*, *P.M.S. Blackett* (Prêmio Nobel de Física), mantendo um estreito contacto com os físicos italianos *Conversi*, *Pancini* e outros. Inicia-se então uma fase extremamente produtiva de *Lattes* que culminou com a sua idealização de uma série de experiências que culminaram com a descoberta do méson- π , diferente do méson- μ , entrevisto por *Yukawa*, *Sakata* e *Taketani*; essas pesquisas deram o Prêmio Nobel a *Cecil Powell*.

Atendendo a um convite de *Niels Bohr*, *Lattes* segue para Copenhague, na ocasião o maior centro de física do mundo, para realizar uma série de conferências sobre a descoberta e propriedades do méson- π .

A enorme repercussão internacional dessas pesquisas levaram-no, em 1948, na qualidade de “Expert Consultant” para o Laboratório de Radiações da Universidade da Califórnia, que na época possuía o ciclotron de maior energia do mundo, construído por *E.W. Lawrence* pra permitir a produção artificial de partículas de massas comparáveis às do méson. Nesse laboratório, em colaboração com *Eugene Gardner*, *Lattes* produziu o méson- π artificialmente.

Essa descoberta teve uma enorme repercussão mundial e abriu um novo campo de pesquisas na física das partículas elementares.

De volta ao Brasil, em 1949, juntamente com outros cientistas brasileiros, entre os quais o Alte. *Alvaro Alberto*, *Carneiro Felipe*, *Costa Ribeiro*, *Leite Lopes* e *Oliveira Castro*, criou o Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF) no Rio de Janeiro, e foi o seu primeiro diretor.

Nesse mesmo ano deixou a USP para reger a cadeira de Física Nuclear da Faculdade Nacional de Filosofia (RJ) criada em sua homenagem, na Universidade do Brasil. Em 1951, em colaboração com uma missão de especialistas em raios cósmicos chefiada por *Occhialini*, *Lattes* dedica-se à construção do laboratório para o estudo dessa radiação no pico do monte Chacaltaya, na Bolívia. Os trabalhos que desde essa época realizou com vários colaboradores brasileiros e estrangeiros, utilizando pela primeira vez enormes câmaras detectoras com emulsões sensíveis à radiação cósmica, trouxeram um enorme avanço na compreensão do comportamento de partículas elementares;

novos fenômenos e partículas elementares foram descobertos por *Lattes* e por jovens colaboradores por ele formados.

Em 1955 deixou a direção do CBPF e continuou suas pesquisas como “Research Associate” do Instituto de Pesquisas Nucleares Enrico Fermi da Universidade de Chicago.

Em 1956, ainda na qualidade de Research Associate na Universidade de Minnesota, passa a dedicar-se aos estudos da interação de raios cósmicos de alta energia com auxílio de emulsões nucleares expostas a 30.000 metros de altitude com auxílio de balões. Volta ao CBPF e às suas atividades docentes na Faculdade de Filosofia. Em 1960 deixa o Rio de Janeiro e volta a São Paulo para assumir a cadeira de Física Superior do Departamento de Física da Faculdade de Filosofia da USP, onde instalou um laboratório de emulsões nucleares e formou uma nova equipe de colaboradores.

Entre os anos de 1960 e 1962, em colaboração com físicos de vários países, integrou o International Cooperative Emulsion Flight - um programa internacional para o estudo de interações de partículas de altíssima energia ($E > 10^{12}$ eV). Estabelece nessa ocasião o grupo da Colaboração Brasil-Japão para o estudo dessas interações de altíssima energia com emulsões nucleares no Laboratório de Raios Cósmicos do Pico de Chacaltaya. Em 1964 inicia estudos sobre cosmologia e geocronologia em colaboração com o grupo de física da Universidade de Pisa.

Em 1967 *Lattes* transfere-se para a recém-criada Universidade Estadual de Campinas, atendendo a convite para, como Professor Titular, criar e dirigir no seu Instituto de Física um laboratório de raios cósmicos e de geocronologia; data dessa época a sua descoberta, com um grupo de colaboradores, das “bolas de fogo”, produzidas pela radiação cósmica: essa descoberta foi plenamente confirmada mais tarde por experiências realizadas pelo grupo Brasil-Japão e, nos Estados Unidos, em aceleradores de altíssimas energias.

Na área da geocronologia concentrou suas atividades no estudo dos traços fósseis de fissão espontânea do Urânio-238 produzidas em micas, realizando trabalhos teóricos e introduzindo essa nova técnica de datação de rochas no Brasil.

Na UNICAMP, desde 1967, foi nomeado representante dos Professores Docentes no Conselho Diretor da UNICAMP, tendo prestado uma relevante

contribuição na organização do plano diretor dessa universidade e na constituição de seu Instituto de Física.

Em 1967 foi também nomeado Professor Titular do Instituto de Física da UFRJ (antiga Universidade do Brasil) mas continuou com suas atividades didáticas e científicas na UNICAMP, para a qual atraiu vários colaboradores, formou nova equipe e trouxe vários professores visitantes do exterior para colaborarem com suas pesquisas.

Lattes integrou a comissão responsável pela criação do Conselho Nacional de Pesquisas (1950-1951), foi membro do Conselho desse órgão (1953-1955), da Comissão de Raios Cósmicos da União Internacional de Física Pura e Aplicada (1950-1959). Participou de inúmeros Congressos Internacionais de física de altas energias e proferiu conferências e palestras em inúmeras universidades e institutos de pesquisas do país e do exterior.

É membro do Conselho Científico da SBPC, do Conselho Latino-Americano de Raios Cósmicos, da Academia Brasileira de Ciências, da Sociedade Brasileira de Química, da Associação das Sociedades Alemãs de Física e das Sociedades Norte-Americana, Italiana e Japonesa de Física. Recebeu o Prêmio *Einstein* (1951) da Academia Brasileira de Ciências e *Ernesto Fonseca da Costa* do CNPq. É autor de mais de sessenta trabalhos científicos publicados no país e no exterior. Após sua aposentadoria na UNICAMP, a sua energia indomável ainda o leva a iniciar a formação de um novo grupo de pesquisadores na Universidade de Mato Grosso do Sul, cujas primeiras contribuições em pesquisa já aparecem em revistas internacionais de física. A Ciência se desenvolve pelo trabalho paulatino do confronto entre as idéias que surgem da observação dos fenômenos e das pesquisas que se realizam para corrigir e harmonizar as nossas teorias e experiências que procuram uma explicação sobre a maneira pela qual a natureza se comporta. É um trabalho incessante para cérebros privilegiados, como o de *Cesar Lattes*, que durante muitos e muitos anos continuará a contribuir para o desenvolvimento de nossas idéias sobre a matéria e a energia, para o orgulho de todos os brasileiros e da ciência universal.

1. *História da Ciência no Brasil*, FINE, Fundação Getulio Vargas

2. S. Schwartzman, *Formação da Comunidade Científica Brasileira*, FINEP

Hervasio Guimarães de Carvalho



Nasceu em Araguari, MG, em 1916. Formado em Química Industrial pela Escola de Engenharia de Pernambuco, em 1938; Doutor, por essa escola, em Ciências Físicas e Matemáticas em 1946; Doutor em Ciências pela Escola Nacional de Química da então Universidade do Brasil em 1951. Também é Doutor em Engenharia Nuclear pela Universidade de North Caroline, 1954, e Doutor em Físico-Química pela Escola de Engenharia do Rio de Janeiro, 1965. No CBPF foi Diretor Executivo (1951/52), Diretor Científico (1964/1967), Chefe de Departamentos da área científica, e é Pesquisador Emérito da casa. Foi Professor Visitante em numerosas organizações de pesquisas no exterior, sendo Pesquisador do Centro Nacional de Pesquisas de Paris (1951), Pesquisador Associado da Universidade da Carolina do Norte (1952/53), Pesquisador Associado da Universidade de Chicago (1953/56). Orientou numerosas teses de mestrado e doutorado no país e no exterior. Foi Presidente da Comissão Nacional de Energia Nuclear (1969/82) e Membro de sua Comissão Deliberativa (1967/1982). Foi Presidente da Companhia Brasileira de Tecnologia Nuclear (1971). Presidiu a XX Conferência Geral da AIEA, 1976, foi Representante do Brasil na Junta de Governadores da AIEA (1970/82), Membro do Conselho Científico do Centro Internacional de Trieste (1982/86), Membro do Scientific Advisory Council da AIEA, e foi escolhido para o Prêmio Personalidade do Ano de 1989 da Latin American Section da American Nuclear Society. É membro da Academia Brasileira de Ciências, do American Institute of Physics e da American Physical Society. Recebeu numerosas condecorações: a Ordem de Rio Branco, as Ordens do Mérito Naval, Militar e Aeronáutico, e outras dos governos de Portugal, Alemanha, Argentina, Itália e Chile. Responde por marcantes iniciativas no desenvolvimento nuclear brasileiro: a instalação de um ciclotron de energia variável no IEN, no campus da UFRJ, a criação do Laboratório de Radioproteção e Dosimetria, e todas as medidas para a implantação do complexo de centrais nucleares de Angra dos Reis.

Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas R. Xavier Sigaud 150, 22290-180, Rio de Janeiro, RJ

Chicago e Outras Reminiscências

H.G.de Carvalho

1. Antecedentes

Poucos brasileiros produziram na sociedade um impacto tão grande quanto *Lattes*. Seus feitos científicos, realizados aos vinte e poucos anos de idade, produziram admiração e entusiasmo. *Niels Bohr* ao se inteirar da descoberta do meson- π escreveu uma carta ao Presidente da Academia Brasileira de Ciências congratulando-se com o Brasil e pondo em alto relevo a importância da descoberta. O mundo científico, particularmente na área da física, ficou entusiasmado; a imprensa brasileira, percebendo a importância da descoberta fez eco aos pregões internacionais, dando-lhe ampla divulgação. Do dia para a noite *Lattes* tornou-se uma figura muito popular e benquista.

As repercussões no país foram sumamente criativas e do maior alcance. Basta citar, na linha dos episódios de caráter institucional, a fundação, em 1948, do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, sociedade civil destinada à pesquisa científica na área da física e ciências correlatas, e, em 1951, a criação do Conselho Nacional de Pesquisas, com o propósito de fomentar a pesquisa científica em todas as áreas e a formação de pessoal. Vale mencionar que desde muitos anos a comunidade científica brasileira, com destaque para *Alvaro Alberto Motta e Silva*, *Carneiro Felipe*, *Arthur Moses*, *Carlos Chagas Filho*, esforçava-se pela criação de um tal órgão, encontrando em seu caminho os entraves característicos dos países do terceiro mundo. A descoberta de *Lattes* os removeu.

Armando de Salles Oliveira teve o grande mérito de criar em S. Paulo uma universidade moderna, convidando professores estrangeiros brilhantes em seus domínios de atuação para constituir seus quadros de ensino e pesquisa em diferentes áreas. Foi assim que o professor *Gleb Wataghin* iniciou na moderna pesquisa em física um grupo de jovens talentosos entre os quais se encontrava *Cesare Mansueto Giulio Lattes*, com quem publicou alguns trabalhos científicos. Ainda durante a 2ª Guerra, estimulado também por *G. Occhialini*,

outro brilhante colaborador daquele grupo de estudiosos da física moderna, *Lattes* foi para Bristol trabalhar no grupo do professor *C. F. Powell*, que reunia na ocasião um grupo de jovens extremamente talentosos de todas as partes do mundo. Em Bristol desenvolviam-se na época as mais refinadas técnicas para o registro das trajetórias de partículas ionizantes por meio de emulsões fotográficas, em estreita colaboração com a companhia ILFORD, especialista na produção de material fotográfico.

A nova técnica começava a dar frutos. Por sugestão de *Occhialini* a sensibilidade dessas emulsões foi grandemente aumentada, tornando possível sua utilização em pesquisas com raios cósmicos. Após algumas tentativas mais ou menos frustradas de encontrar o 'mesotron' de *Yukawa* expondo chapas fotográficas nas altitudes disponíveis aos físicos europeus, nos Montes Pirineus, nos Alpes Suíços e Franceses, *Lattes* teve a inspiração de expor o material sensível a 5.400 m, no Monte Chacaltaya, nos Andes Bolivianos, a poucos quilômetros de La Paz, onde o professor *Ismael Escobar* mantinha um pequeno laboratório meteorológico. Nessa ocasião eu realizava pesquisas com material fotográfico da Eastman Kodak que permitia registrar trajetórias de partículas- α . Conheci *Lattes* em 1947, na Faculdade de Filosofia da USP, quando ele transitava da Inglaterra para Chacaltaya. *Lattes* interessou-se por meu trabalho e no ano seguinte obtive de *H. Yagoda* uma bolsa de estudos de pós-doutoramento em Washington, E.U.A., que me permitiu trabalhar num bom laboratório de pesquisas entre os anos de 1949 e 1950.

A atenção especial que me dispensou não se restringiu a esse episódio. Em 1950 a UNESCO, em colaboração com o M.I.T., criou uma exposição itinerante de física e astronomia que deveria percorrer a América Latina partindo do Peru. *Lattes* foi consultado sobre o nome adequado para Diretor dessa exposição e me propôs para essa investidura. Meu nome foi acatado pela UNESCO e dirigí essa exposição por 6 meses, no Peru, Equador e Cuba. Este trabalho favoreceu-me amplos contatos com físicos do M.I.T. e com o professor *Pierre Auger* da UNESCO. A exposição foi muito bem sucedida e graças a isto me propuseram um posto de direção na UNESCO, em Paris.

Lattes foi um dos mais ativos conselheiros do CNPq nos primeiros anos. Em decorrência de sua atuação dois fatos importantes aconteceram: 1) a criação de um Grupo de Trabalho com a incumbência de fazer um projeto de

política científica para o CNPq; 2) criar a infra-estrutura de serviços técnicos do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas segundo o modelo adotado então no Instituto de Estudos Nucleares da Universidade de Chicago, hoje Instituto *Enrico Fermi*.

O Grupo de Trabalhos acima referido foi designado em setembro de 1951 para visitar diversas instituições na América do Norte, Estados Unidos e Canadá, e recolher *in loco* subsídios para um programa de formação de pesquisadores, visando ao desenvolvimento do trabalho científico no Brasil, com especial atenção para o problema da energia atômica que atingira grande relevo no imediato pós-guerra e era compromisso estatutário do Conselho Nacional de Pesquisas.

2. Chicago

A universidade de Chicago ganhou proeminência após 1941 quando o professor Arthur Compton resolveu concentrar ali a maior parte do Projeto Manhattan e criar o Metallurgical Laboratory. *Enrico Fermi* e seus colaboradores deixaram então a Universidade de Columbia e, em Chicago, levaram a cabo o trabalho que culminou, em 2 de dezembro de 1942, na primeira reação nuclear em cadeia auto-sustentada, usando um reator de Urânio natural moderado a grafite. Subsequentemente houve concentração dos principais cientistas em Los Alamos para a produção das primeiras bombas nucleares. Terminada a 2ª Guerra, em 1945, houve a desmobilização dos projetos militares secretos. Os cientistas mostravam-se ansiosos por retornar aos laboratórios e dedicar-se a seus estudos com a mesma liberdade desfrutada no período anterior à guerra.

No outono de 1945 *Enrico Fermi*, *Cyril S. Smith* e *H. Urey* aceitaram ocupar postos-chave num futuro instituto a ser constituído na Universidade de Chicago por influência de *Compton*. *Fermi* declinou da posição de Diretor, cabendo esta então a *S.K. Allison*. Inicialmente os Titulares eram *Smith*, *Teller*, *Urey*, *Anderson* e *Marshall*, além do próprio *Fermi*. Foi construído um novo edifício para abrigar o Instituto de Estudos Nucleares. O Instituto logo atraiu o interesse de um número muito grande de jovens talentosos: *Owen Chamberlain*, *George Farwell*, *Geoffrey Chew*, *Harold Argo*, *R.L. Garwin*, *Marvin*

Goldberger, David Lazarus, A.H.Morrish, T.R.Reitz, M.N.Rosenbluth, Walter Selove, Jack Steinberger, R.M.Sternheimer, S.Warsaw, A.Wattenberg, Lincoln Wolfenstein A.H.Rosenfeld, Jay Orear, R.A. Schluter, H.D.Taft, G.B.Yodh, D.E. Nagle, C.N. Yang e T.D. Lee, da distante China. O Instituto de Estudos Nucleares se dedicava à pesquisa e ao ensino de pós-graduação. A atmosfera acadêmica era extremamente estimulante e contribuía muito favoravelmente para que os estudantes de pós-graduação prosperassem em seu aperfeiçoamento. Os seminários repetiam-se em todos os grupos mas eram particularmente famosos os das sextas-feiras, quando estavam presentes os grandes professores do Instituto, e *Fermi* expunha com frequência os resultados de suas pesquisas, embora algumas vezes surpreendesse a platéia com temas estranhos, Geofísica, por exemplo.

No início de 1951 entrou em funcionamento o sincrociclotron do Instituto. A construção foi dirigida por *Anderson* e *Marshall*. Um número expressivo de trabalhos fundamentais foi realizado com auxílio desse grande acelerador de partículas. O conjunto de instalações de pesquisas com acesso ao acelerador, a eficiente e bem equipada infra-estrutura e os recursos humanos que compunham seus quadros fizeram da Universidade de Chicago um polo científico da maior importância, passando a ser, digamos, a capital ou pelo menos uma das capitais da física.

Conforme plano traçado em setembro de 1951 pela Presidência do CNPq após contatos com seu congêneres no Canadá, um grupo de cientistas brasileiros visitou diversas instituições de pesquisas, nos E.U.A. e no Canadá colhendo informações úteis para a formação de pessoal e para a programação do desenvolvimento das pesquisas brasileiras com particular ênfase na energia nuclear, incumbência institucional do CNPq. A missão foi programada para os primeiros meses de 1952 e entre o número muito grande de instituições visitadas estava a Universidade de Chicago, pelo seu Instituto de Estudos Nucleares. A Comissão teve então a oportunidade de conhecer a infra-estrutura técnica e os recursos humanos do Instituto, considerando-o modelar para as novas iniciativas em curso no Brasil. De outra parte *Lattes* tinha um excelente relacionamento com a direção do Instituto. Inspirado pelo desejo de ter, no Brasil, uma instituição de pesquisas físicas da melhor qualidade, pensou-se em dar ao Centro Brasileiro De Pesquisas Físicas todos os elementos que

permitted transform it into a pole of great scientific interest in physics, at an international level, organized around a large particle accelerator, a copy of the synrocyclotron of 450 MeV of the Institute of Nuclear Studies that, augmented by a body of professionals competent in theoretical physics and in experimental physics, would be a center of excellence for the formation of new researchers and for the flowering of research.

O Alte. *Alvaro Alberto* deu-me a honra e a satisfação de designar-me, em 31 de março de 1952, para a supervisão dos serviços de construção de um sincrociclotron no Instituto de Estudos Nucleares da Universidade de Chicago, de acordo com as especificações combinadas entre a referida instituição e *Lattes*. Essa máquina seria um modelo, na proporção de 1:8, do sincrociclotron da Universidade de Chicago e teria como objetivo principal permitir a familiarização completa de pesquisadores e técnicos com esse tipo de aparelho, visando a um futuro instrumento de maior porte, como o de Chicago. Era assim dado o primeiro passo para a construção de um acelerador de partículas de porte suficiente para atrair pesquisadores de renome e fazer uma física experimental de vanguarda.

Durante a construção do sincrociclotron *Lattes* esteve diversas vezes na Universidade de Chicago para conhecer os progressos na construção do aparelho e discutir medidas relacionadas com a programação feita. Em 20 de outubro de 1953, durante uma visita feita pelo Cel. *Armando Dubois Ferreira*, *Lattes* e o engenheiro *L. Schwarcz*, ficou decidido acelerar a construção da máquina, buscando antecipar seu término. Nesta ocasião encontrava-se pendente a questão da extração do feixe de prótons, mediante o que o instrumento poderia ser usado para física nuclear, competindo com os aceleradores tipo Van de Graaf. Além disso seria possível produzir alguns radioisótopos, caso o feixe de prótons alcançasse corrente de intensidade suficiente. Inicialmente esperava-se que o aparelho produzisse correntes da ordem de 100 μA , ensejando a produção de radioisótopos. O custo do aparelho não deveria exceder os US\$100,000,00. Em novembro de 1953 os gastos com a máquina atingiram cerca de US\$80,000,00 que, acrescidos das despesas com plantas, peças sobressalentes e frete marítimo, etc, alcançariam aquela cifra. A idéia de extração do feixe foi, entretanto, abandonada em face dos reclamos de urgência para a finalização dos trabalhos. Quando o acelerador funcionou pela

primeira vez em 7 de julho de 1953 a intensidade do feixe foi muito baixa. Em 18 de outubro o instrumento, após substancial aperfeiçoamento, voltou a funcionar com maior corrente sendo esta elevada sucessivamente em ensaios posteriores até o valor de $0,33 \mu\text{A}$. O professor *H.L. Anderson* se comprometeu a trabalhar com o objetivo de obter pelo menos $10 \mu\text{A}$ pelo uso de um capacitor rotatório e outros melhoramentos, esperando que até o dia 15 de dezembro essa meta fosse atingida e que então o CNPq aceitasse o instrumento, dependendo entretanto de sua livre deliberação considerá-lo como satisfatório, com as características desenvolvidas até aquela data. Graças ao prestígio de *Cesar Lattes* junto às mais altas autoridades da Universidade, *W.B. Harrel*, Vice-Presidente, *Walter Bartky* Deão da Divisão de Ciências Físicas da Universidade, e *S.K. Allison*, Diretor do Instituto de Estudos Nucleares, os doutores *Anderson* e *Kornblith* foram autorizados a passar três meses no Brasil trabalhando com os colegas brasileiros para finalizar as metas programadas do acelerador e garantir o sucesso total do empreendimento.

3. Outras Recordações

Quando *Fermi* chegou a Chicago já encontrou trabalhos sobre a radiação cósmica consolidados em vários grupos de pesquisas. Ali eram cultivadas as técnicas mais avançadas para o envio de instrumentos a elevadas altitudes em vôos de balões estratosféricos. Até os dias presentes Chicago é um dos laboratórios mais ativos nessas técnicas. Eu próprio estive envolvido com o projeto Sky Hook que consistia em elevar uma pesada carga de emulsões nucleares a altitudes entre 30 e 40 km por meio de um conjunto de balões acoplados. *Lattes* realizou vários trabalhos científicos com membros do grupo de radiação cósmica de Chicago e, no seu retorno ao Brasil, participou do projeto ICEF (International Cooperative Emulsion Flight), onde câmaras de emulsões nucleares expostas em vôos de balões por *Marcel Schein* e colaboradores, em Chicago, foram repartidas por laboratórios de diferentes países.

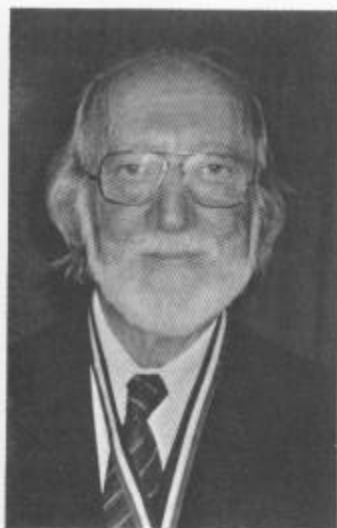
Era costume dos brasileiros que se encontravam em diferentes localidades vizinhas a Princeton se reunirem semanalmente naquela cidade para assistir aos seminários do Instituto de Altos Estudos, prestigiado com a

presença dos mais afamados físicos de todo o mundo, inclusive *Einstein*, seu mais renomado membro. Em 1949 *Einstein* completou setenta anos e muitas reuniões científicas e celebrações festivas foram organizadas em homenagem ao venerando mestre. Em meio a essas atividades *Lattes* veio de Berkeley, viajando de carro, trazendo como acompanhante o Pe. *Xavier Roser*, ao longo de extenso e cansativo percurso. Data dessa ocasião a fotografia que se encontra no hall de entrada do edifício sede do CBPF, mostrando, de pé, *Lattes* e *Walter Schutzer*, e, em primeiro plano, abaixados, eu próprio, *J. Leite Lopes* e *J. Tiomno*; operou a câmara fotográfica o falecido Pe. *Xavier Roser*, fundador, mais tarde, do Instituto de Física da PUC/Rio. O toque pitoresco acabou tendo o patrocínio involuntário de *D. Carmita* e *D. Yonne*, esposas de *J. Leite Lopes* e minha, respectivamente. O carro de *Lattes* com o grupo de brasileiros a bordo, todos ainda bem jovens como atesta a foto acima referida, transitava em frente a casa de *Einstein* quando o sábio cientista preparava-se para abrir o portão e sair. As duas manifestaram o desejo de parar o carro para que pudessem ser fotografadas de braços dados com o aniversariante; a idéia produziu tal excitação que o grupo explodiu em ruidosa algazarra. O velho mestre, recatado e discreto, a despeito de seu habitual trato afável, ouvindo o inusitado vozerio, em idioma desconhecido (e com predominância dos falares pernambucanos), considerou mais prudente adiar a caminhada, refugiando-se estrategicamente em casa.

Tampouco evaneceram as imagens da alegria reinante na cordial e calorosa reunião dada em casa de *Lattes*, tendo como atração gastronômica pratos tropicais, em homenagem à celebrada pesquisadora *Maria Goeppert Mayer*, pelos sucessos alcançados com o seu modelo nuclear de camadas; são vultos que desfilam na memória, fragmentos de vozes, risos, que ecoam ainda hoje a satisfação geral com o sucesso de colegas, todos asseguradamente agentes e testemunhas da construção de alguns dos maiores feitos científicos que marcaram a física da segunda metade do século XX.

Guardo a mais agradável lembrança dos laços de companheirismo e amizade, da amistosa convivência característica daqueles anos, reunindo brasileiros entre si, colegas americanos e de outras nacionalidades. A figura de *Lattes*, nesse particular, é lembrada como fraternal traço de união.

José Leite Lopes



Nasceu em Recife, em 1918. Graduiu-se em Química Industrial pela Escola de Engenharia, em 1939, quando veio para a FNFi, no Rio de Janeiro, em busca de uma carreira científica. Graduiu-se em Física em 1942. Recebeu seu Ph.D. em Princeton, em 1946. Fez-se catedrático, por concurso, da cadeira de Física Superior da FNFi em 1948. Nesta época participou ativamente da criação do CBPF, ao lado de *Lattes* e outros. Defendeu fervorosamente a Reforma Universitária. Sua posição de liderança na FNFi, de oposição à sua Direção, comprometida com a perpetuação de práticas obsoletas, valeu-lhe acusação de atividades subversivas, juntamente com outros professores da casa, em 1964, sendo-lhe cassado o direito de exercer sua cátedra. Deixou o país neste ano para assumir o cargo de Professor Visitante em Orsay, até 1967, quando retornou e reassumiu sua posição de Professor Titular no CBPF. A incidência do AI-5, em 1968, cortou-lhe todas as possibilidades de permanência. Em 1969 foi Professor Visitante na Organização Carnegie-Mellon, em Pittsburgh, cargo que exerceu até 1970. Em 1970 aceitou o cargo de Professor Titular na Universidade de Strasbourg, onde permaneceu até 1985. É Professor Emérito desta Universidade e do CBPF. Foi duas vezes Diretor do CBPF, participou da organização da Universidade de Brasília e do Instituto de Física da UFRJ e no decurso de suas intensas atividades, foi muitas vezes premiado e condecorado; basta citar a Ordem de Rio Branco que recebeu também em 1958, a medalha Carneiro Felipe, concedida pela CNEN em 1988 e, mais recentemente o prêmio e medalha México, de Ciência e Tecnologia, concedido pelo governo mexicano em 1993. É orador brilhante e arrebatado nos debates, reconhecido como didata de excepcionais méritos por todos os que tiveram o privilégio de ouvir suas aulas e conferências. Ocupado, de longa data, com a formação de físicos para o desenvolvimento da ciência, é autor de vários livros, em nível formativo e de especialização científica, publicados no país e no exterior, e de uma extensa lista de trabalhos científicos do maior valor.

Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, R. Xavier Sigaud 150, 22290-180 Rio de Janeiro, RJ.

Cesar Lattes, o Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas e a Nova Física no Brasil

J. Leite Lopes

Todos sabem que o florescimento da Física no Brasil - como pesquisa de fronteira e criação de conhecimentos novos - começou verdadeiramente a partir de 1934, quando a burguesia paulista resolveu criar uma universidade nova em torno de uma faculdade de filosofia ciências e letras. A época da fundação dessa universidade abrange o período em que se processava uma transferência de talentos - a verdadeira transferência de conhecimento que dá como consequência a criação de tecnologias - da Europa para os Estados Unidos (em virtude da ascensão do nazismo na Alemanha e da solidificação do fascismo na Itália). O matemático *Teodoro Ramos*, professor da Escola Politécnica e membro da Academia Brasileira de Ciências, soube escolher pesquisadores universitários notáveis da Itália, da Alemanha, da França, para integrarem seu corpo docente.

A partir daquele ano, *Gleb Wataghin*, vindo da Universidade de Turim, organizou os cursos de física experimental e teórica e contribuiu à formação dos primeiros jovens físicos brasileiros de valor. Em 1937 tive a oportunidade de conhecer *Mario Schenberg* e *Marcello Damy de Souza Santos* nas instalações provisórias do Departamento de Física da Faculdade de Ciências, localizada na Escola Politécnica. Em 1943, após ter concluído o curso de Física na Faculdade Nacional de Filosofia no Rio de Janeiro e o curso de Química Industrial na Escola de Engenharia de Pernambuco, fui para S. Paulo afim de trabalhar com *Schenberg*. Ali conheci *Cesar Lattes*. Com ele e com *Walter Schützer* e *Sonia Ashauer*, assistíamos aos cursos dados por *Gleb Wataghin* de mecânica celeste, e participávamos dos seminários. Lá estavam também *Giuseppe Occhialini* e *Yolanda Monteux*.

Marcello Damy, *Paulus Aulus Pompéia* e *Gleb Wataghin* haviam publicado o famoso trabalho em que relatam¹ a descoberta em 1941 da produção simultânea de partículas penetrantes na radiação cósmica. *Mario*

Schenberg, que já em 1937, havia apresentado à *Academia dei Lincei* de Roma, através de *Tulio Levi Civita*, memória² sobre a representação da função delta de Dirac pela integral de Stieltjes, voltava da Europa e dos Estados Unidos, onde trabalhara com *George Gamow*³ sobre a perda de energia por neutrinos de estrelas em colapso, e com *S. Chandrasekar*⁴ sobre a evolução das estrelas da série principal. Havia, portanto, um saudável ambiente de pesquisas e de estímulo no Departamento de Física, situado, àquela época, na Av. Brigadeiro Luiz Antonio 784 .

Assistíamos às aulas e discutíamos e conversávamos com *Schenberg*, com *Wataghin*, com *Marcello Damy* e também com *Pompéia* e com *Abraão de Moraes* .

Lembro-me de que frequentemente conversava com *Lattes* sobre a situação no Rio de Janeiro onde havia homens do maior valor, como *Lelio Gama* e *Francisco Mendes de Oliveira Castro*, na matemática, *Joaquim da Costa Ribeiro*, *Plinio Sussekind Rocha* e *Bernhard Gross*, na física. Mas não havia amparo institucional - a famosa Universidade do Distrito Federal (UDF), fundada por *Anisio Teixeira*, em 1935, havia sido desativada e se tinha transfigurado na Faculdade Nacional de Filosofia. Enquanto em S. Paulo o Governo do Estado amparou e estimulou os pesquisadores da USP, dando-lhes o regime de tempo integral, no Rio de Janeiro os professores universitários eram submetidos às regras do Departamento Administrativo do Serviço Público (DASP) que não permitiam o estabelecimento do regime de tempo integral. *Gross* estava no Instituto Nacional de Tecnologia - igualmente *Oliveira Castro* - *Lelio Gama* era astrônomo do Observatório Nacional e *Costa Ribeiro* era professor na Faculdade Nacional de Filosofia. Nos três anos anteriores inteiraram-me da situação no Rio - assistindo às reuniões da Academia Brasileira de Ciências - e discutindo com colegas e amigos e, entre eles, *Leopoldo Nachbin*, *Mauricio Mattos Peixoto*, *Marília Chaves Peixoto* e *Maria Laura Mousinho*, alunos de matemática, *Jayme Tiomno* e *Elisa Frota Pessoa*, colegas meus do curso de física da F.N.Fi.

Ao fim do ano 1943 segui para os Estados Unidos para trabalhar na Universidade de Princeton, após ter concluído trabalho⁵ com *Mario Schenberg* sobre o campo de radiação do elétron. Este trabalho estava sendo generalizado

por *Lattes, Schützer e Schenberg*⁶, no caso de partículas com momento de dipolo, quando deixei S. Paulo.

Ao regressar de Princeton, em janeiro de 1946, após haver trabalhado com *Josef Maria Jauch* e com *Wolfgang Pauli*, assumi interinamente a cátedra de Física Teórica e Física Superior na F.N.Fi. Eis a carta que me escreveu Lattes naquele ano:

Bristol 7- Março-1946

Caro amigo Leite,

Estou trabalhando no H.H.Wills Physical Laboratory da Universidade de Bristol. Cheguei há poucos dias e comecei a trabalhar com o Prof. C.F. Powell sobre o método das chapas fotográficas aplicado à física nuclear. Vamos iniciar experiências sobre o scattering neutron-proton, em condições muito melhores do que as dos trabalhos anteriores.

Lí seu trabalho, publicado na Revista da Academia Brasileira, sobre o deuteron, e estou muito interessado no seu trabalho sobre o scattering. Um dos teóricos que aqui trabalham está estudando o mesmo assunto, mostrei-lhe o trabalho do deuteron e, em particular a nota final, sobre o outro trabalho a ser publicado, e ele me pediu para ver se consigo arranjar-lo o mais cedo possível. Poderá você enviá-lo por via aérea?

Meus parabéns pelas suas atividades nos E.E.U.U.. Faço votos para que você continue suas pesquisas aí no Rio, apesar da falta de ambiente

(você poderá criá-lo).

Logo que tenha resultados interessantes sobre o scattering, se for permitido, comunicar-lhe-ei. Os trabalhos anteriores não tinham evidência experimental suficiente.

Minhas recomendações ao pessoal da Faculdade e um abraço do amigo

Lattes

Minha resposta foi uma longa carta do dia 27 de março 1946, um relatório sucinto dos trabalhos que fiz em Princeton. Conteí-lhe ainda que havia sido convidado a integrar o núcleo de matemática da Fundação Getúlio Vargas, integrado por *Lelio Gama, Oliveira Castro, Leopoldo Nachbin* e *Mauricio*

Mattos Peixoto e pelo matemático português *Antonio Aniceto Monteiro*. Da Fundação Getulio Vargas, criada em fins de 1945, era Presidente o Dr. *Luiz Simões Lopes* e Diretor Executivo o Dr. *Paulo de Assis Ribeiro*. Após a publicação da Revista *Summa Brasiliensis Mathematicæ*, pela Fundação, comecei a pedir artigos para *Summa Brasiliensis Physicæ* que estava pretendendo editar e que já contava com trabalho de *Mario Schenberg* e com a minha tese de Doutorado de Princeton⁷.

No dia 21 de abril de 1946 escreveu-me o *Lattes*:

Bristol 21 de Abril de 1946
H.H. Wills Physics Lab.
Royalfort

Dr. José Leite Lopes
Fundação Getulio Vargas
Núcleo de Matemática
Praia de Botafogo 186
Rio de Janeiro-Brasil

Caro Leite:

Recebi somente ontem sua carta de 27/3/46. Muito obrigado pelas informações. Vejo, com prazer, que você trabalhou "no duro" em Princeton. Ainda não pude ler com o devido cuidado o apanhado geral do seu trabalho sobre o N-P scattering e forças nucleares mas vou fazê-lo logo que tenha oportunidade, pois estou muito interessado no problema.

As experiências de Champion e Powell, de fato, confirmaram os resultados de Amaldi & Cia., mas não apresentavam evidência experimental (estatística) suficiente. Essas experiências foram repetidas por Powell, Heitler e Occhialini e as medidas estão em andamento. O nº de tracks medidos até o presente momento não é suficiente para tirar-se uma conclusão segura (cerca de 900 tracks) mas toda a evidência é a favor de scattering isotrópico no sistema baricêntrico, contrariamente aos resultados anteriores. Estas novas experiências foram feitas com neutrons de 9 e 13 MeV obtidos de reações D-n provocadas pelos Deuterons do ciclotron de Liverpool. Os novos resultados merecem mais confiança do que os anteriores pois a experiência foi feita com uma técnica melhor do que no caso anterior e estão sendo

levadas em conta todas as correções necessárias em vista da geometria da experiência. Amaldi está informado do progresso das experiências feitas aqui e creio que o grupo de Roma vai repetir as experiências que você conhece (naturwiss.). Ferretti esteve aqui para discutir os resultados mas isso foi há alguns meses, isto é, antes de termos a atual evidência. Havia um ponto fraco nos cálculos das experiências do grupo Amaldi mas Ferretti, que é o responsável por toda a "calculeira", após três dias de verificações febrís, chegou à conclusão de que os resultados não são alterados e que está tudo O.K. Como você vê, a situação está bastante confusa e meu conselho é que será melhor, para você, ignorar os resultados experimentais até mais completa evidência. Logo que haja mais certeza avisá-lo-ei.

Eu não estou trabalhando no N-P scattering, por enquanto, pois trata-se de experiências já iniciadas há muito tempo. Logo que o Ciclotron de Liverpool esteja em condições, iniciaremos (Powell, Heitter, Occhialini e eu) o estudo do scattering de neutrons de 17 MeV da reação B+D (de 5MeV do Ciclotron). Nessa experiência usaremos um novo tipo de placa que permite uma precisão muito melhor do que com as antigas. Vou mandar-lhe separata de um artigo que vai sair dentro de poucos dias no Journal of Sc. Instr., descrevendo as "virtudes" das mesmas e que, segundo posso garantir, vai eliminar o scepticism que ainda existe em alguns meios, sobre a aplicação das chapas fotográficas aos problemas da física nuclear.

Somente um físico daqui, Ramsey, está trabalhando na parte teórica do scattering N-P. Ele está usando a teoria de Møller-Rosenfeld. Parece-me, todavia, que ele é "rather obtuse".

Meu trabalho aqui está dividido em várias partes e tem sido, por enquanto, quase que puramente experimental. Em Bristol estou estudando e desenvolvendo a técnica da medida automática nas emulsões. Iniciei, também, uma experiência para a determinação da radioatividade do Samario; trata-se de uma terra rara que emite espontaneamente partículas alfa e, segundo uma fraca evidência experimental, protons. Com as placas que tenho à disposição o problema será resolvido facilmente. Em Cambridge estou estudando reações provocadas por deuterons de 1 MeV produzidos pelo gerador de alta

tensão. No momento estou interessado em "targets" leves (D,Li,Be,B,F); vou procurar esclarecer alguns pontos obscuros relativos a essas reações, ao mesmo tempo, determinar a relação energy-range para partículas alpha, protons e deuteronas nas placas que serão usadas no futuro (até pouco tempo atrás, as placas foram tratadas com desprezo pela maioria dos físicos nucleares - veja relatório de Smith - agora a situação está mudando e está se preparando uma verdadeira corrida). Vou estudar também, desintegrações produzidas por neutron na própria placa, carregando a mesma com sais de D, Li, Be, etc. Essas experiências de Cambridge serão feitas por Cuer (um físico francês que aqui chegou pouco depois de mim, para aprender a técnica das chapas) e por mim.

Em Liverpool vou tomar parte nas experiências de scattering (N-P, P-P, D-P e scattering por gases). Essas experiências serão dirigidas pelo Powell e, provavelmente, contarão com a colaboração de Chadwick. Na parte teórica estou estudando a ação das partículas nucleares nas emulsões fotográficas. Esse estudo estou fazendo em colaboração com um físico do research lab da Kodak, que está aqui pesquisando sob a orientação do Prof. Mott. Trata-se de um jovem de grande capacidade e tenho aprendido muito com ele. Estamos estudando, também, a possibilidade de fabricar placas sensíveis a eletrons. Se isto for conseguido, será um resultado muito útil para as pesquisas sobre raios beta. Caso haja essa possibilidade, é provável que faça um estágio na fábrica Kodak em Londres, pois estou em ótimas relações com o pessoal do research lab de lá.

