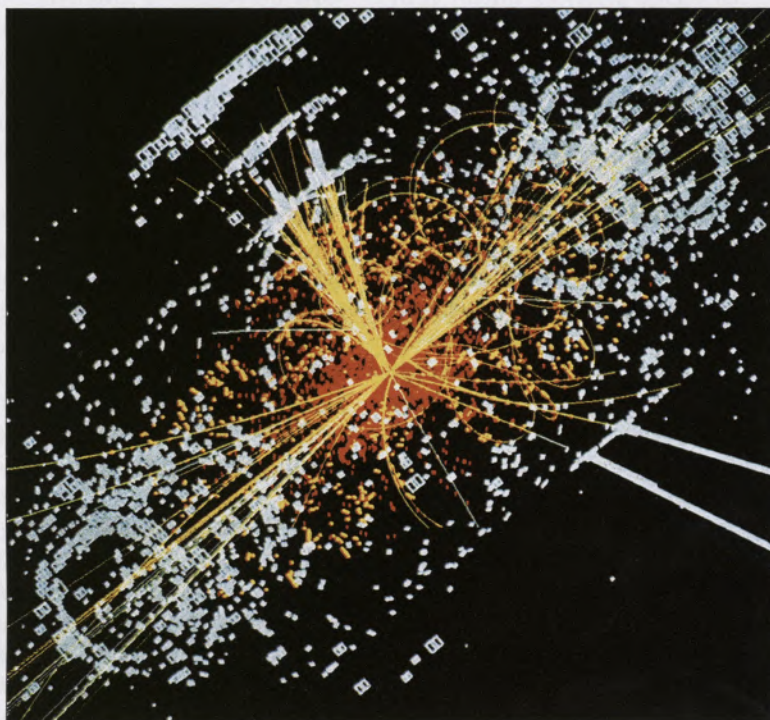


Aula de física



Pesquisa FAPESP quebra um tabu nas páginas a seguir. Pela primeira vez publica um longo artigo de um pesquisador sobre um tema importante para a ciência. Como se sabe, esta revista edita reportagens sobre projetos de pesquisa de ciência e tecnologia e, apenas eventualmente, curtos artigos de pesquisadores. O físico e professor Roberto Salmeron, radicado há muitos anos na França, oferece aos leitores um relato único sobre os 50 anos do Centro Europeu de Pesquisas Nucleares (CERN), um dos grandes feitos científicos do século passado. E aproveita para dar uma panorâmica bastante didática sobre as pesquisas de física de partículas. Este artigo se justifica não só pela importância do assunto, mas também pela excelência do autor. Físico, diretor de pesquisa emérito aposentado da Escola Politécnica da França, Roberto Salmeron foi um dos primeiros pesquisadores do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, no Rio de Janeiro, e do CERN, em Genebra, Suíça, professor da Universidade de São Paulo e da Universidade de Brasília. É autor do livro *A universidade interrompida: Brasília, 1964-1965* (Editora UnB, 1999, esgotado) e é um dos pesquisadores entrevistados no livro *Prazer em conhecer* (FAPESP/Instituto Uniemp, 2004). Com este artigo, Pesquisa FAPESP crê contribuir para a história da física nesse período.

CERN

Uma experiência científica, social e humana

ROBERTO A. SALMERON

O laboratório Organização Européia para a Pesquisa Nuclear, conhecido pela sigla CERN, situado em Genebra, na Suíça, fundado em 29 de setembro de 1954, comemora 50 anos. Esse prestigioso laboratório é uma das maiores aventuras científicas do século 20. Sua importância é considerável não somente pelos sucessos científicos e tecnológicos, mas também porque inventou a colaboração internacional em ciências, criando uma nova relação em pesquisa entre os países e entre laboratórios de diferentes países, uma nova sociologia na ciência, que resultou numa experiência humana pioneira na história da civilização.

O CERN é o maior laboratório do mundo em pesquisa fundamental, incluindo todas as ciências. Apesar de ser europeu, sua importância vai além da Europa, influenciando a física mundial. É a instituição internacional de maior sucesso, por ter atingido plenamente os objetivos para os quais foi criado. Sua história é exemplo de idealismo, de relações humanas, de colaboração entre países, de planificação científica e tecnológica, de formação de jovens pesquisadores, de relações da ciência básica com a indústria.

Previsto inicialmente para que nele trabalhassem 400 pessoas dos 12 países que o criaram, é hoje frequentado por 6.500 pesquisadores de 80 países.

Uma das mais antigas curiosidades do homem é saber de que são feitas as coisas, como é feito o Universo, como compreender o que há na Terra e no céu. As tentativas de explicação começaram há mais de 5 mil anos com a mitologia e continuaram sem base objetiva durante séculos, sem o método experimental introduzido por Galileu no século 17. Os primeiros passos científicos se deram em meados do século 19 e grandes progressos foram feitos no século 20. Nos últimos 50 anos, desde o início do CERN, com trabalhos realizados em muitos lugares, não somente no CERN, aprendemos mais sobre a estrutura da matéria do que em toda a história anterior da humanidade.

O objetivo do CERN é o estudo da estrutura íntima da matéria, isto é, das *partículas elementares* que

constituem a parte mais profunda da matéria, e das leis que regem as forças exercidas pelas partículas entre elas. Aprendemos que essas partículas constituem todos os corpos existentes na Terra e no Universo. Conhecendo as leis que as regem, estaremos conhecendo leis fundamentais do Universo.

Tive o privilégio de trabalhar no CERN desde a sua fundação, quando terminei meu trabalho de tese na Universidade de Manchester, na Inglaterra, tendo sido um dos dez primeiros físicos experimentais contratados pelo laboratório. Fui membro do quadro permanente de físicos durante dez anos e continuei fazendo experiências lá durante mais 25 anos como físico da École Polytechnique da França, até me aposentar. Tive então a oportunidade excepcional de acompanhar a evolução do laboratório desde a sua origem.