Como você pode ver, trabalho não falta. Mal consigo dar conta do recado. As condições de trabalho aqui são ótimas. Estou aqui a convite da Universidade de Bristol (o Occhialini conseguiu isso), recebo um ordenado mensal e tenho ampla liberdade de trabalho e iniciativa. Posso trabalhar no que mais me interessa e ficar o tempo que quiser. É uma verdadeira "mamata".

Quanto à experiência que você sugere, relativa ao inelastic scattering N-P, seria muito interessante fazê-la mas, infelizmente, não temos meios. Os neutrons mais enérgicos de que dispomos são de 17 MeV. Creio que para essa energia a porcentagem de scattering inelástico será

desprezível. Seria mesmo muito difícil detectar os 3% que você calculou pois teremos background de neutrons provenientes do tank do Ciclotron, que tem um espectro contínuo. Qualquer outra sugestão que você tenha a fazer será recebida com todo o interesse por nós.

Quanto ao artigo sobre o método das chapas fotográficas, já comecei a escrevê-lo. Falei com Powell e Occhialini e é provável que seja feito em colaboração por nós três. Ficará pronto em pouco tempo, pois temos todos os dados e fotografias. Pretendo (ou pretendemos) escrever uma coisa do tipo Rev. Modern Phys. e, se não houver nada em contrário será escrito em inglês, pois muita gente estará interessada no mesmo como fonte de dados e informações. A publicação ou não desse artigo depende ainda de circunstâncias especiais mas espero que tudo se resolva dentro desta semana. As "Summas" da fundação pedem sugestões à respeito de "improvements" eventuais que possam ser feitos nas mesmas. Sugiro, e será importante para o artigo das chapas fotográficas, que se procure melhorar a reprodução fotográfica (veja boletim da Biologia, artigo do Karen). Seria interessante se as fotografias e fotomicrografias fossem reproduzidas em papel especial (como é feito em muitas revistas científicas). Isso é particularmente importante se queremos fazer propaganda da revista de maneira a poder publicar os artigos na mesma e ter certeza de que serão lidos no estrangeiro, pois, será necessário, pelo menos no início, contar com a colaboração e interesse de alguns cientistas estrangeiros e estes não estarão muito inclinados a publicar numa revista que não tenha boa reprodução fotográfica. Outra sugestão que tenho a fazer, e que com certeza deve ter ocorrido a vocês, é que, uma vez que a Summa da fundação é a única revista de física no Brasil, seja criada na mesma a seção de cartas ao Editor ou notas prévias, cuja utilidade é bem conhecida. Já falei com o Powell e Occhialini sobre o convite para colaboradores permanentes. Eles, assim como o abaixo assinado, sentem-se honrados, aceitam e agradecem. Vou convidar, também, Roseblum (físico francês que trabalhou no espectro de estrutura fina das partículas alfa), e outros, quando aparecer a oportunidade. Saiba me dizer se a fundação concorda.

A separata do Dirac seguirá apenas a consiga. O Mário tem uma e eu emprestei (ou dei, não me lembro) a minha ao Freire. Vou, também, lhe enviar separatas dos trabalhos de Born e Peng. Quanto aos de Powell enviar-lhe-ei um microfilme, pois estão esgotadas. Livros bons são coisa rara aqui; imagine que não consigo encontrar o Dirac, Heitler, Gamov etc. A guerra aqui deixou uma miséria miserável.

Soube com prazer que você está na Fundação. Pelo que tive oportunidade de observar o pessoal de lá está com uma ótima orientação e animados a fazer alguma coisa séria pela Ciência no Brasil. Queira transmitir minhas recomendações aos Drs. Assiz Ribeiro, Othon Leonardos, Manoel Ferreira e Charles Javes, assim como ao pessoal do núcleo de matemática.

Ficar-lhe-ia grato se você mandasse cópia da parte da carta em que dou informações sobre as experiências do scattering N-P ao Mario, pois sei que ele está interessado no problema e prometeu escrever. Pergunte a ele quais são as separatas de que mais precisa, que procurarei manda-las. Vou escrever a ele por estes dias.

A impressão que tivemos, o Occhialini e eu, é de que voce vai aguentar firme no trabalho e não se deixará influenciar pelo "clima tropical". São esses, também, os votos que fazemos. De minha parte, espero poder colaborar quando voltar, ou mesmo aqui: às ordens.

Tive uma idéia. Talvez seja muita fantasia, mas, em todo caso, lá vai. O que pensa voce de escrevermos um livro em português sobre física atômica e nuclear; dois volumes, talvez. Não há nada sobre o assunto no Brasil e parece-me que seria interessante começar. Voce poderia se encarregar da parte mais teórica e eu da parte mais experimental. Não seria uma perda de tempo, pois, escrevendo, aprenderíamos muito e teríamos muitas sugestões para pesquisas eventuais. Que tal? aguardo sua resposta assim como sua opinião sobre as possibilidades práticas da ideia. Naturalmente será uma coisa difícil devido ao escasso número de leitores mas não devemos esquecer Física Nuclear é o assunto do dia. Inicialmente poderia se publicar sob forma de apostila.

Como vai o Tiomno em S. Paulo? Ele vai pedir bolsa para este ano? Caso ele esteja interessado em vir para a Inglaterra, e caso ele consiga uma bolsa, diga-lhe para me escrever, pois estou em condição de dar informações sobre os

melhores lugares para trabalhar aqui. Existe em S. Paulo um rapaz que está cursando o 3º ano, Hugo Camerini. Trabalhou comigo durante o ano passado e é um rapaz de talento. Peça-lhe que o ajude caso o mesmo precise de orientação. Parece que o Mario vai aos E.U. e o laboratório de São Paulo ficaria como você sabe.

Espero para breve a notícia fatal de seu casório. Não se esqueça de comunicar. Quanto à mim, você já deve saber das novidades... sentimentais. Provavelmente você já tinha previsto.

Bom. Por hoje é só.

Um abraço de seu amigo

Cesar Lattes

P.S. Para conseguir colaboração estrangeira é indispensável melhorar a reprodução fotográfica. A promessa de rápida publicação dos trabalhos deverá ser mantida rigorosamente.

No dia 22 de junho de 1946 escreveu-me Lattes carta em que dizia:

Meus planos são: aprender o mais possível e ao voltar, colaborando com você e os demais moços capazes e de boa vontade que consigamos arranjar, tentar alguma coisa de sério, isto é, um núcleo em que se faça realmente física. Naturalmente tudo isto deve ficar entre nós, pelo menos por enquanto. Tenho certeza de que você deverá estar planejando alguma coisa desse tipo, de maneira que o que venho propor é unir nossos esforços. Saiba me dizer qual a sua opinião sobre tudo isto.

Em seguida diz Lattes :

Ao sair do Brasil eu depositava muita esperança na Fundação mas a Marta informou-me, há pouco mais de um mês, que o Assis Ribeiro pediu demissão e que a orientação não é mais a mesma. Devo confessar que foi uma decepção para mim e peça-lhe o favor de fornecer detalhes.

De fato, ao regressar do Rio Grande do Sul onde estava desde vários meses após a criação da Fundação Getulio Vargas, o Dr. *Simões Lopes* não concordou com a orientação científica que o Dr. *Assis Ribeiro* estava imprimindo à Fundação e resolveu dissolver o Núcleo de Matemática - uma desilusão não só para *Lattes* mas para todos nós que participávamos desse Núcleo e que nele víamos uma alternativa de desenvolvimento moderno das atividades de pesquisa em Matemática e em Física e que a Universidade do Brasil não estava em condições de estimular.

Em carta do dia 12 de agosto de 1946, escrevia-me *Lattes*:

Eventual "adesão" do abaixo assinado à faculdade do Rio. Estou muito interessado na proposta que você me apresenta e sou muito grato a você e ao Costa Ribeiro. Você está mais ou menos informado da minha situação aqui e dos meus projetos. Na minha opinião ciência em si não é tudo. Estou perfeitamente disposto a ir trabalhar aí em condições muito menos favoráveis do que aqui (estou me referindo à parte científica e à possibilidade material de pesquisa não à parte profissional) porque acho que é muito mais interessante e difícil formar uma boa escola num ambiente precário do que ganhar o prêmio Nobel trabalhando no melhor laboratório de física do mundo.

A satisfação HUMANA que a gente sente ao verificar que está sendo útil para que outros também tenham a oportunidade de pesquisar é muito melhor do que a que se obtém de uma pesquisa feita sob ótimas condições de trabalho. Além disso, existe aquela coisa idiota que se chama patriotismo e, não sei por que, embora nunca tivesse pensado na mesma, começou a mexer lá por dentro há uns tempos atrás... Estou, pois, interessado em voltar logo que tenha uma formação suficiente e desde que haja possibilidade aí. Do contrário, penso que serei mais útil aguardando aqui e continuando a trabalhar, do que voltando para me enterrar nessas paragens...

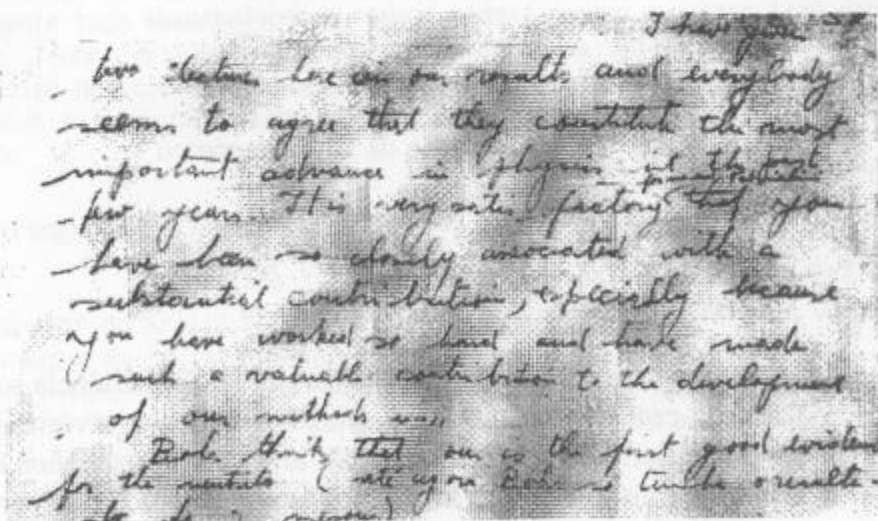
Seguiram-se várias cartas trocadas com discussões da experiência sobre espalhamento nêutron-próton, aplicações das emulsões nucleares a várias reações e ao estudo da estrutura fina das partículas alfa - com *Rosenblum* e *Powell* além de outras considerações. Discutíamos também como fazer para que

o *Lattes* viesse para o Rio. " Tempo integral deve ser conseguido, custe o que custar". *Lattes* discutia ainda as possibilidades de atrairmos para o Rio *Jayme Tiomno* assim como *Ugo Camerini*.

Em 1947 *Lattes* sugeriu a *Powell* e *Occhialini* que as observações sobre raios cósmicos com emulsões nucleares expostas no Pic du Midi, nos Pirineus franceses, seriam mais interessantes se as emulsões fossem expostas no Laboratório de Física Cósmica, a 5200 metros de altitude, perto de La Paz, Bolívia - enquanto que o Pic du Midi estava a 2850 metros de altitude. *Lattes* veio, então, fazer a exposição em Chacaltaya e foi emocionante quando pudemos ver num microscópio de *Costa Ribeiro* no Departamento de Física da FNFi, os traços indicando um pión positivo em desintegração, dando um múon. Era a descoberta dos píons e da desintegração pión-múon⁸.

Em carta datada de 16 de julho de 1947 *Lattes* escreve longamente sobre os eventos encontrados nas emulsões expostas em Chacaltaya, após seu regresso a Bristol. A carta na íntegra se encontra no Apêndice.

Duas outras cartas de 21/9/47 e de 29/9/47, dão novos resultados - e um comentário de *Lattes*; enquanto ele trabalha intensamente e investiga a nova física assim descoberta, *Powell*-chefe do laboratório em Bristol - viaja para Copenhague, Cracóvia, Suécia e escreve para *Lattes*, de Copenhague:



I have just
two letters here in my small and everybody
seems to agree that they constitute the most
important advances in physics in the past
- few years. It is very satisfactory that you
have been so closely associated with a
substantial contribution, especially because
you have worked so hard and have made
such a valuable contribution to the development
of our methods etc.
Don't think that our is the first good evidence
for the neutrino (note your Bohr's results -
to be in mind)

No Brasil comecei a escrever sobre os trabalhos de *Lattes* ; um primeiro trabalho saiu em 1947 no jornal *Ciência para Todos*, suplemento de divulgação científica de *A Manhã*, do Rio de Janeiro.

Durante uma das viagens de *Lattes* ao Rio, tivemos a ocasião de falar com o Almirante *Alvaro Alberto*, que era o representante do Brasil na Comissão de Energia Atômica das Nações Unidas para pedir que ele obtivesse a permissão da Comissão Americana para que *Lattes* pudesse trabalhar no Laboratório de Radiações de Berkeley, onde estava em funcionamento desde 1 de novembro de 1946 um sincrociclotron de 184 polegadas, capaz de acelerar prótons à energia de 330 MeV. Estávamos em 1947-1948, há apenas dois ou três anos após a 2ª Guerra e a bomba atômica, e os laboratórios dos Estados Unidos não eram abertos senão àqueles que obtivessem uma tal permissão.

Uma vez esta concedida, *Lattes* casou-se no Brasil e seguiu para Berkeley. Eis o que narra o físico americano *Herbert L. Anderson*⁹ no Colloque International sur l'histoire de la physique de particules, em Paris, julho de 1982:

“The synchrocyclotron delivered its first beam just before midnight, November 1, 1946. Although pions were being copiously produced, attempts to



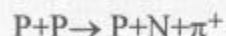
Produção Artificial do Pion, Cesar Lattes (E) e Eugene Gardner, 1948

find them failed for lack of the proper emulsion technique. They were found almost immediately after Lattes arrived from Bristol with the technique and the proper Ilford emulsions. Lattes was the young Brazilian who, working with Occhialini and Powell at Bristol, was the first to find pions in the cosmic rays. Now he found them produced artificially in a machine.”

Foi grande a repercussão do trabalho de *Lattes e Gardner*¹⁰ que conduziu, como está dito acima, à produção de píons por colisão de prótons com prótons, de acordo com as reações:



e também :



A primeira reação é detectada por contagem das coincidências entre dêuterons e píons positivos.

Vários físicos eminentes, como *Hans Bethe*, assinalaram então a importância da colaboração internacional nos trabalhos de pesquisa, pois a descoberta dos píons havia mobilizado a colaboração de um físico brasileiro, com um italiano, um inglês e em seguida de um brasileiro com um americano.

A descoberta dos píons e dos múons constituiu o primeiro passo para a emergência da física de partículas até então subordinada à física nuclear. Pois vieram em seguida as descobertas das múltiplas famílias de mésons, bárions, ressonâncias, objetos de intensas investigações experimentais e de modelos teóricos que culminaram com as noções de quarks, de glúons, e de campos de calibre e especulações sobre a unificação das forças no Universo.

O prestígio de *Lattes* foi espetacular - na época a revista *LIFE* estampou em sua capa uma foto de *Lattes* em Berkeley - e ele era chamado a fazer seminários e dar resultados sobre as pesquisas que realizava, em várias universidades nos Estados Unidos e na Europa. Em Princeton estava eu no *Institute for Advanced Study*, estava *Tiomno* na Universidade e ali tivemos a ocasião de discutir, em 1949, a questão da pesquisa em física no Rio de Janeiro. Dessa discussão vieram participar *Lattes*, vindo de Berkeley visitar-nos bem como *Hervasio de Carvalho* que estava em Washington trabalhando com *Yagoda* sobre a técnica das emulsões na física nuclear. Tive, nessa época, a

oportunidade de tomar parte em exposição de *Lattes a Robert Oppenheimer*, Diretor do Institute for Advanced Study, e um grupo restrito de físicos entre os quais o físico dinamarquês *Ch. Møller* e o físico holandês *Abraham Pais*. É claro que esses resultados estimulavam meus trabalhos assim como os dos físicos de partículas em toda parte.

No Brasil, *Lattes* veio em dezembro de 1948 para ser o paraninfo dos diplomandos da Escola Nacional de Química. Graças à amizade com *Nelson Lins de Barros*, que estava na Califórnia em 1948, pudemos, o *Lattes* e eu expor a *João Alberto Lins de Barros* as dificuldades que enfrentávamos no Rio de Janeiro para constituir um instituto de física que acolhesse os pesquisadores brasileiros e estimulasse seus trabalhos de investigação científica e de formação de jovens físicos. Foi nessa ocasião que se decidiu - com o apoio de *João Alberto*, do *Almirante Alvaro Alberto*, de *Santiago Dantas* e *Renato Archer* com a ajuda de *Nelson* e de *Henry British Lins de Barros*, de economistas como *Romulo Almeida*, de banqueiros como *Mario de Almeida*, *Guilherme Guinle*, de cientistas como *Carlos Chagas*, *Costa Ribeiro*, *Oswaldo Gonçalves de Lima*, *Luiz Freire*, *Aluisio Bezerra Coutinho* do Recife e tantas outras personalidades, fundar o Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas.

Com a contribuição de *Mário de Almeida* construimos um pavilhão capaz de abrigar a biblioteca - que estávamos a constituir e que se tornou uma das melhores do país - os laboratórios e os gabinetes de trabalho e um auditório. O pavilhão foi erguido no campus da Praia Vermelha após entendimento direto com o Reitor *Pedro Calmon* que concedeu ao CBPF mandato universitário.

Desde logo, tornou-se o CBPF uma instituição de intensas atividades. Graças ao mandato universitário da Universidade do Brasil pudemos organizar os primeiros cursos de pós-graduação de física no CBPF para a Universidade. Uma cadeira de Física Nuclear, proposta por mim e por *Costa Ribeiro*, foi criada pelo Congresso Nacional e *Lattes* foi nomeado professor da Faculdade Nacional de Filosofia. Tanto ele como eu abrimos as nossas cátedras: físicos do CBPF eram estimulados a dar cursos em nossas cátedras.

O físico austríaco *Guido Beck* que estava em Córdoba, Argentina e que havia sido convidado por mim, em 1947, para fazer seminário na FNFi, veio ao Rio a convite de *Lattes* e meu e ficou encantado com o ambiente. Decidiu ficar aqui e o Conselho Técnico Científico do CBPF nomeou-o Professor Titular. A

mesma coisa aconteceu com *Jayme Tiomno*, ao regressar de Princeton onde fez brilhante trabalho com *John Archibald Wheeler* e *Eugene P. Wigner*.

O Embaixador do Brasil na UNESCO, *Paulo Berredo Carneiro*, tornou-se admirador do que fazia e catalizava *Lattes* no Rio de Janeiro. Assim conseguiu que a UNESCO nos desse bonus para a compra de livros e revistas e enviasse uma missão técnico-científica composta de *Giuseppe Occhialini* (com quem *Lattes* trabalhara em Bristol e veterano da USP nos anos 30-40), *Ugo Camerini*, formado em São Paulo mas que estava em Bristol, um físico experimental igualmente brilhante, *Gert Molière*, vindo da Universidade de Tübingen, físico teórico, especialista em teoria das colisões; da Philips veio o especialista em eletrônica *G. Hepp* e da Alemanha, o especialista em alto vácuo, *Helmut Schwartz*.

Em 1951 convidamos *Richard P. Feynman* e ele decidiu passar no CBPF seu ano sabático 1951-1952.

Grande era o número de estudantes que vinham trabalhar e fazer iniciação científica no CBPF: do Recife, *Luiz Freire* enviou vários jovens de grande valor entre eles *Samuel Mac Dowell*, *Fernando de Souza Barros*, *Francisco de Assis Brandão*, *Romulo Maciel*, *Ricardo Palmeira*. Da Bolívia enviados pelo Diretor do Laboratório de Física Cósmica, de Chacaltaya, *Ismael Escobar*, vieram vários estudantes, entre eles *Oscar Troncoso*; da Costa Rica veio *Norman Clarck*; da Argentina, vieram *Daniel Amati* e *Alberto Sirlin* que, após trabalhos realizados no CBPF foram para a Itália e para os Estados Unidos onde são hoje líderes em física teórica. Do Peru vieram *Alberto Vidal Carrión* e *Lopez Carranza*.

Em 1951, o Conselho Nacional de Pesquisas foi criado e iniciou um programa de política científica nacional, de amparo às instituições de pesquisas e aos pesquisadores. Já em 1952, estimulado pelo prestígio internacional da física brasileira graças aos trabalhos de *Lattes*, *Alvaro Alberto*, Presidente do CNPQ, patrocinou um *Simpósio sobre novas técnicas de pesquisa em física*, organizado pela Academia Brasileira de Ciências e pela Universidade de São Paulo com a colaboração da UNESCO. Teve então o CBPF a visita de físicos vindos de vários países tais como: *Manuel Sandoval Vallarta*, *Marcos Moshinsky*, do México, *Ricardo Gans* e *José Balseiro*, da Argentina, *Herbert L. Anderson*, *I.I. Rabi*, *R.G. Herb*, *Sérgio de Benedetti*, *Martin Deutsch*, *Eugene*

P. Wigner, Leona e John Marshall, Donald Kerst, dos Estados Unidos; Von Weizsäcker, R. Oehme e W. Macke, da Alemanha.

Foram anos de dificuldades, de muito trabalho e de grandes alegrias, de consciência de que se estava trabalhando bem, formando jovens físicos e contribuindo para o desenvolvimento da ciência no Brasil. Nessa ocasião, *Alvaro Alberto* nos levou a visitar o Presidente *Getúlio Vargas* que apoiava a política científica e a política da energia atômica conduzida pelo CNPq.

Lattes era certamente a figura central nessas reuniões. Por sugestão de *Rabi*, resolveu o CNPq formular um projeto de construção de um ciclotron similar ao da Universidade de Chicago, o de mais alta energia na época. *Rabi* dizia que como a USP tinha um betatron e instalava um Van de Graaff, era mais interessante que o CBPF construísse uma máquina no domínio das energias mais altas. *Rabi* era certamente um físico interessado no desenvolvimento das pesquisas físicas nos países que mostrassem possibilidades para tal e foi ele um dos que mais contribuíram para a construção de CERN em Genebra. Formou-se então uma equipe de engenheiros brasileiros e americanos, tais como *Mário Amoroso*, *Roy Schwarz* e verificou-se a capacidade do Arsenal da Marinha no Rio de Janeiro de construir componentes para o acelerador.

Infelizmente, a ciência que se pratica em um país depende das condições da estabilidade política e do desenvolvimento econômico desse país. A ciência requer não somente apoio do Governo mas também compreensão da sociedade e um clima de confiança e tranquilidade. Os anos que se seguiram à fundação do CBPF e do CNPq caracterizaram-se por debates acirrados na esfera política; e uma oposição tenaz ao Governo *Vargas* conduziu a uma crise nacional profunda que levou ao suicídio, em 1954, do Presidente *Getúlio Vargas*. Com a demissão do Almirante *Alvaro Alberto* da Presidência do CNPq, mudaram os programas deste órgão e foi cancelado o projeto CNPq-CBPF para a construção do grande ciclotron.

Desta crise resultou um abalo da saúde de *Lattes*; regressou aos Estados Unidos, trabalhando na Universidade de Chicago e, no Brasil, foi convidado por *Mário Schenberg* a instalar um laboratório na USP. Vindo sempre ao CBPF, estimulou as pesquisas em raios cósmicos e estabeleceu uma importante colaboração de físicos japoneses *Y. Fujimoto* e *S. Hasegawa* e colaboradores com o CBPF, com a USP e com a Universidade de Campinas, onde formou um

grupo de física de altas energias. Seus trabalhos neste domínio, com exposição de sistemas especiais de emulsões nucleares - câmaras de emulsões nucleares e chumbo - em Chacaltaya têm dado lugar à descoberta de novos eventos produzidos pela radiação cósmica¹. Entre estes há o famoso evento produzido por partículas primárias de alta energia, denominado CENTAURUS, de grande multiplicidade de bárions mas com a estranha característica de ausência de fótons que proviriam da desintegração de píons neutros, logo indicando ausência destes píons e, por simetria, de píons neutros e carregados. Este processo até hoje não foi detectado em aceleradores e é motivo de discussão entre os físicos de altas energias.

Não tenho mais espaço para alongar-me.

Eis a trajetória resumida de meu amigo *Cesare Mansueto Giulio Lattes*, desde a sua juventude como estudante na USP, passando pela fama que adquiriu aos 23 anos com a descoberta dos píons e múons, dedicando-se em seguida a construir o CBPF e assim expandiu sua ação no Brasil e na América Latina. Quando em 1959, de regresso do México e de Buenos Aires lhe disse que na Argentina existia o Centro Latino-Americano de Matemática patrocinado pela UNESCO e que cabia ao CBPF, em face do grande número de estudantes latino-americanos que para cá vinham, propor à UNESCO a criação do Centro Latino-Americano de Física, ele imediatamente submeteu a idéia ao CTC e daí resultou o CLAF, fundado nos anos '60 e aprovado por governos latino-americanos e atualmente em plena atividade.

Ao completar os seus 70 anos sentar-me-ei proximamente com Lattes em torno de uma garrafa de whisky - como fazíamos no início do CBPF para acertar diferenças de vistas, discutir dificuldades e comemorar vitórias - agora para relembrarmos os anos heróicos as várias crises que atravessou o CBPF, sempre resistindo, e a grande vitória que tem sido a sua trajetória como um brasileiro que tem o seu nome registrado na história da física universal.

Muitos anos de vida : Ave Cæsar !

1 P.A. Pompeia, M.D. Souza Santos, G. Wataghin, *Phys.Rev.* **57**, n. 61 (1940)

2 M. Schönberg, *Rendiconti della Acad. Naz. dei Lincei*, **20**, n.81 (1937)

3 G. Gamow and M.Schönberg, *Phys.Rev.* **58** n. 147 (1940); *Phys.Rev.* **59**, n.539 (1941)

4 S. Chandrasekar and M. Schönberg, *Astrophys.. J.* **96**, n.161 (1942)

- 5 J. Leite Lopes and M. Schönberg, *Phys.Rev.* **67**, 122 (1945)
- 6 C.M.G. Lattes, M. Schönberg and Walter Schützer, *An. Acad. Brasil. Ci.* **19**, n.3 (1947)
- 7 M.Schönberg, *Classical theory of the point electron*, *Summa Bras. Mat.* vol I fasc. 5, 49 (1946); J. Leite Lopes *High Energy neutron-proton scattering and the meson theory of nuclear forces with strong coupling*, *Summa Bras. Phys.* vol I, fasc. 1 (1947); M. Schönberg, *The hamiltonian formalism of relativistic dynamics*, *Summa Bras.Phys.*, vol I fasc. 2 (1947).
- 8 C.M.G. Lattes, G.P.S. Occhialini and C.F. Powell, *Nature*, **160**, n.453, 486 (1947)
- 9 H.L.Anderson, *Early History of Physics with Accelerators*, *J.Physique, Colloque C8, suppl. au n.12, tome 43*, C8-101 (1982)
- 10 C.M.G. Lattes and E. Gardner *Science* **107**, 270 (1948)
- 11 C.M.G. Lattes, Y.Fujimoto, S. Hasegawa *Phys Rep.* **65**, 151 (1980)

Apêndice

Reprodução do manuscrito da carta de Lattes a Leite Lopes datada de 16 de julho de 1947¹

Caro amigo,

Recebi a tua carta de 11 de julho e fiquei muito contente por saber que estás bem e trabalhando. Estou aqui em Cambridge, Massachusetts, onde estou trabalhando no MIT. Estou muito contente por saber que estás bem e trabalhando. Estou aqui em Cambridge, Massachusetts, onde estou trabalhando no MIT.

Estou muito contente por saber que estás bem e trabalhando. Estou aqui em Cambridge, Massachusetts, onde estou trabalhando no MIT. Estou muito contente por saber que estás bem e trabalhando. Estou aqui em Cambridge, Massachusetts, onde estou trabalhando no MIT.

Estou muito contente por saber que estás bem e trabalhando. Estou aqui em Cambridge, Massachusetts, onde estou trabalhando no MIT. Estou muito contente por saber que estás bem e trabalhando. Estou aqui em Cambridge, Massachusetts, onde estou trabalhando no MIT.

¹ N.E. Nessa carta, remetida poucos meses após a publicação do trabalho onde é revelada a instabilidade do pion, *Lattes* discute a estatística então disponível da desintegração $\pi-\mu$; fica também claro desse texto que já na ocasião estavam cunhados, pelo grupo de Bristol, os termos universalmente adotados: “méson- π e méson- μ ”

Bristol 16/11/47

Caro Lattes.

Requiere rapidamente, é uma carta pois estou afrettado. - escreverei novamente para a semana.

Parabéns pela atividade e resultados. Trabalho muito animado.

Hewario: escreverei ao Poirembon e vii v. do seu País dentro de 2 semanas.

Fralho: escreverei seu seguida.

n-n scattering. Pensei que seria possível formoselo com uma mistura de neutrões lentos e a Pilha com telas líquidas e usando isto como target...

Duplos meus:

7 curas já encontradas, em que o meson sempre obtido termina na emulsão. Alcance (Range)

homogeneo = 60 ± 8 μ verois. Energia = 4 Mes.

Massa do secundário definitivamente menor que a do primário (grain counting mostra isto e momento definido).

Razão de massas: ainda não temos suficiente n° de medições para dar valor preciso mas fica entre $\frac{m_p}{m_s} = 1.3$ e 2.2.

Se $\frac{m_p}{m_s} = 1.3$ o processo é $p_p \rightarrow p_s + h^0$ (-50-90) ou neutro

ou $\frac{m_p}{m_s} = 2.1$ $p_p \rightarrow p_s + \mu$ neutro de mesma massa que p_s .

As massas absolutas também não foram determinadas com precisão mas são da ordem de

$m_p \sim 320$ e.m.u.

Em 400 μ mostram que terminam nas emissões
 7 têm secundária maior que 500 μ (espessa
 da emissão 50 μ a 100 μ) considerações de
 ângulo sólido mostram que esse 7 corresponde
 na realidade a 5-12 μ deplet, mesmo (obtusos
 o process de μ -decay).

65 missões são capturadas por nucléos e os
 demitogram, de maneira que dos 400 μ temos

120 primários (π)	} μ -missões
120 secundárias (μ)	
65 negativos capturados	

O μ -decay é, pois, muito comum e, pela
 existência que temos, todos os missões que não
 são capturados sofrem μ -decay antes de ocorrer
 β -decay.

Temos 10 missões emitidas por nucléos em
 explosões, dois desses missões são por sua vez
 capturados e dão nova emissão:

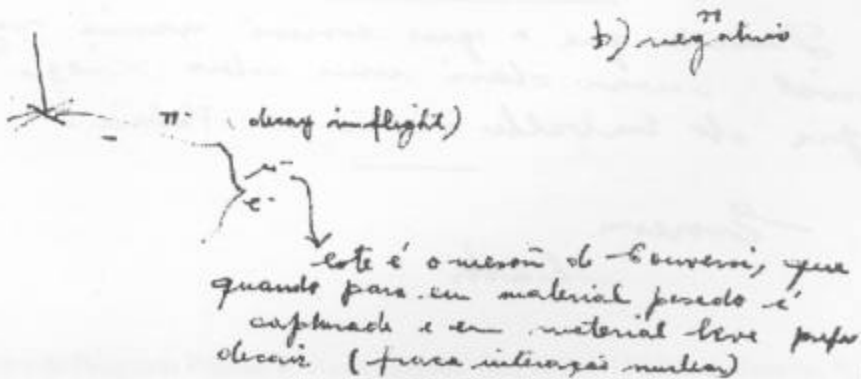
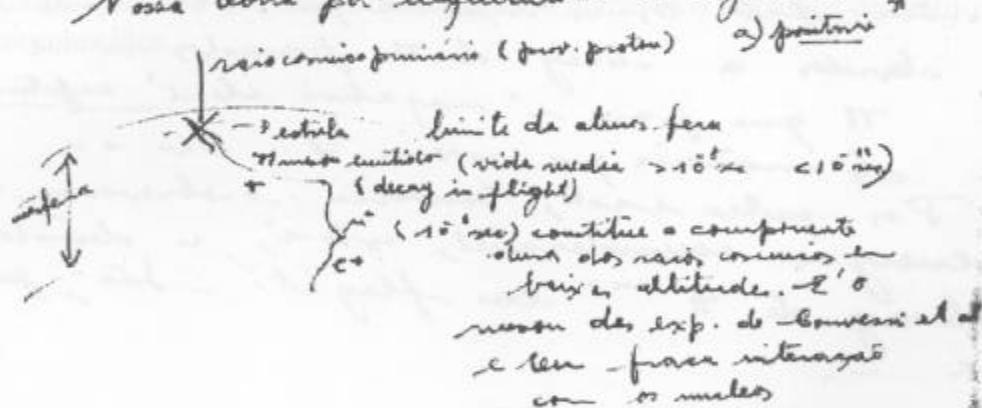
~~X~~ nucléos explosão
 missões emitidas \rightarrow ~~X~~ nova emissão

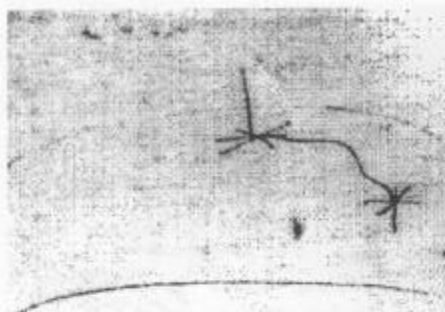
Considerações de ângulo sólido mostram
 que a emissão de missões por nucléos em explosões
 (provocada por μ -missões não identificadas) é
 muito comum. Além disso não se poderiam
 observar missões de energia < 6.4 e, de maneira
 que, levando em conta o ângulo sólido e

o depósito de energia (superfície, p. ex., superfície) —
 verifica-se que em 1ª aproximação, mesons
 são emitidos, por nucleos, sempre que haja
 energia suficiente para isso.

Simple cálculo mostra que os mesons
 que observamos, terminam na placa são produzi-
 dos pelo material mesmo da placa. Não
 há lugar para mesons⁺ produzidos da atmosfera,
 e que indicia que a vida é bem mais
 curta que $2 \cdot 10^6$ seg (10^4 cm).

Nossa teoria por enquanto é a seguinte:




 e) negativo (23)
 se o π mesmo para antes de
 desintegrar, ele é sempre
capturado (forte interação)

e) Explora porque nossos π mesons não são
 estúpidos, apesar de serem $+1 -$ (-convên),
 enquanto que -convên acha que "são captura-
 dos, e o material de stopping é pesado.
 De fato, os π mesons que observamos são
 devidos a decay de π parados, e se o
 π que para é negativo ele é capturado,
 de maneira que nossos π são $+$.
 Por outro lado, convên e observamos a
 energia considerável, isto é, o decaimento a
 decay de π^+ ou π^- em flight. São, pois, $+$
 e $-$.

Desejo que o que escrevi acima seja compre-
 sível, mas claro como água. Logo, mandarei
 copia do trabalho à sair em Nature.

Escreva

L. Lopes

Juan José Giambiagi



Nasceu em Buenos Aires, em 1924. Recebeu seu Ph.D. em Física pela Universidade de Buenos Aires em 1950. Logo veio para o Brasil, onde foi feito Professor Titular no CBPF. Foi Diretor do Centro Latino-Americano de Física e da Faculdade de Ciências da Universidade de Buenos Aires. É Professor Titular da Universidade de La Plata. É detentor do Prêmio Richard Gans da Universidade de La Plata de 1983 e do Prêmio Nacional Argentino de Ciências Puras, de 1989; foi distinguido com o Prêmio México de Ciência e Tecnologia de 1991. É membro da Academia Brasileira de Ciências, da Academia Argentina de Ciências, da Academia Latino-Americana de Ciências e do Conselho Científico do Centro Internacional de Trieste. É especialista em Teoria Quântica de Campos onde publicou numerosos trabalhos de méritos reconhecidos.


Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, R. Xavier Sigaud 150, 22290-180, Rio de Janeiro, RJ

Influência de Cesar Lattes na Física Argentina

J.J. Giambiagi

Era o ano de 1947. O jornal “La Prensa” costumava publicar aos domingos um suplemento em rotogravura no qual apareciam fotografias dos principais eventos que aconteciam no mundo. Eu era estudante de física do último ano e procurava acompanhar as notícias referentes à matéria. Foi assim que num domingo vi aparecer a foto do grupo de Bristol, que tinha descoberto o méson- π . Sob a foto estavam os nomes de todos eles, destacando explicitamente no caso do jovem *Cesar Lattes*, a condição de físico brasileiro de vinte e três anos. Foi a primeira vez que todos nós vimos o nome de *Cesar Lattes*, e claro que naqueles tempos, quando parecia que a ciência era somente feita em inglês pelos sábios do hemisfério norte, ver aparecer o nome de um brasileiro, um de nós, de nossas latitudes, foi motivo de profunda satisfação.

Nessa época, tinha sido levado à Argentina um físico austríaco, *Guido Beck*, que tanto fez pelo incremento do contato entre físicos argentinos e brasileiros e que começou por induzir uma visita de *Mario Schönberg* a Buenos Aires no ano de 1948, e no ano seguinte a visita de três físicos argentinos a S.Paulo. Essa visita motivou pelo menos duas teses de doutorado; um dos visitantes, a profa. *Estrella Mazzolli de Mathov*, voltou feliz porque o famoso *Cesar Lattes* tinha lhe dado de presente umas chapas de emulsões nucleares que haviam chegado de Bristol. Imediatamente *Estrella* formou um grupo de estudantes: *Hans Roederer*, *Beatriz Cougnet* e *Pedro Walloshek*, para trabalhar com as chapas. Eles trabalharam com muito entusiasmo e acontece que nessa época, um físico alemão, *Wirtz*, que tinha sido colaborador de *Heisenberg* nos trabalhos anteriores à queda do nazismo (reator de Urânio natural visando obter Plutônio...) e depois acompanhou *Heisenberg* no exílio forçado na Inglaterra, visitou a Argentina. Ele continuava associado a *Heisenberg*, agora em Heidelberg, onde trabalhava em raios cósmicos. Chegando a Buenos Aires surpreendeu-se, encontrando um grupo de jovens muito competentes fazendo um trabalho que seria muito razoável em qualquer país europeu. Foi assim que



recomendou fortemente o grupo às autoridades argentinas (uma recomendação em alemão é sempre mais poderosa que em nossas línguas) e a Comissão de Energia Atômica contratou todos eles. O grupo de raios cósmicos começou sob a direção do Prof. *Cichini*, depois passou à direção do Prof. *Roederer*. Posteriormente foi criado, por acordo com a Comissão de Energia Atômica, as Universidades de Buenos Aires e La Plata, e o CONICET, o Instituto Argentino de Física Espacial (IAFE), formado com o grupo que se originou com aquelas chapas que *Cesar Lattes* mandou à Argentina.

Claro que houve também uma grande influência de *Lattes* do tipo indireto, já que o Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, criado em grande parte pela influência de *Lattes*, teve muita repercussão não só na Argentina como no resto da América Latina.

Carlos Aguirre B.

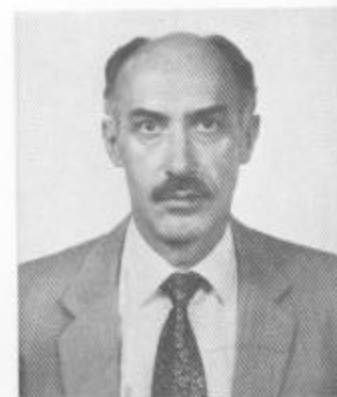
Nasceu em La Paz, em 1942. Graduiu-se pela Oklahoma University, USA, e continuou seus estudos no CBPF. Foi Pesquisador do Instituto de Pesquisas Físicas da Universidade Mayor de San Andrés, La Paz e seu Diretor, Secretário Geral e Diretor do seu Centro de Coordenação e Planejamento de Pesquisas. Professor Visitante: no Instituto de Pesquisas Físicas e Químicas (Japão), na Faculdade de Ciências da Universidade de Cuyo (Argentina); no Instituto de Física Nuclear Pura e Aplicada da Universidade Albrechts (Alemanha) e no Conselho Astronômico da Academia de Ciências da União Soviética. Professor Associado do Centro Internacional de Física Teórica de Trieste. Tem, como autor e co-autor, numerosos trabalhos em física cósmica, política científica, educação, meio ambiente e energia.