Este artigo foi organizado levando-se em consideração que em sua grande maioria os eventuais leitores não conhecem a física de partículas elementares. Queremos mostrar a motivação para a fundação do CERN e o apoio constante que teve durante 50 anos, e continua tendo, de tantos países. Veremos como estudamos as partículas e o impressionante arsenal tecnológico desenvolvido para esses estudos. Por isso mostraremos inicialmente o que são raios cósmicos e sua contribuição à física de partículas, o que são aceleradores, a história da fundação do CERN, sua estrutura e os objetivos fundamentais das experiências no CERN. Daremos também algumas noções sobre física de partículas e sua relação com a astronomia, os grandes desafios científicos nesses ramos da física e, finalmente, um resumo dos sucessos do CERN.

A primeira fotografia na página 6 mostra onde está instalado o CERN, na região fronteira entre o cantão de Genebra e a França. Os vários círculos correspondem aos lugares onde estão os aceleradores de partículas, em túneis subterrâneos. O círculo maior, de 27 quilômetros de comprimento, indica o Large Hádron Collider (LHC), cuja construção terminará em 2007.

1 - A física na Europa no fim da Segunda Guerra Mundial

Para compreendermos a importância da fundação do CERN é necessário voltarmos à situação da Europa no fim da Segunda Guerra Mundial, que durou de setembro de 1939 a maio de 1945. Antes da guerra a ciência européia era a vanguarda. Os trabalhos fundamentais que assentaram as bases da física moderna foram feitos na Europa. Durante a guerra os laboratórios europeus foram destruídos, fechados ou tiveram sua atividade muito reduzida. De outro lado, os Estados Unidos, que também fizeram grande esforço de guerra, nunca tiveram batalhas em seu território, suas universidades e laboratórios ficaram intactos, a pesquisa continuou e um esforço enorme e apoio sem limites foram dados à física nuclear. Além disso, os Estados Unidos contaram com a colaboração de excelentes físicos europeus que para lá emigraram.

A Europa tinha, no entanto, trunfos de grande valor: nível científico elevado e tradição. Terminada a guerra, a pesquisa foi retomada gradualmente, com poucos recursos disponíveis. Um dos campos da física ao qual alguns laboratórios se dedicaram foi o de *raios cósmicos*; em alguns casos construindo equipamentos de porte reduzido para experiências em que a imaginação era mais importante do que o material, em outros, retomando e completando o equipamento construído para experiências antes da guerra, interrompidas durante cinco anos.

Raios cósmicos são relacionados com as pesquisas feitas no CERN com *aceleradores de partículas*. Vejamos inicialmente o que são raios cósmicos e algo sobre aceleradores.

2 - Raios cósmicos

A física de partículas elementares, que se faz no CERN, começou com estudos de partículas em raios cósmicos.

Existem fenômenos atômicos em todos os astros, e nesses fenômenos são produzidas partículas atômicas, como prótons, nêutrons, elétrons, fótons, que percorrem o Universo em todas as direções; muitas chegam até a Terra. Essas partículas atômicas que chegam do Universo à Terra são chamadas *raios cósmicos*, nome dado antes de sabermos o que eram. Quando chegam à atmosfera, colidem com as moléculas de ar e produzem mais partículas atômicas, que têm energia menor do que as partículas iniciais. As partículas emitidas pelos astros produzem assim *cascatas* ou *chuviros* de partículas na atmosfera. Raios cósmicos constituem, portanto, uma fonte de partículas atômicas. Em experiências que detectavam raios cósmicos várias partículas foram descobertas e suas propriedades mais características foram medidas.

Dois anos depois de terminada a guerra foram feitas na Inglaterra duas descobertas fundamentais em raios cósmicos, em 1947, com dois meses de interva-

lo. Na Universidade de Bristol, Cecil Powell tinha desenvolvido e posto em prática a técnica de emulsões nucleares espessas, de milímetros e centímetros de espessura, para detectar partículas, depois de vários anos de trabalho em colaboração com a fábrica de filmes Ilford (tinha iniciado o trabalho antes da guerra). Por essa técnica de grande importância Powell recebeu o Prêmio Nobel. Utilizando essas emulsões, Cecil Powell, Cesar Lattes e Giuseppe Occhialini descobriram uma nova partícula atômica, que chamaram *méson pi* (letra grega π). Na Universidade de Manchester, Clifford Butler e George Rochester trabalhavam com a técnica de câmara de Wilson, na qual a trajetória da partícula deixa um rastro que pode ser fotografado. Com essa técnica descobriram um novo tipo de partículas, que chamaram *partículas V*, atualmente chamadas *partículas estranhas*. As duas descobertas causaram sensação e uma revolução na física. A descoberta do méson pi não causou surpresa, porque teoricamente se esperava que um tipo de partículas com suas propriedades poderia existir, para explicar as forças existentes entre os prótons e os nêutrons dentro do núcleo atômico. Mas a descoberta das partículas estranhas foi grande surpresa, ninguém as esperava, não havia nenhuma evidência, nem experimental nem teórica, de que tais partículas pudessem existir. O grande físico inglês Patrick Blackett, diretor do Departamento de Física da Universidade de Manchester, dizia: "O que estão fazendo na natureza essas partículas? A natureza está nos enviando uma mensagem que nós ainda não compreendemos".

A descoberta dessas partículas, especialmente das partículas estranhas, estimulou grande curiosidade. Formaram-se grupos de raios cósmicos em vários países europeus e nos Estados Unidos para estudar as novas partículas. Havia nesses grupos uma expectativa rara em ciência. Fazíamos experiências com a convicção de que novos domínios da natureza estavam se abrindo para nós, que a probabilidade de encontrarmos algo de novo era grande, mas não tínhamos a mínima idéia do que poderíamos encontrar.