Foi Diretor Nacional de Ciência e Tecnologia do Ministério de Planejamento e Coordenação da Bolívia e Chefe do Departamento de Tecnologia do Acordo de Cartagena, no Peru; Secretário do Conselho Andino de Ciência e Tecnologia e Secretário da Subcomissão Mixta da Cooperação Andina-Européia em Ciência e Tecnologia.

É Professor Titular na Faculdade de Ciências Puras da Universidade Mayor de San Andrés; Membro do Comitê de Observações em Emulsões Nucleares da Comissão de Raios Cósmicos da IUPAP; do Comitê de Desenvolvimento da Física Fundamental dos Países Andinos; Consultor-Assessor do Projeto de Monitoração de Novas Tecnologias da Universidade Andina Simón Bolívar e da Comissão das Comunidades Européias; Suplente, pela Bolívia, da Comissão Diretora da Universidade Andina, do Comitê Assessor de Física da UNESCO desde dezembro de 1993.

É Presidente da Academia Nacional de Ciências da Bolívia; Terceiro Vice-Presidente do Conselho Nacional de Ciência e Tecnologia; Vice-Presidente da Federação de Academias de Ciências da América Latina e do Caribe; Membro do Conselho de Administração do Centro Internacional de Física para a América Latina; Presidente da Associação Andina de Editores Científicos. Correspondente Estrangeiro da Academia de Ciências de Buenos Aires.

Academia Nacional de Ciencias de Bolivia, Av. 16 de Julio, Casilla 5829, La Paz



Cesar Lattes y el Desarrollo de la Ciencia en Bolivia*

Carlos Aguirre B

SUMMARY

* El presente trabajo es el resumen de un ensayo que, sobre la historia del Laboratorio de Física Cósmica de Chacaltaya, prepara el autor y que será publicado durante 1994.

In spite of enormous limitations to develop new knowledge, there are institutions and researchers in small developing countries, which have made transcendental contributions to science. One such case is that of the Chacaltaya Cosmic Ray Laboratory of the Universidad Mayor de San Andrés in Bolivia.

In 1939, *Ismael Escobar*, a worker in the Spanish Air Force, arrived, as a political refugee, at France and in 1941 at Bolivia. He started as a meteorologist in the Ministry of Agriculture. By 1942 he had installed a network of stations including one on top of Mount Chacaltaya 5200 m a.s.l., near the city of La Paz.

In 1946 *Cesar Lattes* arrived at Chacaltaya, from Bristol, bringing newly developed nuclear emulsions. The exposures made to cosmic rays soon revealed the importance of the technique and the site used. One of the most important discoveries of the century was made: the $\pi - \mu$ decay. The paper of *Lattes, Occhialini* and *Powell*, published in *Nature* revealing this discovery made Chacaltaya known the world over.

Escobar proposed then to open a laboratory. Both the University and the Government authorized its creation early in 1952. Before this year several scientific expeditions visited Bolivia to expose nuclear emulsions to cosmic rays, among them: *Maurice Shapiro* (Naval Research Laboratory, Washington), *Herman Yagoda* (National Bureau of Standards), *Marcel Schein* (Chicago University) and *Hervasio de Carvalho* (Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas).

On March 3, 1952 an aluminum hut was brought to Chacaltaya. It served as a home for scientists and workers. The first official visitor to the Laboratory was Frank Harris. He arrived at La Paz in April, just in time to spend a few

days underground while one of the bloodiest revolutions in Bolivia was taking place. Later on this year an Agreement between the University and the Centro Brasileiro de Pesquisas Fisicas was signed. Today the cooperation between Bolivia and Brasil continues under the spirit of the Agreement, thus making it one of the oldest in America.

Within the first two years, scientific expeditions from several countries arrived at Chacaltaya. By then the infrastructure of the Laboratory had greatly expanded. A power line constructed with materials donated by the government and new buildings, both in the mountain and in the city, facilitated the work of the scientific groups. The early equipment mounted in Chacaltaya, cloud chambers, and others, served for initial studies on extensive air showers, the east-west asymmetry, etc. The first results were presented by the end of 1952 in the Laboratory's journal. Today, after 42 years, this journal is one of the oldest in Bolivia.

Since 1955 international meetings were organized in Chacaltaya . 1957 marks the beginning of a series of six Interamerican Symposiums on Cosmic Rays. The fifth and sixth were also held in La Paz During the last one, in 1970, important works were presented and the rapporteurs delivered their talks at the closing session under the mist of tear gases, bullets and general pandemonium, while the Bolivian Army occupied the university premises, chasing students in a revolt initiated that same day.

The Laboratory was also used for other purposes. A medical team of the Donner Laboratory of the University of California and of the US Naval Ordinance Laboratory, measured the infrared component of solar radiation. The US Naval Research Laboratory detected the first nuclear explosion in the Sahara. Later the Universities of Manchester and Wisconsin carried out infrared astronomy experiments. The Bolivian High Altitude Biology Institute used the Chacaltaya workers and scientists for their first studies on the adaptation of men in high altitude. Also the Laboratory started near La Paz ozone and ionosphere measurements.

Between 1960 and 1962 two important projects were initiated in Chacaltaya. The Bolivian Air Shower Joint Experiment (BASJE) and the Emulsion Chamber Experiment of the Brazil-Japan collaboration.

BASJE was born out of the early contacts made by Escobar and later on Minoru Oda, with Bruno Rossi at M.I.T. and the early experiments on air showers carried out in El Alto by US and Brazilian researchers. Its main objectives were centered in the search for gamma ray initiated air showers at energies larger than 10^{14} eV; search of heavy primaries and the study of high energy nuclear interactions. For those purposes a large scintillator array was constructed, accompanied by a 60 m^2 lead shielded detector, a cloud chamber and Cerenkov detectors. The experiment initiated its activities in 1962. By mid 70's the American groups left the cooperation and since then it has been a Bolivia-Japan endeavour.

Some of the main results were the establishment of the primary cosmic ray spectrum in the energy range 10^{15} - 10^{17} eV; the experimental evidence of the energy dependence of the impact cross section for protons; the establishment of the surviving primary proton spectrum. It contributed to improve knowledge on the origin of heavy primaries, the establishment of the spectrum at energies larger than 10^{18} eV and others. It was the originator of gamma ray astronomy. At present observations are centered in very high energy initiated showers.

In the development of events that gave birth to the Laboratory and its later growth, the presence of Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas as an institution, Cesar Lattes and many other Brazilians stand out. Early names include Giuseppe Occhialini, Ugo Camerini, Roberto Salmeron, Hervasio de Carvalho, Georges Schwachheim, Andrea Wataghin, Fernando and Suzana Souza Barros, Ricardo Palmeira and Rudolph C. Thom. Much later, Edison Shibuya. A large part of all that effort throughout the years was carried out and closely followed up by Alfredo Marques.

One of the main results of this cooperation was the establishment of the Brazil-Japan collaboration. It was initiated from the contacts of Japanese physicists led by Nobel laureate H. Yukawa with Cesar Lattes. The project set itself to install nuclear emulsion chambers in Chacaltaya to study interactions at energies around 10^{14} eV. In mid 1962 Cesar Lattes, Alfredo Marques and Japanese colleagues led by Y. Fujimoto and S. Hasegawa set up the first chamber. Others have been built without interruption since then. For over 30 years the collaboration was able to describe meson multiple production

processes. In particular the identification of highly excited nuclear matter: a) mirim, with rest energies around 2~3 GeV; b) açu, with rest energies around 15~30 GeV and c) guaçu, with rest energies around 100~300 GeV. Exotic interactions have also been observed.

In 1963 *Ismael Escobar* left the Laboratory. The directorship was occupied afterwards by *Raphael Vidaurre* (1963-1967); *Oscar Saavedra* (1967-1968); *Gastón Mejía* (1969-1973); *Carlos Aguirre* (1973-1978). Many more would come later. In 1973 the Physical Research Institute was created and experiments in geophysics, solid state physics, astronomy and others were carried out. Two new cosmic ray experiments were added to Chacaltaya, one of the University of Saitama in Japan and a second one by the University of Torino in Italy.

"The studies carried out at Chacaltaya have contributed to improve knowledge of cosmic ray physics in a measure out of all proportions, if compared with countries of similar development conditions". Of importance was also the development of human resources. Today they contribute to science, technology and other activities both in Bolivia and abroad. At the same time the Laboratory contributed to the creation of several institutes. Its presence broke the isolation of the Bolivian scientific community. The creation of working conditions at Chacaltaya was not easy. But, both at the physical and intellectual levels, Chacaltaya represented a challenge duly met. Many people have participated in this "mistic" cosmic adventure of great impact on science. In this opportunity I simply wish to remember one name: *Cesar Lattes*.

1. Introducción

Países pequeños como Bolivia tienen enormes limitaciones para poder generar conocimiento en la frontera de la ciencia. Las causas son muchas y existen una serie de diagnósticos que las identifican. El atraso científico es a su vez motivo de atraso tecnológico y por tanto económico y social. A pesar de un entorno difícil, existen instituciones e investigadores que han logrado realizar contribuciones al avance del conocimiento y al desarrollo que son de enorme

transcendencia . Uno de estos casos es el del Laboratorio de Física Cósmica de Chacaltaya de la Universidad Mayor de San Andrés de La Paz.

He accedido a la invitación de mi amigo *Alfredo Marques*, para escribir este ensayo por varios motivos. El más importante, resaltar el aporte de *Cesar Lattes* al Laboratorio y por tanto a la ciencia boliviana: al mismo tiempo reconocer que ese aporte fué también producto de los esfuerzos de un grupo de varios científicos brasileiros y resultado de uno de los acuerdos de cooperación científica bilateral más antiguos de América Latina.

Por otro lado la historia del Laboratorio no ha sido recogida en extenso. En 1993, en ocasión del 50 Aniversario de actividad científica en Chacaltaya decidí que era oportuno escribirla. Este ensayo hace parte de una historia que será publicada durante 1994 precisamente conmemorando esta significativa ocasión.

2. Orígenes del Laboratorio

La historia de la física cósmica en Bolivia data de 1927 cuando una expedición del físico norteamericano *Millikan* visitó América del Sur realizando observaciones sobre la variación de intensidad de la radiación cósmica con la latitud. Al parecer, esta misión no involucró a científicos bolivianos y no creó por tanto interés en continuar con las investigaciones en esta nascente disciplina.

La historia del Laboratorio se inicia a finales de la Guerra Civil española, durante la cual el físico Dr. *Ismael Escobar V.* trabajaba para la Fuerza Aérea de ese país. En 1939 *Escobar* llegó a Francia como refugiado político y hacia finales de ese año pasó a América en un barco francés que se dirigía a la isla de Martinica y que lo dejó en Santo Domingo. Después de un año en la República Dominicana, pasó a Bolivia en julio de 1941 y empezó trabajando como metereólogo en enero de 1942. Su trabajo consistió en instalar y operar una red de estaciones meteorológicas en apoyo de los trabajos del Ministerio de Agricultura¹.

En 1942 se instaló en el Monte Chacaltaya a 5.200 m sobre el nivel del mar una de las estaciones de la red meteorológica, que incluyó equipos para

medir el tiempo e intensidad de la radiación solar. La instalación de la estación fué facilitada por la existencia de un camino y de una casa construida dos años antes por el Club Andino Boliviano, siendo entonces responsable de éste *Alfred Hendel*, vinculado posteriormente al Laboratorio y actualmente Profesor Emérito de la Universidad de Michigan.

Ló que se concibió en 1942 como una red de estaciones para "monitorear" las condiciones del tiempo en favor de la agricultura, se convirtió, gracias a *Ismael Escobar*, en el Servicio Meteorológico de Bolivia. En 1943 el Presidente de la República, Coronel *Gualberto Villarroel* inauguró en la cima de Chacaltaya (5.600 m) una nueva caseta meteorológica como parte del Servicio. A partir de ese año se inician observaciones de carácter científico con importantes aportes al conocimiento de la climatología local. Los informes meteorológicos mejoraron el análisis de la dinámica de las masas de aire y consecuentemente la precisión de las medidas y previsiones de tiempo para el aeropuerto y ciudad de La Paz. A partir de entonces se produce también una importante revista científica que tendría continuidad por muchos años, *Nimbus*.

3. Primeros Experimentos y Fundación del Laboratorio

En 1946 la "aventura cósmica" se inicia en Bolivia. El grupo de Rayos Cósmicos de la Universidad de Bristol, liderizado por el Prof. *Cecil Powell*, y compuesto entre otros por los físicos *Cesar Lattes* (Brasil) y *Giuseppe Occhialini* (Italia), buscaba un sitio en el mundo donde exponer unas recientemente desarrolladas emulsiones nucleares a la radiación cósmica. Es probable que, por sugerencia de los meteorólogos españoles Dr. *Mariano Doperto*, Director del Servicio Meteorológico de Irlanda y del Dr. *Duperier*, colaborador del Laureado Nobel, Prof. *Blackett*, en Londres y quienes conocían de Chacaltaya y Escobar, que el grupo de Bristol piensa en la posibilidad de utilizar la estación. Por su lado *Lattes* insistía en un sitio en los Andes y luego de una visita al Departamento de Geografía de Bristol, sugiere Chacaltaya.

En 1946 *Lattes* llega a Bolivia haciendo uso de sus vacaciones y prácticamente con sus propios recursos²; trae consigo las recientemente desarrolladas emulsiones nucleares que expone en Chacaltaya. Las exposiciones revelan pronto la importancia de la técnica utilizada y el lugar elegido. Se

descubre el decaimiento $\pi - \mu$, partículas responsables de las fuerzas nucleares. El descubrimiento hace a *Hideki Yukawa* del Japón acreedor al Premio Nobel de 1949 y a *Powell* acreedor al mismo Premio en 1950³. Los trabajos científicos publicados en *Nature* bajo la autoría de *Lattes, Occhialini y Powell* hacen conocer Chacaltaya a todo el mundo⁴. Poco tiempo después, *Gardner y Lattes* realizan el descubrimiento de mesones producidos artificialmente con un sincrociclotrón en la Universidad de California en los Estados Unidos⁵.

Como señala *Alfredo Marques* "para nosotros en Brasil y América del Sur el descubrimiento tuvo dos extensiones importantes: la revitalización y potenciación de los propósitos del viejo observatorio, hoy Laboratorio de Física Cósmica en Chacaltaya, vinculado a la Universidad Mayor de San Andrés, y la creación en Rio de Janeiro del Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas". En el caso del Japón el descubrimiento permite a los teóricos de ese país a pasar a un primer plano. No solo se verifica la teoría de Yukawa, sino también se fortalecen las propuestas de *Tomonaga y Sakata*.

Con tales antecedentes se estudia la posibilidad de crear una base permanente que sirviera a la comunidad científica internacional para sus estudios sobre la radiación cósmica. Al comienzo de 1949 *Ismael Escobar* presentó al Rector de la Universidad una propuesta para construir en Chacaltaya un laboratorio⁶. Puesto que el futuro sitio estaba localizado en un Parque Nacional, la Universidad inició un trámite para obtener un permiso especial, él mismo que fué concedido muy poco tiempo después⁷.

Ese mismo año *Maurice Shapiro* (Naval Research Laboratory, Washington), *Herman Yagoda* (National Bureau of Standards), *Marcel Schein* (Universidad de Chicago) y *Hervasio de Carvalho* (Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas), visitaron La Paz para exponer emulsiones fotográficas en Chacaltaya. Con la colaboración del Club Andino Boliviano, un grupo consiguió colocar un número de ellas en el Monte Sajama, en la frontera con Chile, las que nunca pudieron ser recuperadas⁸. *de Carvalho* colocó sus emulsiones a diferentes profundidades del lago Titicaca.

En septiembre de 1950 Escobar obtuvo una beca Guggenheim y bajo el liderazgo del Prof. *Bruno Rossi* inició la colaboración del Laboratorio con el Massachusetts Institute of Technology, la que duraría cerca a 20 años. En 1951 visitó la Universidad de Colorado (Echo Lake) donde junto a *Frank Harris*

probó nuevos equipos para determinar la anisotropía Este-Oeste de la intensidad de mesones- μ . Más tarde, en 1951, el Rector de la Universidad Mayor de San Andrés y el Consejo Universitario aprobaron oficialmente la creación del Laboratorio de Física Cósmica de Chacaltaya, como un "centro de investigaciones, enseñanza y observaciones meteorológicas" a ser operado por la Universidad Mayor de San Andrés y por el Servicio Meteorológico de Bolivia.

4. El Crecimiento del Laboratorio

Las actividades del Laboratorio empiezan el 1 de enero de 1952. Se obtiene en donación una pequeña casa de aluminio la que es llevada a Chacaltaya por estudiantes, amigos y miembros del Club Andino, el día 3 de marzo⁹. Esta sirvió como el primer albergue para los científicos. Al mismo tiempo se acopló un motor diesel para proveer energía eléctrica a los equipos probados en Echo Lake para el estudio de la asimetría de mesones positivos y negativos en el ecuador geomagnético. En agosto de 1952 se inauguran en Chacaltaya nuevas instalaciones.

Frank Harris y su familia llegaron a La Paz en abril de 1952, justo a tiempo para pasar varios días en el sótano de su casa mientras fuera tomaba lugar una de las más sangrientas revoluciones de la historia de Bolivia. El experimento de *Harris* culminó como su tesis doctoral.

Entre 1951 y 1953 *Escobar* cumplió la doble función de Director del Servicio Meteorológico y Director del Laboratorio de Física Cósmica. En 1953 dejó el Servicio para asumir las funciones de Profesor de física en el Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas. En estos años *Juan Hersil* trabajó intensamente en el M.I.T. con *George Clark* y *Bruno Rossi* preparando un experimento sobre "chubascos atmosféricos extensos" a ser instalado en Bolivia.

A partir de 1954 llegan a Bolivia expediciones de todas partes del mundo para la ejecución de proyectos de investigaciones en rayos cósmicos y materias afines. Grupos de Estados Unidos, Brasil, Gran Bretaña, Japón, India, Italia, Francia, Argentina, Unión Soviética y otros, conforman un impresionante grupo de investigadores que, junto a sus colegas bolivianos, construyen la moderna ciencia de la radiación cósmica.

En 1954 la infraestructura del Laboratorio en Chacaltaya se había expandido. La oficina en La Paz contenía una importante biblioteca y salas de conferencias. Este año se completó la construcción de la línea eléctrica hasta Chacaltaya. Operó inicialmente a 6 KVA para rápidamente pasar a 36 KVA. El material utilizado fue donado por el Gobierno de Bolivia de los restos de una mina de estaño. Personal del Laboratorio desmontó la línea de la mina y la transportó más de 160 km al Laboratorio. Su interconexión con la red local fue lograda por *Juan Hersil* y *Alfonso Lazo* y 14 trabajadores. Fueron colocadas 226 torres y más de 2000 kg de alambre de cobre.

Los primeros resultados de las actividades del Laboratorio se conocen en junio de 1952. Los reportes anuales se han publicado sin interrupción desde entonces, bajo el título de "Resumen de Labores", convirtiéndose éste en una de las revistas científicas más antiguas de la Universidad Mayor de San Andrés¹⁰.

Durante el año 1954 *Kurt Sitte* de la Universidad de Syracuse llega a Chacaltaya con otro experimento para estudiar los chubascos atmosféricos extensos. Al mismo tiempo los Drs. *Gottlieb* y *Hertzler* de la Universidad de Chicago montan una de las primeras "Cámaras de Wilson". Nuevos experimentos para medir el "camino libre medio de colisión" en carbón y otros elementos fueron también instalados.

En colaboración con la UNESCO, en 1955, se organizó el Primer Curso Interamericano de Física Moderna. En él, físicos de Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Ecuador y Paraguay estuvieron presentes. Durante su estadía en La Paz, a propósito del curso, uno de los instructores, el Dr. *Mario Bunge*, de la Argentina, un distinguido filósofo de la ciencia, publicó su obra "La edad del Universo"¹¹.

En 1957 se desarrolló el Primer Simposio Interamericano de Rayos Cósmicos. En éste, cerca a cincuenta trabajos fueron presentados no solamente por científicos de la región sino también de Inglaterra y Estados Unidos. Desde entonces la serie de Simposios Interamericanos tuvieron un carácter internacional.

También en 1957 el Physical Research Laboratory de Ahmedabad, India, envió a Chacaltaya un telescopio cúbico de mesones capaz de operar como un telescopio vertical de ángulo medio y cerrado. Este telescopio era similar en diseño a otros dos ya trabajando en la India y permitió una interesante

comparación respecto al fenómeno analizado a diferentes alturas. Fueron los Drs. *Vikram Sarabai*, *Narayan Nerurkar* y *Harjit Ahluwalia* quienes iniciaron esta colaboración.

Mis primeros trabajos los inicié precisamente con este grupo. Durante los veranos de 1962, 63 y 64 pasé varias horas en Chacaltaya tratando de mejorar el telescopio y entender la que para mí era entonces una compleja electrónica. En éste mismo tiempo se instaló un importante equipo para medir las variaciones temporales de la radiación cósmica, un monitor de neutrones tipo Simpson. Con él y con otro moderno que le sucedió, trabajaron durante años los físicos bolivianos *Ricardo Anda*, *Nicolas Martinic*, *Magin Zubieta*, *Bruno Aparicio* y *Eduardo Maldonado*.

A partir de 1956 no solamente Chacaltaya sirvió para observaciones de la radiación cósmica. Un equipo médico del Donner Laboratory de la Universidad de California y los Drs. *Herman Templin* y *William Talber* del US Naval Ordinance Laboratory instalaron equipos para medir la componente infraroja de la radiación solar en altura. El US Naval Research Laboratory instaló equipos para medir la radioactividad atmosférica, con el cual se detectó la primera explosión nuclear francesa en el desierto del Sahara. Más tarde las Universidades de Manchester e Wisconsin realizaron experimentos en astronomía del infrarojo y otros temas conexos y el Instituto Boliviano de Biología de Altura utilizó a los físicos y trabajadores de Chacaltaya para servir de "conejiillos de indias" para sus primeros estudios sobre la adaptación y el comportamiento del hombre en la altura.

A partir de 1958 el Laboratorio incrementó sus actividades sustantivamente. La pequeña caseta en la cima de la montaña fué habilitada para albergar nuevos equipos. Entre la estación principal y la cima, en una pequeña mina abandonada, investigadores de la Universidad de Nuevo México instalaron un experimento para medir la interacción de rayos cósmicos con elementos livianos y un telescopio para medir la variación de la intensidad de mesones respecto a la latitud. Estuvo involucrado en éste experimento uno de los "padres" de la física cósmica, el Dr. *Erich Regener*, colaborado por los científicos bolivianos *Abelardo Alarcón*, *Jose Antonio Zelaya* y *René Medrano*.

Este mismo año, en El Alto de La Paz, cerca del Aeropuerto Internacional, *George Clark* del M.I.T. colaborado por *Juan Hersil* instalan un

experimento piloto para observar los chubascos atmosféricos extensos. En éste experimento colaboró *Gastón Mejía* quien posteriormente sería Director del Laboratorio y quien del Alto se trasladó a Cota Cota, en La Paz para participar del experimento sobre ionósfera que se iniciara poco después, montado gracias a una colaboración del US Bureau of Standards.

En 1962 se repite en La Paz la V versión del Simposio Interamericano de Rayos Cósmicos, organizado por el Laboratorio junto a la UNESCO. En las conclusiones finales el Prof. *Kenneth Greisen*, de la Universidad de Cornell, señaló: "encontré a 42 expositores de 11 países diferentes, presentando un total de 58 conferencias... Encontré también que todos los trabajos contuvieron importantes nuevas observaciones ..."12. El Simposio tuvo la activa colaboración del Consejo Latinoamericano de Rayos Cósmicos, organismo que agrupó durante varios años a los diferentes grupos de investigación de la región. Hicieron parte del mismo personalidades como *Manuel Sandoval Vallarta*, de México, *Cesar Lattes*, de Brasil, *Gabriel Alvial*, de Chile.

En éste período participaron en diferentes experimentos otros físicos notables, tales como *R. Armenteros* (España), *G. Occhialini* (Italia), *L. Mattson* (USA), *J. Bland* (Gran Bretaña), *V. Domingo* (España). Entre 1960 y 1962 se inician en Chacaltaya dos proyectos que habrían de ser luego una parte importante de la historia de los rayos cósmicos en el mundo: BASJE y la Colaboración Brasil-Japón.

5. El Proyecto BASJE

El "Bolivian Air Shower Joint Experiment" - BASJE - (Experimento Conjunto sobre Chubascos Atmosféricos), tuvo como objetivos científicos la búsqueda de chubascos generados por rayos gama primarios de energías mayores a los 10^{14} electron-volts (eV); buscar evidencias para la existencia de rayos cósmicos primarios de alto número atómico; y estudiar las características de las interacciones nucleares de muy alta energía.

BASJE tuvo, como antecesor, al proyecto piloto en El Alto. Sus principales constructores fueron, por el M.I.T. *George Clark*, por la Universidad de Tokyo *Koichi Suga*, por el Instituto de Investigaciones Físicas y Químicas (IPCR) del Japón *Kazuaki Murakami*, y por el Laboratorio de

Chacaltaya *Ismael Escobar*. En esta etapa el BASJE tuvo como asistentes de investigación a los bolivianos *Angel Garcia, Ramón Schulczewski, José Ipiña y Israel Saravia*. Más tarde, hacia 1965, llegarían *Koichi Kamata* (IPCR) y *Yoshio Toyoda* de la Universidad de Kobe; luego se unirían *Kevin McKeown, Tatsonosuke Kaneko, Hisashi Yoshii, Shinkishi Shibata* y varios técnicos, *Akiyama, Uchino, Maeda, Takano*, solamente para mencionar algunos nombres de los primeros hombres del BASJE. En 1965, me incorporé al BASJE como asistente y luego desde 1969 sería uno de sus investigadores principales. A partir de 1965 se integraron los bolivianos *Trepp, Mogro y Saavedra*.

El equipo central del experimento consistió en un detector de muones de 60 m^2 destinado a contribuir a la búsqueda de chubascos atmosféricos extensos de bajo contenido de muones como una señal de la existencia de rayos gama primarios de alta energía. La construcción de este detector no fué simple. Consistía en 15 detectores de 4 m^2 cada uno y 800 toneladas de blindaje de mineral de plomo. Se construyó así una importante estructura de concreto reforzado. El plomo fué donado por el Gobierno boliviano. Más de sesenta toneladas de equipo fueron traídas desde Japón y Estados Unidos, por la vía de Arica (Chile) y Mollendo (Peru).

Hacia comienzos de 1961 se instalaron los primeros detectores de densidad de electrones en lugares previamente seleccionados en Chacaltaya. Junto al detector de muones configuraron el equipamiento principal. Cinco de estos detectores fueron destinados a la medición de las diferencias de tiempo de llegada de las partículas para determinar el ángulo de llegada de la partícula primaria. Otra tarea de importancia fué el de proteger los detectores de las variaciones de temperatura que en Chacaltaya han llegado al orden de los 20 grados por día a partir de una temperatura media de 5 grados.

Posteriormente se instaló una "cámara de niebla" de 60 pulgadas sobre el detector de muones. A esta instalación acompañó otra de detectores de radiación Cerenkov. Fueron los principales investigadores en estos dos experimentos *Wayne Hazen, Fred Hendel, y Paul Baker*¹³(Universidad de Michigan), *George Clark, Hale Bradt y Allan Krieger* (M.I.T.).

Hacia el inicio de los años 70, concluye la participación del M.I.T. en BASJE y se integra la Universidad de Maryland con sus investigadores *Martin La Pointe, Gourang Yodh, Howard Laster* y otros. Esta universidad colaboró

con BASJE hasta mediados de los años 70. Desde entonces y hasta ahora BASJE es un proyecto cooperativo entre Bolivia y Japón.

El dispositivo experimental inicial operó prácticamente sin modificaciones hasta 1969 cuando se inició un experimento que midió la llegada a la altura de Chacaltaya de protones primarios. Este experimento mostró la dependencia de la sección eficaz de choque con la energía y determinó el espectro de energía "mínimo" de protones primarios a $550 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}$. En 1972, a la conclusión de este experimento, se inició la ampliación del dispositivo para estudiar chubascos atmosféricos extensos, cubriendo una área de casi 1 km^2 con el propósito de detectar partículas de la más alta energía (mayores de 10^{16} eV) y determinar las características del espectro primario de energía.

En 1963 se presentan los primeros resultados científicos del experimento BASJE¹⁴. A partir de entonces se han producido varias decenas de "papers" que contribuyeron de manera definitiva a la mejor comprensión de los fenómenos cósmicos. Una reciente carta de *George Clark* a *Ismael Escobar*¹⁵ decía "... *James Cronin*, ganador del Premio Nobel de Física y profesor en la Universidad de Chicago acaba de establecer un gigantesco experimento para detectar chubascos atmosféricos extensos en Utah, conteniendo un detector de muones y pretendiendo en parte observar chubascos pobres en muones producidos por rayos gama primarios. El nuevo arreglo, que cuesta millones de dólares, es mayor y mejor que el nuestro, de 30 años atrás, pero el principio es el mismo". Fue el proyecto BASJE el precursor de la astronomía de rayos gama.

6. Nuevas Actividades en Chacaltaya; la Creación del Instituto de Investigaciones Físicas

A finales de 1963 *Escobar* deja el Laboratorio para asumir una posición temporal en el recientemente creado Banco Interamericano de Desarrollo. Junto a distinguidos científicos, entre ellos los Laureados *Feynman* y *Cockroft*, el Banco delinea una política de investigación y educación superior y establece su estrategia de créditos. Lo que era un trabajo temporal se convierte para

Escobar en una estadía de toda la vida. A pesar de su prolongada ausencia mantuvo una estrecha relación con el Laboratorio y sus investigadores. Sus frecuentes visitas a Bolivia estuvieron siempre acompañadas de reuniones con amigos rememorando las primeras épocas del Laboratorio y sus contribuciones. Ciertamente su fuerte personalidad y su bonhomía hicieron de Escobar el "amigo predilecto" de todos quienes transitamos por esta institución. Después de Escobar asumen la Dirección del Laboratorio *Rafael Vidaurre, Oscar Saavedra, Gastón Mejía* y yo mismo, hasta 1978. Luego me sucederían *Ricardo Anda* y muchos otros colegas.

Durante la época inicial del Laboratorio, además de los experimentos en Chacaltaya se desarrollan otros sobre ionósfera y ozono, cerca a la ciudad de La Paz. También se producen algunas medidas de carácter astronómico. Muchas de ellas continúan prácticamente hasta 1973. En 1970 se celebra en La Paz el VI Simposio Latinoamericano de Rayos Cósmicos. Este habría de ser el último, de su naturaleza. El cierre de este Simposio se hace en un auditorio rápidamente habilitado por los organizadores debido a que el principal había sido ocupado minutos más temprano por el ejército, tratando de desbaratar una revolución universitaria. Entre balas y gases lacrimógenos y el susto generalizado de los participantes se leen los trabajos de los "rapporteurs".

En 1973 la Universidad Mayor de San Andrés decide establecer el Instituto de Investigaciones Físicas sobre la base del Laboratorio. A mi me toca, como Director, la tarea de ponerlo en marcha.

En Chacaltaya se agregan nuevos grupos: de la Universidad de Saitama liderizado por el Prof. *T. Matano*, dirigido a estudiar el comportamiento de pequeños chubascos atmosféricos (energías alrededor de 10^{14} eV), identificado en la literatura internacional como "SYS". El segundo, de la Universidad de Torino dirigido por el Prof. *Giani Navarra*, con el propósito de estudiar las variaciones temporales de chubascos atmosféricos pequeños. También se realizan mediciones sobre la calidad atmosférica para la instalación de proyectos en astronomía del infrarojo.

Al inicio de los años 70 Bolivia y la Unión de las Repúblicas Socialistas Soviéticas firman un acuerdo de cooperación científica y educativa de amplio alcance. A finales de 1973 el Instituto de Investigaciones Físicas asume la responsabilidad de aplicación del Convenio. Se inicia así la construcción de un

observatorio astronómico en Patacamaya, inaugurado más tarde, durante la gestión del Rector *Jorge Siles Salinas*, quien fué su más "efectivo" impulsor. En 1978 recibí el encargo de la Universidad de visitar la URSS y en noviembre de este año en el Observatorio de Pulkovo se inician las conversaciones para ampliar el Convenio que permite, dos años después, la construcción del Observatorio Astronómico de San Ana de Tarija, dependiente de la Academia Nacional de Ciencias.

Durante la década de los años 60 tuvo lugar uno de los más importantes esfuerzos cooperativos en geofísica, el "Año Geofísico Internacional" acompañado por otro el "Año Internacional del Sol Quito". Los esfuerzos del Laboratorio y aquellos desarrollados por muchas décadas por el Observatorio de San Calixto dirigido primero por el Padre *Descottes* y luego a partir de 1964 por el Padre *Ramón Cabré* y más los esfuerzos del Instituto Geográfico Militar, se constituyeron en factores decisivos para el establecimiento del Comité Boliviano para el Año Geofísico Internacional (después transformado en Comisión Nacional de Estudios Geofísicos) y el Instituto Geofísico Boliviano. En 1976 esta organización pasa a depender del Instituto de Investigaciones Físicas y en esta nueva dependencia se realizan importantes trabajos científicos y de aplicación a cargo de: *José Luis Telleria, Olimpio Villegas, Antonio Velarde, Martínez, Carlos Dávila* y otros.

Junto con *Manuel Arellano, Oscar Villegas, Luis Alberto Guzman, Hugo Siles* y otros se inicia el trabajo en la área de la ciencia de materiales. También se desarrolla intensamente la actividad en investigación, diseño y aplicación de la energía solar y se intenta vanamente poner en marcha nuevamente el experimento de ionósfera.

Los esfuerzos anteriores, realizados entre 1973 y 1977 dán al Instituto un importante perfil dentro la Universidad y a nivel nacional. Sus investigaciones aceleran la formación de nuevos estudiantes en la Facultad de Ciencias y el Departamento de Física (creados a finales de los años 60). Dan lugar también a nuevos desarrollos y experimentos que se ejecutan hasta hoy.

7. El Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas y Chacaltaya: los Aportes de Cesar Lattes.

En el desarrollo de los acontecimientos que dieron origen al Laboratorio de Chacaltaya, su crecimiento, su transformación en Instituto de Investigaciones Físicas, destaca la permanente presencia del Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF), fundado en 1948 por un grupo de físicos brasileiros entre los cuales estaba *Cesar Lattes*, recientemente regresado de Bristol y los Estados Unidos.

"En el Laboratorio de Chacaltaya montado en un esfuerzo de colaboración entre el CBPF y la Universidad de San Andrés, a una altura de 5.200 m en los Andes bolivianos, preparan los Profs. *Cesar Lattes, Ugo Camerini, Ismael Escobar, Alfredo Hendel*, con un equipo de jóvenes investigadores brasileiros y bolivianos, un programa de investigación que comprende entre otros, la determinación precisa de la vida media del meson- π , por medio de circuitos de alto poder de discriminación, la medida de la densidad y del espectro de energía de los chubascos extensos y el estudio de las partículas inestables que acompañan los chubascos penetrantes entre los cuales se encuentra el llamado meson-V y otros tipos de mesones menos conocidos; la determinación del segundo máximo de la curva de Rossi, etc. Los estudios sobre estas partículas inestables serán hechas con la Cámara de Wilson cedida por el Prof. *Marcel Schein* de la Universidad de Chicago; los otros estudios utilizan contadores y circuitos de alto poder discriminativo construidos en los laboratorios del Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas en Rio de Janeiro." (cita del Prof. *Costa Ribeiro* en su artículo sobre la física en Brasil en el libro *Las Ciencias en Brasil, Fernando de Azevedo* editor, 1954)¹⁶.

Fué en 1953 que se estableció un convenio formal entre la Universidad Mayor de San Andrés y el CBPF. Ello permitió la obtención de recursos financieros y humanos de muy alta calidad y lo que es más importante, permitió convertir al Laboratorio en una facilidad científica de primera clase para el estudio de rayos cósmicos. La cooperación científica con el Centro continua hoy, después de 40 años, haciéndola una de las más antiguas en América Latina. No solamente sin embargo el Convenio fué fundamental para el desarrollo del Laboratorio, sino también, para el crecimiento del propio

CBPF. Desde el punto de vista institucional nota especial merece el apoyo que hasta principios de 1970 prestó a la colaboración Bolivia-Brasil el Correo Aereo Nacional de la Fuerza Aerea Brasileira, transportando en sus vuelos mensuales, de manera gratuita, personal y equipo.

Varios nombres de científicos brasileiros (y otros que trabajaban en Brasil) destacan como socios en la colaboración iniciada por Lattes en 1946 con su primer arribo a Chacaltaya. Algunos de los primeros, *Giuseppe Occhialini*, *Ugo Camerini* y *Roberto Salmeron*, trabajaron estrechamente junto a catorce técnicos bolivianos. Ya se mencionó a *Hervasio de Carvalho*. En esta temprana época se montó una de las primeras Cámaras de Wilson, la que nunca funcionó a pesar de los esfuerzos desarrollados; ello no permitió explorar, como era el objetivo, una nueva frontera abierta por el descubrimiento de las partículas-V por Rochester y Butler. Esta situación no comprometió sin embargo otras iniciativas. *G. Schwachheim* y *A. Wataghin*, por ejemplo, desarrollaron un programa para estudiar la dependencia de chubascos penetrantes con la altura, él que fué pionero de los programas que más tarde se desarrollarían en El Alto y luego el propio BASJE. Una parte importante de todos estos esfuerzos fueron seguidos por la permanente presencia de *Alfredo Marques*.

Uno de los principales resultados resultados de muchos años de colaboración fué ciertamente la puesta en marcha del Proyecto denominado la "Colaboración Brasil-Japón". Ella nació a partir de contactos del Laureado Nobel *Hideki Yukawa*, que representaba un importante grupo de físicos japoneses, con *Cesar Lattes*, durante la Conferencia Internacional de Rayos Cósmicos celebrada em Kyoto en 1961. En la ocasión *Lattes* se encontraba en la Universidad de São Paulo donde constituía un grupo para trabajar en investigaciones sobre interacciones de altas energías de la radiación cósmica, dentro el programa de colaboración internacional con cámaras de emulsión nuclear expuestas en vuelos de globos (International Cooperative Emulsion Flight-ICEF-), organizado por *Marcel Schein* en Chicago.

La asociación con los físicos japoneses no se hizo alrededor de cámaras de emulsión puras (como fué el propósito del ICEF) sino más bien con un nuevo instrumento que se construiría como un "sandwich" de placas de plomo, películas de rayos-X y emulsiones nucleares. Era claro que semejante estructura sería imposible de levantar en globos y de allí que se eligió a

Chacaltaya para su exposición. A mediados de 1962 *Cesar Lattes, Alfredo Marques* y algunos colegas japoneses liderizados por *Y. Fujimoto* iniciaron la instalación de las primeras cámaras. Es interesante notar que ese año, en particular durante el Seminario Interamericano de Rayos Cósmicos (julio de 1962) muchos sentenciaron el fin de Chacaltaya por la competencia que significarían los recientemente lanzados satélites. Ello no ocurrió y aún hoy en 1994, se continúan con las exposiciones de las cámaras de la colaboración proveyendo importantes resultados.

Durante treinta años la Colaboración recogió y analizó datos que permitieron la descripción de procesos de producción múltiple de mesones de manera fenomenológica, a través de "bolas de fuego", identificándose tres formas diferentes de estos estados altamente excitados de la materia nuclear: a) mirim, con energías de reposo de alrededor de 2 a 3 GeV; b) açu, con energía de reposo de alrededor de 15 a 30 GeV; y c) gũaçu, con energía de reposo de alrededor de 100 a 300 GeV. También se identificaron y describieron la presencia de interacciones (o de variedades) exóticas de partículas: centauro, mini centauro, chiron, geminión y "clusters". Se encontraron también eventos de energía más altas, como la superfamilia Andromeda y quince similares. La Colaboración Brasil-Japón permitió a sus investigadores participar de una de las fronteras de la física, delante aún de los aceleradores artificiales, a un costo mucho más bajo¹⁷.