Não podemos deixar de assinalar que um grupo de físicos da Universidade de São Paulo (USP) teve papel importante nessa evolução. Quando a USP foi fundada, em 1934, assumiu a direção do Departamento de Física da recém-criada Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras o professor italiano Gleb Wataghin, excelente físico teórico e experimental. Wataghin ensinou a nós, brasileiros, a física moderna do século 20 e como fazer pesquisa nessa física. Organizou um grupo para pesquisas em raios cósmicos que em poucos anos adquiriu reputação internacional. Gleb Wataghin e dois jovens, Paulus Aulus Pompéia e Marcello Damy de Souza Santos, descobriram em São Paulo, em 1940, um novo fenômeno físico: uma partícula colidindo com outra pode produzir na colisão outras partículas que penetram muitos centímetros na matéria, por exemplo ferro ou chumbo. Esse processo nunca tinha sido observado. Chamaram as partículas

assim produzidas de *chuveiros penetrantes*, atualmente chamados *chuveiros hadrônicos*. Nos aceleradores como os do CERN, eles são produzidos milhões de vezes por segundo.

A experiência de São Paulo foi feita com contadores Geiger-Muller, que são os mais simples detectores de partículas que existem. Lembremos que em 1940 a Europa estava em guerra. Quando ela terminou, Patrick Blackett propôs a George Rochester e Clifford Butler que repetissem na Universidade de Manchester a experiência de São Paulo com uma técnica diferente, a câmara de Wilson. Assim Rochester e Butler descobriram as partículas estranhas. O grupo de São Paulo contribuiu, portanto, para essa descoberta. O professor Wataghin disse-me uma vez que queria fazer a experiência com câmara de Wilson, mas não teve condições para fazê-la.

Durante a guerra os norte-americanos construíram aceleradores de prótons, chamados *ciclotrons*, importantes para a física nuclear, alguns construídos em laboratórios nacionais que tinham trabalhado para as pesquisas de guerra. Depois da descoberta dessas partículas, os norte-americanos, com seus laboratórios intactos e com a hábito de financiar projetos importantes adquirido durante a guerra, começaram a construir aceleradores para o estudo do méson pi e das partículas estranhas, porque com aceleradores podemos estudá-los muito melhor do que com raios cósmicos. Na Europa havia somente dois ciclotrons pequenos, incapazes de produzir as novas partículas; um em Paris, no Collège de France, construído por Frederic Joliot antes da guerra, outro na Universidade de Liverpool, na Inglaterra, levado a termo pelo grupo de James Chadwick. A consequência foi que o estudo dessas partículas podia ser feito somente nos Estados Unidos, era uma ciência americana.

3 - Aceleradores de partículas

Um acelerador, como o nome indica, é uma máquina que acelera partículas, isto é, aumenta a sua velocidade. Somente partículas que têm carga elétrica podem ser aceleradas; o próton e o elétron podem ser acelerados porque têm cargas elétricas, o nêutron não pode ser acelerado porque não tem carga elétrica. Isso porque a partícula é acelerada por um campo elétrico que exerce uma força sobre a carga elétrica e “empurra” a partícula. Quando uma partícula é acelerada, sua energia aumenta, como acontece com qualquer corpo acelerado.

As unidades de energia utilizadas são chamadas *milhão de elétron-volts*, indicado por *MeV*, e *giga elétron-volts*, indicado por *GeV*. Um *MeV* é igual à energia que adquire uma partícula quando passa entre dois pontos que têm diferença de potencial de 1 milhão de volts. O *GeV* é mil vezes maior: é igual à energia que a partícula adquire quando passa entre dois pontos que têm diferença de potencial de 1 bilhão de volts.

Essas energias são grandes para partículas, porque elas adquirem grandes velocidades, muito próximas à velocidade da luz no vácuo, que é a maior velocidade que existe na natureza. Com 1 *GeV*, em um segundo podem percorrer sete vezes o equador terrestre. Mas são energias muito pequenas em comparação com as energias que utilizamos todos os dias. Por exemplo, um grão de areia de volume igual a 2 milímetros cúbicos, com velocidade de apenas 1 centímetro por segundo, tem energia igual a 1 *GeV*.

No acelerador, a partícula tem de passar por uma região onde há um campo elétrico. Não é possível obtermos tensões tão altas, como milhões e bilhões de volts, para produzirmos esse campo elétrico. Usamos então uma astúcia. Fazemos a partícula percorrer uma trajetória circular, e nessa trajetória são colocados campos elétricos em várias regiões; cada vez que a partícula passa por esses campos ela é acelerada, e passando muitas vezes é muito acelerada. Por exemplo, a partícula pode passar por 10 mil volts cada vez que percorre a circunferência; percorrendo 1 milhão de vezes terá passado por 1 milhão x 10 mil volts, ou 10 bilhões de volts, isto é, 10 *GeV*. É por isso que muitos aceleradores são circulares.

Todos os aceleradores de partículas têm fontes de diferença de potencial. Os aceleradores circulares têm eletroímãs que curvam a trajetória das partículas e as fazem descrever circunferências. Os eletroímãs não aceleram, não dão energia às partículas, somente fazem as partículas descrever circunferências. As partículas ficam dentro de um tubo metálico no qual se faz alto vácuo, superior ao vácuo interestelar no Universo.

A segunda fotografia na página 6 mostra parte do acelerador de prótons de 400 *GeV* instalado num túnel subterrâneo, como todos os aceleradores do CERN. Aparecem alguns eletroímãs e o tubo metálico com alto vácuo, no interior do qual circulam os prótons. O comprimento do acelerador é de 6 quilômetros.