En 1966, por sugerencia del entonces Director del Laboratorio de Chacaltaya, Ing. *Vidaurre*, decidí continuar mis estudios en el Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas y a trabajar con *Lattes* y el grupo de la Colaboración Brasil-Japón, liderizado, en la parte japonesa, por *Sunichi Hasegawa* y *Yoichi Fujimoto*, ambos proponentes de la teoría del H-quantum como un estado intermediario en las interacciones nucleares de alta energía. El trabajo con *Lattes* no fué fácil, yo pasaba clases en el post grado del Centro, entre las 8 de la mañana y 4 de la tarde, a esa hora empezaba mi trabajo como asistente en el Laboratorio de Emulsiones Nucleares y a las 8 de la noche aparecía *Lattes*, después de haber dormido muchas horas, a iniciar su trabajo del "día" hasta muy avanzada la madrugada. A pesar de este "horario" debo a *Lattes* no solamente sus enseñanzas de física sino también y sobre todo su amistad.

En el período 1966 y 1968 que pasé en el CBPF, recuerdo con aprecio a *Neusa Amato* quien integraba el grupo de emulsiones nucleares vinculado a la Colaboración Brasil-Japón y quien me invitó a hacer parte del mismo enseñándome las primeras lecciones junto a un grupo de microscopistas de excepcional calidad humana: *Lelé, Regina, Teresinha, Ermelinda y Nair*. También debo mi tesis de post grado a *Ana Maria Freire Endler*. Hacia parte del grupo el distinguido matemático *Francisco Mendes de Oliveira Castro* quien falleció a los 91 años en 1993, luego de una vida ejemplar dedicada al desarrollo de la ciencia en Brasil. A este grupo se unirían después jóvenes investigadores de las Universidades de São Paulo y Campinas y otros investigadores japoneses. Especial mención debo hacer a dos estrechos colaboradores y amigos, *Edison Shibuya*, de UNICAMP y *Akinori Ohsawa*, de la Universidad de Tokyo.

Tanto el Convenio con el CBPF y la Colaboración Brasil-Japón contribuyeron a mantener estrechas relaciones entre las comunidades científicas de ambos países. Varios bolivianos estuvieron en el Centro y participaron de sus proyectos de investigación. Entre ellos: *Magin Zubieta, Mario Bravo, Oscar Troncoso, Gustavo Perez, Ricardo Anda y Rafael Vidaurre*. *Cesar Lattes* fué claramente uno de los decididos promotores de este intercambio.

8. Nota Final: Logros y Papel del Laboratorio en el Desarrollo de la Ciencia en Bolivia.

El logro más importante del Laboratorio ha sido sin duda su contribución al avance del conocimiento en la disciplina de los rayos cósmicos. Adicionalmente al avance del conocimiento en otros campos de la física, la astronomía, la geofísica, etc. Una medida de esta contribución puede encontrarse en el grán número de publicaciones, alrededor de 1.000 desde 1952. Un número impresionante para un país pequeño. Una importante evaluación ha sido hecha por *John Linsley* quien en una carta a *Physics Today*¹⁸ decía: "los estudios y las investigaciones desarrolladas por el Laboratorio de Chacaltaya entre 1950 y 1980 han contribuido a mejorar el conocimiento de la física de

rayos cósmicos, fuera de toda proporción, si se la compara con países de similares condiciones de desarrollo.

El segundo logro importante reside en la formación de recursos humanos de alto nivel. Durante 40 años pasaron por la enseñanza que prové la ciencia fundamental varias decenas de físicos, ingenieros, técnicos bolivianos y extranjeros que hoy desempeñan actividades de distinta naturaleza y grados de responsabilidad. Visto este aspecto retrospectivamente, parece que la formación de tal masa crítica no hubiese sido posible sin la presencia del Laboratorio y de las tareas desarrolladas en él¹⁹.

Corresponde señalar que a inicios de los años 60, la intensa actividad del Laboratorio tuvo importantes impactos sobre su entorno. Institucionalmente sirvió para incentivar la creación de la Academia Nacional de Ciencias. En marzo de 1962 se iniciaron las actividades de la Comisión Boliviana de Energía Nuclear, creada bajo el "paraguas" del Laboratorio, siendo Escobar su primer Director. Ya hacia finales de los años 50, *Escobar, Hartman y Muñoz Reyes* habían visitado Knoxville en Estados Unidos, en una misión que permitió trazar algunos planes para la creación de la Comisión. En efecto, el Dr. *Luis Barragan* fué inmediatamente becado al Brasil para entrenarse en la aplicación de técnicas nucleares a la medicina.

La creación del Centro de Calculo de la Universidad, como el primer centro de computación en el país, bajo la iniciativa y orientación del investigador del Laboratorio, Ing. *Magin Zubieta*; y, la organización del Instituto de Ciencias Básicas, hoy Facultad de Ciencias Puras y Naturales, bajo iniciativa del también investigador del Laboratorio, Ing. *Abelardo Alarcón*, fueron dos pasos importantes hacia la creación de nuevas capacidades en ciencia y tecnología en Bolivia. Ya se señaló la creación de la Comisión Nacional de Geofísica. Junto a ella se formó la Comisión Nacional de Geodinámica. Más recientemente el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Todas recibieron importantes contribuciones del Laboratorio y de sus investigadores.

Seguramente todas estas instituciones y técnicas resultantes de sus actividades de investigación se habrían desarrollado en algún momento de la historia de la ciencia boliviana, pero fué la vigorosa presencia del Laboratorio y de sus recursos humanos la que permitió su pronto, rápido y coherente

crecimiento. Así, en un mundo de rápido cambio técnico y profundas transformaciones, la sola presencia de una institución como el Laboratorio de Chacaltaya, aún estudiando exclusivamente las partículas cósmicas, justifica plenamente su existencia, por el efecto catalizador que solamente una institución de prestigio puede lograr con relativa facilidad.

A los efectos de comprender el papel que jugó el Laboratorio en Bolivia es conveniente remarcar la necesidad de investigar en la frontera del conocimiento. Es hoy el conocimiento la base sobre la que se construye ya no solo la ciencia sino también la propia economía. La creación de conocimiento es por tanto de necesidad estratégica para cualquier sociedad. Este fué sin duda el objetivo, ampliamente alcanzado, del Laboratorio.

Es evidente que para lograr cualquier impacto se requiere de una buena ciencia y de investigadores que no se improvisan. El Laboratorio contribuyó a formarlos en el método científico y a imbuirles de una "mística" especial en favor de la ciencia. La presencia del Laboratorio permitió superar en parte el problema del aislamiento de la comunidad científica boliviana. Lo visitaron expertos de muy alta calificación y sus investigadores estuvieron presentes en aquellos congresos, conferencias y seminarios a los cuales son convocados los científicos que trabajan en centros de excelencia por el aprecio a sus trabajos de alta calidad y mérito científico.

Los grupos extranjeros dejaron innumerables enseñanzas. En Chacaltaya vinieron a hacer uso de una facilidad única en el mundo y por tanto concentraron todo su esfuerzo en la realización de un trabajo que no reconoce un segundo lugar. En este proceso el investigador extranjero entrenó al personal científico y técnico local de tal manera que supero ampliamente otra educación recibida en la universidad o escuela. En ocasiones se confundió el tipo de cooperación científica que se desarrollaba en Chacaltaya con acciones de cooperación técnica. Ello llevó, en no pocas ocasiones, a criticar la participación extranjera y la dificultad de asimilación de la ciencia y la tecnología por parte del personal local.

Por otro lado se puede señalar que seguramente si no existiese el sitio físico de Chacaltaya, Bolivia no habría incursionado en el campo de los rayos cósmicos. Al hacerlo, gracias a sus excelentes condiciones, hubo un flujo importante de cooperación internacional para su desarrollo. En éste sentido los

países pequeños harán bien en priorizar sus actividades de investigación alentando aquellas que tienen las mayores posibilidades de éxito debido a cualquier tipo de condición natural. La selectividad es claramente una clave para el éxito de cualquier emprendimiento científico.

El éxito de Chacaltaya no solamente se debió a su ubicación geográfica. Durante por lo menos los primeros 25 años hubo una gran continuidad. Por otro lado, la excelencia de los trabajos y el esfuerzo desarrollado permitió el relacionamiento con los "mejores" de quienes siempre se estuvo en disposición de aprender. Ello no significó aislarse de los países vecinos a los que el Laboratorio transmitió conocimiento.

Junto a los logros habrán de reconocerse las limitaciones. Entre ellas, como es el caso de la mayoría de los países en desarrollo, la falta de una tradición científica hizo con que el proceso de acumulación de experiencias y conocimiento resultante de las acciones del Laboratorio fuera relativamente lento. La inestabilidad financiera local afectó negativamente el proceso de continuidad al hacer con que muchos calificados científicos tuvieran que emigrar del país. A ello contribuyeron períodos de inestabilidad institucional en la Universidad y aún en el propio Laboratorio. Limitante actual continua siendo la falta de interés de los jóvenes por carreras científicas.

Una crítica frecuente al Laboratorio se ha referido a los proyectos sobre rayos cósmicos que allí se han desarrollado; se señala que sus resultados contribuyen al progreso científico de los países más desarrollados, como si se pudiera definir la existencia de dos tipos de ciencia, una para los grandes, y otra para los chicos, dejando a estos últimos dependientes de los resultados de la ciencia de los grandes. La única evaluación que realmente se puede hacer es sobre los resultados de la investigación. En ésta el Laboratorio claramente supera cualquier examen.

La existencia de un centro de investigación como el Laboratorio constituye uno de los instrumentos más importantes con que cuenta un país pequeño para acelerar su desarrollo. La tarea primordial del Estado y su política científica deberá ser la de reproducir permanentemente las condiciones bajo las cuales una institución de excelencia se desarrolla. Parte de esas condiciones constituye la determinación de los científicos y trabajadores de crear y hacer crecer un centro de excelencia. La mística es ciertamente un

factor clave en el éxito de cualquier empresa y Chacaltaya no fue la excepción. La reconstrucción de tal mística, el encuentro de un liderazgo, son tareas inaplazables y permanentes de la universidad y el propio país.

Crear condiciones de trabajo apropiadas en el Laboratorio no fué tarea fácil. Chacaltaya significa en aymara donde los huesos tiemblan. Allí, durante día y noche a varios grados bajo cero, en tormentas de nieve y eléctricas, se construyó y refaccionó varias veces la línea eléctrica. El soroche debido a la mitad de la presión atmosférica del nivel del mar fué un factor condicionante del trabajo aún para aquellos nacidos en la altura. "Por las mañanas poner en marcha un generador Diesel con el aceite congelado, y que era la única esperanza de conseguir un café caliente eran tareas de titanes". El apalear la nieve en el camino después de una tormenta de nieve. El subir o bajar a pie toda la montaña en épocas de fuerte nevada podían desanimar a los más fuertes.

Muchos hombres han participado en esta mística aventura "cósmica" de innegable impacto sobre el desarrollo de la física a nivel mundial y de la ciencia boliviana. En esta oportunidad quiero solamente recordar a uno, *Cesar Lattes*.

¹ Discurso de *Ismael Escobar* ante la American Physical Society en ocasión de la entrega del Premio John Wheatley de 1993.

² A. Marques, "25 Anos da Descoberta do Meson Pi", Centro Brasileiro de Pesquisas Fisicas, Ciencia e Sociedade No 12, Rio de Janeiro 1973.

³ Las citas de la Fundación Nobel rezan: Al Prof. Hideki Yukawa de la Universidad Imperial de Kyoto del Japón y de la Universidad de Columbia de los Estados Unidos "por su predicción de la existencia de mesones sobre la base del trabajo teórico sobre las fuerzas nucleares". Al Prof. Cecil Franck Powell de la Universidad de Bristol, Gran Bretaña por "su desarrollo del método fotográfico para el estudio de los procesos nucleares y sus descubrimientos relativos a los mesones hechos con este método".

⁴ C.M.G.Lattes, G.P.S. Occhialini, C.F. Powell (H.H.Wills Physical Laboratories of the University of Bristol): Observations on the Tracks of Slow Mesons in Photographic Emulsion Plates, *Nature* 160, 453, Oct. 11 (1947).

⁵ E. Gardner and C.M.G. Lattes, *Science* 109, 270 (1948)

⁶ I.Escobar V. Anteproyecto para el Observatorio de Física Cósmica Chacaltaya, *Nimbus*, La Paz 1949

⁷ Prácticamente por el propio *Ismael Escobar* quien aún trabajaba en el Ministerio de Agriculatura, organismo responsable de otorgar tales permisos.

⁸ I. Escobar V., "Una Expedición al Sajama", *Nimbus* 4 y Revista Meteorológica del Uruguay, Montevideo (1950).

⁹ Agradezco al Ing. David Tejada por este dato.

¹⁰ Alfonso Velarde, "Instituto de Investigaciones Fisicas", Memorias de la Reunión de Editores de Publicaciones Científicas Andinas, Universidad Andina Simón Bolívar y Comisión de las Comunidades Europeas, Sucre, noviembre de 1992.

¹¹ Mario Bunge, "La Edad del Universo", Publicaciones del Laboratorio de Física Cósmica, La Paz julio 1955.

¹² K. Greisen, "Concluding Remarks", Fifth Interamerican Seminar on Cosmic Rays, La Paz, Bolivia, July 17-27 1962, 1, published on September 1962 by UNESCO and Laboratorio de Física Cósmica.

¹³ Este fallecido en un accidente en el Monte Illimani.

¹⁴ G.Clark, I.Escobar, K.Murakami, K.Suga, "Extensive Air Showers at 5200 m Above Sea Level and Search for High Energy Primary Gamma Rays", Pontificia Academia Scientiarum, Report of the Study Week about Cosmic Rays and Interplanetary Space, Ciudad del Vaticano 1963 .

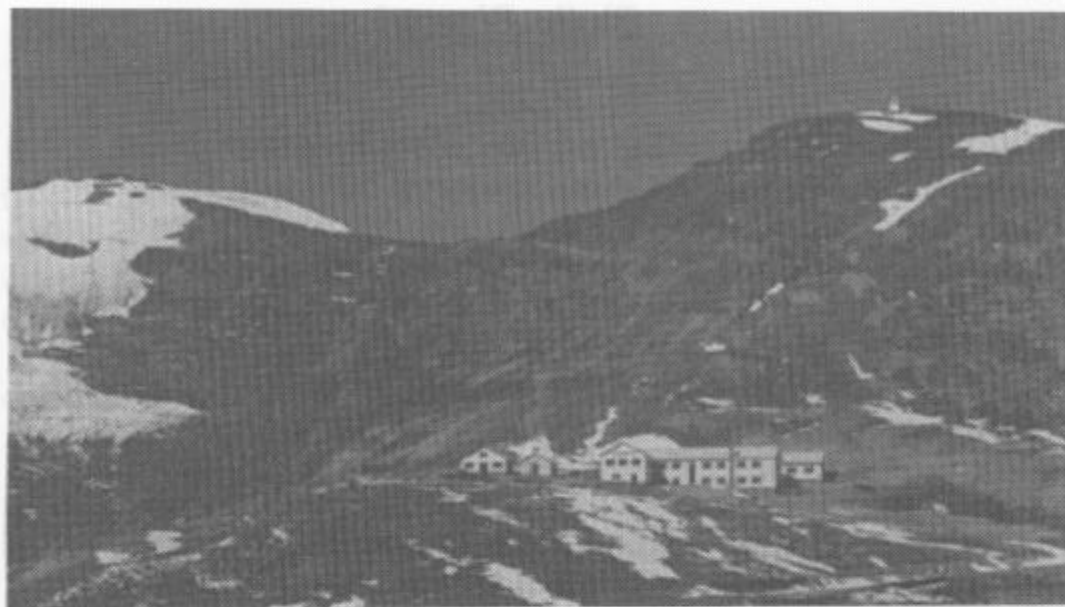
¹⁵ Comunicación privada de diciembre 1992.

¹⁶ La cita corresponde a: A. Marques, "Dos Anos 50 aos Anos 90" Ciencia e Sociedade CBPF-CS-004793, Centro Brasileiro de Pesquisas Fisicas, Rio de Janeiro, 1993. Partes importantes de este subtítulo han sido tomadas de este trabajo.

¹⁷ Se ha dicho que los rayos cósmicos son los aceleradores de los físicos pobres. Poderosos "instrumentos" hasta ahora no superados a energías muy altas y que permitiran seguramente contribuyendo con resultados originales por muchos años más.

¹⁸ J. Linsley, Panamerican Physics, *Phys.Today* 35, N. 11 (1982)

¹⁹ R.H. Schulczewski, "Chacaltaya: Aportes para una Historia", La Paz marzo de 1977.

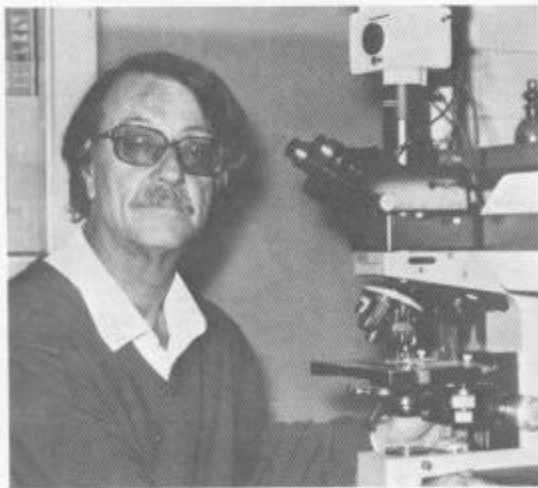


Chacaltaya. Edificações do Laboratório de Física Cósmica nos anos '50.



Giulio Bigazzi

Nasceu em Arezzo, Itália, em 1940. Fez seu doutoramento sobre detecção de traços de fissão em Mica sob a direção de *Lattes e Adriano Gozzini*; desde então trabalha em aplicações do método de datação por traços de fissão. É pesquisador de 1ª Classe do Instituto di Geocronologia e Geochimica Isotopica, do Conselho Nacional de Pesquisas Italiano, e um dos principais líderes europeus em datações por traços de fissão. Colaborou com *Lattes* na instalação na UNICAMP de um grupo nessa linha de atividades, que visita periodicamente dentro de um programa de colaboração. Dentro de suas múltiplas atividades vem se dedicando especialmente a: i) fundamentos do método de datação por traços de fissão; ii) aplicações desse método à cronostatigrafia, em províncias vulcânicas, à teprocronologia e a estudos termocronológicos, pela análise de traços de fissão em apatitas, das fases eruptivas de cadeias de montanhas; aplicações à arqueometria em estudos de procedência de artefatos contendo obsidianas.



Istituto di Geocronologia e Geochimica Isotopica, CNR, Via Cardinale Maffi 36, 56127 Pisa, Italia

Julio Cesar Hadler Neto

Nasceu em S. Paulo, em 1947. Concluiu seus estudos de graduação no IFGW, UNICAMP, em 1971 onde também fez o mestrado e o doutoramento sob a direção de *Lattes* e *Alfredo Marques*. Trabalha, desde então com detectores sólidos de traços e é o principal suporte no Departamento para as atividades de geocronologia.

A partir de 1984 abriu uma linha de estudos da contaminação por Radônio e seus filhos em ambientes domiciliares, com detectores plásticos. Seus trabalhos tanto na linha de datações por traços de fissão como na linha do Radônio se referem aos aspectos metodológicos antes que as rotinas de medição.

É o líder do grupo trabalhando nessas atividades na UNICAMP e responde pelo Acordo de Cooperação com o Instituto di Geocronologia e Geochimica Isotopica do CNR, Pisa.



Departamento de Raios Cósmicos e Geocronologia, Instituto de Física Gleb Wataghin,
UNICAMP, 13080-970, Campinas, SP

Cesar Lattes: a Pioneer of Fission Track Dating

Giulio Bigazzi and Julio Cesar Hadler Neto

ABSTRACT

Cesar Lattes is a celebrated authority in particle physics and cosmophysics. Few people know that he was a pioneer of the fission track dating method also. He founded two groups - at Pisa (Italy) in 1964 and Campinas (Brazil) in 1972 which are still active, and started research themes that are still up-to-date. The foundation of these groups, their aims and the first results attained in those early years are described here and compared with the modern trends of fission track dating.

1. 1964: Founding a FT Group At Pisa (*G. Bigazzi*)*

On May '93 it was published a special issue of "On Track" (the newsletter of the international fission track community) celebrating the 30th anniversary of fission track (FT) dating. Several "old trackers" wrote short stories about FT dating prehistoric times. Among them, *P. Bufford Price* wrote that, a week before, a graduate student was visiting his laboratory and asked him his name. Dr. *Price* introduced himself. She told him about her work with FT dating. "Do you know who invented this technique?", asked her Dr. *Price*. "No", she said.

If founders of FT dating are nameless for some young trackers, all the more reason the contribution of *Cesar Lattes* to that methodology is unknown to them. But all the same he founded two FT groups, in Pisa (Italy) and Campinas (Brazil), which are still active, and started original research themes that afterwards proved to be very important.

I was a student in 1964 when I was assigned to write a thesis at the Institute of Physics of the University of Pisa. Prof. *Adriano Gozzini* sent me to a foreign guest, Prof. *Cesar M.G. Lattes*, who was living in a very nice flat in an ancient building just ~100 m from the Institute. *Cesar Lattes* was a celebrated name in particle physics, so I was intimidated when I visited him at home. I

*Although this chapter reports memories of this author, the co-author cooperated to its preparation.

expected difficult questions on physics from him ... but his first two questions were: "Do you want a coffee?" and "Do you have a cigarette? I finished my packet".

I left one hour later, holding some preprints I had to read and with a difficult (for me) task: I had to calculate the mean range of fission fragments in muscovite. But Lattes had communicated me his enthusiasm and I had turned a "tracker".

Lattes was in Italy with a CNPq grant, and wanted to mount a track laboratory at Pisa. His goal was an experimental verification of *P.A.M. Dirac's* hypothesis about the variation of fundamental physical constants with the time¹. He was enthusiastic about the new dating method proposed in early sixties by *Robert L. Fleischer, P. Bufford Price* and *Robert M. Walker* from General Electric, USA^{2,3,4}. This method is based on the spontaneous fission of ²³⁸U, and consists in counting under a microscope the tracks produced by fission fragments and accumulated step by step in minerals since their formation.

Comparison of age values obtained on the same samples by different radiometric methods (FT dating, decay constant for fission of the order of 10^{-16} a⁻¹; Potassium Argon: ⁴⁰K → ⁴⁰Ar by electronic capture, decay constant of the order of 10^{-10} a⁻¹; Rubidium-Strontium: ⁸⁷Rb - ⁸⁷Sr by β⁻ disintegration, decay constant of the order of 10^{-10} a⁻¹) appeared to *Cesar* an excellent experiment for testing the *Dirac's* hypothesis, since the above nuclear processes depend in different ways upon the fundamental constants. Their possible variation with the time should produce systematic deviation of the curve FT age vs. K-Ar and/or Rb-Sr age from a 45° straight line.

Pisa was a suitable place for *Lattes* experiment, because in this town it was located one of the most qualified geochronological laboratories of that time, the Nuclear Geology Laboratory, founded by Prof. *Ezio Tongiorgi*, where K-Ar and Rb-Sr age measurements were routinely performed. *Cesar* realized the difficulties inherent in his project: events that may have occurred during the geological histories of the rocks can affect in various ways the measured ages of the samples. Moreover, the intercalibration of the three involved radiometric methods was rather uncertain. But he trusted in his experiment, as he was certain that, when a rich data-set was available, "spurious" points in his age-age

diagram might be rejected, as well as systematic deviations due to calibration problems might be detected. He was able to communicate his optimism to all of us - the small group of young people surrounding him.

As the rooms for our laboratory were not ready yet, we revealed our first tracks in muscovite samples purchased in electric stores using a bowl of HF acid fluctuating in hot water in the wash basin of the bathroom in his house. We were so excited when in a few minutes we could observe our first fossil tracks under an old Italian Koristka microscope! No doubt, we had breathed HF fumes and our temperature control was rather poor, but we had in our sight the record of nuclear events occurred in far past times.

As an irradiation with a known fluence of thermal neutrons had been proposed by *Fleischer, Price and Walker* for eliminating from the age equation the unknown quantity U-content, we performed our first irradiation in a reactor near Turin, and just 15 days later we revealed our first induced tracks in a Rhodesian mica. Using the neutron fluence measured by the staff at the reactor, we computed our first FT age, which reasonably agreed with the K-Ar and Rb-Sr ages determined at the Institute of Nuclear Geology, where *Sergio Borsi, Giorgio Ferrara and Ezio Tongiorgi* cooperated to our research. Thus, we assumed, rather optimistically, that:

$$\text{FT age} = (\text{K-Ar age} + \text{Rb-Sr age})/2$$

We had the first age standard. It was the famous (for our group and for the more recent Campinas group) "Muscovita(e) 0001", that was used in the following for many tests.

It seemed to be so easy... our group was producing FT ages on several samples. All of us, the microscopists *Giuliano Colombetti* and *Graziella Renzoni*, the students *Anna Michel, Ezio Tabacco* and myself, the geochemist *Vittorio Togliatti*, learnt from *Cesar* that, in research, enthusiasm and imagination are more important than nice laboratories and modern instruments. Our old microscopes were used full time in the laboratory (finally ready!) at the Institute of Physics, and physicists and geologists visited us daily. All of them wanted to watch the fossil nuclear disintegrations, asked questions and gave advice (Fig. 1). Special!y *Adriano Gozzini* followed at close the progress of our

research and contribute to overcome the difficulties that appeared during the settlement of the laboratory.

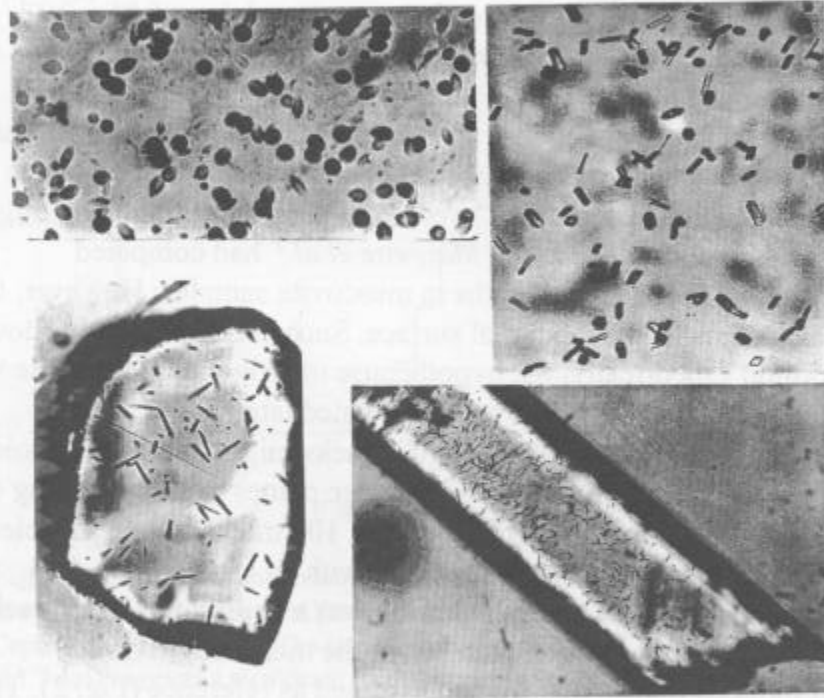


Fig.1 Fission tracks revealed in different materials. From the left and from the top: muscovite (500x , etched 8 min. in 50% HF at 40 °C), obsidian (500x, etched 120" in 20% HF at 40 °C), zircon (500x etched 90 min. in 100% H₃PO₄ at 420 °C) and Apatite (1000x etched 45 sec. in 5% HNO₃ at 20 °C).

2. The First Research (G. Bigazzi)*

Cesar was asking himself what the meaning of the numbers he determined was. He was troubled by these questions: were the tracks preserved without any alteration over geological time? If not, what was the effect of such changes on the computed age? Since the General Electric group measured and used for age calculation a ^{238}U fission decay constant⁵ $\lambda_F = 6.85 \times 10^{-17} \text{ a}^{-1}$, was actually the decay constant determined by *Emilio Segrè* in 1952⁶, $8.62 \times 10^{-17} \text{ a}^{-1}$, inaccurate?

He drove us to devote ourselves to these problems. *Cesar* realized that the length of the etched tracks was an important parameter. Alteration of the damaged region, called "latent track", record of the fission fragment, might be detected by etched track shortening. *Maurette et al.*⁷ had compared spontaneous and induced track lengths in muscovite samples. However, they measured tracks crossing the external surface. Such "semi-lengths" follow a large distribution - theoretically, the hypotenuse of a right-angle triangle with the maximum at the length "zero", as it was stated later.

Cesar suggested that the "full length" tracks might be a better choice. So, we became skilled in partially separate cleavage planes to allow etching of internal tracks. We obtained thin distributions, 100 tracks were a sufficient quantity to have a mean length measurement with an error of 1.5 - 2 %.

We soon realized that track shortening was a reality: the fossil track mean length was systematically shorter than $\sim 20\mu$, the mean length of the undisturbed induced tracks, that we had assumed as reference (Fig. 2). This was the subject of my thesis, initially oriented by *Cesar* and pursued by *Gozzini*, after *Lattes* left for Brazil.

If spontaneous tracks were shorter than induced tracks, the ratio: "tracks revealed for unit area / latent tracks present in a unit volume" was different for the two types of tracks. The assumption made in the age equation: "spont. track areal density / ind. track areal density = number of ^{238}U fissions occurred in a unit volume / number of ^{235}U fission occurred in a unit volume" was deceptive.

*Although this chapter reports memories of this author, the co-author cooperated to its preparation

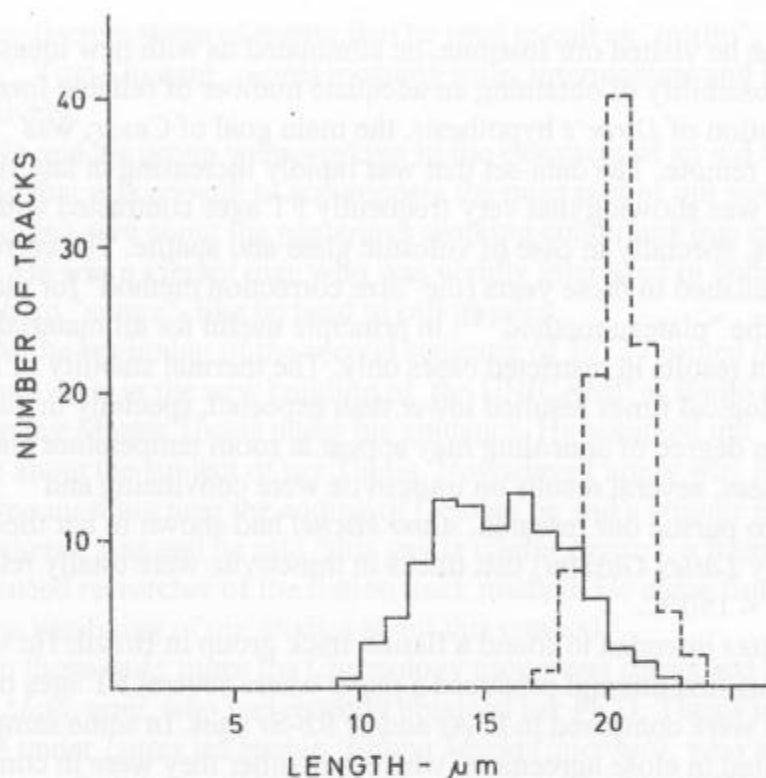


Fig.2 Spontaneous and induced (dashed) track full length distributions in a mica sample (muscovite from granitic pegmatite, Tracateua quarry, Capanema, Pará, Brazil). The large distribution and short mean length (15.7 μm) suggests a significant annealing rate of spontaneous tracks. This is confirmed by the two low FT age of the muscovite, ~1100 Ma, against 1970 Ma (K-Ar), and 1830 Ma (Rb-Sr).

In that thesis and in the following paper⁸ it was proposed to use the full lengths themselves for correcting the "apparent" ages, to estimate the "true" formation ages of muscovite samples.

Later, I went on with my work at the Nuclear Geology Institute and in the Institute of Geochronology and Isotope Geochemistry, founded in 1970. Our Pisa FT group, inheritance of *Cesar Lattes*, continued cooperation with him, which we considered our "supervisor".

Every time he visited our Institute, he stimulated us with new ideas. However, the possibility of obtaining an adequate number of reliable formation ages for verification of *Dirac's* hypothesis, the main goal of *Cesar*, was becoming more remote. The data-set that was rapidly increasing in late sixties - early seventies, was showing that very frequently FT ages contrasted with other radiometric ages, specially in case of volcanic glass and apatite. The correction techniques established in these years (the "size correction method" for glass and apatite^{9,10} and the "plateau method"¹¹, in principle useful for all materials), produced correct results in restricted cases only. The thermal stability of fission tracks over geological times resulted lower, than expected, specially in glass and apatite: a certain degree of annealing may appear at room temperature also.

Nevertheless, several results on muscovite were convincing and encouraged us to pursue our research. *Anna Michel* had shown in her thesis (also oriented by *Lattes-Gozzini*) that tracks in muscovite were totally retained at temperatures < 150°C.

Cesar Lattes intended to found a fission track group in Brazil. He started in São Paulo: this first attempt produced a paper where several FT ages on Brazilian micas were compared to K-Ar and/or Rb-Sr ages. In some samples these ages resulted in close agreement, whereas in other they were in contrast¹². Evidently, in these cases geological events had affected in different ways the results of the three radiometric methods.

3. 1972: Founding A FT Group In Campinas (*J.C. Hadler Neto*)*

I first met *Cesar Lattes* in 1968. At that time I was an undergraduate student of physics at the recently founded Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP, and he was a famous physicist, leader of a celebrated cosmic ray research group of the Institute of Physics. The first time I met him, he was enthusiastic about the new discoveries on cosmic rays that his group, in collaboration with Japanese physicists, had obtained. Forgetting that I was in the beginning of my course, *Lattes* tried to explain to me that high energy collisions between cosmic ray particles and nuclei from atoms of the collisions between cosmic ray particles and nuclei from atoms of the atmosphere,

* Although this chapter reports memories of this author the co-author cooperated to its preparation

produce discrete states of matter that he used to call as "mirim", "açu" and "guaçu", Tupi-Guarani** words meaning little, intermediate and big, respectively.

He and his group were working in the basement of an old two flour building that was enough to accommodate the most part of our young UNICAMP. Lattes didn't care about the precarious working conditions that could be offered to him. He was a vibrant man who was vividly interested in understand a little more about "nature", like he used to call physics.

At the beginning of the second semester of 1972 I joined his department of cosmic rays, in the new building of the UNICAMP at Barão Geraldo, to develop my Master Thesis under his guidance. He accepted me, but didn't talk at once about the subject of my Thesis. Nowadays I know why he acted in that way. One morning near the ending of October he and a strange man entered the room where I was and he said "this guy is *Giulio Bigazzi*, a friend and an experienced researcher of the fission track method. He came from Italy to help us in the beginning of our studies about this method".

In those early times the Chronology group was composed by *Marta Silvia Maria Mantovani*, who had recently obtained her Ph.D. Thesis in cosmic ray physics under *Lattes* leadership, *Eliana Maria Ciocchetti*, who was finishing the course of graduation in physics, the microscopist *Maria Divanilde Dall'Oglio Marques* and myself. The unforgettable *Juvenal Xavier de Oliveira* gave us technical assistance; with the same thoroughness he was able to fix or make adaptations in a microscope and to construct the temperature control of the chemical bath for mineral etching. He made that device using pieces of the petrol pump of an old Volkswagen engine and the electrical motor of an old sewing-machine! In '73 the undergraduate student *Dinah Augusta Barreto Serra* joined us, and later on *Alfredo Marques*, from the "Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas" (CBPF, Rio de Janeiro), became a new member of our group. With the exception of *Dra Mantovani*, who moved back to the University of São Paulo in '73, this team (plus *G. Bigazzi* who spent 2-3 months at the UNICAMP every two years) worked together until 1982.

In those early times all of us experienced the stimulating atmosphere that *Cesar* was able to provoke, specially when he was starting a new research. He had not renounced his experiment on variation of fundamental constants: soon

he explained clearly to me that he aimed to test *Dirac's* proposition. So, we selected a great number of muscovite samples for a preliminary characterization. But, at the same time, comparing FT dating with the Rb-Sr and K-Ar methods *Cesar* thought that the former presented lower accuracy, and he suspected that the FT ages were affected by systematic errors. So, he defined as first goal of our group a contribution to the improvement of the methodological settlement of the FT method. This was the guide-line of the reserch carried out at Campinas in cooperation with Pisa in those early times.

4. A Fruitful Cooperation

Lattes indicated three main subjects as priority: the first was a better understanding of the track annealing process and of the apparent age correction technique. *Bigazzi* had shown ⁸ that the fossil tracks became shorter with the increase of the age of muscovite samples. The consequence was twofold: an underestimation of the "formation" age and an additional experimental error introduced by the correction technique. *Marta Mantovani* made a careful study on this subject. The results she obtained through artificial annealing confirmed the observations on natural annealing previously made by *Bigazzi* and produced an interpretation that, although partially obsolete nowadays (in practice, it is valid in first approximation), stimulated the debate on the function track retention vs. time¹³.

Watching an illustrative picture of fission tracks in muscovite, *Lattes* suspected that their azimuthal angular distribution was asymmetric. So, with the help of a school-class goniometer he plotted a histogram that appeared to confirm his perception. He immediatly realized that such phenomenon could have important implications (and could also occur in other materials). This matter was the second methodological aspect studied mainly by *Eliana M. Ciocchetti* in her Master Thesis. She started time consuming measurements of angular distributions. *Cesar* invented nice graphs for data presentation. So, he named "artistic section" people working with anisotropy (Fig. 3). That anisotropic behaviour was experimentally proved for " 4π -geometry surfaces" (internal surfaces that had recorded fission fragments coming from both sides). That phenomenon could imply a loss of registration efficiency of these 4π -

surfaces, but it was concluded that it didn't influence age determinations, as it equally affected both fossil and induced tracks (Fig. 4; ¹⁴). However, the exact meaning of such anisotropic behaviour of muscovite is not clearly understood yet, and is worth further investigation.

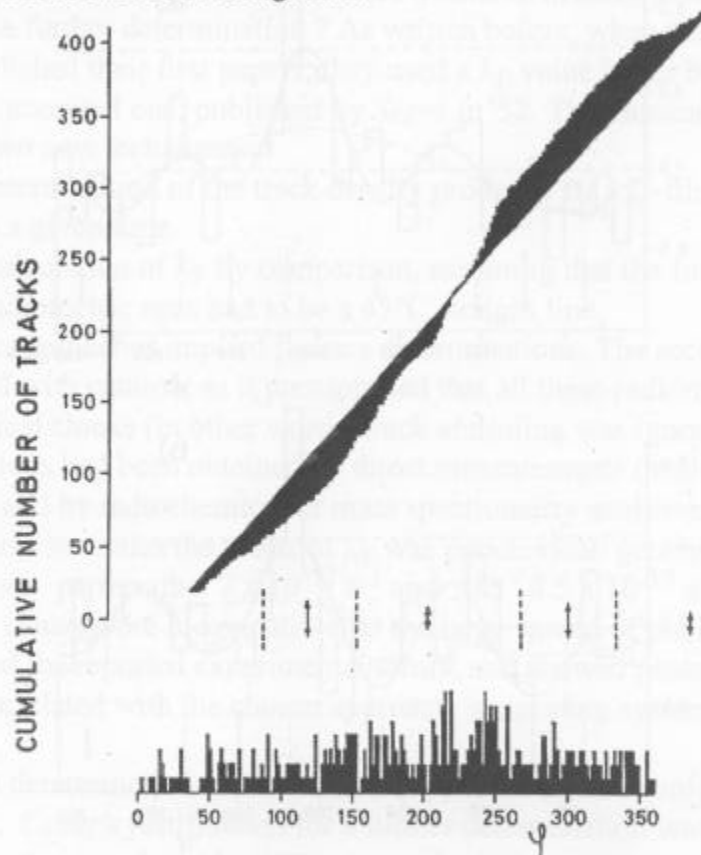


Fig.3 One of the "artistic" diagrams invented by Lattes to evidence the anisotropic behaviour of muscovite. In the originals the areas below and over the 45° straight line were green and red respectively. ϕ : azimuthal angle. The vertical dashed segments represent optical indicators, the double arrows represent the four sides of the etching rhomb intersection of the track with the surface.

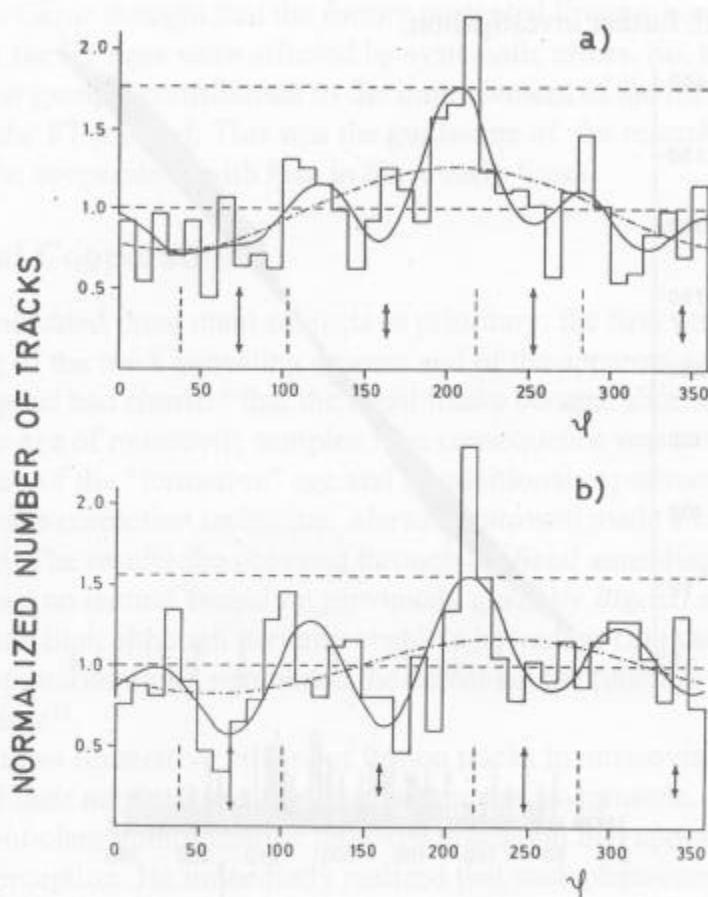


Fig.4 Harmonic analysis of spontaneous (a) and induced (b) track azimuthal distributions in muscovite. The dotted-dashed curve represents the first harmonic, the full curve is the addition of the significant harmonics. Maxima and minima in the azimuthal distributions are related to crystal characteristic directions see Fig.3 also. The horizontal dashed straight line suggests a track loss by 30%. It was concluded that this track loss did not influence age determinations, as anisotropy affected in the same way both the spontaneous as well as the induced track distributions.

The third methodological aspect that *Lattes* recommended for exhaustive investigation was age calibration, and this research was mainly carried out by one of us (*Julio C. Hadler Neto*), as this topic was subject of his Master and PhD thesis. More than 30 λ_F values were available in early seventies. What the reason for a further determination? As written before, when the founders of FT dating published their first papers, they used a λ_F value lower by ~20% than the widely accepted one, published by *Segrè* in '52. The General Electric group had used two new techniques:

- (i) determination of the track density produced by a U-film in a mica detector in a given-time.
- (ii) calculation of λ_F by comparison, assuming that the function FT age vs. other radiometric ages had to be a 45°C straight line.

Both approaches implied fluence determinations. The second one had to be regarded with caution, as it presupposed that all these radiometric methods were identical clocks (in other words, track annealing was ignored). Previous λ_F determinations had been obtained by direct measurements (such as using ion chambers) and by radiochemical or mass spectrometry analyses.

In early seventies the status of λ_F was paradoxical: geochronologists were split into two parties, the $7 \times 10^{-17} \text{ a}^{-1}$ and the $8.5 \times 10^{-17} \text{ a}^{-1}$ supporters. These two values were incompatible, as the large spread of published data contradicted the reported experimental errors, and showed peaks at least partially correlated with the chosen approach, suggesting systematic errors (Fig. 5; ¹⁵).

Most determinations made with the approach (i) had confirmed a value $7 \times 10^{-17} \text{ a}^{-1}$. *Cesar's* justification for a further determination was clear and direct "I don't like the way they (the researchers who had measured λ_F with an FT approach) determined the neutron fluence!". He proposed a new neutron dosimeter: a U-loaded nuclear emulsion. He was convinced that the use of the same nuclear reaction involved in the FT method, ^{235}U (n, fission), for monitoring the flux experienced by a mica|U sandwich or by a sample to be dated would rule out possible systematical errors. This fluence determination presented an other advantage that *Cesar* enjoyed very much: the U-content of the nuclear emulsion could be directly measured through its α -activity. So, the

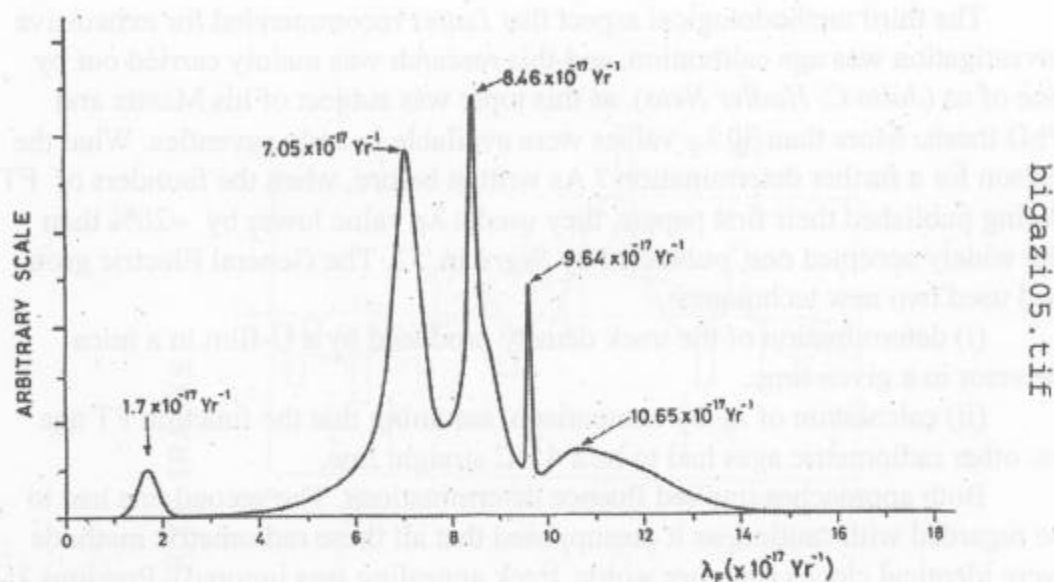


Fig.5 Plot showing the relative frequency with which different values for λ_F had been obtained by various observers before 1980. The curve is the addition of standard-area Gaussian curves whose width has been determined by the experimental errors stated by the given observers. The diagram shows two major peaks, well separated, which are correlated with the two values of λ_F that were (and still are!) adopted by FT workers. The full discrimination between peaks is more consistent with systematic differences inherent in the approaches made rather than with unexpected large experimental errors.

calibration of this monitor was fully independent of any parameter connected with other calibrations.

Hadler went to the CBPF to spend one week with Dr. *Odilon Tavares* and Dr. *Jader B. Martins* to learn how they loaded nuclear emulsions with uranium. Some months later, analysing the difficulties met by *Hadler* in applying that technique, *Lattes* told him: "a nuclear emulsion should be used like a bus, to carry you to the place where you want to go. If you know that place, you will jump off at the right stop". The characteristics of the particles to be observed (α from ^{238}U and fission fragments from ^{235}U) were well known, so, taking them as a guide, *Hadler* made adaptations and modifications in the experimental

procedure, from the loading process to the chemical development. After many tests, two excellent discriminant development processes, for α tracks and for fission tracks, respectively, were available. The experimental procedure resulted very reliable: the measurements of U-content by gravimetry and by α activity under optical microscopy, usually agreed within 2%. But *Julio* met with "traços esquisitos" (anomalous tracks), this is his narration:

"when I analysed the first test that was performed to verify whether the chosen irradiation conditions *** could damage the loaded nuclear emulsion, for my great surprise (and *Lattes* despair) I observed strange tracks that didn't seem to be produced by fission fragments nor by α particles. Some weeks later, *Lattes* entered the lab and asked me "do these anomalous tracks make invalid the U-loading measurement by α activity?". He interrupted my negative answer by saying: "can you discriminate these tracks from the fission ones at the microscope?". As I said "yes" he added: "forget the anomalous tracks and go on with your λ_F measurement!". But, I replied, "Professor, how can I reject tracks that I don't know what the hell they are?". He glanced at me and went out quietly. This was the unique occasion I saw *Lattes* abandoning the criticism and rigor that always characterized his work. But his intuition was correct, the time showed it".

In the following, *Hadler* made a lot of tests trying to understand those strange tracks. *Lattes* suspected that they could be produced by α particles, may be due to a possible ^{210}Po contamination. But *Julio* didn't accept this idea. So one afternoon, during a terrible storm, they were talking about the anomalous tracks. *Julio* said "polonium has a half-life of ~ 140 days, and during two years we observed that those tracks present a roughly constant areal density". *Lattes* asked him "is the U-content you use for loading constant?", "Yes", was the reply .. and they smiled as both of them understood at once what the anomalous tracks were: they were due to α particles emitted during the drying stage of the loaded emulsion (the reason for which the AgBr grains remained more ionized at that stage remains unexplained). *Cesar's* mourned friend *Giuseppe Occhialini* (Beppo), a great expert in nuclear emulsions, agreed with that interpretation. His familiarity with those tracks was clearly shown by the appropriate way he used to call them "prehistorical tracks": he meant tracks

produced before the beginning of the "age" of the loaded nuclear emulsion, which starts just after the end of the drying stage.

The anomalous tracks didn't prevent the λ_F measurement, as they were easily discriminated from fission tracks for their marked characteristics: lengths ranging from 5 to 8 μm (against 24 μm of the fission fragments) and with an anisotropic zenithal distribution, shifted toward smaller angles with the surface ¹⁶.

So, the measurement of λ_F finally started: the sandwich invented by *Cesar* and *Julio* U-loaded emulsion | mica - detector | U-target was finally irradiated in the chosen tangential beam hole of the São Paulo reactor (Fig. 6; ¹⁷). They were thinking that a further problem could affect that experiment: the possibility of track count loss in case of low areal densities (by preliminary calculation, a spontaneous track density less than 50 tracks/cm² per month of exposition was expected). This problem was overcome using a mapped cross-counting procedure by two independent observers. In this way, the final result was corrected for track loss. An important goal was reached, as it was obtained for the first time a result in close agreement with the *Segrè's* constant. The λ_F recently recommended by the Commission on Radiochemistry and Nuclear Techniques of the International Union of Pure and Applied Chemistry is in close agreement with the value determined at Campinas.

Later, new research themes were open at the UNICAMP as well as at Pisa (such as FT dating of natural glass and its applications, radon-monitoring with plastic detectors, thermochronological studies by apatite fission track analysis), and the close cooperation between the two groups, inheritance of *Cesar Lattes*, is still active.

5. Modern trends of fission track dating

During the last 30 years FT dating was applied to several fields: geological chrono-stratigraphy, volcanology, tephrochronology, meteoroid impact studies, thermochronology, archaeometry, tectonics. Although a great number of minerals are suitable for FT dating, at present apatite, zircon, glass and sphene are commonly used.

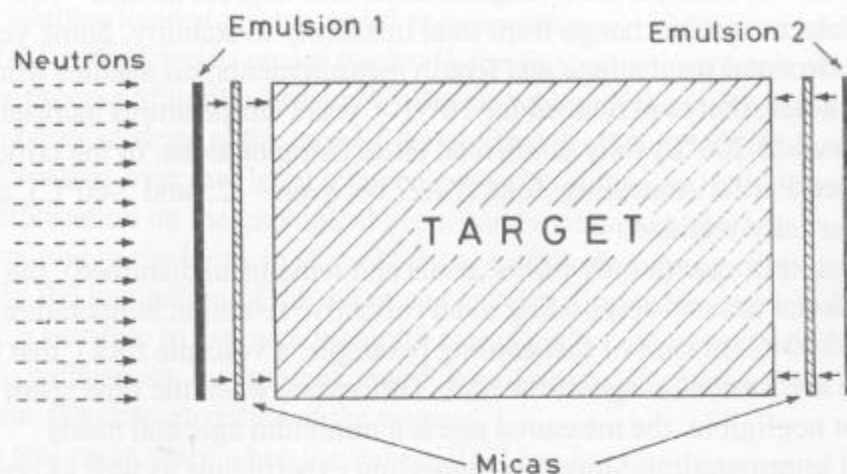


Fig.6 The original sandwich U-loaded nuclear emulsion [mica detector] U-target invented at UNICAMP for the λ_F determination. The target was a U_3O_8 cylinder 4cm long. The sandwich was irradiated with cold and thermal neutrons only. To prevent radiation, a 20 cm thick Pb monocrystal was installed in the tangential beam hole. Epithermal and part of the thermal neutrons were removed from the beam by Bragg diffraction in a suitable amount of polycrystalline berillium. That experiment was planned with great care as $\sim 10 \lambda_F$ values obtained using a similar technique were already available. For example, the track extra-density due to fission induced by fast neutrons produced in spontaneous fission occurred inside the cylinder or to fissions induced by cosmic-ray neutrons during the ~ 6 month exposure for detection of the ^{238}U spontaneous fission fragments was carefully determined.

Specially apatite plays an important part in modern applications. Since '64 *Cesar* realized that stability of fission tracks over geological time was a crucial point. Our annealing experiments were aimed at a goal: a convincing correction technique of the thermally lowered FT age of muscovite. We were physicists, and wanted "true" formation ages to be compared with those measured by other methods. However, in those early years, other FT pioneers interested in earth sciences felt some new tool for studying the evolution of the earth's crust was available. Extrapolation to geological times of laboratory annealing experiments

suggested that in a temperature range of some tens degrees around $\sim 100^{\circ}\text{C}$ the fission tracks in apatite change from total instability to stability. Some years later, experimental results (age and length measurements) on apatites from deep-drill holes, that experienced for 10^6 - 10^7 years temperatures increasing with depth up to 200°C , fully confirmed those extrapolations. In the critical range, called Partial Annealing Zone (PAZ, between ~ 125 and $\sim 60^{\circ}\text{C}$), tracks are only partially retained.

In a simple case (a rock forms, cools and remains undisturbed), the clock apatite tells the time corresponding to an "effective retention temperature" assumed $\sim 100^{\circ}\text{C}$. In case of fast cooling (example, a volcanic rock), that time is in practice the formation age of the rock. Otherwise, when the time spent in the PAZ is not negligible, the measured age is a minimum age, and needs geological interpretation. Moreover, annealing experiments as well as results from deep-drill holes have shown that the track length is closely correlated with the highest temperature experienced.

As fission tracks are produced at a constant rate during time, each single track has an etchable length which depends on its specific thermal history. So, the track length distribution, made up by tracks of different ages which underwent different time-temperature paths, is a picture of the thermal history of the rock since it cooled $< 125^{\circ}\text{C}$. For these reasons, Apatite Fission Track Analysis (AFTA, combined age determinations - track length measurements) became an ideal tool for low temperature thermochronology (uplift studies, age and amount of displacement along faults, thermal evolution of sedimentary basins and ore deposits), important for its economical moment also, as that temperature range is critical for oil formation (the so called "oil window").

It is noteworthy that the *Cesar's* full length tracks (named "confined" tracks, Fig. 7) are commonly preferred in AFTA.

Since the pioneering papers which have shown that apatite FT ages increase with elevation^{18,19}, AFTA has been widely applied to the study of uplift-erosion phases of mountain belts. The principles are schematically shown in Fig. 8. Prior to uplift (on the left), apatites residing over the top of the PAZ record their full age. In the PAZ, their age decreases gradually down to zero (at the base of the PAZ). At lower depths, tracks are totally unstable. The effect of a phase of uplift is shown on the right. The rocks, during the vertical movement

cooled, apatites located prior to uplift at temperatures $> 125^{\circ}\text{C}$ reached the base of the PAZ and started to record tracks. In the final situation, result of a complex process of uplift - erosion - isostatic rebound, the curve age vs. depth shows a break in slope at the base of the uplifted previous PAZ (Palaeo PAZ), because apatites over that level retained pre-existing tracks. In this ideal case, many information on the geological event can be obtained: the age corresponding to the break in slope is the age of the beginning of the uplift phase. By the inclination of the curve age vs. elevation below the break in slope, it is possible to estimate the uplift rate. Finally, computer modelling allows to reconstruct, by the track length distributions of apatites from different elevations, the characteristics of the process.

In real cases, only when the Palaeo PAZ has not totally removed by erosion it is possible to recognize the break in slope. Fig. 9 shows an example from the Transantarctic Mountains, Antarctica. Apatites collected in a vertical profile, from 220 up to 2430 m, in the Mt Nansen massif (northern Victoria Land) yielded ages ranging from 31 up to 241 Ma, with an evident break in slope at ~ 1800 m - ~ 80 Ma²⁰. This break was interpreted as evidence of a Late Cretaceous uplift-erosion phase. The curve age vs. elevation suggests a further possible break at ~ 800 m - ~ 50 Ma also, consistent with an Early Cenozoic uplift period. This last had been established in other sectors of northern Victoria Land.

Confined track length distributions confirm the interpretation of the results. The youngest sample (C17) has a typical fast cooling distribution (mean length $14\mu\text{m}$, standard deviation $< 2\mu\text{m}$, a negative skewness). Sample C6 has an uplift-type distribution, but its length $< 14\mu\text{m}$, its s.d., $2\mu\text{m}$, and its larger skewness indicate a long residence in the PAZ. Sample B3 suggests a complex thermal history: the short mean length, the large s.d. and the ~ 0 skewness indicate that most tracks experienced temperatures $> 60^{\circ}\text{C}$. With the help of the geological information on the region, the history can be summarized as follows: after an early cooling, a thermal event due to a Middle Jurassic magmatism (around 170 Ma) produced a partial annealing of pre-existing tracks. After a long residence in the PAZ, the apatites cooled again during the mentioned uplift-erosion phase(s). Mt Nansen is just an example of the modern applications of FT dating to thermochronological studies.

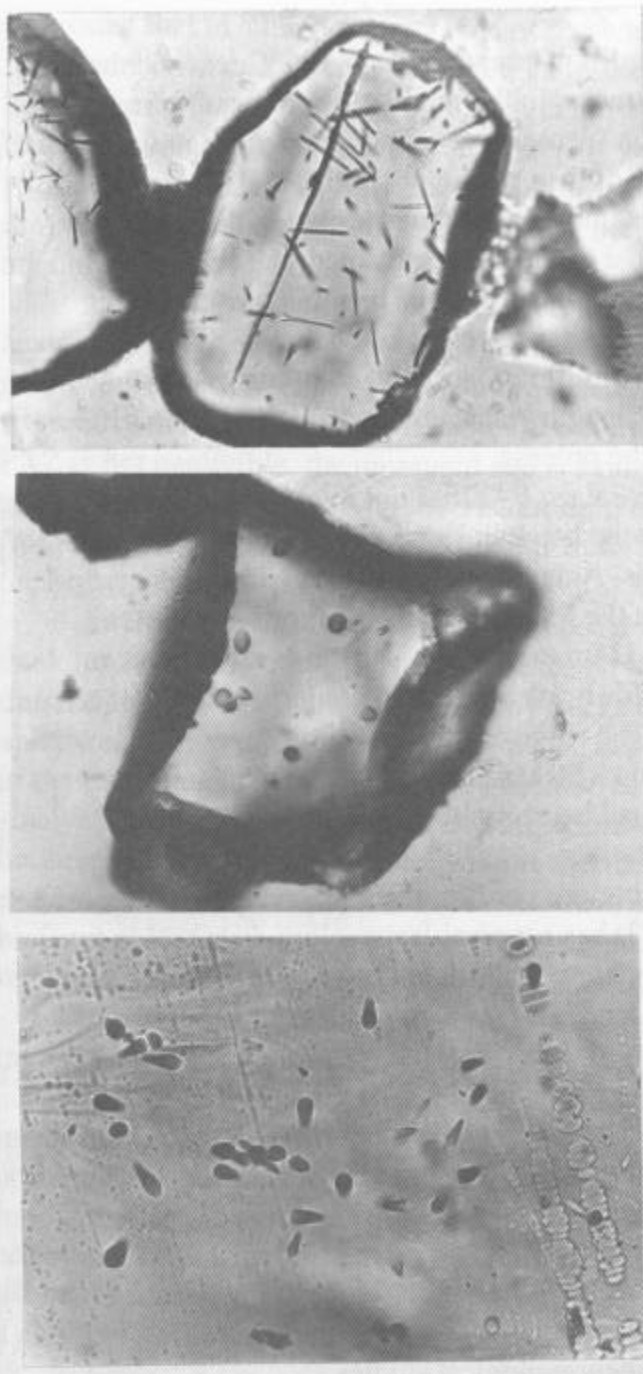
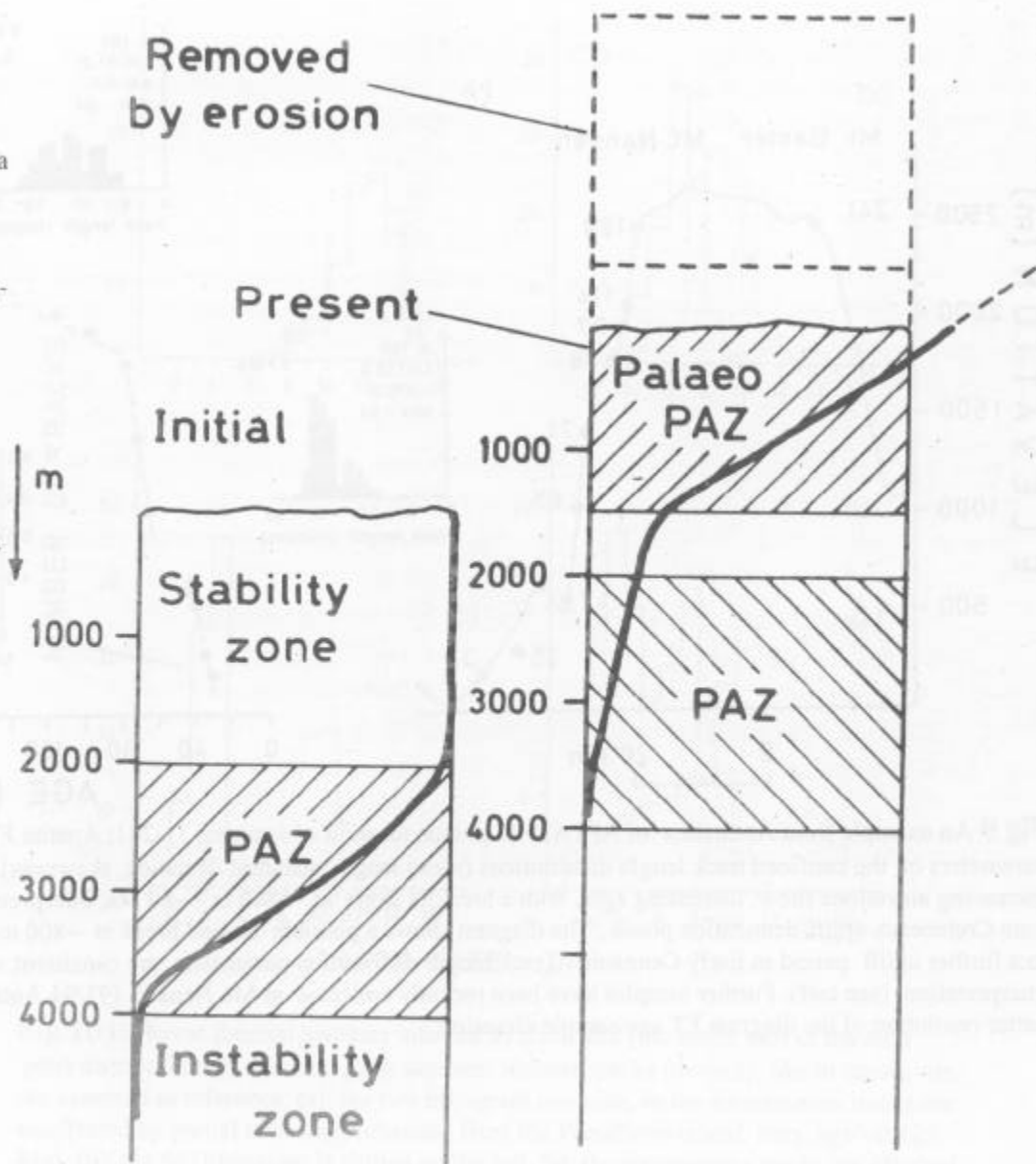


Fig.7 From the top: confined tracks in an Apatite grain etched 45" in 5% HNO_3 ; internal tracks crossing a fracture of the crystal were etched and show their full length. Tracks in a small glass fragment from a volcanic ash: frequently glass is the only datable phase of tephra. In the last picture: FT dating was applied to impact glasses with excellent results (see text): fission tracks in the Lybian desert glass (etched 6 min. in HF 40% at 40 °C). Glass pieces from a relatively large area yielded the same plateau age (~28.5 Ma). Although the hypothesis that the Lybian desert glass is due to a meteorite impact is widely accepted, a impact structure never was recognized in the region. So, other explanations were proposed such as a sedimentary origin or an impact with a comet that produced intense heating (up to more than 2000 °C), melting and vaporization of the desert siliceous sand.

Fig. 8 Schematic representation of a uplift-denudation phase and its effect on Apatite FT ages. It has been assumed a geothermal gradient around $30^{\circ}\text{C}/\text{km}$. The PAZ is uplifted by a complex process uplift-erosion-isostatic rebound. At the end of the tectonic event, the base of the previous PAZ (Palaeo-PAZ) is identified by a break in slope in the diagram Apatite FT age vs. sample elevation (the thick curve). See text for further explanations.



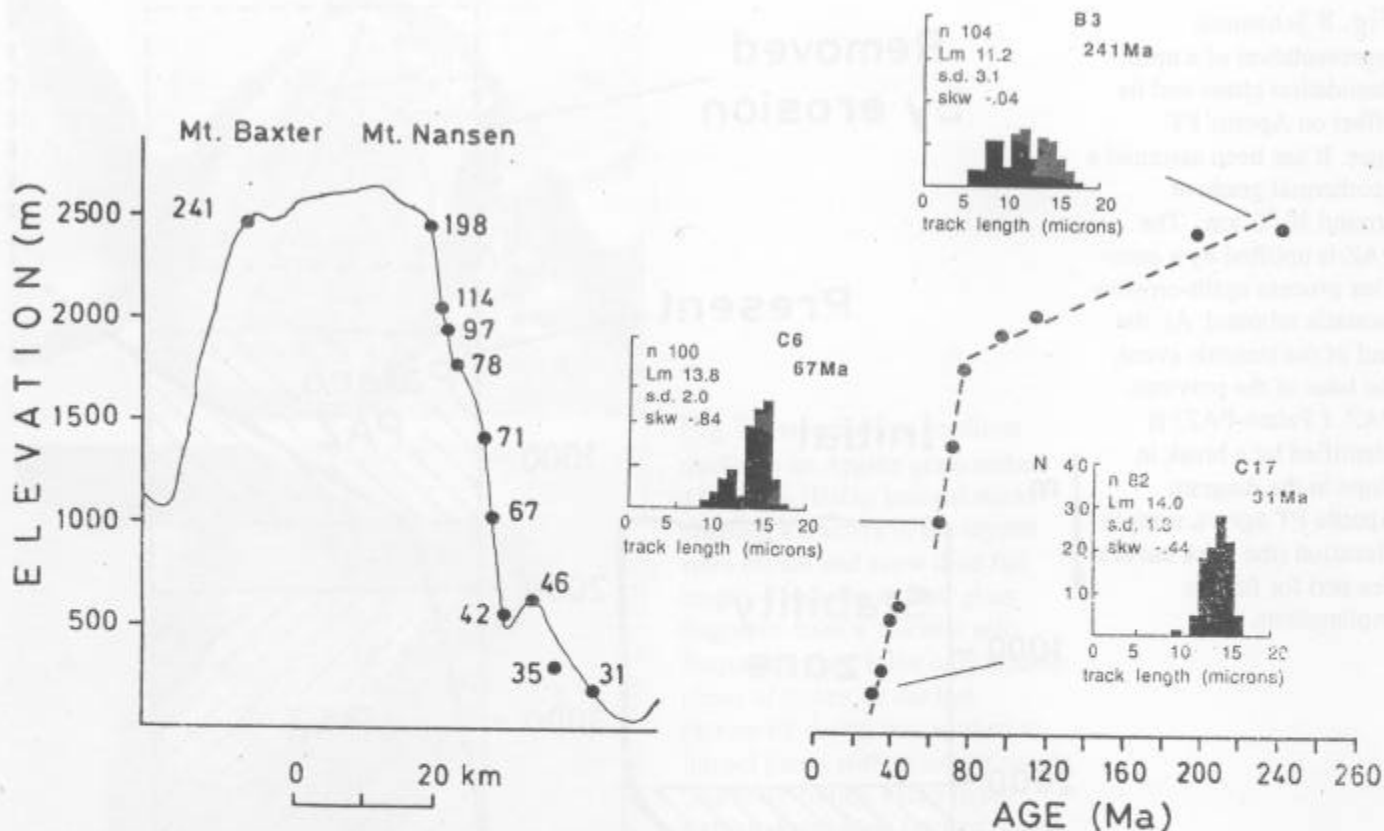


Fig 9 An example from Antarctica of AFTA. Full points: location of samples; 31-241; Apatite FT ages Ma); Lm, s.d., skw.: parameters of the confined track length distributions (mean length, standard deviation, skewness). Samples collected at increasing elevations show increasing ages, with a break in slope at ~1800 m - ~80 Ma, interpreted as the beginning of a Late Cretaceous uplift-denudation phase. The diagram shows a possible second break at ~800 m - ~50 Ma corresponding to a further uplift period in Early Cenozoic. Track length distribution parameters are consistent with the given interpretation (see text). Further samples have been recently collected at Mt. Nansen (93/94 Antarctic campaign) for a better resolution of the diagram FT age-sample elevation.

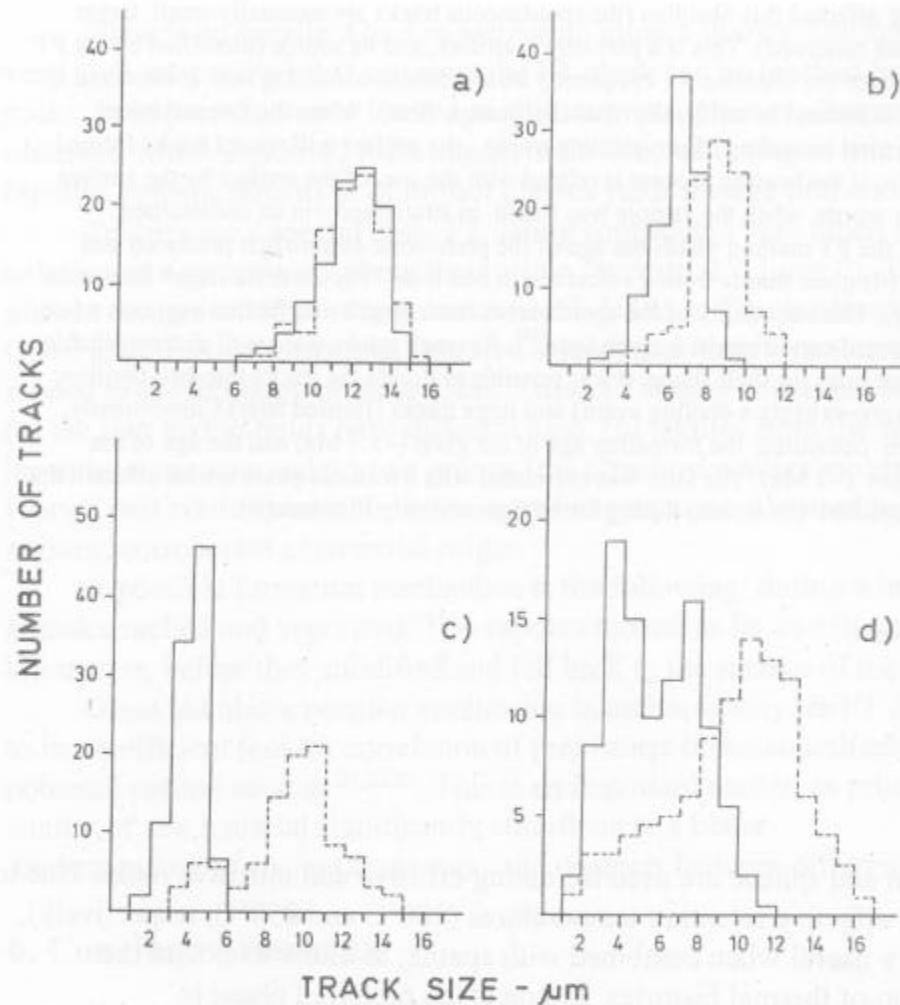


Fig.10 Different thermal histories inferred by track size (the major axis of the etch pits) distributions in volcanic glass samples. Induced tracks (dashed), like in muscovite, are assumed as reference. (a): the two histogram coincide, so the spontaneous tracks are unaffected by partial annealing (obsidian from the Pantelleria island, Italy, age ~ 0.125 Ma). (b): the full histogram is shifted on the left. So, the spontaneous tracks are affected by a moderate annealing rate (Monte Arci obsidian, Sardinia, Italy). The apparent age, ~ 2.6 Ma, resulted lowered by $\sim 30\%$. This is the most ordinary case; due to low stability of fission tracks in glass, a certain degree of track shortening is produced at room temperature also. (c): a relatively intense heating

event recently affected this obsidian (the spontaneous tracks are unusually small, larger tracks were not observed). This is a prehistoric artifact, and its source (identified by the FT method) had been the obsidian b). Frequently an anomalous annealing rate is observed in artifacts, due to natural or artificial events (lightnings, fires). When the thermal event produced the total annealing of pre-existing tracks, the artifact will record tracks formed afterwards. So, if the heating process is related with the use of the artifact by the ancient man (in other words, when the sample was found in stratigraphy in an undisturbed excavation), the FT method yields the age of the prehistoric culture that produced and used it^(21,22). (d) glass shards from a volcanic ash bed from "Flysch della Laga" formation (Eastern Italy). The bimodality of the spontaneous track length distribution suggests a fast change of thermal conditions at a given time⁽²³⁾. As small tracks were well distinguishable from the larger ones for their shape, it was possible to divide the tracks into two families: small tracks (pre-existing a cooling event) and large tracks (formed later). Consequently, two ages were computed: the formation age of the glass (~5.5 Ma) and the age of the cooling process (~2 Ma). The later was correlated with a tectonic phase which affected the region (and uplifted the flysch) during Late Pliocene-Early Pleistocene).

Zircon and sphene are used for dating effusive and intrusive rocks. Due to their higher effective retention temperatures (200°C and 250°C, respectively), they are very useful when combined with apatite, as allow to extend the reconstruction of thermal histories. Zircon is the preferred phase in tephrochronology.

Glass is important for chronostratigraphy in volcanic districts and in tephrochronology, as glass is the only datable phase of many tephra. The stability of fission tracks in glass is rather poor: except in few cases an age correction technique is needed (the size correction method or the plateau method). Luckily, several experimental evidences have shown that corrected FT ages of glass samples are reliable formation ages. Moreover, as apatite, glass is useful for low temperature thermochronological studies (Fig. 10).

Glass is an excellent tool in meteoroid impact studies. During impact, a very high temperature that can reset the FT clock can be reached by the target rocks. In impact structures formed in silicate rocks, glass are frequently observed which solidified from impact melts. So, FT dating of mineral phases (apatite, sphene, zircon) or of impact glasses yields the age of the impact.

Tektites are a special case: FT dating contributed very much to the solution of a controversy about their origin (terrestrial ?, lunar ?). These unusual glasses recognized in four large areas (in SE USA, in Czechoslovakia, in Ivory Coast and SE Asia - Australia) puzzled scientists as their characteristics are not related to the lithology of those areas. These FT dating experimental evidences: (a) the four tektite fields have different ages, (b) tektites from the same group have the same ages and (c) two groups (the Czechoslovakian moldavites and the Ivory Coast tektites) have the same age of impact craters located in adjacent regions, corroborate a terrestrial origin.

A possible formation mechanism is the following: during a impact, silicates melted and vaporized. The vapours moved as far as a thousand kilometers, before they solidified and fell back to the surface of the earth.

Glass has also a peculiar application in archaeometry, as FT dating proved to be an efficient tool for correlation of prehistoric obsidian artifacts with potential natural sources^{21,22,23}. This is an important matter, as provenance studies of raw material significantly contribute to a better understanding of ancient trade ways and contacts between different cultures.

6. Conclusive remarks

What remains of those FT dating early years ? Actually, the questions raised by *Cesar* many years ago are still up-to-date. From the *Cesar's* intuition that full length track distributions could contain a lot of information about the history of a rock, originated the modern thermochronological application of FT dating.

The problem of the calibration of FT ages is still open: no doubt, the adoption of age standards was a progress, specially for interlaboratory comparison. However, it does not represent a satisfactory solution of the problem, as FT ages depend on age determinations by other radiometric

methods. This may turn out deceptive. For example, the widely accepted age standard Fish Canyon Tuff apatite (FCT) shows a 5% - 10% spontaneous track shortening.

Following several authors, this evidence implies spontaneous track areal density (and, consequently, age) lowering. So, the use of FCT apatite as an age standard, assuming a K-Ar age as reference age, may introduce a systematic error.

As a matter of fact, the main goal of the present cooperation between the Pisa and Campinas groups is an absolute calibration, based on a reliable λ_F value and on a fluence determination based on the ^{235}U induced fission. Taking advantages from the experience acquired during the ^{238}U λ_F measurement experiment, new U thin films for higher fluences determinations have been prepared at the UNICAMP, and the first tests resulted very satisfactory²⁴. The experiment that *Cesar* had planned on *Dirac's* hypothesis appears difficult to be carried out. A systematic deviation of the curve FT age vs. other ages from a 45°C straight line could be detected only in case of very old ages. Many years of FT dating of micas have shown that mica is not an ideal phase for *Cesar's* experiment. Its effective retention temperature resulted sufficiently high (~170°C). However, too high or too low ages geologically unexplicable as well as inhomogeneities of uranium along fractures and crystal edges suggest that, at least in some cases, muscovite is not a "closed system": secondary U movements can occur. So, other phases should be chosen. Zircon is apparently a good candidate, for its high track retentivity and its presence in many rocks. Unfortunately, its U-content is commonly too high: old zircons frequently show radiation damage and/or too high track densities that prevent the FT analysis.

7. Post scriptum

I owe very much to *Cesar* and his group. Due to the institutional reason for existence of my Institute, I was here mainly engaged in applications, sometimes routinary, to geologic problems. So, I valued the cooperation with Campinas, as we worked there with FT's founding. I wish to thank my colleagues/ friends of the UNICAMP not only for their "scientific help": their excellent human qualities were the background where good ideas ripened.

I do not know whether *Cesar* still remembers this sentence he said to me many years ago: "*Giulio*, this is the only one good thing you've done in Brazil". He was referring to a personal event that changed my life, when I and my wife became parents of a Brazilian girl. Those few words, that apparently reproved me for my work at (and in cooperation with) the UNICAMP, represented for me the essence of a friendship. They showed his affection, were his wishes for our "new" life and ... his praise and thanks for my work. *Giulio*.

Cesar, thanks for your human and scientific teaching ... and to have forbidden us to use computer software before we knew what we exactly wanted to do ! The two - os dois - i due *J(Gi)ulios*.