As vantagens de estudarmos partículas com aceleradores em relação a raios cósmicos são imensas:

a) com um acelerador de prótons, por exemplo, sabemos que são os prótons, de energia conhecida, que vão entrar em colisão, na qual serão produzidas as partículas que queremos estudar; em raios cósmicos, não conhecemos a natureza da partícula que colidiu nem a sua energia;

b) o fluxo de raios cósmicos é pequeno; nas experiências para estudar as partículas estranhas em raios cósmicos era detectada uma colisão de cinco em cinco minutos, aproximadamente, e era detectada uma partícula por dia ou cada dois dias; com os aceleradores, são produzidos milhões de colisões por segundo e dezenas das partículas estranhas por segundo. Com o acelerador que o CERN está construindo, o LHC, haverá 1 bilhão de colisões por segundo.

A terceira fotografia na página 6 mostra um detector de partículas. Esse aparelho complexo foi construído por uma colaboração de grupos de mais de 20 países, cada grupo tendo feito uma parte do detector

no seu país. As partes foram transportadas e o conjunto montado no CERN. Vemos que os detectores atuais são projetos industriais. O detector dessa fotografia é da penúltima geração; os que estão sendo construídos para o LHC são muito maiores.

A quarta fotografia na página 6 mostra trajetórias de partículas com carga elétrica num detector colocado dentro de um eletroímã. O campo magnético faz com que as trajetórias sejam circulares.

4 - A idéia de Louis de Broglie e a fundação do CERN

As conseqüências da guerra para a Europa foram dramáticas, como é sabido. Em alguns países, mesmo entre aqueles com melhores situações econômicas, como a Grã-Bretanha e a França, ainda havia racionamento de certos alimentos e de carvão para aquecimento das residências dez anos depois de terminada a guerra. O dinheiro para a ciência era limitado, nenhum país tinha condições para construir um laboratório de pesquisa de grande porte.

Em 1949, numa conferência cultural européia realizada em Lausanne, na Suíça, o físico francês Louis de Broglie propôs que, para restaurar grandes atividades de pesquisa, a Europa criasse laboratórios europeus de ciências. De Broglie gozava de imenso prestígio, tinha recebido o Prêmio Nobel pelo trabalho de sua tese de doutorado, que estabeleceu as bases da mecânica quântica, o mais importante ramo da física moderna, que revolucionou a física. No ano seguinte, em 1950, o físico de origem alemã naturalizado norte-americano Isidore Rabi, que também tinha recebido o Prêmio Nobel, na 5ª Conferência-Geral da Unesco, a Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura, em Florença, na Itália, retomou a idéia de De Broglie e propôs uma resolução, adotada unanimemente, autorizando a Unesco “a auxiliar e encorajar a formação e organização de centros regionais e laboratórios a fim de aumentar e tornar mais útil a colaboração internacional de cientistas”. Mas havia uma grande diferença entre os dois homens e entre suas intenções. De Broglie era um puro, queria restaurar o nível e manter a tradição da ciência européia. Rabi, apesar de ser professor na Universidade de Columbia, em Nova York, era conselheiro do Departamento do Estado (Ministério das Relações Exteriores) dos Estados Unidos e era uma espécie de inspetor da física internacional para o governo norte-americano. Sua idéia era de que a Europa, com sua tradição científica, poderia ter centros regionais de várias ciências, não somente de física, e obter resultados em pesquisa básica que poderiam ser úteis para os Estados Unidos, que assim poderiam concentrar 25% de seus pesquisadores em trabalhos para a guerra.

Essas propostas eram gerais para as ciências. Mas, para que fosse criado um laboratório europeu específico para a física de partículas, para que o CERN viesse a existir, as pessoas mais importantes foram o físi-

co italiano Edoardo Amaldi, principalmente, e o físico francês Pierre Auger. Amaldi, que tinha uma rara visão global da ciência e do seu impacto na sociedade, foi o homem que sugeriu a filosofia de comportamento do CERN, seguida desde a origem: um laboratório aberto a todos os países, com trabalhos científicos amplamente divulgados, sem nenhuma atividade secreta e nenhuma influência militar. Em outras palavras, um laboratório de paz. Ele colocou o Departamento de Física da Universidade de Roma à disposição para secretariar os grupos de discussão.

A idéia de fazer um laboratório internacional foi logo apoiada por eminentes físicos europeus, entre eles: Enrico Fermi, grande amigo de Amaldi, que trabalhava da Universidade de Chicago, Niels Bohr, da Dinamarca, Patrick Blackett, da Inglaterra, Werner Heisenberg, da Alemanha, H. Casimir, da Holanda, Louis Leprince-Ringuet, da França.

5 - Etapas importantes na fundação do CERN

Os físicos interessados na idéia de um laboratório europeu procuraram apoio dos respectivos governos, porque um empreendimento científico de importância, seja internacional ou nacional, somente pode ser feito com vontade política.

Em 1952, numa outra Conferência-Geral da Unesco, 11 governos europeus concordaram em criar provisoriamente um Conselho Europeu para Pesquisas Nucleares (Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire, donde vem a sigla CERN), para organizar reuniões e discussões. Numa reunião ulterior desse conselho em Amsterdã, na Holanda, foi escolhido o cantão de Genebra, na Suíça, como lugar de instalação do CERN. Um cantão na Suíça é equivalente a um estado no Brasil. Foi escolhida Genebra por já ter grande experiência em acolher organizações internacionais, dispondo de um aparelhamento jurídico para o funcionamento dessas instituições.

Depois da ratificação inicial de um convênio pelos Estados-membros, foi criada a Organização Européia para Pesquisas Nucleares em 29 de setembro de 1954 por 12 países. O conselho provisório foi dissolvido e um novo conselho foi criado de acordo com os estatutos.