** . Tupi-Guarani was a language of the aborigines who inhabited Brazil in the times of its discovery.

*** . It was employed a tangential beam-hole of the IPEN/CNEN 2 MW reactor (São Paulo, Brazil)

1. Dirac P.A.M. (1938) A new basis for Cosmology. *Proc. Roy. Soc.* **A165**, 199-208.
2. Price P.B. and Walker R.M. (1962) Observation of fossil particle tracks in natural mica. *Nature* **196**, 732-734.
3. Price P.B. and Walker R.M. (1963) Fossil tracks of charged particles in mica and the age of minerals. *J. Geophys. Res.* **68**, 4847-4862.
4. Fleischer R.L. and Price P.B. (1964a) Techniques for geological dating of minerals by chemical etching of fission fragment tracks. *Geochim. Cosmochim. Acta* **28**, 1705-1714.
5. Fleischer R.L. and Price P.B. (1964b) Decay constant for spontaneous fission of U^{238} . *Phys. Rev.* **133B**, 63-64.
6. Segré E. (1952) Spontaneous fission. *Phys. Rev.* **86**, 21-28.
7. Maurette M., Pellas P. and Walker R.M. (1964) Etude des traces de fission fossiles dans le mica. *Bull. Soc. Franç. Minér. Crist.* **87**, 6-17.
8. Bigazzi G. (1967) Length of fission tracks and age of muscovite samples. *Earth planet. Sci. Lett.* **3**, 434-438.
9. Storzer D. and Wagner G.A. (1969) Correction of thermally lowered fission track ages of tektites. *Earth planet. Sci. Lett.* **5**, 463-468.
10. Wagner G.A. and Storzer D. (1970) Die Interpretation von Spaltspurenaltern (fission track ages) am Beispiel von natürlichen Gläsern, Apatiten und Zirkonen. *Ecol. Geol. Helveticae* **63**, 335-344.
11. Storzer D. and Poupeau G. (1973). Ages-plateaux de minéraux et verres par la méthode des traces de fission. *Compt. Rend. Acad. Sci., Paris* **D276**, 137-139.

12. Bigazzi G., Cattani M., Cordani U.G. and Kawashita K. (1971). Comparison between radiometric and fission track ages of micas. *An. Acad. Brasil. Cienc.* **43**, 633-638.
13. Mantovani M.S.M. (1974). Variation of characteristics of fission tracks in muscovites by thermal effects. *Earth planet. Sci. Lett.* **24**, 311-316.
14. Bigazzi G., Ciocchetti E.M., Hadler N. J.C., Lattes C.M.G. and Serra B. D.A. (1976). Osservazioni sull'anisotropia nella registrazione di fissioni di uranio in muscovite. *Soc. It. Miner. Petr. - Rendiconti XXXII*, 119-127.
15. Bigazzi G. (1981). The problem of the decay constant, λ_F of ^{238}U . *Nucl. Tracks Radiat. Meas.* **5**, 35-44.
16. Hadler Neto J.C., Lattes C.M.G., Marques A. and Marques M.D.D. (1980). Anomalous tracks observed in uranium loaded emulsions. *Nucl. Instrum. Meth.* **172**, 587-589.
17. Hadler J.C., Lattes C.M.G., Marques A., Marques M.D.D. and Serra B. D.A. (1981). Measurement of the spontaneous-fission disintegration constant of ^{238}U . *Nucl. Tracks Radiat. Meas.* **5**, 45-52.
18. Dodge F.C.W. and Naeser C.W. (1968). - Ages of apatites from granitic rocks of the Sierra Nevada Batholith. *Trans. Am. Geophys. Union*, **49**, 348.
19. Wagner G.A. & Reimer G.M. (1972). - Fission track tectonics: the tectonic interpretation of fission track apatite ages. *Earth planet. Sci. Lett.*, **14**, 263 - 268.
20. Balestrieri M.L., Bigazzi G., Ghezzi C. & Lombardo B. (1993). - Fission track dating of apatites from the Granite Harbour Intrusive Suite and uplift-denudation history of the Transantarctic Mountains in the area between the Mariner and David Glaciers (northern Victoria Land, Antarctica). *Terra Antartica*, **1**, in press..
21. Arias C., Bernardes C., Bigazzi G., Bonadonna FP., Cesar M.F., Hadler N. J.C., Lattes C.M.G., Oliveira J.X. e Radi G. (1986). - Identificação da proveniência de manufaturados de obsidiana através da datação com o método do traço de fissão. *Ciência e Cultura*, **38**, 285-308.
22. Arias C., Bigazzi G., Bonadonna FP., Cipolloni M., Hadler J.C., Lattes C.M.G. and Radi G. (1986). - Fission track dating in archaeology. A useful application. In: *Scientific Methodologies Applied to Works of Art*. Editor: Paolo L. Parrini. *Montedison, Progetto Cultura*, 151-159.
23. Bernardes C., Bigazzi G., Bonadonna FP., Centamore E., Lattes C.M.G. & Hadler J.C. (1986). - Fission track dating on glass from "Flysch della Laga" formation. A very interesting and problematic application. *Nucl. Tracks Radiat. Meas.*, **12**, 901-904.
24. Bigazzi G., Hadler J.C., lunes P.J., Oddone M., Paulo S.R. & Poupeau G. (1990). - On neutron dosimetry: comparison between different dosimeters: preliminary results. *Nucl. Tracks Radiat. Meas.*, **17**, 217-22



*Neusa Margem, nos trabalhos científicos publicados quando solteira.

Neusa Amato*

Publicou, em 1950, em colaboração com *E. Frota Pessoa*, nos *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, o primeiro trabalho de pesquisa inteiramente realizado no CBPF: “Sobre a desintegração do méson pesado positivo”. Foi contratada em março de 1951, sendo presentemente a mais antiga pesquisadora da casa, funcionalmente ainda em atividade.

Participa da Colaboração Brasil-Japão desde 1966, tendo sido designada, logo a seguir, responsável pela parte do CBPF, posição que ocupa até os presentes dias.

É autora de numerosos trabalhos originais de pesquisa e participou ativamente de muitos congressos e reuniões científicas, dentro e fora do país.

A Colaboração Brasil - Japão

Neusa Amato

1. Introdução

Desde sua descoberta, no início do século, a radiação cósmica vem sendo estudada em várias de suas manifestações. O estudo das interações nucleares produzidas pelos raios cósmicos de energia extremamente alta recebeu particular atenção, pois constitui uma sonda para o comportamento da matéria e seus constituintes elementares.

Muitas partículas foram descobertas através daqueles estudos, sendo que as emulsões nucleares desempenharam um papel destacado nessas pesquisas. Entre essas descobertas ressalta a do meson- π , em 1947, por *Lattes, Ochiellini e Powel*, confirmando previsões teóricas de *Yukawa*.

Em 1940 experiências realizadas no Brasil por *Wataghin, Pompeia e Souza Santos* levaram a importante descoberta envolvendo os chuueiros penetrantes: a de que a produção de secundários penetrantes se dava em colisões individuais (produção múltipla) e não, como muitos pensavam, em colisões sucessivas do primário energético (produção plural). A idéia da produção múltipla de partículas existiu desde meados dos anos '30, antes mesmo da descoberta do pión; foram propostos vários modelos fenomenológicos para sua interpretação.

As informações experimentais obtidas com raios cósmicos desenvolviam-se sob grandes dificuldades: de um lado o fluxo de primários da radiação cósmica decresce rapidamente quando a energia aumenta e, de outro, o problema instrumental das técnicas de medida para identificar e separar pela energia secundários de energia cada vez mais alta. Em 1956 um grupo japonês tentou uma solução elevando câmaras detectoras em vôos de balão. Um aspecto importante que contribuiu para o sucesso do projeto foi o da utilização, pela primeira vez, da teoria de *Nishimura-Kamata* às cascatas observadas nas emulsões nucleares, estabelecendo as bases para as medidas de energia em



raios- γ de altíssima energia. Essa teoria apresentou soluções muito convenientes para observações envolvendo o desenvolvimento de cascatas eletromagnéticas e vem sendo empregada, desde então, para o estudo de interações nucleares de energia extremamente alta.

No final dos anos '50 o projeto ICEF (International Cooperative Emulsion Flight) também lançou pilhas de emulsões nucleares em vôos de balão para estudar a produção múltipla; desse projeto fizeram parte 15 países, inclusive o Brasil, através do grupo de *Lattes*, na USP.

Esses projetos permitiram obter informações confiáveis sobre as interações nucleares produzidas por primários da radiação cósmica com energias entre 1 e 10 TeV; acima dessas energias, e mesmo nas vizinhanças de seu limite superior, as medições eram inexistentes ou insatisfatórias, demandando outras formas de observação. De particular interesse era a ampliação do limite superior do intervalo de energias, para obter informações até pelo menos 100 TeV, já alcançadas nos dispositivos de Chuveiros Atmosféricos Extensos. Uma análise dos sucessos e dificuldades anteriores e a comparação com os resultados usando a técnica dos chuveiros extensos, levou à conclusão que as observações deveriam envolver detectores com muito maior eficiência e tempos de exposição maiores, o que levava inevitavelmente ao uso de dispositivos instalados em altitudes de montanha.

As limitações em altitude dos laboratórios em montanhas disponíveis para os cientistas japoneses (Monte Norikura, Monte Fuji, com acesso ao transporte de materiais) levaram um grupo de físicos a pedir a interveniência do Prof. *Yukawa*, para propor a *Lattes* uma colaboração envolvendo os eventos às mais altas energias, a ser desenvolvida em Chacaltaya, Bolívia, a 5200 m, onde *Lattes* expusera anos antes as emulsões que levaram à descoberta do meson- π . Assim, em 1959, o Prof. *Yukawa* remeteu a *Lattes* uma carta, contendo os termos gerais desse acordo. Em 1962 nascia, como consequência desses entendimentos, a Colaboração Brasil-Japão (CBJ) para o estudo de interações a elevadas energias na radiação cósmica. Da CBJ participaram, no Brasil, a USP, o CBPF, a UNICAMP e a UFF e no Japão diversas universidades e centros de pesquisas (ver Bibliografia).

Durante os primeiros anos, quando a colaboração tinha numerosos problemas a vencer, tanto no Japão como no Brasil, duas personalidades, que

não aparecem listadas na Bibliografia, desempenharam papéis da maior relevância. No Brasil o Prof. *Mario Schönberg* e no Japão o Prof. *Matsuo Taketani* empenharam o prestígio científico de que gozavam nas respectivas comunidades para garantir a instalação e a consolidação dos grupos, além do respaldo científico nas difíceis decisões iniciais.

Em seus pouco mais de trinta anos de duração foram expostas no Monte Chacaltaya 24 câmaras com as quais a CBJ estudou os principais aspectos relativos à produção múltipla de partículas na região de energia cobrindo o intervalo $10^{13} - 10^{17}$ eV.

2. Câmaras de Emulsões

A câmara de emulsões é formada por vários blocos, cada um dos quais é constituído de placas de chumbo alternadas com envelopes contendo material foto-sensível (filmes de raios-X justapostos a emulsões nucleares). Os blocos têm dimensões 40 cm x 50 cm, sendo que a profundidade da câmara varia de uma para outra.

Quando uma partícula da radiação cósmica incide na atmosfera terrestre, pode colidir, após um intervalo de vôo livre, com um núcleo dos gases constituintes dela, produzindo principalmente píons. Entre essas partículas os píons neutros, π^0 , se desintegram imediatamente (dentro de um tempo médio de 10^{-16} s) em dois raios- γ . Cada raio- γ , de elevadíssima energia, incidindo na câmara de emulsões, experimenta sucessivas interações eletromagnéticas com núcleos das placas de chumbo, produzindo, nas diversas profundidades da câmara, um grande número de novos raios- γ , elétrons e pósitrons, através da emissão de radiação de freiamento (Bremsstrahlung) e da criação de pares de partículas, constituindo a chamada *cascata eletromagnética* (c.e.m.). A fig. 1 apresenta um esquema do desenvolvimento de uma c.e.m..

Quando a energia desenvolvida na cascata é maior que o limiar de sensibilidade do dispositivo (1 TeV nos filmes de raios-X; 0.2 TeV nas emulsões nucleares) a c.e.m. é detectada. Nos filmes de raios-X a c.e.m. se mostra como uma mancha escura, visível a olho nu, enquanto que nas placas de

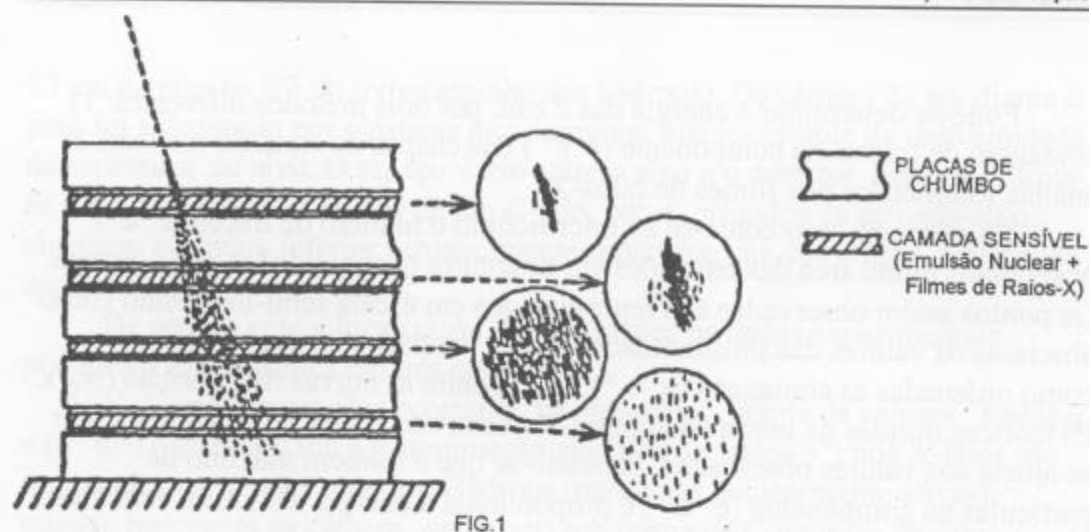


Fig. 1

emulsões nucleares, aparece ao microscópio como um conjunto de traços paralelos (imagens das trajetórias de elétrons e pósitrons (e^-e^+)).

Cada bloco é analisado segundo o seguinte procedimento: 1) busca-se nas placas de raios-X, a olho nu, a localização das manchas acusando a passagem das c.e.m.; 2) superpondo o filme de raios-X à placa de emulsão a ele adjacente, localizam-se as posições da passagem das c.e.m., marcando essas posições; 3) no microscópio focalizam-se essas regiões e observam-se as partículas. Esse procedimento é repetido para os filmes localizados em todas as profundidades na câmara. Para as c.e.m. assim encontradas, mede-se o ângulo entre a projeção horizontal dos traços da componente (e^-e^+) e um eixo de referência. Superpondo-se os filmes de raios-X (nas diferentes profundidades), um a um, numa folha de papel milimetrado, marcam-se as posições dos eventos (c.e.m.) e constrói-se o "mapa do bloco", que representa as projeções horizontais das direções de incidência dos eventos.

Em alguns casos obtém-se um grupo de c.e.m. paralelas, correspondendo à incidência simultânea, na câmara, de raios γ originados num mesmo evento nuclear na atmosfera: este grupo constitui uma "família" de raios- γ . A análise das famílias dá informações sobre as interações das quais resultam. Para analisar uma família deve-se determinar as posições e as energias dos raios- γ que a constituem.

Pode-se determinar a energia das c.e.m. por dois métodos diferentes: 1) contagem de traços da componente (e^-e^+) nas chapas de emulsão nuclear; 2) análise fotométrica nos filmes de raios-X.

No primeiro caso conta-se ao microscópio o número de traços (e^-e^+) observados numa área das emulsões em diferentes profundidades, t , da câmara. Os pontos assim observados são representados em escala semi-log tendo como abscissas os valores das profundidades, t (em "unidades de cascata", u.c.), e como ordenadas as contagens (e^-e^+), N_e . Dentre as curvas de transição ($N_e \times E$) teóricas obtidas da teoria Nishimura-Kamata, escolhe-se aquela que melhor se ajusta aos valores observados. Sabendo-se que o número máximo de partículas na componente (e^-e^+) é proporcional à energia da c.e.m. esta fica determinada através de uma calibração da curva $N_e(\text{max}) \times E$.

No segundo caso mede-se o escurecimento da mancha produzida pela c.e.m. nos filmes de raios-X. Para tal, com auxílio do fotodensitômetro, mede-se a opacidade do filme de raios-X na região da c.e.m. A opacidade é definida pela relação $D = \log_{10}(I_0/I)$ onde I é a leitura de corrente elétrica correspondendo ao centro da mancha devida à c.e.m. e I_0 é a que corresponde à transmissão luminosa das vizinhanças (fundo). Para cada c.e.m. determinam-se os valores D nas diferentes profundidades, t , e agora representa-se em escala semi-log a opacidade contra a profundidade ($D \times t$). Em seguida escolhe-se a curva de transição teórica que melhor se ajusta aos dados experimentais, de onde resulta o valor máximo de D ; este é convertido em energia mediante uma curva de calibração, $D_{\text{max}} \times E$.

Buscando otimizar custos e o desempenho das câmaras, sua geometria tem apresentado alguma variação, ao longo do tempo. Em suas linhas gerais as câmaras da CBJ foram de dois tipos. O primeiro, denominado *câmara simples* foi projetado para detectar principalmente os eventos produzidos na atmosfera acima dela (A-jatos); o segundo tipo, *câmaras de dois andares*, que detectam também as interações ocorridas num alvo localizado dentro da própria câmara (C-jatos).

Desde a câmara nº 15 a estrutura adotada é a de dois andares, com área total de 40 m². Este tipo é constituído de câmara superior, camada alvo, espaço vazio e câmara inferior. A câmara superior funciona como absorvente e detector de eventos atmosféricos. Até a câmara nº 21 a camada-alvo era constituída de

23 cm de pixe ($\approx 1/3$ do livre caminho dos hádrons). Da câmara 22 em diante o pixe foi substituído por plásticos que permitem maior controle da uniformidade da espessura do alvo. O espaço vazio entre o alvo e o detector inferior destinase a fazer com que os raios- γ de um C-jato, isto é, oriundos da camada-alvo, cheguem à câmara inferior razoavelmente separados uns dos outros, facilitando assim as medidas individuais.

De acordo com a localização das interações os dados experimentais podem ser classificados em três categorias:

1) A-jatos: interações ocorrendo na atmosfera, acima da câmara. Raios- γ e (e^- e e^+) (reunidos sob a denominação genérica de "raios- γ ") nos A-jatos são registrados na câmara superior. Hádrons (partículas nuclearmente ativas), quando interagem na câmara, aparecem sob forma de C-jatos ou Pb-jatos.

2) C-jatos: são interações que ocorrem na camada-alvo da câmara; os raios- γ produzidos são registrados na câmara inferior. Usualmente um C-jato é visto a olho nu no filme de raios-X, como um ponto escuro, enquanto na emulsão vários chuveiros são vistos ao microscópio.

3) Pb-jatos: são interações ocorrendo em placas de chumbo. Se ocorrem na câmara superior são denominados Pb-jatos-Sup e, se na câmara inferior Pb-jato-Inf. Usualmente um Pb-jato é registrado como um ponto escuro nos filmes de raios-X e como um chuveiro único nas placas de emulsão.

A fig. 2 mostra esquematicamente uma câmara de dois andares.(câmara 18) com os três tipos de interações mencionados acima.

3. Resultados

Na região de energias 10-100 TeV a CBJ estudou os fenômenos ocorridos na camada-alvo, os C-jatos. Através desses estudos foram encontradas algumas características na produção de píons distintas daquelas esperadas pelas observações com aceleradores de partículas, na região de energias mais baixas (até a região do ISR). Essas características são as seguintes:

i) a multiplicidade aumenta com a energia mais rapidamente do que a dependência logarítmica;

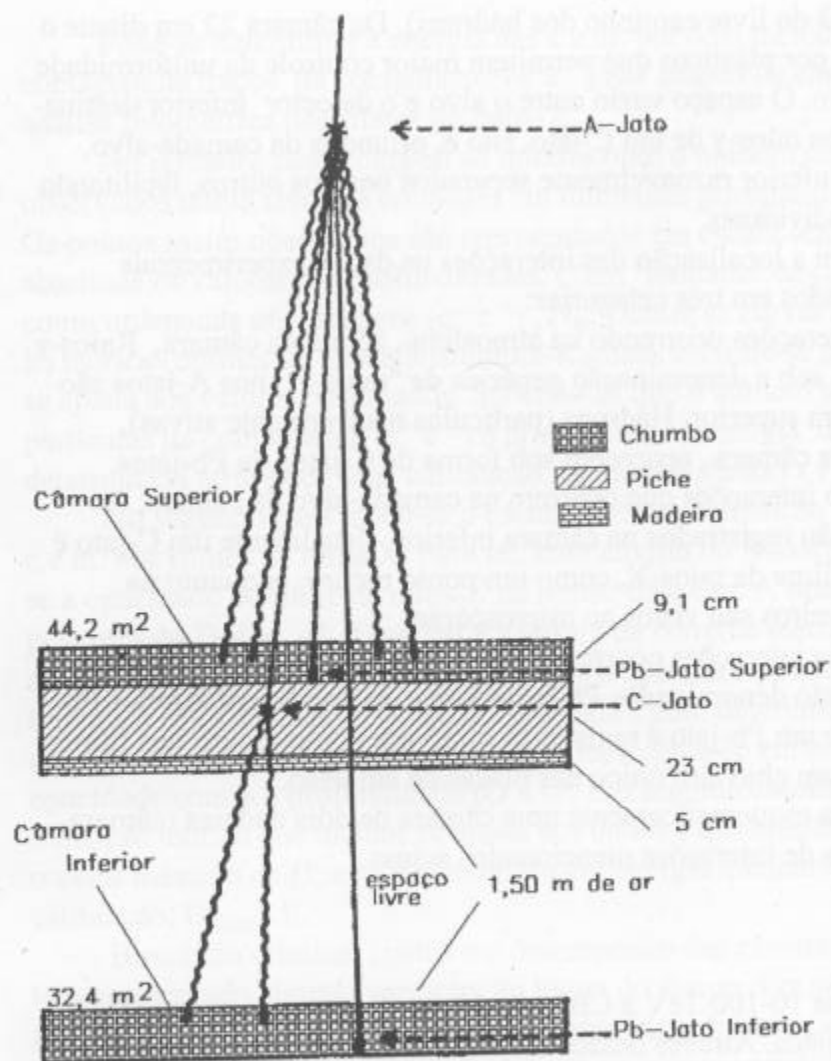


FIG. 2

Fig. 2

- ii) a densidade de rapidez aumenta com a energia;
- iii) o momento transversal médio aumenta com a energia
- iv) a densidade de rapidez e o momento transversal médio apresentam correlação positiva;

v) alta taxa de produção de partículas pesadas instáveis, com charme, etc.

Essas características podem ser interpretadas como devidas ao aparecimento, na região de energias mais altas, de bolas de fogo mais pesadas (*açu, guaçu*), diferentes das bolas de fogo menores (*mirim*), para as quais vale o "scaling". Essas características foram confirmadas pelas experiências com o acelerador SppS do CERN.

Na região 100 - 1000 TeV foram estudados os A-Jatos, isto é, as interações ocorridas na atmosfera. No que diz respeito à produção de píons, as características seguem as linhas encontradas por extrapolação dos resultados dos C-jatos. Importante foi o aparecimento de um novo tipo de interação nuclear, chamado *família de Centauro*. Até agora foram encontrados quatro membros nessa família: *Centauro, Mini-Centauro, Geminion e Chiron*. Esses quatro tem em comum a ausência de emissão de raios- γ (π^0) na interação. Os dois primeiros são interpretados como a produção de bárions e anti-bárions, e os dois últimos como a produção de "partículas novas, mais pesadas". A colaboração PAMIR (ver Bibliografia) observou alguns exemplos de Mini-Centauro e Chiron.

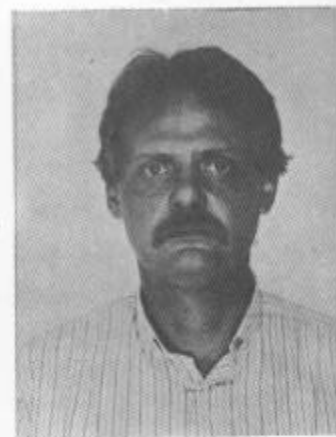
Em alguns eventos tipo Chiron são observados grupos de chuveiros com pequeno espalhamento lateral, com grande poder de penetração, contendo hádrons. Estes grupos são chamados mini-aglomerados ("mini-clusters"). Se admitirmos que o mini-aglomerado é uma espécie de interação, seu p_T médio resulta muito pequeno, da ordem de 10-20 MeV/c.

Na região de energias acima de 1000 TeV observam-se alguns eventos que têm como característica comum a forte concentração de energia na região central; são os chamados *eventos com halo*. Devido a sua grande resolução espacial a emulsão nuclear permite estudar em detalhe esses fenômenos. Presentemente todos os grupos que realizam experiências com câmaras de emulsão expostas à radiação cósmica em montanhas, (Chacaltaya, Pamir, Fuji e Kambala) estão buscando novos eventos nessa região de energias.

Os vários aspectos dos eventos com halo (densidade de partículas muito alta no halo, grande espalhamento lateral, presença de grande número de hádrons, grande poder de penetração, etc) podem indicar que se está diante de um tipo novo de interação nuclear.

Carlos Alberto Aragão de Carvalho Filho

Nasceu no Rio de Janeiro, em 1951. É Bacharel e Mestre em Física pela PUC/RJ e PhD pela Universidade de Princeton. Foi Pesquisador do CERN em 1980-1981, Pesquisador da Universidade de Paris XI em 1981-1982 e, desde 1985, é Professor Associado da PUC/RJ. É presentemente Professor Titular da UFRJ e foi Professor Visitante da Universidade de Princeton, em 1989. É Membro Associado da Academia Brasileira de Ciências. Suas linhas de interesse situam-se na Mecânica Estatística das Teorias Quânticas de Campos, suas aplicações a sistemas de partículas elementares e de Matéria Condensada. Entre 1986 e 1988 exerceu a direção do Departamento de Física da PUC/RJ, foi Decano do Centro Técnico-Científico daquela Universidade, no período de 1992-1993, Vice-Diretor do Centro Latino-Americano de Física (1992-1994) e Diretor dessa organização, a partir de 1994.



Instituto de Física da UFRJ, Cidade Universitária, Ilha do Fundão, Rio de Janeiro, RJ

Estados Coerentes de Pions

Carlos A.A. de Carvalho *

*aragao@if.ufrj.br

ABSTRACT

We present a review of recent developments that suggest the formation of pion condensates, both in heavy-ion collisions and in the Centauro (anti-Centauro) events observed in the study of cosmic rays.

1. Introdução

Ultimamente, surgiram na literatura várias propostas teóricas que sugerem a formação de estados coerentes (condensados) de píons em eventos observados em raios cósmicos^{1,2,3} e em colisões de íons pesados nos grandes aceleradores^{4,5}. Tais estados ocorreriam ao atingirmos densidades de energia de vários GeV/fm³ e estariam correlacionados ao longo de dimensões lineares de cerca de 10 fm. Ao decair eles dariam origem a uma produção copiosa de píons observada nos cenários experimentais mencionados.

A característica surpreendente dessa produção copiosa de píons é a constatação, em certos eventos, de uma assimetria entre o número de píons neutros e carregados. Isto foi observado, por exemplo, em eventos registrados nas câmaras de emulsão dos experimentos com raios cósmicos, realizados no Observatório do Monte Chacaltaya, a 5200 m de altitude, na Bolívia, pela Colaboração Brasil-Japão¹. Eventos com excesso de píons carregados foram denominados *Centauro*, enquanto aqueles em que predominam píons neutros foram denominados *anti-Centauro*.

Para explicar a assimetria verificada experimentalmente, as propostas teóricas utilizam modelos em que há uma quebra da invariância rotacional no espaço de spin isotópico. Na fase de simetria quebrada, o condensado piônico seria análogo a um ferromagneto, possuindo diferentes domínios, isto é, regiões

espaciais em que a "magnetização" no espaço de spin isotópico apontaria numa dada direção. Este tipo de estado coerente ficou conhecido como "condensado quirial desalinhado" ("disoriented chiral condensate" - DCC).

Neste artigo pretendemos descrever a evolução dessas idéias teóricas, sem a pretensão de fazermos uma retrospectiva completa do assunto. O nível será introdutório, referindo-se o leitor aos artigos originais para discussões mais técnicas. A estrutura do artigo é a seguinte: na seção 2 apresentaremos a idéia original, devida a *Anselm*⁶, e seu desdobramento⁷; na seção 3, discutiremos o enfoque de *Rajagopal* e *Wilczek*^{8,9} que se baseia na hipótese da existência de uma transição de fase quirial em Cromodinâmica Quântica (QCD); na seção 4 comentaremos resultados dos últimos meses que fazem uma crítica dos mecanismos propostos anteriormente; finalmente, na seção 5, apresentaremos conclusões e especulações

2. A proposta original de Anselm

Em 1989, *Anselm*⁶ propôs que, em colisões de íons pesados, poderia ocorrer a formação de um estado coerente de píons. Este, ao decair, explicaria a copiosa produção dessas partículas observada na experiência⁴.

A descrição fenomenológica da dinâmica dos píons, adotada no artigo original, propunha o modelo sigma não-linear como teoria efetiva para QCD a baixas energias. Limitava-se, portanto, a considerar um campo mesônico escalar, σ , e três campos pseudo-escalares, π . A densidade de Lagrangeana do modelo era:

$$\mathcal{L} = \frac{1}{2} \sum_{a=1}^4 (\partial_{\mu} \phi_a) (\partial^{\mu} \phi_a) \quad (1.a)$$

$$\phi^2 \equiv \sum_{a=1}^4 \phi_a^2 = f_{\pi}^2 \quad (1.b),$$

onde o quadrvetor, $f_a = (\sigma, \pi)$, continha os campos mesônicos. O vínculo (1.b), incorporado à densidade de Lagrangeana através de um multiplicador de Lagrange, ζ , leva a:

$$\mathcal{L}_{\text{eff}} = \mathcal{L} - \zeta (\phi^2 - f_\pi^2) \quad (1.c)$$

As equações de movimento, que resultam da variações das ações em relação a ϕ_a e ζ , são:

$$\partial^2 \phi_a + \zeta \phi_a = 0 \quad (2.a)$$

$$\phi^2 - f_\pi^2 = 0 \quad (2.b)$$

Multiplicando (2.a) por ϕ_a , somando sobre o índice e usando (2.b), obtém-se o valor de ζ :

$$\zeta = -(1/f_\pi^2) \sum_{b=1}^4 (\phi_b \partial^2 \phi_b) \quad (3)$$

Finalmente, de (2.a) vem:

$$\partial^2 \phi_a - (1/f_\pi^2) \phi_a \sum_{b=1}^4 (\phi_b \partial^2 \phi_b) = 0 \quad (4)$$

O *ansatz*, tipo onda plana :

$$\phi_a = f_\pi A_a \cos(\omega t - \mathbf{k} \cdot \mathbf{r} + \varphi_a) \quad (5.a)$$

$$\omega^2 - k^2 = m^2 \quad (5.b)$$

dá um valor de ζ constante:

$$\zeta = (\omega^2 - k^2) \phi^2 / f_\pi^2 = m^2 \quad (6)$$

A condição de vínculo, $\phi^2 = f_\pi^2$, é satisfeita se os números complexos, $Z_a = A_a^2 e^{2i\varphi_a}$, satisfazem:

$$\sum_{a=1}^4 Z_a = 0 \quad (7.a)$$

$$\sum_{a=1}^4 |Z_a| = 2 \quad (7.b)$$

Assim, o *ansatz* (5), resolve as equações de movimento, (2). A solução possui tensor energia-momentum e densidade de isospin independentes das coordenadas:

$$T_{\mu\nu} = (k_\mu k_\nu - \frac{1}{2} m^2 g_{\mu\nu}) f_\pi^2; \quad k_\mu \equiv (\omega, \mathbf{k}) \quad (8.a)$$

$$J_\mu^i = (1/2i) \text{Tr} \{ \tilde{\phi}^* \tau^i \partial_\mu \tilde{\phi} \} = f_\pi^2 k_\mu \varepsilon^{ikl} A_k A_l \text{sen}(\varphi_k - \varphi_l), \quad (8.b)$$

onde $\tilde{\phi} \equiv \sum_a \phi_a \tau^a$, sendo τ^0 a identidade, τ^i as matrizes de Pauli. Ela pode ser generalizada para:

$$\phi_a = f_\pi A_a \cos[u(t, \mathbf{r}) + \varphi_a] \quad (9.a)$$

$$\partial^2 u = 0, \quad (9.b)$$

desde que valham as condições em (7).

É fácil ver que a solução, (9), corresponde a uma rotação $O(4)$ de um campo da forma:

$$\phi_a = f_\pi (\cos u, 0, 0, \text{sen } u), \quad (10)$$

sendo u o campo livre definido em (9.b). A matriz de rotação V_{ab} deve obedecer a :

$$V_{a3} = -A_a \text{sen } \varphi_a; \quad V_{a4} = A_a \text{cos } \varphi_a \quad (11)$$

Isto já ilustra a quebra da invariância do spin isotópico embutida na solução; aprofundaremos este ponto mais adiante.

O modelo adotado por *Anselm* para descrever uma colisão de íons pesados consistia em admitir que durante um intervalo de tempo, T , num volume finito, V , formava-se um campo piônico clássico, como descrito acima. Para tempos $t < 0$ e $t > T$, ou fora do volume V , o campo piônico seria livre. Assim, o segundo termo da equação (4) poderia ser visto como uma "fonte" para um campo piônico sem massa, confinado no tempo e no espaço. Em completa analogia com o eletromagnetismo clássico, podia-se então calcular a amplitude do campo piônico emitido a grandes distâncias da "fonte" e, desta forma, obter uma estimativa da produção de píons.

O fato da solução representar uma quebra da invariância isotópica permitia entender processos em que o número de píons neutros e carregados diferia; além disso, a razão entre o número de eventos com produção inclusiva de dois píons (de momenta \mathbf{p}_1 e \mathbf{p}_2) e aqueles com um único píon:

$$R = \frac{d^2n/d^3p_1 d^3p_2}{(dn/d^3p_1)(dn/d^3p_2)} \quad (12)$$

permitia testar a viabilidade de ter-se um estado coerente. Enquanto para produção coerente de píons $R=1$, a produção incoerente tem $R=R(|\mathbf{p}_1-\mathbf{p}_2|)$, com $R(0) = 2$ e $R(\infty) = 1$ ¹⁰. Tomando w e $(1-w)$ como as probabilidades de produção coerente e incoerente, respectivamente, tem-se:

$$\frac{d^2n}{d^3p_1 d^3p_2} = w \left(\frac{dn}{d^3p} \right)_{\text{coer}}^2 + R(1-w) \left(\frac{dn}{d^3p} \right)_{\text{não-coer}}^2 \quad (13)$$

Tomando a razão, ξ , entre os valores dessa quantidade, medidos quando $|\Delta\mathbf{p}|a \ll 1$ e $|\Delta\mathbf{p}|a \gg 1$, respectivamente, sendo a a dimensão linear da "fonte", obtém-se:

$$\xi = \frac{w\alpha + 2(1-w)}{w\alpha + (1-w)}, \quad (14)$$

onde $\alpha = \left(\frac{dn}{d^3p}\right)_{\text{coer}}^2 / \left(\frac{dn}{d^3p}\right)_{\text{n\~{a}o-coer}}^2$. Valores experimentais d\~{a}o $\xi \approx 1,8$. Nos eventos *Centauro*, onde h\~{a} uma quebra dram\~{a}tica da invari\~{a}ncia isot\~{o}pica, pode-se ter $\alpha \approx 1 - 10$. Assim, para tais valores, $w \sim 0,2 - 0,03$, indicando a possibilidade de forma\~{c}o de um estado coerente^{6,7,11}.

A partir do c\~{a}lculo do n\~{u}mero de p\~{i}ons produzidos no modelo acima, \~{e} poss\~{i}vel⁷ estimar o tempo de vida do estado coerente.

Tomando $m \cong 300 \text{ MeV}$, $k \cong 500 \text{ MeV}$ e

$$\sum_{a=1}^3 = 1,$$

obt\~{e}m-se $T \cong 1 \text{ fm/c}$ e $N_a \cong 60 A_a^2$, para um volume $V \cong 100 \text{ fm}^3$; aqui N_a , $a = 1,2,3$ s\~{a}o os n\~{u}meros de π^+ , π^- e π^0 , respectivamente.

3. A transi\~{c}o de fase quiral

Deve-se a *Wilczek*¹², e a *Rajagopal e Wilczek*^{8,9}, a sugest\~{a}o de que o condensado pi\~{o}nico, introduzido por *Anselm*, corresponderia \~{a} realiza\~{c}o da fase de simetria quebrada da transi\~{c}o quiral, que deve ocorrer em Cromodin\~{a}mica Qu\~{a}ntica (QCD), a temperatura finita. Admitindo dois sabores de quarks sem massa, $m_u = m_d = 0$, QCD possui uma invari\~{a}ncia quiral global, sob o grupo $SU(2)_L \times SU(2)_R \times U(1)_{L+R}$. Esta simetria quiral \~{e} quebrada, a baixas temperaturas, para $SU(2)_{L+R} \times U(1)_{L+R}$; o par\~{a}metro de ordem da transi\~{c}o \~{e} o bilinear nos quarks:

$$\mathcal{M}_{ij} \langle \bar{q}_{Li} q_{Rj} \rangle \quad (15)$$

A matriz \mathcal{M} se transforma por transforma\~{c}oes unit\~{a}rias como :

$$\mathcal{M} \rightarrow U^+ \mathcal{M} V, \quad (16)$$

onde U e V giram setores quirais de modo independente, gerando uma simetria $U(2)_L \times U(2)_R$. Como a simetria $U(1)$ axial \~{e} quebrada devida ao efeito

quântico da anomalia ¹³, basta nos restringirmos a matrizes, \mathcal{M} , com determinante positivo para descrevermos a simetria de interesse. Assim, U e V devem ter fases idênticas e \mathcal{M} pode ser identificada com o quadrivetor, ϕ_a , da seção anterior, através de :

$$\mathcal{M} = \sigma + i \pi \cdot \tau \quad (17)$$

Portanto, o parâmetro de ordem da transição é um quadrivetor, $f_a \equiv (s, \mathbf{p})$, e a simetria quiral pode ser mapeada na simetria O(4) do espaço interno.

Tendo identificado a simetria do parâmetro de ordem, conclui-se que a transição de fase quiral de QCD deve pertencer à mesma classe de universalidade da transição de segunda ordem com simetria O(4), que engloba tanto o modelo sigma não-linear, como sua versão linear:

$$\mathcal{L} = \frac{1}{2} \sum_{a=1}^4 \{ \partial_\mu \phi_a \partial^\mu \phi^a + \mu^2 \phi_a \phi_a + (\lambda/2)(\phi_a \phi_a)^2 \} \quad (18)$$

Assim, o comportamento crítico da transição pode ser descrito com a versão linear, cujos expoentes críticos (os mesmos da versão não-linear) são bem conhecidos na literatura ^{14,15}. Em particular, as funções de correlação do modelo têm um comportamento conhecido, quer nas vizinhanças da temperatura crítica, T_c , quer em função do campo que induz a quebra explícita da simetria (a massa dos quarks, $m_u = m_d = m_q$, que faz o papel de campo magnético externo, H, na descrição via modelo sigma) . Não nos deteremos, portanto, na análise do comportamento crítico, seja ele estático ou dinâmico. Nosso interesse maior, por ora, será o de dar uma visão qualitativa do cenário proposto.

Se nos concentrarmos em colisões de íons pesados, a descrição de *Bjorken*¹⁶⁻²⁰ propõe que, ao colidirem, os íons dão origem a um plasma quente, que rapidamente atinge equilíbrio térmico. Os núcleos incidentes passam, um através do outro, deixando, na região central da colisão, o plasma aquecido, com número bariônico aproximadamente nulo, já que o conteúdo bariônico segue ao longo do acelerador. O plasma quente, de número bariônico nulo, se

expande, com a conseqüente queda de sua temperatura, abaixo de T_c , e termina por hadronizar-se.

Estando abaixo de T_c , o parâmetro de ordem da transição deve ser não nulo, ou seja:

$$\langle \phi \rangle \neq 0, T < T_c \quad (19)$$

Tal pode ocorrer quando $\langle \sigma \rangle \neq 0$ e $\langle \pi \rangle = 0$, abaixo de T_c . Neste caso, podemos pensar em regiões de grande volume espacial (a distância de correlação diverge), onde o campo σ estará fortemente correlacionado. No entanto, a direção do espaço interno $O(4)$ ao longo da qual temos a quebra de simetria deve flutuar, formando-se domínios onde o vetor ϕ_a aponta em diferentes direções, de modo análogo ao que ocorre num magneto. Aqui, cada domínio corresponde a uma dada razão entre o número de píons neutros e carregados. Em cada domínio pode-se aplicar a descrição da dinâmica do estado coerente adotada nas refs. [6,7,11].