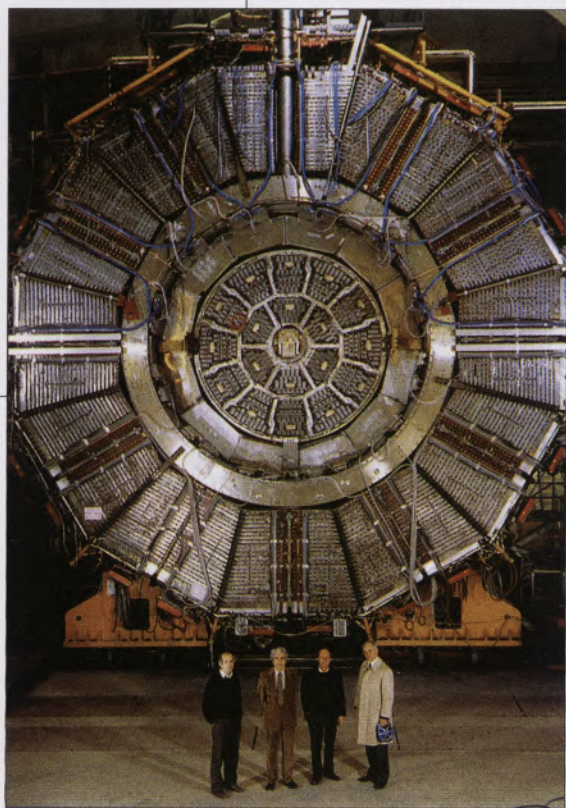
Os 12 países fundadores do CERN são: Alemanha, Bélgica, Dinamarca, França, Grã-Bretanha, Grécia, Holanda, Itália, Iugoslávia, Noruega, Suécia e Suíça. A Iugoslávia retirou-se em 1961.

Em fevereiro de 1955 houve a primeira reunião do novo conselho do CERN num edifício público de Genebra. Foi escolhido como diretor-geral o físico suíço Felix Bloch, Prêmio Nobel de Física. Bloch presidiu a cerimônia de depósito da pedra fundamental num terreno próximo à cidade de Meyrin, oferecido pelo cantão de Genebra, em junho de 1955. Bloch, físico teórico, não quis continuar na direção do laboratório, que entrava num período de construção de aceleradores e desenvolvimento tecnológico, e pediu para ser substi-

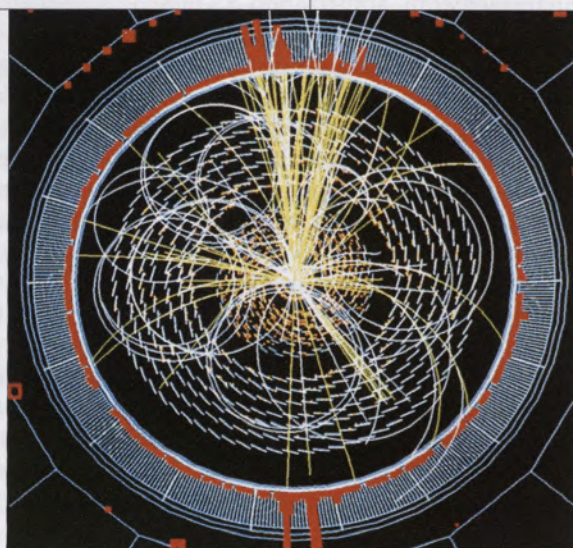
Localização do CERN. Os círculos correspondem aos lugares onde estão os aceleradores



Parte do acelerador de prótons de 400 GeV, com 6 quilômetros de comprimento



Detector de partículas de penúltima geração, construído por grupos de mais de 20 países



Trajетórias de partículas com carga elétrica em detector dentro de um eletroímã

tuído. Cornelis Jan Bakker, diretor do Zeeman Laboratory de Amsterdã, o substituiu em setembro de 1955.

Foi nesse início das atividades que ingressei no CERN, em agosto de 1955. O CERN não tinha ainda nenhum edifício; trabalhávamos em barracas de madeira no aeroporto de Genebra.

Outros países aderiram aos 12 iniciais. A Áustria ingressou em 1959, a Espanha em 1961, retirou-se em 1969 e reintegrou-se em 1983. Portugal ingressou em 1985, a Finlândia e a Polônia em 1991, a Hungria em 1992, a República Tcheca e a República Eslovaca em 1993, a Bulgária em 1999. O CERN tem atualmente 20 Estados-membros.

Em 1965 houve um acordo entre a Suíça e a França para que o CERN se estendesse para o território francês. Os aceleradores construídos desde então passam pelos dois países.

6 - A estrutura do CERN

A autoridade máxima do CERN é o *conselho*, responsável por todas as decisões importantes; controla as atividades científicas, tecnológicas e administrativas. O conselho tem dois comitês: o *Comitê de Política Científica*, cujos membros são escolhidos pela sua competência científica, decide sobre os grandes projetos; e o *Comitê de Finanças*, ambos com representantes de todos os Estados-membros. O conselho reúne-se oficialmente duas vezes por ano, mas os conselheiros podem também se reunir, todos ou em pequenos grupos, para discutir assuntos urgentes. São os países que escolhem seus representantes no conselho. O conselho escolhe o diretor-geral, que não é membro do conselho.

Há um diretório, composto pelo diretor-geral, vice-diretor-geral e diretor de Finanças. Há uma secretaria-geral, uma administração de projetos e sete departamentos.

Um ponto extremamente importante no funcionamento do CERN, desde as suas origens, é a abertura para transferência de tecnologia. O CERN não tira patente das inovações que faz, elas podem ser utilizadas por qualquer país. Além dessa facilidade, há uma secretaria de Educação e Transferência de Tecnologia e um Departamento de Informação Tecnológica, abertos para todos os países, não somente para os Estados-membros. O Brasil, por exemplo, pode aproveitar a transferência de tecnologia ofertada pelo CERN.

Vemos o interesse do CERN em ensino e transferência de tecnologia para qualquer país. Este é um ponto extremamente importante que deveria ser conhecido no Brasil pelas autoridades responsáveis pelo fomento à pesquisa e pela comunidade de físicos.

7 - Financiamento

A verba anual do CERN é de € 630 milhões. A contribuição de cada país é proporcional ao seu Pro-

duto Interno Bruto (PIB). A Alemanha é o país com o maior PIB na Europa e faz a maior contribuição, seguida pela França, Grã-Bretanha e Itália. Esses quatro países financiam cerca de 75% e os outros 16 países, 25%.

A cooperação internacional começa desde o momento em que um país adere ao CERN. Um novo membro é sempre um país que não tem laboratórios bem equipados para a física de partículas. Uma vez decidida, em comum acordo entre o conselho e as autoridades do país, qual será a sua contribuição anual, no primeiro ano o país paga ao CERN somente 10% da sua cota e usa 90% para melhorar a infra-estrutura de seus laboratórios. No segundo ano, paga 20% da sua cota ao CERN e usa 80% para infra-estrutura no país, e assim por diante, de modo que somente depois de dez anos passa a pagar ao CERN a integralidade da sua cota. Com esse sistema de financiamento, Portugal, por exemplo, tem laboratórios bem instalados para física de partículas em duas universidades, de Lisboa e de Coimbra. Além disso, nos anos iniciais a indústria portuguesa ganhava em contratos com o CERN mais do que Portugal pagava.

A colaboração internacional existe também no financiamento das experiências. Há uma idéia errada a respeito de financiamento que precisa ser corrigida. Muitos pensam que os países que não são membros do CERN precisam contribuir para a verba anual de € 630 milhões para que seus físicos participem das experiências. Isso não é verdade. Somente os 20 países-membros contribuem para essa verba. Os países que não são membros devem contribuir somente para o financiamento da experiência que os físicos desejam fazer. A colaboração internacional é feita com grupos de muitos países, cada grupo se responsabilizando por uma parte do equipamento.

Se um grupo de físicos do Brasil, por exemplo, deseja participar de uma experiência, deverá contribuir, *dentro de suas possibilidades*, para o detector de partículas. A despesa anual desse grupo, com *equipamento feito no Brasil* para as experiências realizadas no CERN, será da mesma ordem de grandeza que a despesa anual dos grupos brasileiros que se dedicam a outros ramos da física.

8 - As primeiras grandes decisões científicas

As primeiras grandes decisões científicas foram as escolhas de dois aceleradores de prótons a serem construídos. Um de 600 MeV e outro maior de aproximadamente 12 GeV.

O acelerador maior tem uma história interessante. Sua construção foi confiada a um norueguês de inteligência excepcional, Odd Dahl, ao mesmo tempo ótimo físico e engenheiro, autodidata sem nenhum diploma universitário. Sua formação era de aviador civil. Os Estados Unidos têm no Estado de Nova York, em Long Island, um laboratório importante, o Brookhaven National Laboratory (BLN), dedicado a vários

aspectos da física nuclear. O BNL tinha construído um acelerador de prótons de 3 GeV, que começou a funcionar na época em que o CERN foi fundado. A idéia do CERN era construir um acelerador de aproximadamente 12 GeV. Odd Dahl e colaboradores pensaram que em vez de iniciar os planos para esse acelerador a partir de zero, seria mais interessante solicitar ao BNL os planos do acelerador de 3 GeV e modificá-los para 12 GeV. Os colegas norte-americanos concordaram.

Quando os planos para o acelerador de 12 GeV ficaram prontos, Dahl e colaboradores os levaram ao BNL para submetê-los aos comentários dos colegas norte-americanos. Quando chegaram ao BNL, souberam que um artigo teórico de Courant, Livingstone e Snyder havia sido enviado para publicação no *Physical Review*, no qual propunham um novo tipo de acelerador de prótons, que poderia ter energia duas a três vezes superior à do acelerador clássico por aproximadamente o mesmo preço. Era evidente que se esse trabalho estivesse correto teria importância enorme para aceleradores futuros. Dahl discutiu com os autores do artigo e se convenceu de que suas idéias e seus cálculos estavam certos. Voltando a Genebra, propôs ao conselho do CERN que construísse o acelerador grande baseado no novo esquema proposto pelos três teóricos. Vemos nessa decisão a segurança desse homem. A proposta foi aceita. Os planos baseados no acelerador do BNL foram abandonados, e um projeto inteiramente novo foi iniciado, a partir do zero. Mudança radical, porque o acelerador baseado nos novos princípios tinha de ser calculado em todos os detalhes, exigindo uma reestruturação das equipes e contratação de especialistas em várias áreas novas. O acelerador foi construído segundo o novo modelo, com 28 GeV, circular com 630 metros de comprimento. Foi concluído em novembro de 1959, segundo os planos, com sucesso; na primeira vez que o acelerador foi ligado foi produzido o feixe de prótons.

O CERN começou então com um sucesso, com muita coragem e determinação para enfrentar novas tecnologias, cultivadas durante toda a sua história. A partir desse, todos os aceleradores de prótons de altas energias, no CERN e em outros laboratórios, foram construídos segundo esse processo. Os sucessos tecnológicos do CERN com aceleradores continuam até hoje.

9 - A escolha do pessoal

O internacionalismo do CERN não existe somente na estrutura, é característica permanente da sua vida. Lá trabalham pessoas de muitos países, seja no quadro permanente científico, técnico ou administrativo, seja nos grupos que fazem experiências e permanecem somente algum tempo.

Foram contratadas para dirigir a construção dos dois primeiros aceleradores pessoas com experiência em grandes projetos industriais: alemães que traba-

lhavam nas indústrias Siemens; franceses que tinham trabalhado na construção do acelerador de prótons de Saclay ou na construção de laboratórios de energia atômica; holandeses que trabalhavam na Philips; ingleses que tinham desenvolvido o radar, inventado por eles durante a guerra, e outros que tinham participado da construção do laboratório de energia atômica de Harwell. Como assessores, havia italianos da indústria pesada Ansaldo e suíços da indústria Brown Boveri. Para dirigir a administração foi convidado um francês que havia trabalhado na reorganização de serviços públicos da França com o general De Gaulle.