Para que possamos observar os domínios do parágrafo anterior, é necessário que a distância de correlação ("dimensão" linear dos domínios) seja grande, quando comparada com T_c . Como a massa do pión é a correlação (inversa) mais longa do problema e cresce com a temperatura, a distância de correlação tem que ser menor que seu valor a temperatura zero, da ordem de $[m_\pi(T=0)]^{-1}$, ou $[135 \text{ MeV}]^{-1}$. Acontece que $T_c \cong 140 \text{ MeV}$. Isto significa que não observaremos grandes domínios. A existência de massas para os quarks, ainda que pequenas ($\sim 10 \text{ MeV}$), impede os domínios de crescerem, ao ponto de formarem regiões grandes (\sim alguns fermi) de campo correlacionado. Não há criticalidade, mas apenas uma transição suave.

A situação acima pode ser remediada se admitirmos que, no processo de colisão, o plasma *não atinge* o equilíbrio térmico implícito na discussão anterior. A existência dos eventos *Centauro*, onde a assimetria entre píons neutros e carregados é tão evidente, é excelente motivação para não abrirmos mão da fase de simetria quebrada. Apenas, ao invés de chegarmos a ela num lento processo de equilíbrio, devemos imaginar fazê-lo de forma súbita, com o plasma sendo resfriado abaixo de T_c , antes de ter a chance de termalizar. A situação é análoga a de água super-resfriada, abaixo de 0°C (o processo é denominado "quanch" em Inglês).

Esta forma de resfriamento súbito leva o sistema a se encontrar abaixo de T_c , mas com densidades de energia ainda típicas de $T > T_c$. Assim, a energia num volume de correlação pode ser bem maior que a massa do pión a temperatura zero (ou T_c). O eventual decaimento do estado meta-estável poderá então dar lugar aos vários domínios de que falamos, com volumes que darão origem a vários píons a temperatura zero.

A questão de como evoluem tais domínios, num plasma em expansão e em presença de campos magnéticos externos (a massa dos quarks), foi estudado por *Turok e Spergel*²¹ (para campo nulo) e generalizada na ref [9]. A conclusão é que eles evoluem muito mais rápido que o plasma, dando origem a regiões grandes de correlação intensa (domínios), cada qual com uma dada razão de píons neutros para píons carregados.

Pode-se estimar a distribuição de probabilidades do quociente, Q , entre o número de píons neutros e o número total de píons num domínio. Se admitirmos que, inicialmente, o campo ϕ_a pode apontar em qualquer direção da esfera S^3 e definirmos

$$\phi_a = (\sigma, \pi_3, \pi_2, \pi_1) = (\cos\vartheta, \sin\vartheta \cos\varphi, \sin\vartheta \sin\varphi \cos\eta, \sin\vartheta \sin\varphi \sin\eta), \quad (20)$$

teremos:

$$Q = \frac{N_{\pi_0}}{N_{\pi_0} + N_{\pi^+ \pi^-}} = \frac{\sin^2\theta \cos^2\varphi}{\sin^2\theta (\cos^2\varphi + \sin^2\varphi)} = \cos^2\varphi \quad (21)$$

A distribuição de probabilidade será, portanto:

$$\int_{Q_1}^{Q_2} P(Q) dQ = \frac{1}{\pi^2} \int_0^{2\pi} d\eta \int_0^\pi d\theta \sin^2\theta \int_{\arccos\sqrt{Q_2}}^{\arccos\sqrt{Q_1}} d\varphi \sin\varphi \quad (22)$$

o que resulta em:

$$P(Q) = \frac{1}{2} Q^{-1/2} \quad (23)$$

Como consequência, a probabilidade de ter $Q < 0,01$ é 0,1. Isto é muito diferente de uma distribuição aleatória no espaço interno e mostra que é perfeitamente compreensível que existam eventos *Centaurus* onde menos do que 1% das partículas produzidas são píons neutros!

4. Análise do Crescimento dos Domínios

Na referência [9], foi apresentada uma análise numérica do crescimento dos domínios mencionados, isto é, de oscilações coerentes de grandes comprimentos de onda. A base para tal crescimento é a ocorrência de um resfriamento súbito do plasma de píons, que gera uma instabilidade nos modos de comprimento de onda grande, em relação aos de pequeno comprimento de onda, num processo tipicamente fora do equilíbrio.

Qualitativamente é fácil entender o que ocorre: sempre que há quebra espontânea de uma simetria global contínua, surgem modos de massa zero, denominados *bosons de Nambu-Goldstone*. Isto se deve a um cancelamento em

$$m^2 = -\mu^2 + \lambda\phi^2, \quad (24)$$

devido ao valor esperado $\langle\phi^2\rangle = \mu^2/\lambda$. No entanto, após um resfriamento súbito, o condensado tem: $\langle\phi^2\rangle = 0$ (típico da fase simétrica) e leva certo tempo até chegar a seu valor final não nulo. Sempre que $\langle\phi^2\rangle < \mu^2/\lambda$, m^2 será negativa, indicando que comprimentos de onda suficientemente grandes (massas pequenas) dos bosons de *Nambu-Goldstone* tendem a crescer exponencialmente!

*Rajagopal e Wilczek*⁹ estudaram, numericamente, a evolução destes modos e concluíram que havia, de fato, o crescimento de flutuações de grande comprimento de onda. No entanto, a análise destes autores valeu-se das equações de movimento clássicas, decorrentes de termos $\langle\phi^2\rangle < \mu^2/\lambda$, inicialmente. As funções de correlação, nestes cálculos, foram substituídas por médias espaciais.

Recentemente, instalou-se uma controvérsia em relação a tais conclusões: *Gavin, Gocksch e Pisarski*²² analisaram, numericamente, o modelo sigma linear

fortemente acoplado e concluíram que não há produção de grandes domínios piônicos, numa análise também clássica; já *Boyanovsky, de Vega e Holman*²³ apontaram a importância de incluir flutuações quânticas e térmicas na análise da evolução de tais regiões.

O estudo, feito na ref [23], incorpora flutuações ao usar uma aproximação de *Hartree* para as equações de evolução (ao invés de médias spaciais). Com isso, leva-se em conta uma soma parcial de gráficos perturbativos, numa versão linearizada das equações de evolução.

Tomando parâmetros típicos, como $m_\sigma \approx 600$ MeV, $f_\pi \approx 95$ MeV, $H \approx (120 \text{ MeV})^3$, $T_c \approx 200$ MeV e $\lambda \approx 4,5$, os autores acima estudaram a evolução temporal de uma matriz densidade, construída inicialmente para $T > T_c$, quando a temperatura é subitamente resfriada a $T \approx 0$ (na verdade, estudou-se o que ocorre quando $T(t) = T \exp(-t/t_r)$, no limite $t_r \rightarrow 0$). Tal técnica tem sido utilizada numa variedade de aplicações recentes²³.

As conclusões daí decorrentes são as seguintes: i) obtém-se uma indicação quantitativa de quando as flutuações de longo comprimento de onda podem ser tratadas classicamente. Os propagadores que aparecem na aproximação de *Hartree* contém fatores do tipo

$$(h/2\pi) \coth[h\omega_k / (4\pi k_B T)], \quad (25)$$

que revelam que um modo ω_k será clássico quando $h\omega_k \ll 2\pi k_B T$, de tal maneira que sua contribuição ao propagador é, simplesmente, $2k_B T / \omega_k$ ($h/2\pi$ se cancela). Tal ocorrerá quando a "massa térmica" das excitações for muito menor que a temperatura (ao quadrado)

$$\frac{1}{2} m_\sigma^2 \left(\frac{T^2}{T_c^2} - 1 \right) \ll T^2 \quad (26)$$

Com os valores mencionados anteriormente, obtém-se:

$$\left(T^2 / T_c^2 - 1 \right) \ll 0,1 \quad (27)$$

Esta temperatura é, portanto, muito próxima de T_c , o que nos diz que apenas em situações iniciais de $T \approx T_c$ teremos modos com grandes domínios de correlação, ao resfriarmos subitamente a $T \approx 0$.

A conclusão da referência [23] é de que é muito improvável que na região de colisão estejamos tão próximos da temperatura crítica. Longe dela, o sistema levará um longo tempo de relaxação para atingi-la, o que eliminará a possibilidade de instabilidades se desenvolverem, de acordo com o argumento original de *Rajagopal e Wilczek*.

Como saída para o aparente dilema, os autores sugerem que a transição para uma fase quebrada ocorra via criação de uma "bolha crítica", num processo de 1ª ordem que representaria a ativação térmica do sistema acima de uma barreira energética. Como o pequeno campo magnético, H , introduz metaestabilidade no sistema²⁴, as equações de movimento clássicas admitem uma solução em que o campo piônico é uma bolha²⁵ (de simetria $O(3)$) radial. O campo s , por exemplo, tem a forma

$$\sigma_{cl} \approx f_\pi \operatorname{tgh} [m_\sigma(r-r_0)], \quad (28)$$

onde r_0 é o raio da bolha. A energia da bolha, na aproximação de parede fina, é dada por

$$E \approx 4\pi r_0^2 f_\pi^2 m_\sigma - (4\pi/3) r_0^3 H f_\pi, \quad (29)$$

o que leva a um raio crítico $r_0 = 3 - 5$ fm.

É possível que, ao considerarmos flutuações ao redor desta configuração estática, o modo instável associado à dilatação da bolha, que completa a transição, produza um grande número de píons correlacionados. No entanto, tal cenário requer super-resfriamento, processo que necessita tempo de relaxação longo (ao contrário de "quenching", em que se resfria subitamente), o que pode também invalidá-lo.

5. Conclusões

Apesar de não haver, ainda, um cálculo definitivo que consolide, na teoria, a possibilidade de termos grandes domínios de condensado quiral, alinhados em

diferentes direções no espaço interno, o cenário físico que descrevemos parece bem plausível e tem sido explorado por vários autores em referências recentes.

Vale notar que os cálculos existentes, ou são clássicos, ou apenas incorporam somas selecionadas de teoria de perturbação. A inclusão de efeitos não perturbativos na dinâmica da transição, também sugerida na ref. [19], pode mudar as conclusões obtidas até aqui, desde que se resolva a questão dos tempos de relaxação numa teoria fortemente acoplada. Se for possível termos super-resfriamento, de modo a se formarem configurações semiclássicas de bolhas, algo ditado pelos tempos de relaxação envolvidos, talvez se possam obter domínios maiores.

O traço comum de quase todas as referências teóricas que mencionamos é a utilização dos eventos *Centauro* (*anti-Centauro*), como fato experimental a ser explicado e como fonte de inspiração para o cenário teórico que descrevemos. Estes eventos, com energia total de cerca de 1000 TeV, nos quais uma centena de hádrons carregados de energias de vários TeV são produzidos, com muito poucos fótons e elétrons, são a evidência mais dramática de uma quebra de invariância de isospin, base para tudo o que discutimos.

O condensado segue sendo alvo de estudos os mais diversos, com conexões interessantes com vários domínios da Física, (transições de fase em Mecânica Estatística, estados comprimidos em Ótica²⁶, modelos efetivos com invariância conforme²⁷). Esperamos que o leitor possa, a partir destas notas, captar um pouco do fascínio e da riqueza do tema.

Agradecimentos

Ao Professor *Cesar M.G. Lattes*, por sua originalidade e pela tenacidade com que, há tantos anos, coloca o universo dos raios cósmicos ao alcance da comunidade científica. Em particular por permitir, às novas gerações de físicos brasileiros, a satisfação de ter um compatriota como co-descobridor do pión, na histórica experiência de 1947, e de poder ler, na literatura de física, sobre jatos Mirim, Açú e Guaçu, nomes Tupís que resgatam um pouco das nossas raízes indígenas.

Este texto foi concluído durante viagem ao México e à Costa Rica. Sinceros agradecimentos aos colegas do CINVESTAV, da Universidade de Guanajuato, em León, e da Universidade de Costa Rica, pela hospitalidade. "Last, but not least" agradeço ao Prof. *Juan José Giambiagi*, pela sugestão de meu nome para participar desta homenagem e ao Prof. *Alfredo Marques* pelo convite, que muito me honrou.

1. C.M.G. Lattes, Y. Fujimoto, S. Hasegawa, *Phys. Rep* **65**, 151 (1980)
2. A.S. Borisov *et al.*, *Phys.Lett.* **B190**, 226 (1987)
3. G.J. Alner *et al.*, *Phys.Rep.* **154**, 247 (1987)
4. WA80 Collaboration, R. Albrecht *et al.* *Phys.Lett.* **B199**, 297 (1987)
5. H. Pugh, *XVIII Int.Symp.on Multiparticle Dynamics*, Tashkent (1987)
6. A. Anselm, *Phys.Lett.* **B217**, 169 (1989)
7. A.Anselm, M.G. Ryskin, *Phys.Lett.* **B266**, 482 (1991)
8. K. Rajagopal, F. Wilczek, *Nucl. Phys.* **B399**, 395 (1993)
9. K. Rajagopal, F. Wilczek, *Nucl.Phys.* **B404**, 577 (1993)
10. L.McLerran, *Int. Conf. on Physics and Astrophysics of the Quark-Gluon Plasma*, Bombay, World Scientific, Singapore (1988)
11. J.P. Blaizot, A. Krzywicki, *Phys.Rev.* **D46**, 246 (1992)
12. F. Wilczek, *Int.J.Mod.Phys.* **A7**, 3911 (1992); o artigo elabora resultados prévios de R. Pisarski, F. Wilczek, *Phys.Rev.* **D29**, 338 (1984)
13. G. 't Hooft, *Phys.Rev.* **142**, 357 (1986)
14. S.K.Ma, *Modern Theory of Critical Phenomena*, Benjamin-Cummings, Menlo Park CA (1976)
15. D.J. Amit, *Field Theory, the Renormalization Group and Critical Phenomena*, World Scientific, Singapore (1984)
16. J.D. Bjorken, *Int J. Mod.Phys.* **A7**, 4189 (1992)
17. J.D. Bjorken, *Acta Phys. Polon.* **B23**, 561 (1992)
18. K.L. Kowalski, C.C. Taylor, *Disoriented Chiral Condensate: a White Paper for the Full Acceptance Detector*, CASE WESTERN preprint CWRUTH-92-6
19. J.D. Bjorken, K.L. Kowalski, C.C. Taylor, *Observing Disoriented Chiral Condensates*, SLAC-CASE WESTERN preprint (1993)
20. J.D. Bjorken, K.L. Kowalski, C.C. Taylor, *Baked Alaska* SLAC-PUB-6109 (1993)
21. N. Turok, D.N. Spergel, *Phys.Rev.Lett.* **66**, 3093 (1991)
22. S. Gavin, A. Gocksch, R.D. Pisarski, *How to make Large Domains of Disoriented Chiral Condensate*, Brookhaven preprint (1994). Ver também: Z. Huang, X-N. Wang, *Cluster Structure of Disoriented Chiral Condensates in Rapidity Distribution*, LBL preprint 34931

- (1994) e S. Gavin, B. Muller, *Large Domains of Disoriented Chiral Condensate through Annealing*, Brookhaven preprint (1994)
23. D. Boyanovsky, H.J. de Vega, R. Holman, *Can Disordered Chiral Condensates Form ? A dynamical Perspective*, PITT-94-01 (1994) e referências aí contidas.
 24. D. Boyanovsky, C.A.A. de Carvalho, *Phys.Rev.* **D48**, 5850 (1993)
 25. A. Linde *Particle Physics and Inflationary Cosmology*, Harwood Academic (1990), Cap. 5
 26. I.I. Kogan, *Squeezed Quantum State of Disoriented Chiral Condensate*, Princeton preprint PUPT-1424 (1993)
 27. I.I. Kogan, *Two Dimensional Field Theory Description of Disoriented Chiral Condensate*, Princeton preprint PUPT-1401 (1993)

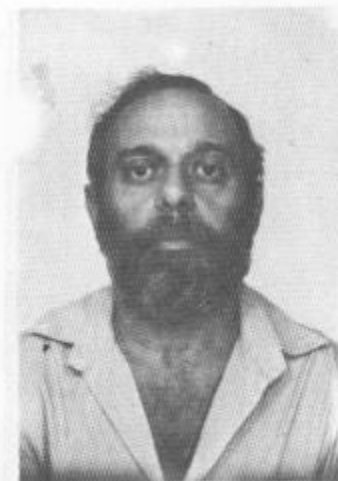
Mario Novello

Nasceu no Rio de Janeiro, em 1942. Bacharelou-se em física pela Faculdade Nacional de Filosofia em 1965 e fez o mestrado no CBPF, sob a direção de J.Leite Lopes. Doutorou-se pela Université de Genève sob a direção de J.M.Jauch. Empreendeu estudos avançados nas áreas de relatividade e gravitação no Brasil e no exterior, sob direções de J.Leite Lopes, J.Tiomno, J.M.Jauch e D.W.Sciama. No decurso de brilhante carreira recebeu menções honrosas por suas teses em cosmologia e teoria da gravitação concedidas pela Gravity Research Foundation nos anos de 1976 a 1982, continuamente, e em 1984 e 1988.

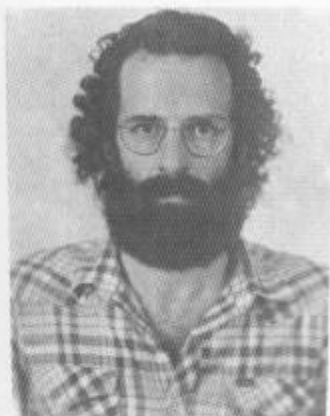
Foi membro da fundação John Simon Guggenheim (1977), representante eleito da América Latina no Committee on General Relativity and Gravitation (1988-1989), no Comitê da General Relativity and Gravitation Society (1977) no da International Astronomical Union (1990). Por sua iniciativa e sob sua direção vem tendo lugar no Brasil, desde 1976, uma Escola de Cosmologia e Gravitação à qual atendem, ao lado de brasileiros, especialistas de todo o mundo.

No CBPF foi Vice-Diretor, Coordenador de Ensino de Pós-Graduação e atualmente é o chefe do laboratório de Cosmologia e Gravitação do LAFEX.

Orientador de várias teses de mestrado e doutorado, é autor de numerosos trabalhos na área da Cosmologia e Teoria da Gravitação, bem como de um livro sobre o assunto publicado no exterior; é um nome de destaque na comunidade internacional dos especialistas nesses domínios.



José Martins Salim



Nasceu em Sant'Ana do Livramento, RGS, em 1951. Bacharelou-se em física pela UFRGS, em 1973, e fez o mestrado (1976) e o doutorado (1982) no CBPF.

Ocupou vários cargos na hierarquia acadêmica, desde 1972 e recebeu menção honrosa da Gravity Research Foundation em 1976.

Orientador de várias teses de mestrado e doutorado, participou também de numerosas bancas examinadoras para a concessão desses títulos. Tem numerosos trabalhos publicados no campo da Cosmologia e Teoria da Gravitação, sendo um dos nomes mais destacados dentre os pesquisadores das gerações mais jovens.

Scalar-Vector Theory and Electrodynamics

M. Novello and J.M. Salim

1. Introduction

During the end of the first-half of this century the most widely accepted scientific attitude, concerning our experience of the totality of the space-time, was based on the idea that the Universe is not an static structure but constitutes a magnificent example that all existence is nothing but a coherent dynamical process. This was a straight consequence of the interpretation that Hubble's observations concerning the astronomical red-shift was nothing but the result of the gravitational influence of the cosmical field on the photon's propagation.

For many scientists^{1,2} this was the opening of a new road concerning the behaviour of all laws of physics taken in a broad cosmological scenario. The simplest and direct example of this is the idea that these known laws of physics could depend on the cosmical context. *Dirac*³ was the first to dare to provide a toy model of these general ideas by assuming that the constants of physics were not true constants but time-dependent quantities. Having in mind the Friedmann cosmological scenario this could yield to the suggestion of the dependence of the *Newton's* gravitational constant k with the cosmological global time, for instance.

In order to conciliate this speculation with the relativistic principle, this vague idea concerning a possible time-dependence of k , was transformed into a profound modification of *Einstein's* General Relativity: the k was transformed into a scalar field ϕ . Consequently, the General Relativity theory was extended to accomodate the new quantity and a scalar-tensor theory appeared to take care of this. It is not our purpose to analyse this theory here. We just make this rather condensate introduction to argue that if one adheres to the speculation that the same sort of time-dependence could eventually occur to the charge of the electron, then to conciliate this with the general principles of *Einstein's*

theory one is led to corresponding modification of *Maxwell's* equations of electrodynamics. We present here a simple toy model of how this modified theory could be constructed.

2. Dual Invariance

In the absence of charge *Maxwell's* equations are invariant under a dual rotation which interchanges the role of the electric and magnetic fields. In a covariant language, if we denote by $F_{\mu\nu}$, the antisymmetric tensor that represents the electromagnetic field, an infinitesimal dual transformation is given by the map

$$F'_{\mu\nu} = F_{\mu\nu} + \Theta F^*_{\mu\nu} \quad (1)$$

in which

$$F^*_{\mu\nu} = \frac{1}{2} \eta_{\mu\nu\alpha\beta} F^{\alpha\beta}$$

is the dual of tensor $F_{\mu\nu}$, Θ is a constant and $\eta_{\mu\nu\alpha\beta}$ the completely antisymmetric *Levi-Civita* symbol.

The extension of this invariance to the case in which there are currents present led *Dirac*, following *Faraday*, to postulate the existence of pure magnetic current, the so-called magnetic monopole. In the general case *Maxwell's* equations are modified by

$$F^{\mu\nu}_{;\nu} = e_{(0)} J^{\mu} \quad (2)$$

and

$$F^*_{\mu\nu}{}^{;\nu} = g_{(0)} I_{\mu} \quad (3)$$

where $e_{(0)}$ and $g_{(0)}$ stand for the electric and magnetic charges, respectively. Dual invariance, in this case, imposes that the currents must suffer an associate dual map provided by

$$e'_{(0)} J'_\mu = e_{(0)} J_\mu + \Theta g_{(0)} I_\mu \quad (4)$$

$$g'_{(0)} I'_\mu = g_{(0)} I_\mu - \Theta e_{(0)} J_\mu \quad (5)$$

From similar situations in others types of field theory, one is tempted to ask if the dual symmetry should be extendable to a space-time dependent angle $\Theta(x)$. A direct inspection on equations (2) shows that in order to maintain invariance, *Maxwell's* equation have to be modified.

Usually, a symmetry broken by an extension of an internal group to space-time dependent functions is restored by introducing new (gauge) field which depends on the structure of the internal group. The combined system constituted by the original field plus the gauge field minimally coupled, obeys a larger invariance property. This method has been used widely since the original work of *Yang and Mills*⁴. Here, however, we will not follow this conventional procedure. The reason for this is the following.

As we have pointed out above, some authors have suggested to consider the dependence of fundamental physical constants with the cosmic time. Thus, the charge of the electron, the gravitational coupling constant and other quantities should not be true constants, but a smooth varying function of the age of the universe. Although there has been no experimental support to these speculations, the assumption of this cosmic dependence introduces new degrees of freedom into the existing theories which provides stimulation for studies of alternative models. This has been the case, for instance, for the appearance of the scalar-tensor theories of gravitation^{5,6,7} and recently the renew of interest on *Dirac's* large number hypothesis. This led us to suggest here the same kind of reasoning, inducing to the analysis of the behaviour of Electrodynamics under a generalized spacetime dependent dual rotation and its relation to the dependence of the electric and magnetic charges on space-time position. To conform this dependence with the theory of Relativity we are conducted to replace the electric and magnetic charges by two real scalar fields which we call $\phi(x)$ and $\eta(x)$. The possibility of having an extension of dual rotation dependent on space-time is now related to a rotation of the scalar fields in the plane ϕ - η . Thus the corresponding generalized symmetry makes of no use to ask which of these fields represents the electric or magnetic charge.

3. The Model

In order to obtain some insight on the properties of a system endowed with the above extended symmetry we present here a specific and simple model to deal with.

We take as our Lagrangian

$$L_N = 1/4 (\phi F_{\mu\nu} F^{\mu\nu} + \eta F_{\mu\nu} F^{\mu\nu*}) \quad (6)$$

This Lagrangian is invariant under the generalized dual map and rotation of the scalar fields:

$$F_{\mu\nu} \rightarrow F'_{\mu\nu} = F_{\mu\nu} + \Theta(x) F^{\mu\nu*}$$

$$\phi \rightarrow \phi' = \phi + 2\Theta(x) \eta \quad (7)$$

$$\eta \rightarrow \eta' = \eta - 2\Theta(x)\phi$$

Instead of using the two real scalar fields ϕ, η , we can construct an equivalent complex scalar field ψ through the definition

$$\psi \equiv \phi + i\eta \quad (8)$$

Thus, the map (8) induces:

$$\psi \rightarrow \psi' = e^{2i\Theta} \psi \quad (9)$$

It remains to construct a Lagrangian for the free part of the ψ -field, and add to the above Lagrangian to obtain the dynamics for the total system. The new term must satisfy the invariance under (9). The simplest choice is given by

$$L[\psi] = \partial_\mu \psi^* \partial_\nu \psi g^{\mu\nu}$$

in wick $\psi^* = \phi - i\eta$

4. Conclusion

In this paper we have presented a model of a scalar-vector theory with the properties:

1. It is invariant under a generalized dual rotation with angle Θ which is a function of space-time.
2. It can be interpreted as a covariant version of the dependence of the electric (and magnetic) charge with the cosmical time.

When the scalar fields are constant then we obtain as a limit case *Maxwell's* equations. Although the complete system of equations are less simple than *Maxwell's*, it is not difficult to find a set of solutions from the knowledge of corresponding problem in standard vector Electrodynamics.

We remark that the dependence of the charges with space-time should be treated more naturally in the presence of gravitation, which is responsible for the structure of space-time. The above model can be translated to *Riemann* space without difficulty. We will come back to this elsewhere.

Finally let us say that the model we present here is by no means to be thought as competitive with *Maxwell's* Electrodynamics under common circumstances. However, it could play a role when large distances in space and time are involved, or in these drastic situations when the fluctuation of scalar fields becomes high by comparison with its average value. Or even for other types of vectorial interaction.

1 G. Gamov. *Phys. Rev. Lett.* **19**, 759 (1967).

2 F.J. Dyson. *Phys. Rev. Lett.* **19**, 1291 (1967).

3 P.A.M. Dirac. *Nature* **139**, (1937), 323.

4 C.N. Yang and R.L. Mills. *Phys. Rev.* **96**, (1954), 191.

5 P.Jordan. *Schwerccraft und Weltall* (Vieweg, Brauroschweig, 1955)

6 P.A.M. Dirac. *Proc. Roy. Soc. London A* **165**, 199 (1938).

7 C. Brans and R.H. Dicke. *Phys. Rev.* **124**, 925 (1961).

Alfredo Marques



Bacharel e Licenciado em física pela Faculdade Nacional de Filosofia da Universidade do Brasil em 1954, substituiu *Lattes*, por sua indicação, na Regência da cadeira de Física Nuclear daquela faculdade, criada em 1951. Estudou em Manchester, como bolsista do CNPq e é Livre Docente por concurso da cadeira de Física da Escola Nacional de Química da Universidade do Brasil. Participou da aprovação da carreira de Físico Tecnólogo e instalou no Departamento de Física da F.N.Fi a opção em Eletrônica, primeira a ser operacionalizada no Departamento, a qual funcionou durante dois anos. Em 1964 foi acusado, juntamente com outros quarenta e quatro professores, de atividades subversivas e, embora absolvido no inquérito, só pode pleitear reintegração após a Anistia; reintegrado como Professor Titular da então UFRJ, renunciou logo a seguir. Em 1965 foi Professor Titular Visitante da Universidade Central de Venezuela e, em 1969, chegou ao nível de Professor Titular do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, onde exerceu vários cargos na área científica. Participou da Comissão de Organização do Instituto de Física da UFRJ. Instalou, no CBPF, durante os anos '60, a Colaboração Brasil-Japão e uma linha de atividades em Correlações Angulares γ - γ que encontraram continuidade, por outras mãos, até os dias correntes. De 1970 a 1976 exerceu a Direção Científica do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas. De 1977 a 1983 foi Professor Titular Visitante do Instituto de Física Gleb Wataghin e tem atuado como assessor científico da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro e da Academia Brasileira de Ciências.

Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, R.Xavier Sigaud 150, 22290-180 Rio de Janeiro, RJ.

Bibliografía

Alfredo Marques

... This Analysis consists in making Experiments and Observations and in drawing general Conclusions from them by Induction, and admitting of no Objections against the Conclusions, but such as are taken from Experiments or other certain Truths. For hypotheses are not to be regarded in Experimental Philosophy I. Newton, OPTIKS III,1

1. Apresentação

Esta compilação compreende duas etapas. A primeira teve curso durante os anos '70, quando ainda exercia a Direção Científica do CBPF; solicitei à equipe da Biblioteca que promovesse o levantamento dos trabalhos científicos de *Cesar Lattes* para oferecê-los em cópia, por ocasião de seu quinquagésimo aniversário. Essa meta acabou não sendo cumprida, mas o levantamento foi útil por ocasião de uma homenagem que lhe foi prestada, anos depois, pelo Instituto de Física Gleb Wataghin. Repetimos agora o procedimento, com a finalidade de atualizá-lo e de preencher lacunas que inevitavelmente acompanham esse tipo de trabalho. Preenchemos umas poucas falhas consultando, além dos índices tradicionais, referências cruzadas e o curriculum vitae de alguns colaboradores mais zelosos na manutenção desses documentos. Ainda assim acreditamos que o trabalho possa incorporar omissões: ficam por conta das dificuldades inerentes a ele e, naturalmente, de nossas deficiências pessoais.

Somente foram incluídas as publicações em periódicos científicos e comunicações em congressos e conferências. De fora ficaram, por motivos diversos mas principalmente pela dificuldade em localizar os documentos, as pré-publicações, relatórios internos e mesmo a esplêndida tese que preparou para o concurso a uma cátedra no Departamento de Física da USP, a qual acabou retirando em face da sua transferência para o recém criado Instituto de Física da UNICAMP.

A inclusão, no corpo principal, da listagem das comunicações a congressos e conferências, frequentemente apresentadas em lista separada,

merece talvez uma palavra de justificativa: trata-se da fórmula que a tradição dos trabalhos em física da radiação cósmica consagrou para a formação e aperfeiçoamento de conhecimentos. Os congressos são via de regra regulares, patrocinados por organizações de apoio e fomento à ciência, internacionais como a IUPAP, ou pertencentes a países de origem dos participantes, organizados e gerenciados por comitês constituídos pelas lideranças científicas mais expressivas de cada setor de especialização. A publicação científica, na forma correntemente adotada pelos outros ramos da física moderna, isto é, sob forma de artigos escritos, submetidos ao Editor de um periódico científico da especialidade, é reservada para artigos de revisão, relatórios do progresso ou *mise au point* daquilo que amadureceu e se consolidou na comunicação oral e na divulgação das atas das reuniões, com textos mais ou menos condensados. Apesar da enorme contribuição que deram à física moderna, os físicos da radiação cósmica jamais mantiveram qualquer periódico especializado, internacional, de circulação regular.

A relação de publicações científicas envolvendo um longo período, periódicos os mais diversos, comunicações em congressos e reuniões onde nem sempre a normatização das referências é uma preocupação dos editores e comissões redatoras, nos levou a normalizar as referências segundo o critério da IBM em seu gerenciador de dados bibliográficos conhecido como PROCITE; na verdade usamos uma variante desse sistema:

- Título
- *Fonte (Periódico, Reunião, etc) ano; Vol: (Nº), [outras indicações], pp (páginas)*

Acompanha a relação dos trabalhos científicos uma listagem de seus co-autores e das instituições a que pertenciam por ocasião da publicação e/ou apresentação do trabalho. Esta iniciativa obedece ao duplo propósito de, por um lado, apresentar a *Lattes*, nome a nome, todos os que com seu esforço, mesmo em diferentes medidas, contribuíram para o sucesso de seus empreendimentos científicos e, por outro, para apresentar o testemunho silencioso mas eloquente do reconhecimento de tantos que através deles tiveram oportunidades de realização científica.

A Colaboração Brasil-Japão, em mais de trinta anos de atividades ininterruptas, incorporou, inicialmente, o grupo de *Lattes* na USP e um número

de universidades e institutos de pesquisas no Japão. Seguiu-se o CBPF, no Rio, e mais tarde o IFGW da UNICAMP. Ao longo do tempo alguns trabalhos incluíram a colaboração com grupos já diferenciados, trabalhando em questões correlatas, como o Grupo do Monte Fuji, no Japão e, mais tarde, já nos anos '80, o Grupo de Pamir, ele próprio resultado de uma colaboração internacional entre cientistas soviéticos e poloneses. Os nomes dos co-autores pertencentes a esses grupos são apresentados em listas separadas. Também mais recentemente os trabalhos aparecem sob variantes títulos como "Chacaltaya Emulsion Chamber" ou "Chacaltaya-Pamir" Emulsion Experiment, etc. Procuramos manter o título como aparece na publicação ou apresentação do trabalho mas em alguns casos simplesmente completamos com o nome do grupo o indicador "Colaboração Brasil-Japão".

O exame dos trabalhos dessa lista revela quatro fases mais significativas na carreira de *Lattes*: a fase da USP; a fase de Bristol; a fase dos aceleradores; a fase da radiação cósmica. Neste último período podemos incluir uma sub-fase caracterizada pelo interesse em métodos de geocronologia.

A fase da USP consiste nos trabalhos das refs. 1,2 e 7, quando se dedicou a investigações teóricas sob a orientação de Wataghin e Schönberg.

A fase de Bristol corresponde ao período em que esteve no laboratório H.H.Wills da universidade daquela cidade, integrando o grupo de *Cecil Franck Powell*; na ocasião optou pela física experimental, dedicando-se ao trabalho com emulsões nucleares. Pertencem a essa fase os trabalhos das referências 3-6 e 8-11, que incluem o da descoberta do pion (ref. 5).

A fase de aceleradores iniciou-se pelo importante trabalho da produção artificial do pion (ref. 12), com o falecido *Eugene Gardner*, no recém-terminado sincrociclotron de Berkeley. O sucesso do empreendimento encorajou os trabalhos das referências 13 e 14, que encerram essa etapa¹.

A fase de retorno à radiação cósmica teve lugar em meados da década de '50 e foi definitiva. Essa posição foi influenciada não somente pela avaliação, então muito favorável, da radiação cósmica como fonte de eventos novos, mas também por seu desejo de se radicar no Brasil, onde dificilmente poderia instalar, com perspectivas de sucesso, um programa de investigações baseado numa política de desenvolvimento de aceleradores com o necessário porte e taxa de inovação.

Liderou, primeiramente, um trabalho sobre assimetrias na distribuição angular de elétrons do decaimento π - μ -e, observados em emulsões nucleares expostas em vôos de balões (refs. 15-16). As distribuições angulares observadas questionaram o valor correntemente aceito para o spin do pión² e motivaram grande controvérsia entre grupos que trabalharam nesse problema com emulsões nucleares, na radiação cósmica e em aceleradores.

Os trabalhos das referências 17 e 18 encerram a fase de exploração de eventos estudados em emulsões nucleares expostas em vôos de balão. Em 1962 teve início a Colaboração Brasil-Japão (referências 19 em diante) envolvendo agora câmaras especiais, de emulsões nucleares, filmes de raios-X e chumbo, com grande área de aceitação e expostas por prazos longos no Monte Chacaltaya, Bolívia, a pouco mais de 500 g/cm² de atmosfera residual.

Durante esse último período *Lattes* também desenvolveu uma atividade paralela, interessando-se por propriedades fundamentais de detectores sólidos de traços nas suas aplicações à geocronologia (referências 47, 52, 53). As investigações científicas sobre a radiação cósmica desfrutaram de uma posição *sui generis*; situadas entre o que se convencionou chamar de ciência natural e a sua interpretação microscópica, incorporaram elementos antagônicos de um confronto cultural que curiosamente não eclode, ao menos sob forma de questionamentos da prática metodológica. Um começo de conflito se fez sentir no início dos anos '30, seguindo-se ao grande sucesso da eletrodinâmica quântica na interpretação de fenômenos da radiação cósmica. *Erich Regener* interpretou corretamente o sentimento dos pesquisadores da área: *In recent years I have endeavoured to explore the decay of the intensity of cosmic radiation over as wide a range as possible after its entrance in the atmosphere. I believe that such an investigation is indispensable before a theory of the nature of cosmic radiation can be put forward*³. A proposta de *Regener* prevaleceu e as investigações sobre o comportamento da radiação cósmica em função da profundidade atmosférica, no subsolo e sob água, prosseguiram, preservando a abordagem ingênua que permitiu caracterizar a componente penetrante ao lado da eletromagnética; interpretada microscopicamente e acrescentada à componente eletromagnética, compõe, hoje, a teoria geral das cascatas, peça fundamental na análise dos eventos às mais altas energias, produzindo os Chuveiros Extensos e os estados altamente excitados

encontrados nas câmaras da Colaboração Brasil-Japão. Os trabalhos científicos de Lattes mostram um nítido alinhamento com o pensamento científico característico da ciência natural que dominou a elaboração dos conhecimentos sobre a radiação cósmica.

2. Trabalhos Científicos

1. C.M.G. Lattes, G. Wataguin

- Estatística de partículas e nucleons e sua relação com o problema de abundância dos elementos.
- *Physics Reports USP, 1945; Vol. U.S.P. 4: XVII, pp 269*

2. C.M.G. Lattes, G. Wataguin

- On the abundance of nuclei in the universe.
- *Physical Review, 1946; 69: pp 237.*

3. C.M.G. Lattes, P. Cuer

- Radioactivity of Samarium.
- *Nature, 1946; 158: pp 197-198*

4. C.M.G. Lattes; E.G. Samuel; P. Cuer

- Radioatividade do Samário, utilização da placa fotográfica para a determinação de baixas concentrações de material radioativo
- *Anais da Academia Brasileira de Ciências, 1947; 19: (1), 1-15*

5. C.M.G. Lattes, H. Muirhead, G.P.S. Occhialini, C.F. Powell

- Processes involving charged mesons.
- *Nature, 1947; 159: pp 694-697*

6. C.M.G. Lattes; G.P.S. Occhialini; C.F. Powell

- Observation on the tracks of slow mesons in photographic emulsion.
- *Nature, 1947; 160: pp 486-492.*

- 7. C.M.G. Lattes, M. Schönberg, W. Schutzer**
 - Classical theory of charged point-particles with dipole moments.
 - *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 1947; **19**: (3), pp 193-245
- 8. C.M.G. Lattes, P.H. Fowler, P. Cuer**
 - A study of the nuclear transmutations of light elements by the photographic method.
 - *Proc. Physics Soc.*, 1947; **59**: (5), pp 883-900
- 9. C.M.G. Lattes, G.P.S. Occhialini**
 - Determination of the energy and momentum of fast neutrons in cosmic rays.
 - *Nature*, 1947; **159** : pp 331-332
- 10. C.M.G. Lattes, P.H. Fowler, P. Cuer**
 - Range-energy relation for protons and α -particles in the new Ilford "nuclear research" emulsions.
 - *Nature*, 1947; **159**: pp 301-302
- 11. C.M.G. Lattes, G.P.S. Occhialini, C.M. Powell**
 - A determination of the ratio of the masses of π - and μ -mesons by the method of grain-counting.
 - *Proc. Royal Phys. Soc.*, 1948; **61**: (2), pp 173- 183.
- 12. E. Gardner, C.M.G. Lattes**
 - Production of mesons by the 184-inch Berkeley cyclotron.
 - *Science*, 1948; **107**: pp 270- 271
- 13. J. Burfening, E. Gardner, C.M.G. Lattes**
 - Positive mesons produced by the 184-inch Berkeley cyclotron.
 - *Physical Review*, 1949; **75**: (3), pp 382-387

14. H.L. Anderson, C.M.G. Lattes

- Search for the electronic decay of positive pion.
- *Il Nuovo Cimento*, 1957; **6**: (6), pp 1356 - 1381.

15. C.M.G. Lattes, P.S. Freier

- Angular correlation between pions and muons measured in nuclear emulsions.
- *Proceedings of the Padova Conference*, 1957; **5**: pp 17.

16. P.H. Fowler, P.S. Freier, C.M.G. Lattes, E.P. Ney, S.J. St. Lorant

- Angular correlation in the π - μ -e decay of cosmic ray mesons.
- *Il Nuovo Cimento*, 1957; **6** : (1), pp 63-68

17. P. Fowler, P.S. Freier, C.M.G. Lattes, E.P. Ney, D.H. Perkins

- A cosmic ray jet in the 10^{15} eV energy range.
- *Reported at Varenna International Conference on Cosmic Radiation*, June 1957.