Quando o laboratório tem necessidade de contratar alguém, seja engenheiro, técnico ou para administração, a vaga é anunciada em todos os países-membros, e qualquer pessoa tem o direito de se candidatar. Os interessados são convidados para uma entrevista em Genebra e a escolha é feita independentemente da nacionalidade. Trabalham no CERN pessoas de todos os países-membros, é uma espécie de sociedade de nações.

O CERN tem três línguas oficiais: francês, inglês e alemão, nas quais são redigidos os documentos oficiais, mas lá se ouvem dezenas de línguas.

Para que os trabalhos tenham continuidade, os engenheiros, técnicos e pessoal de administração têm contratos permanentes. Os físicos dos vários países preparam o equipamento para as experiências em seus laboratórios, depois o levam para Genebra. Fazem a experiência no CERN, mas são radicados em seus laboratórios de origem. Mas para que o sistema funcione é indispensável que haja um número mínimo de físicos com contrato permanente no CERN.

10 - Os objetivos científicos do CERN – estudo das leis fundamentais obedecidas pelas partículas

É necessário que o CERN se dedique a assuntos muito importantes para que receba tanto apoio. Seu objetivo é o estudo das partículas que constituem a matéria e das leis que governam as forças existentes entre essas partículas, não somente na Terra, mas em todo o Universo. Para compreendermos o que isso significa, temos de saber o que são partículas elementares e como as estudamos.

Sabemos há muito tempo que os corpos são formados de moléculas, que as moléculas são formadas de átomos, que os átomos são formados de prótons, nêutrons e elétrons; que os prótons, com carga elétrica positiva, e os nêutrons, que não têm carga elétrica, ocupam uma região do átomo chamada núcleo; que os elétrons, que têm carga elétrica negativa igual à dos prótons, giram em torno do núcleo; e, como o número de prótons é igual ao número de elétrons, suas cargas elétricas se neutralizam.

Até 1947 eram conhecidas somente sete partículas: o próton, o nêutron, o elétron, o elétron positivo, cha-

mado *pósitron*, o *múon* positivo e o negativo e o *fóton*. A grande revolução das partículas estranhas foi mostrar que havia outras partículas na natureza além dessas, mas não tínhamos a mínima idéia de quantas seriam. Hoje conhecemos 327 partículas e há evidência de mais de uma centena, cuja existência não foi definitivamente comprovada. Essas partículas não existem na matéria estável; são produzidas em colisões de partículas. À medida que novas partículas iam sendo descobertas, os físicos foram observando que elas poderiam ser agrupadas em famílias, nas quais todos os membros têm propriedades idênticas. Veremos que chegamos a uma simplificação, a princípios gerais que ao mesmo tempo nos permitem compreender as relações entre as partículas e nos dão poder de previsão de novos fenômenos, revelando uma harmonia na natureza.

Produção de partículas – Quando duas partículas colidem, pode haver produção de novas partículas, isto é, criação de partículas que não existiam antes da colisão. Exemplo: um próton, colidindo com outro próton, pode dar um próton, um nêutron e um méson pi positivo, o que indicaremos por:

próton + próton \rightarrow próton + nêutron + méson pi positivo (1)

O méson pi positivo foi criado, não existia antes da colisão. Pode haver reações mais complexas que essa, com produção de muitas partículas diferentes, até dezenas de partículas.

Qual o interesse do estudo dessas colisões? Estudando essas reações aprendemos as propriedades das interações entre partículas e propriedades das partículas que interagem.

Desintegração de partículas – A maioria das partículas produzidas vive pouco tempo e se desintegra em outras partículas. Por exemplo, o méson pi vive aproximadamente três centésimos de milionésimos de segundo e se desintegra em duas partículas chamadas *múon* e *neutrino*:

méson pi \rightarrow múon + neutrino (2)

O estudo da desintegração de uma partícula é fundamental para conhecermos as suas propriedades.

Em resumo, fazemos dois tipos de experiência: produção de partículas e desintegração de partículas.

11 - Os quatro tipos de interação

Há quatro tipos de força, de interação entre as partículas: forte, fraca, eletromagnética e gravitacional.

Força forte, ou interação forte – A força que se exerce entre o próton e o nêutron dentro do núcleo atômico é a força mais forte que existe entre as partículas, chamada *força forte*. A interação entre as

partículas sujeitas a essa força chamamos interação forte. É a *interação forte* entre o próton e o nêutron no núcleo atômico que mantém a matéria estável.

A interação forte existe entre muitas partículas, não somente entre prótons e nêutrons, como veremos nas sessões 12 e 13.

A interação forte dura um tempo muitíssimo curto, da ordem de 10^{-24} segundo.

Força fraca, ou interação fraca, é igual a um milionésimo de bilionésimo da força forte, isto é, da força existente entre o próton e o nêutron dentro do núcleo. Duas partículas têm probabilidade muito pequena de entrar em colisão por interação fraca. Por exemplo, um próton ou um nêutron penetrando num bloco de ferro tem interação forte com prótons ou nêutrons do ferro em menos de 15 centímetros. A partícula chamada *neutrino* tem massa quase nula, não tem carga elétrica, e tem somente interação fraca; a probabilidade de interação fraca é tão pequena que ela pode percorrer a Terra inteira, de lado a lado, sem ter nenhuma colisão.

Força eletromagnética, ou interação eletromagnética, é aquela devida à carga elétrica. Somente as partículas que têm carga elétrica têm este tipo de interação.

Força gravitacional é a força que existe entre todos os corpos devido à atração universal. Essa força é proporcional às massas dos corpos. É a mesma força que existe, por exemplo, entre a Terra e a Lua, mas no caso de partículas ela é extremamente pequena, porque as massas das partículas são extremamente pequenas.