18. ICEF Group

- High energy interaction in the ICEF collaboration
- *J. Physics Soc. Japan Suppl.*, 1962; **17**: A-III, pp 399
(*Proceedings of the International Conference on Cosmic Rays, Kyoto 1961*)

19. Colaboração Brasil-Japão .

- Investigation of extremely high energy nuclear interaction with large emulsion chambers.
- *Proceedings of the V- Interamerican Seminar on Cosmic Rays, La Paz, Bolivia*, 1962; **2**: pp 33-1 a 33-7.

20. Colaboração Brasil-Japão

- Emulsion chamber project of Japan-Brasil collaboration.
- *International Cosmic-Ray Conference, Jaipur*, 1963 Dec: pp 326-345

21. Colaboração Brasil-Japão

- Observation on extremely- high energy nuclear events with emulsion chambers exposed on mt. Chacaltaya. Part I
- *Nuovo Cimento*, 1963; **28**: (3), pp 614-620

22. ICEF Group

- High-energy nuclear interactions from the international cooperative emulsion flight.
- *Nuovo Cimento Suppl*, 1963; **1**: (4), pp 1039-1090

23. Colaboração Brasil-Japão

- Observations on extremely high energy nuclear events with emulsion chambers exposed at mt. Chacaltaya. Part II
- *Nuovo Cimento*, 1964; **33**: (3), pp 680-701

24. Colaboração Brasil-Japão

- Observations of extremely high energy events by emulsion chamber
- *Proc. Int. Conf. Cosmic Rays*, 1965 pp 835-839

25. Colaboração Brasil-Japão

- Analysis of the high energy jet showers III. Analysis of experimental data.
- *Progr. Theor. Phys. (Kyoto) Suppl.*, 1965; (33), pp134-142

26. Colaboração Brasil-Japão

- Nuclear interactions produced in the emulsion chamber
- *Proceedings of the IX International Conference on Cosmic Rays, London, Sept. 1965*; **2**: EAS 42, pp 878-882

27. Colaboração Brasil-Japão

- Extensive air showers observed in the emulsion chamber
- *Proceedings of the IX International Conference on Cosmic Rays, London, Sept. 1965*; **2**: EAS 43, pp 744 - 840

28. Colaboração Brasil-Japão

- Observation of extremely high energy nuclear interactions with an emulsion chamber.
- *Canadian Journal of Physics*, 1968; **56**: pp S660-S670

29. Colaboração Brasil-Japão

- Observation of extremely high energy nuclear interactions by means of a huge emulsion chamber at mt Chacaltaya.
- *Acta Physics Acad. Sc. Hungaricae*. 1970; **29**, Suppl 3, pp 63 - 80
Proceedings of the XI-International Cosmic-Ray Conference, Budapest, Hungary, 1969 pp 63-79

30. Colaboração Brasil-Japão

- Produção de uma bola de fogo em interações nucleares de energia extremamente alta observadas com câmaras de emulsão. Parte II: a-jatos.
- *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 1969; **41**: pp 490

31. Colaboração Brasil-Japão

- Análise das interações nucleares ocorridas na atmosfera a uma altura menor que 1.000m em Chacaltaya.
- *XXII Reunião Anual da S.B.P.C., Salvador, Bahia, 1970*

32. Colaboração Brasil-Japão

- Fireball masses
- *Proceedings of the VI Interamerican Seminar on Cosmic Rays, La Paz, Jul 1970; (40)*, pp 619-622

33. C.M.G.Lattes e M.S.M. Mantovani

- Analysis of Bristol-Bombaim data on nuclear interaction produced by primary c.r. of $\Sigma e_{\gamma} > 1$ TeV
- *Proceedings of the VI Interamerican Seminar on Cosmic Rays, La Paz, Jul 1970; (40)*, pp 623-626

34. Colaboração Brasil-Japão

- Chacaltaya emulsion chamber experiment.
- *Suppl. Progress Theor. Phys.*, 1971; **47**: pp 1

35. Colaboração Brasil-Japão

- Chacaltaya emulsion chamber experiment. Part.II: atmospheric interactions.
- *XII- International Cosmic-Ray Conference, Hobart ,Tasmania, 1971;7: HE.43, pp 2781*

36. Colaboração Brasil-Japão

- Chacaltaya emulsion chamber experiment. Part.I: nuclear interactions in emulsion chamber.
- *Conference Papers, 1971; 7: He-44, pp 2786.*
XII-International Cosmic-Ray Conference, Hobart ,Tasmania, August 1971; 7: HE.44, pp 2786

37. Colaboração Brasil-Japão

- Chacaltaya emulsion chamber experiment. Part.III: large air shower event "Andromeda".
- *XII-International Cosmic-Ray Conference, Hobart ,Tasmania, 1971; 7: HE.42, pp 2775*

38. Colaboração Brasil-Japão

- Análise da câmara de emulsões nucleares nº15 Parte I
- *XXIV Reunião Anual da S.B.P.C., São Paulo, julho de 1972*

39. Colaboração Brasil-Japão

- Morfologia da radiação cósmica através da análise das câmaras de emulsão nuclear e chumbo (CENC) expostos em Chacaltaya desde 1962
- *XXIV Reunião Anual da S.B.P.C. São Paulo, 1972.*

40. Colaboração Brasil-Japão

- Atmospheric phenomena of extremely high energy cosmic-ray components.
- *XIII- International Cosmic-Ray Conference, Denver, U.S.A., 1973; 4: AS-6B, pp 2671*

41. Colaboração Brasil-Japão

- Comparação entre algumas características da produção múltipla de π s pela radiação cósmica com as de π s produzidos em aceleradores.
- *XXV Reunião Anual da S.B.P.C., Rio de Janeiro, 1973*

42. Colaboração Brasil-Japão

- Distribuição energética de π^0 s produzidos em interações nucleares e hádrons da radiação cósmica, em alvo localizado
- *XXV Reunião Anual da S.B.P.C., Rio de Janeiro, julho 1973.*

43. Colaboração Brasil-Japão

- Espectro de energia de raios gama, elétrons e partículas nuclearmente ativas de alta energia e suas "famílias" em Chacaltaya, Bolívia (5.200m) parte i.
- *XXV Reunião Anual da S.B.P.C., Rio de Janeiro, 1973.*

44. Colaboração Brasil-Japão

- Multiple production of mesons in cosmic-ray high energy nuclear interactions.
- *XIII- International Cosmic-Ray Conference, Denver, 1973; 3: HE-4; pp 2210*

45. Colaboração Brasil-Japão

- Characteristics of multiple production of mesons around 100 Tev from Chacaltaya cosmic-ray experiment.
- *International Conference on High Energy Physics- Imperial College-Londres, 1974 Jul; " Invited Papers "; also in*

International Symposium on High Energy Phenomena in Cosmic Rays, Tokyo, 1974 Nov

46. Colaboração Brasil-Japão

- Atmospheric phenomena of high energy cosmic-rays at mt. Chacaltaya.
- *XIV- International Cosmic-Ray Conference, Munique, 1975; 7: HE 3.24, pp 2387*

47. Colaboração Brasil-Japão

- Fire-balls and new particles.
- *XIV- International Cosmic-Ray Conference, Munique, August 1975, 7: HE 5.5, pp 2426*

48. Colaboração Brasil-Japão

- Further evidence for new type of nuclear interactions at extremely high energy .
- *XIV- International Cosmic-Ray Conference, Munique, August 1975; 3: pp 2392*

49. G. Bigazzi; E.M. Ciochetti; J.C. Hadler; C.M.G. Lattes; D.A.B. Serra

- Osservazione sull'anisotropia nella registrazione di fissioni di uranio in muscovite
- *Rend. Soc. It. Min Petr., 1976; XXXII, pp 119-127*

50. Colaboração Brasil-Japão

- Baryon pair production with large decay q-value.
- *Proceedings of the Topical Conference on Cosmic Rays and Particle Physics above 10 TeV, Delaware, Ed. American Institute of Physics Conference Paper nº 49, Particle and Field Subseries, 1978 Oct; 16: pp 145; Versão atualizada em: XVI - International Cosmic-Ray Conference, Kyoto, Japan, 1979;6: HE 3-46, pp 350*

51. Colaboração Brasil-Japão

- Multiple meson production in $e_{\gamma} > 2 \times 10^{13}$ eV region.
- *Proceedings of the Topical Conference on Cosmic Rays and Particle Physics above 10 TeV, Delaware, Ed. American Institute of Physics, 1978; Conference Paper 49, Sect. Particles and Fields Subseries, 16: pp 94; also in XVI-International Cosmic-Ray Conference, Kyoto, Japan, 1979; 6: HE 3.48, pp 362*

52. Colaboração Brasil-Japão

- A new type of nuclear interaction in the $e_{\gamma} > 10^{14}$ eV region.
- *Proceedings of the Topical Conference on Cosmic Rays and Particle Physics above 10 TeV, Delaware, Ed. American Institute of Physics, 1978 Oct; Conference Paper 49, Section Particles and Fields, Subseries 16: pp 317; also in XVI-International Cosmic-Ray Conference, Kyoto, 1979; 6: HE 3-47, pp 356.*

53. Colaboração Brasil-Japão

- A new type of nuclear interaction in a 10^{15} eV region.
- *International Conference on High Energy Physics, Tokyo, Japan, August 1978*

54. J.C. Hadler; C.M.G. Lattes; A. Marques; M. Divanilde D. Marques

- Anomalous tracks observed in Uranium loaded nuclear emulsions.
- *Nuclear Instruments and Methods, 1980; 172: pp 587-589*

55. G. Bigazzi; J.C. Hadler; C.M.G. Lattes; M.D. Marques; D.A.B. Serra

- Measurement of the disintegration constant of ^{238}U for spontaneous fission.
- *Track Dating, Workshop, Pizza, 1980*

56. C.M.G. Lattes, Y. Fujimoto, S. Hasegawa

- Hadronic interactions of high energy cosmic-ray observed by emulsion chambers
- *Phys. Rep.*, 1980; **65**: (3), pp 152-229

57. Colaboração Brasil-Japão

- Centauro and related phenomena.
- *XVII-International Cosmic-Ray Conference, Paris, 1981*; **11**: pp 100

58. Colaboração Brasil-Japão

- Gamma ray families observed by Chacaltaya emulsion chambers.
- *Proceedings of the XVII-International Cosmic-Ray Conference, Paris, 1981*; **11**: pp 163

59. Colaboração Brasil-Japão

- Hadrons in cosmic-ray families.
- *XVII-International Cosmic-Ray Conference, Paris, 1981*; **11**: 159

60. Colaboração Brasil-Japão, Grupo de Monte Fuji e Grupo de Pamir

- Nuclear interactions of super high energy cosmic-rays observed by mountain emulsion chambers.
- *Nuclear Physics, 1981*; **B191**: pp 1.

61. Colaboração Brasil-Japão

- Study on target interactions in emulsion chamber.
- *XVII-International Cosmic-Ray Conference, Paris, 1981*; **11**: pp 82.

62. Colaboração Brasil-Japão

- Centauros.
- *Report of Science and Engineering Research Laboratory, Waseda University, Tokyo, 1982; also in Proceedings of the Workshop on Cosmic Rays Interactions and High Energy Results, CBPF, 1982; pp 42*

63. Colaboração Brasil-Japão.

- Chirons.
- *Proceedings of the Workshop on Proton-Antiproton Collider Physics, patrocinado pelo American Institute of Physics, Madison, 1982; 85: pp 500; also in Proceedings of the Workshop on Cosmic Rays Interactions and High Energy, CBPF, Rio, 1982; pp 102*

64. Colaboração Brasil-Japão

- Fire balls in multiple pión production.
- *Supp. Prog. Theor. Physics, 1983; 76: pp 1.*

65. Colaboração Brasil-Japão

- Chirons and geminions.
- *Proceedings of the XVII-International Cosmic-Ray Conference, Bangalore, India, 1983; II HE 5-1: pp 77.*

66. Colaboração Brasil-Japão.

- "Chirons".
- *Proceedings of the International Symposium on Cosmic Rays and Particle Physics, Tokyo, 1984 Mar; pp 319.*

67. Colaboração Brasil-Japão

- Preliminary results on observation of genetic relations among new phenomena, geminion, chiron and mini-centauro
- *Proceedings of the Internacional Symposium on Cosmic Rays and Particle Physics, Tokyo, 1984 Mar; pp 718.*

68. Colaboração Brasil-Japão

- Exotic interactions among C-jets and Pb-jets
- *Proceedings of the XIX-International Cosmic-Ray Conference, La Jolla, 1985; 6: pp 250*

69. Colaboração Brasil-Japão

- Giant mini-clusters as possible origin of halo phenomena observed in super-families.
- *Proceedings of the XIX-International Cosmic-Ray Conference, La Jolla, 1985; 6: pp 360*

70. Colaboração Brasil-Japão

- Mini-cluster.
- *Proceedings of the XIX-International Cosmic-Ray Conference, La Jolla, 1985; 6: pp 356.*

71. Colaboração Brasil-Japão

- Observation of genetic relation among new phenomena geminion, chiron and mini-centauro.
- *Proceedings of the XIX-International Cosmic-Ray Conference, La Jolla, 1985; 8: pp 31*

72. Colaboração Brasil-Japão

- About a recently detected hadron- rich event.
- *Proceedings of the XX-International Cosmic-Ray Conference, Moscow, 1987; 5: pp 325.*

73. Colaboração Brasil-Japão

- Cosmic-ray nuclear events of 1000-2000 TeV observed in Chacaltaya emulsion chambers
- *Proceedings of the XX-International Cosmic-Ray Conference, Moscow, 1987; 5: pp 359.*

74. Colaboração Brasil-Japão

- Mini-clusters observed in high energy cosmic-ray families
- *Proceedings of the XX-International Cosmic-Ray Conference, Moscow, 1987; 5: pp 326.*

75. Colaboração Brasil-Japão

- Study on huge shower clusters in high energy cosmic ray families.
- *Proceedings of the XX-International Cosmic-Ray Conference, Moscow, 1987; 5: pp 330.*

76. Colaboração Brasil-Japão

- A systematic survey of exotic type target interactions in Chacaltaya two-storey chambers.
- *Proceedings of the XX-International Cosmic-Ray Conference, Moscow, 1987; 5: pp 214.*

77. Colaboração Brasil-Japão, Grupo de Pamir

- Observation of a high energy cosmic-ray family caused by centauro-type nuclear interaction in joint emulsion chamber experiment at Pamir.
- *Physics Letters, 1987; B190: pp 226*

78. Colaboração Brasil-Japão, Grupo de Pamir

- Super families with huge halo observed in Pamir joint chamber.
- *Proceedings of the XX-International Cosmic-Ray Conference, Moscow, 1987; 5: pp 383*

79. Colaboração Brasil-Japão, Grupo de Pamir

- A systematic search of a high energy cosmic-ray families of exotic nature in joint chamber at Pamir.
- *Proceedings of the XX- International Cosmic-Ray Conference, Moscow, 1987; 5: pp 334.*

80. Colaboração Brasil-Japão

- One more centauro?
- *Proceedings of the V-International Symposium on Very High Energy Cosmic-Ray Interactions, Lodz, 1988; pp 309*

81. Colaboração Brasil-Japão

- Altitude variation of high energy cosmic-ray and exotic phenomena.
- *Proceedings of the XXI- International Cosmic-Ray Conference, Adelaide, 1990 ; 10.*

82. Colaboração Brasil-Japão, Grupo de Pamir

- High energy cosmic ray families and simulation calculations (I).
- *Proceedings of the VI- International Symposium on Very High Energy Cosmic-Ray Interactions, Tarbes , 1990*

83. Colaboração Brasil-Japão

- Analysis of highest energy events observed by Chacaltaya emulsion chambers.
- *Proceedings of the XXI- International Cosmic-Ray Conference, Adelaide, 1990 ; 8: pp 255.*

84. Colaboração Brasil-Japão, Grupo de Pamir

- High energy cosmic-ray families and simulation calculations (II).
- *Proceedings of the VI-International Symposium on Very High Energy Cosmic-Ray Interactions, Tarbes, 1990 .*

85. Colaboração Brasil-Japão

- High energy shower clusters observed in Chacaltaya two-storey chambers.
- *Proceedings of the XXI- International Cosmic-Ray Conference, Adelaide, 1990; 8: pp 267*

86. Colaboração Brasil-Japão, Grupo de Pamir

- High energy showers in cosmic-ray families observed in Pamir joint chambers.
- *Proceedings of the XXI-International Cosmic-Ray Conference, Adelaide, 1990; 8: pp 157.*

87. Colaboração Brasil-Japão

- Large shower clusters and halos in cosmic-ray families.
- *Proceedings of the VI-International Symposium on Very High Energy Cosmic-Ray Interactions, Tarbes, 1990*

88. Colaboração Brasil-Japão

- Nature of high energy showers in cosmic-ray families.
- *Proceedings of the VI-International Symposium on Very High Energy Cosmic-Ray Interactions, Tarbes, 1990*

89. Colaboração Brasil-Japão

- Observation of centauro species in cosmic-ray families.
- *Proceedings of the VI-International Symposium on Very High Energy Cosmic-Ray Interactions, Tarbes, 1990*

90. Colaboração Brasil-Japão, Grupo de Pamir

- Penetrative characteristics of extremely high energy halos and shower clusters in Pamir joint chambers.
- *Proceedings of the XXI- International Cosmic-Ray Conference, Adelaide, 1990; 8: pp 243.*

91. Colaboração Brasil-Japão.

- Two examples of centauro observed in two different energy domains.
- *Proceedings of the XXI- International Cosmic-Ray Conference, Adelaide, 1990; 8: pp 263*

92. Colaboração Brasil-Japão

- Ultra high energy cosmic-ray families of centauro characteristics.
- *Proceedings of XXI- International Cosmic-Ray Conference, Adelaide, 1990; 8: pp 259.*

93. Colaboração Brasil-Japão, Grupo de Pamir

- Characteristics of hadronic interactions over 10^{15} eV observed in high energy cosmic-ray families in Chacaltaya and Pamir emulsion chambers-II
- *Proceedings of the XXII-International Cosmic-Ray Conference, Dublin, 1991; HE 1.2., pp 11.*

94. Colaboração Brasil-Japão

- Detailed analysis of a superfamily of visible energy greater than 5000 TeV with centauro characteristics observed in Chacaltaya chamber.
- *Proceedings of the XXII-International Cosmic-Ray Conference, Dublin, 1991 H.E.1.2, 1.3.*

95. Colaboração Brasil-Japão, Grupo de Pamir

- Characteristics of hadronic interactions over 10^{15} eV observed in high energy cosmic-ray families in Chacaltaya and Pamir emulsion chambers-I.
- *Proceedings of the XXII-International Cosmic-Ray Conference, Dublin, 1991 : HE 1.2, pp 10*

96. Colaboração Brasil-Japão

- Gamma-ray inelasticity k_γ in emulsion chamber experiment.
- *Proceedings of the XXII- International Cosmic-Ray Conference, Dublin, 1991; H.E.1.2.9.*

97. Colaboração Brasil-Japão

- Scaling violation and cosmic-ray exotic events.
- *Proceedings of the XXII-International Cosmic-Ray Conference, Dublin, 1991; H.E.1.47*

98. Colaboração Brasil-Japão

- Scaling violation in the forward region .
- *Proceedings of the XXII-International Cosmic-Ray Conference, Dublin, 1991; H.E. 1.46*

99. Colaboração Brasil-Japão, Grupo de Pamir

- Small p-t characteristics of particle production seen in high energy shower clusters in emulsion chambers at Pamir and Chacaltaya.
- *Proceedings of the XXII-International Cosmic-Ray Conference, Dublin, 1991;1: H.E.1.2, August 1991*

100. Colaboração Brasil-Japão, Grupo de Pamir

- Observation of very high energy cosmic-ray families in emulsion chambers at high mountain altitudes (I).
- *Nuclear Physics, 1992; B370: n.2, pp 365- 431*

101. Colaboração Brasil-Japão, Grupo de Pamir

- A study of very high energy hadron interactions through observations of cosmic-ray families of visible energy greater than 500 TeV (I).
- *Proceedings of the XXIII-International Cosmic-Ray Conference, Calgary, 1993; 4: pp 116.*

102. Colaboração Brasil-Japão, Grupo de Pamir

- A study of very high energy hadron interactions through observation of cosmic-ray families of visible energy greater than 500 TeV (II).
- *Proceedings of the XXIII-International Cosmic-Ray Conference, Calgary, 1993; 4: pp 120.*

103. Colaboração Brasil-Japão, Grupo de Pamir

- A study of very high energy hadron interactions through observation of cosmic-ray families of visible energy greater than 500 TeV (III).
- *Proceedings of the XXIII-International Cosmic-Ray Conference, Calgary, 1993; 4: pp 124.*

3. Lista Geral de Autores

Anderson, H.L. (Chicago)	Lorant, S.J.St. (Minneapolis)
Bigazzi, G. (Pisa)	Marques, A. (CBPF/UNICAMP)
Burfening, J. (Berkeley)	Marques, M.D.D. (UNICAMP)
CBJ ^a	Muirhead, H. (Bristol)
Ciochetti, E.M. (UNICAMP)	Ney, E.P. (Minneapolis)
CP ^b	Occhialini, G. (Bristol)
Cuer, P.(Bristol)	Perkins, D.H. (Imperial College)
Fowler, P.H. (Bristol)	Powell, C.F. (Bristol)
Freier, P.S. (Minneapolis)	Samuel, E.G. (Bristol)
Gardner, E. (Berkeley)	Schönberg, M. (USP)
GMF ^c	Schutzer, W. (USP)
Hadler, J.C. (UNICAMP)	Serra, D.A.B. (UNICAMP)
ICEF ^d	Wataghin, G. (USP)

a) Colaboração Brasil-Japão; autores em lista separada. b) Colaboração Pamir; autores em lista separada. c) Grupo Monte Fuji; autores em lista separada. d) Cooperação Internacional em Vãos de Emulsões; autores em lista separada

4. Autores em Colaborações Internacionais

4.1 Cooperação Internacional em Vãos de Emulsões

Alemanha

Bahlburg, B. (Hamburgo)
Gansel, E. (Munique)
Lindern, L. von (Munique)
Lohrman, E. (Hamburgo)
Pinkau, K. (Kiel)
Rische, V. (Hamburgo)
Röhrs, H. (Kiel)
Teucher, M. (Hamburgo)

Áustria

Czapek, G. (Viena)
Kellner, G. (Viena)

Brasil

Cruz, M. (Usp)
Lattes, C.M.G. (Usp)
Okuno, E. (Usp)
Orsini, C. (Usp)
Pacca, I. (Usp)

Canadá

Judek, B. (Cnp/Canadá)

Estados Unidos

Bachhuber, C. (Seattle)
Cottrell, D. (Seattle)
Dency, C. (Baton Rouge)
Fricken, R. (Baton Rouge)
Haskin, D. (Chicago)
Hildebrand, B. (Washington)
Huggett, R. (Baton Rouge)
Kidd, J. (Chicago)
Koshiba, M. (Chicago)
Lavakare, P. (Rochester)
Lord, J. (Seattle)
Schein, M. (Chicago)
Shapiro, M. (Washington)
Silberberg, R. (Washington)
Tsao, C.H. (Chicago)

Grã Bretanha

Mayes, V. (Bristol)

Índia

Daniel, R. (Bombaim)
Durgaprasad, N. (Bombaim)
Malhotra, P. (Bombaim)
Vijayalakshmi, B. (Bombaim)

Irlanda

Avidam, J. (Dublim)
Imaeda, K. (Dublim)
Kazuno, N. (Dublim)

Israel

Eisenberg, Y. (Rheovoth)
Kessler, D. (Tel-Aviv)
Zamir, U. (Tel-Aviv)

Itália

Baroni, G. (Roma)
Ferilli, A. (Bari)
Garelli, C. (Turim)
Manfredini, A. (Roma)
Montini, A. (Pádua)
Mora, S. (Parma)
Picasso, E. (Gênova)
Rossi, V. (Roma)
Salandin, G. (Pádua)
Vigone, M. (Turim)
Waldner, F. (Pádua)

Japão

Hasegawa, H. (Rikkyo)
Hirashima, Y. (Rikkyo)
Ino, T. (Rikkyo)
Ito, K. (Rikkyo)
Kusumoto, O. (Osaka)
Maeda, Y. (Kobe)
Mikamo, S. (Osaka)
Minakawa, O. (Kobe)

Misaki, A. (Konan)
 Mito, I. (Konan)
 Miyagaki, M. (Kobe)
 Nakagawa, S. (Rikkyo)
 Niu, K. (Tóquio)
 Ohita, M. (Osaka)
 Okudaira, K. (Rikkyo)
 Oyama, Y. (Konan)
 Shimizu, K. (Hirosaki)
 Tokunaga, S. (Konan)
 Teranaka, M. (Osaka)
 Tsuzuki, Y. (Kobe)
 Watanabe, Z. (Hirosaki)

Noruega

Jacobsen, T. (Oslo)
 Sorensen, S. (Oslo)

Polônia

Ciok, P. (Carcóvia)

Coghen, T. (Carcóvia)
 Czachowska, Z. (Carcóvia)
 Gierula, J. (Carcóvia)
 Holynsky, R. (Carcóvia)
 Jurak, A. (Carcóvia)
 Krzywdzinski, S. (Carcóvia)
 Miesowicz, M. (Carcóvia)
 Rybicki, K. (Carcóvia)
 Saniewska, T. (Carcóvia)
 Stanisz, O. (Carcóvia)
 Tomaszewsky, A. (Carcóvia)
 Wolter, W. (Carcóvia)

Suíça

Koch, W. (Berna)

4.2 Autores da Colaboração Brasil-Japão

Brasil

Aguirre, C. (CBPF)
 Amato, N. (CBPF)
 Arata, N. (CBPF)
 Borello, T. (USP)
 Ballester, M. (UNICAMP)
 Bellandi, J. (UNICAMP)
 Bravo, M. (CBPF)
 Castro, F.M.O. (CBPF)
 Cattani, M. (USP)
 Chinellato, J.A. (UNICAMP)
 Cruz, M.T. (USP)
 Dobrigkeit, C. (UNICAMP)
 Endler, A.M.F. (CBPF)
 Fauth, A.C. (UNICAMP)
 Lattes, C.M.G. (UNICAMP/CBPF)
 Maldonado, R.H.C. (UFF)
 Mantovani, M.M.S. (UNICAMP)
 Marques, A. (CBPF/UNICAMP)
 Menon, M.J. (UNICAMP)
 Navia, C.E. (UNICAMP)

Okuno E. (USP) Orsini, C.Q. (USP)
 Pacca, I.G. (USP)
 Perneraju A. (UNICAMP)
 Portela, H.M. (UFF)
 Rodrigues, W. (UNICAMP)
 Santos, C. (UNICAMP)
 Sawayanagi, K. (UNICAMP)
 Sequeiros, H. (USP)
 Shibuya, E.H. (UNICAMP)
 Silva E. (UNICAMP)
 Turtelli Jr., A. (UNICAMP)

Japão

Akashi, M. (Hirosaki)
 Aoki, H. (Waseda)
 Dake, S. (Kobe)
 Fujimoto, Y. (Waseda)
 Funayama, Y. (IRC/Tóquio)
 Hasegawa, S. (Waseda)
 Hazama, M. (Konan)
 Kasahara, K. (Waseda)
 Konishi, E. (Waseda)

Kumano, H. (Waseda)
Maeda, Y. (Yokohama)
Mito, I. (IEN/Tóquio)
Nishikawa, K. (Konan)
Nishimura, J. (ICEA/Tóquio)
Nishio, A. (Kyoto)
Niu, K. (IEN/Tóquio)
Ogata, T. (Kwansei-Gakuin)
Ogita, N. (Wako/Saitama)
Tateyama, N. (Waseda)
Tsuneoka, Y. (NIT/Nagoya)
Watanabe, Z. (Hirosaki)
Yamashita, S. (Waseda)
Yokoi, K. (Nagoya)

4.3. Grupo Monte Fuji

Amenomori, A. (Hirosaki)
Hotta, N. (Konan)
Ichiju, M. (Saitama)
Kasahara, K. (IRC/Tóquio)
Kobayashi, T. (IRC/Tóquio)
Konishi, E. (Hirosaki)
Mikumo, E. (IRC/Tóquio)
Mizutani, K. (Saitama)
Mito, I. (Tóquio)
Nanjo, H. (Hirosaki)

4.4 Colaboração Pamir

URSS (C.E.I.)

Afanasjeva, I.G. (IFN/Moscou)
Amineva, T.P. (IFN/Moscou)
Azimof, S.A. (Tashkent)
Azimov, Z.A. (Dushanbe)
Bakhtigereev, S.E. (Alma-Ata)
Baradzei, L.T. (Lebedev/Moscou)
Barkova, T.V. (IPEN/Moscou)
Baygurina, S.G. (Lebedev/Moscou)
Bobodjanov, I.B. (Dushanbe)
Borisov, A.S. (Lebedev/Moscou)

Ohta, I. (IEN/Tóquio)
Ohsawa, A. (IRC/Tóquio)
Oyama, Y. (Konan)
Semba, H. (Waseda)
Shibata, T. (Aoyama-Gakuin)
Tabuki, T. (Waseda)
Taira, T. (IEN/Tóquio)
Tamada, M. (FCT/Kinki)
Tanaka, K. (Waseda)

Sato, K. (IRC/ Tóquio)
Shibata, M. (Yokohama)
Shirai, T. (Kanagawa)
Sugimoto, H. (Sagami/Kanagawa)
Taira, K. (Sagami/Kanagawa)
Taira, T. (Kanagawa)
Tateyama, N. (Kanagawa)
Torii, S. (IRC/Tóquio)
Watanabe, Z. (Hirosaki)
Yuda, T. (IRC/Tóquio)

Cananov, S.D. (Tibilisi)
Chadranyan, L.Kh. (Tibilisi)
Cherdyntseva, K.V. (Lebedev/Moscou)
Denisova, V.G. (Lebedev/Moscou)
Dobrotin, N.A. (Lebedev/Moscou)
Doroshenko, O.E. (IPEN/Moscou)
Dubrovina, S.A. (Lebedev/Moscou)
Dunaevsky, A.M. (Lebedev/Moscou)
Dzhuraev, A.R. (Tashkent)
Emelianov, Yu.A. (Alma-Ata)
Fedorova, G.F. (IFN/Moscou)

- Gubar, N.E. (Dushanbe)
 Gulov, Yu. A. (Dushanbe)
 Guseva, Z.M. (Lebedev/Moscou)
 Iljina, N.P. (IFN/Moscou)
 Ivanenko, I.P. (IFN/Moscou)
 Juldashbaev, T.S. (Tashkent)
 Kanevskaya, E.A. (Lebedev/Moscou)
 Karpova, S.A. (Lebedev/Moscou)
 Khalilov, D.A. (Tibilisi)
 Khisanishvili, L.A. (Tibilisi)
 Khristiansen, G.B. (IFN/Moscou)
 Kopenkin, V.V. (IFN/Moscou)
 Ladarija, M.K. (Tibilisi)
 Lazareva, T.V. (IFN/Moscou)
 Leptukh, G.G. (Tibilisi)
 Lukin, Yu.T. (Alma-Ata)
 Managadze, A.K. (IFN/Moscou)
 Maximenko, V.M. (Lebedev/Moscou)
 Mikhailova, I.A. (IPEN/Moscou)
 Mukhamedshin, R.A. (IPEN/Moscou)
 Mullajanov, E.G. (Tashkent)
 Murzina, E.A. (IFN/Moscou)
 Myrtojieva, Sh. (Tashkent)
 Nam, R.A. (Lebedev/Moscou)
 Nedelko, O.E. (IPEN/Moscou)
 Nikolaeva, L.P. (IPEN/Moscou)
 Normuradov, F. (Dushanbe)
 Nosov, A.N. (Tashkent)
 Nuritdinov, Kh. (Tashkent)
 Pashkov, S.V. (Lebedev/Moscou)
 Pomelova, E.I. (IFN/Moscou)
 Popova, E.G. (IFN/Moscou)
 Puchkov, V.S. (Lebedev/Moscou)
 Rakobolskaya, I.V. (IFN/Moscou)
 Roganova, T.M. (IFN/Moscou)
 Roinishvili, N.N. (Tibilisi)
 Ryabova, N.G. (IFN/Moscou)
 Shamansurov, I. (Tashkent)
 Shaulov, S.D. (Lebedev/Moscou)
 Shobaranov, Kh. (Dushanbe)
 Shorin, B.F. (Alma-Ata)
- Slavatinsky, S.A. (Lebedev/Moscou)
 Smirnova, M.D. (Lebedev/Moscou)
 Smorodin, Yu.A. (Lebedev/Moscou)
 Strogova, O.P. (IFN/Moscou)
 Sukhov, L.V. (IPEN/Moscou)
 Svanidze, M.S. (Tibilisi)
 Sveshnikova, L.G. (IFN/Moscou)
 Talipov, D.A. (Tashkent)
 Tecliashvili, J.A. (Tibilisi)
 Urysov, A.V. (Lebedev/Moscou)
 Varsimashvili, T.V. (Tibilisi)
 Yuldashbaev, T.S. (Tashkent)
 Zaitseva, E.G. (Alma-Ata)
 Zatsepin, G.T. (IPEN/Moscou)
 Zelevinskaya, N.G. (Lebedev/Moscou)
 Zhdanov, G.B. (Lebedev/Moscou)
 Zimin, M.V. (Lebedev/Moscou)
- Polônia**
- Buja, Z. (Carcóvia)
 Bielawska, H. (Lodz)
 Bialobrzaska, H. (Lodz)
 Gladysz, E. (Carcóvia)
 Mazurkiewicz, J. (Carcóvia)
 Malinowsky, J. (Lodz)
 Malyszynska, K. (Kielce)
 Micocki, S. (Carcóvia)
 Milczarek, K. (Lodz)
 Jusiewicz, R. (Lodz)
 Kacperski, J.L. (Lodz)
 Krys, A. (Lodz)
 Linke, M. (Lodz)
 Maciaszczyk, J. (Lodz)
 Nowicka, J. (Kielce)
 Pluta, M. (Lodz)
 Sroka, J. (Lodz)
 Szarska, M. (Carcóvia)
 Tomaszewsky, A. (Lodz)
 Włodarczik, Z. (Kielce)
 Wrotniak, J.A. (Lodz)
 Zawiejski, L. (Carcóvia)

5. Siglas e Abreviaturas Utilizadas

- Alma-Ata : Instituto de Física de Altas Energias, Academia de Ciências do Kazakhstan, Alma-Ata
- Aoyama-Gakuin: Colégio de Ciência e Engenharia, Universidade Aoyama-Gakuin , Tóquio
- Bari: Universidade de Bari
- Baton Rouge: Universidade Estadual da Luisiania
- Berkeley: Laboratório de Radiações, Berkeley
- Berna: Instituto de Física da Universidade de Berna
- Bombaim: Instituto Tata para Pesquisa Fundamental, Bombaim
- Bristol: Universidade de Bristol
- Carcóvia: Instituto de Pesquisas Nucleares, Carcóvia
- CBPF: Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, Rio de Janeiro
- Chicago: Universidade de Chicago
- CNP/Canadá: Conselho Nacional de Pesquisas do Canadá
- Dublin: Instituto de Estudos Avançados de Dublin
- Dushanbe : Instituto de Física e Engenharia, Academia de Ciências do Tadjikistam, Dushanbe
- FCT/Kinki : Faculdade de Ciência e Tecnologia, Universidade de Kinki, Osaka
- Gênova: Universidade de Gênova
- Hamburgo: Instituto Estatal de Física da Universidade, Hamburgo
- Hirosaki : Departamento de Física, Universidade Hirosaki
- ICEA/Tóquio : Instituto de Ciência Espacial e Aeronáutica, Universidade de Tóquio
- IEN/Tóquio : Instituto de Estudos Nucleares, Universidade de Tóquio
- IFN/Moscou : Instituto de Física Nuclear da Universidade de Moscou
- IPEN/Moscou: Instituto de Pesquisas Nucleares, Academia de Ciências, Moscou.
- IRC/Tóquio : Instituto de Pesquisas em Raios Cósmicos, Universidade de Tóquio
- Kanagawa: Universidade de Kanagawa, Yokohama
- Kiel: Instituto de Física Nuclear Pura e Aplicada da Universidade de Kiel
- Kielce : Escola Superior de Pedagogia de Kielce
- Kobe : Departamento de Física Universidade de Kobe
- Konan: Departamento de Física, Universidade Konan, Kobe
- Kyoto : Escola de Artes Liberais e Ciências, Universidade de Kyoto
- Kwanseï-Gakuin : Departamento de Física, Universidade Kwanseï-Gakuin , Nishinomiya
- Lebedev/Moscou : Instituto de Física Pavel Lebedev, Academia de Ciências, Moscou
- Lodz : Instituto de Física, Universidade de Lodz
- Minneapolis: Escola de Física, Universidade de Minnesota, Minneapolis
- Munique: Instituto Max Planck de Física e Astrofísica, Munique

- Nagoya : Departamento de Física, Universidade de Nagoya
- NIT/Nagoya : Departamento de Física, Instituto de Tecnologia de Nagoya, Universidade de Nagoya
- Osaka: Universidade Municipal de Osaka
- Oslo: Universidade de Oslo
- Pádua: Universidade de Padua
- Parma: Universidade de Parma
- Rheovoth: Instituto Weizmann de Ciência, Rheovoth
- Rikkyo: Universidade Rikkyo, Tóquio
- Rochester: Universidade de Rochester
- Roma: Universidade de Roma
- Sagami/Kanagawa: Instituto Sagami de Tecnologia, Kanagawa, Yokohama
- Saitama: Universidade de Saitama, Saitama
- Seattle: Universidade de Washington, Seattle
- Shibaura/Tóquio: Instituto de Tecnologia Shibaura, Tóquio
- Sidnei: Universidade de Sidnei
- Tashkent: Instituto de Física e Engenharia, Academia de Ciências do Uzbequistão, Tashkent
- Tel Aviv: Comissão de Energia Atômica de Israel, Tel Aviv
- Tibilisi : Instituto de Física, Academia de Ciências da Geórgia, Tibilisi
- Tóquio: Universidade de Tóquio
- Turim: Universidade de Turim
- UFF : Universidade Federal Fluminense
- UNICAMP : Instituto de Física Gleb Wataghin, Universidade de Campinas
- USP: Departamento/Instituto de Física, Universidade de S. Paulo
- Viena: Instituto de Física Teórica, Universidade de Viena
- Wako/Saitama : Instituto de Pesquisas Físicas e Químicas, Wako, Saitama
- Waseda : Laboratórios de Pesquisas em Ciência e Engenharia, Universidade de Waseda, Tóquio
- Washington: Laboratório de Pesquisas Navais, Washington
- Yokohama: Universidade Nacional de Yokohama

¹ Fui informado pelo Prof. H.G. de Carvalho da existência de um outro trabalho, ainda no sincrociclotron de Chicago, com Libby; entretanto não pudemos encontrar, nos índices disponíveis, qualquer referência a ele, podendo acontecer de ter recebido um tratamento de relatório interno do grupo do ciclotron e, assim, ter escapado ao nosso levantamento.

² Vale lembrar que apenas o fóton teve seu spin medido através de efeitos objetivos: o torque produzido num sistema mecânico. Os spins de todas as outras partículas elementares são

obtidos indiretamente, no caso do pión, pela razão entre pesos estatísticos relacionando as seções de choque de processos ligados por reciprocidade.

³ E. Regener, *Nature* 1933; **132**: pp 696-698 Erich Regener ligou-se indiretamente à física brasileira através de dois renomados ex-alunos: o Pe. Xavier Roser e o Prof. Bernhard Gross.

^a A Colaboração Brasil-Japão incluiu, desde seu início até os dias correntes, um grande número de participantes, muitos dos quais apenas durante um período curto comparado com a duração desses trabalhos; fizemos um certo esforço para incluir todos os nomes mas é possível que ainda assim ocorram omissões.

^b Incluímos apenas os nomes que aparecem como co-autores em qualquer dos trabalhos publicados ou apresentados em congressos científicos pela CBJ.

^c Procuramos apresentar o endereço atualizado mas, face à grande mobilidade dos cientistas e do tempo decorrido, acreditamos que essa intenção se tenha frustrado num número não desprezível de casos.