Para termos idéia dos valores relativos dessas forças, se representarmos por 1 o valor da força forte, os valores das outras forças serão: eletromagnética, 10^{-2} ; fraca, 10^{-14} ; gravitacional, 10^{-38} . Vemos que a força gravitacional é muito menor que as outras; por isso a desprezamos como força entre as partículas.

12 - Tipos de partículas

Classificamos as partículas de acordo com os tipos de interação que elas podem ter. Há dois grandes grupos de partículas, *hádrons* e *léptons*.

Chamamos *hádrons* as partículas que têm os quatro tipos de interação. Chamamos *léptons* as partículas que não têm interação forte, têm interação fraca e eletromagnética.

A cada partícula corresponde outra com a mesma massa e carga elétrica de sinal oposto, que chamamos a sua *antipartícula*. Por exemplo, o próton tem carga elétrica positiva; existe o *antipróton*, que tem a mesma massa que o próton mas carga elétrica negativa. O méson pi negativo é a antipartícula do méson pi positivo. O átomo de hidrogênio tem um próton no núcleo e um elétron girando em torno do próton. O

anti-hidrogênio tem um *antipróton* no núcleo e um *antielétron*, chamado *pósitron*, girando em torno dele: é um átomo de *antimatéria*.

Léptons – Não têm interação forte. Há seis léptons, três com carga elétrica negativa, o elétron, o múon e o tau; e três sem carga elétrica, chamados neutrinos: um neutrino-elétron, que é sempre associado ao elétron, um neutrino-múon e um neutrino-tau, associados ao múon e ao tau respectivamente:

elétron e^-	múon μ^-	tau τ^-
neutrino-elétron ν_e	neutrino-múon ν_μ	neutrino-tau ν_τ

Há seis antiléptons, três com carga positiva, e^+ , μ^+ , τ^+ , e três antineutrinos sem carga, antineutrino-elétron, antineutrino-múon e antineutrino-tau.

Hádrons e quarks – Os hádrons, as únicas partículas que podem ter interação forte, são constituídas de partículas menores chamadas *quarks*. O próton e o nêutron, por exemplo, são compostos de quarks.

Há seis quarks, chamados *quark u* (representado pela letra *u*), *quark d* (*d*), *quark estranho* (*s*), *quark charme* (*c*), *quark beleza* (*b*) e *quark top* (*t*). Os quarks foram detectados experimentalmente. Um grupo do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF), do Rio de Janeiro, liderado por Alberto Santoro, deu contribuição importante para a descoberta do top, o último quark descoberto. Suas cargas elétricas são surpreendentes. Sempre pensamos que a menor carga elétrica que existe na natureza fosse a carga do próton ou do elétron, que representamos pela letra *e*. Descobrimos que os quarks têm cargas elétricas menores, iguais a $1/3$ ou a $2/3$ do valor da carga do próton, isto é, $e/3$ ou $2e/3$.

A cada quark corresponde um *antiquark*, de mesma massa e carga elétrica de sinal oposto.

Cargas elétricas dos quarks e dos antiquarks

	u	d	s	c	b	t
quark	+2/3	-1/3	-1/3	+2/3	-1/3	+2/3
antiquark	-2/3	+1/3	+1/3	-2/3	+1/3	-2/3

Há dois tipos de hádrons: bárions e mésons.

Bárion é uma partícula formada de três quarks. Por exemplo, o próton é um bárion formado de dois quarks *u* e um quark *d*. A carga do próton é a soma das cargas dos quarks, portanto $+2/3 + 2/3 - 1/3 = +1$, isto é, igual à carga *e* do próton. O nêutron é formado de dois quarks *d* e um quark *u*; sua carga é $-1/3 - 1/3 + 2/3 = 0$.

Méson é uma partícula formada de um quark e um antiquark. Exemplo, o méson π positivo é formado

de um quark *u* e um antiquark *d*; sua carga é $+2/3 + 1/3 = +1$, isto é, igual à carga *e* do próton. O méson π negativo é formado de um quark *d* e um antiquark *u*; sua carga é $-1/3 - 2/3 = -1$, isto é, igual à carga $-e$.

Com todas as combinações possíveis de quarks e de antiquarks, podemos reconstituir centenas de bárions e de mésons. Estas combinações, que parecem um jogo de quebra-cabeça de criança, são no entanto verdadeiras, as partículas com essas combinações de quarks e de antiquarks existem realmente na natureza, nós as detectamos nas experiências.

A conclusão de que há somente seis quarks e seis antiquarks, seis léptons e seis antiléptons, introduz uma grande e elegante simplificação. Há centenas de reações e centenas de partículas, mas podemos ter a certeza de que somente essas componentes podem participar, não há outra possibilidade.

As interações entre *partículas* ocorrem por meio de interações entre os quarks das partículas. Por exemplo, quando um próton tem uma interação forte com outro próton, são os quarks de um que interagem com os quarks do outro.

13 - As partículas intermediárias nas interações

As interações entre duas partículas se dão com troca de uma terceira partícula entre as duas, que chamamos *partícula intermediária na interação*. As partículas intermediárias são diferentes para as diferentes interações.

Interações eletromagnéticas – A força entre duas cargas elétricas é exercida através de uma partícula chamada *fóton*. Uma carga elétrica emite um fóton que é captado pela outra. Podemos fazer analogia entre interação através de partículas intermediárias e duas pessoas jogando tênis. Uma pessoa joga a bola que é captada pela outra; a troca de bola mantém o interesse no jogo, assim como a troca de fótons mantém a ação entre as duas cargas elétricas.

Interações fortes – A interação forte entre duas partículas se passa entre os quarks das duas partículas. A força forte entre os quarks é exercida através da troca de uma partícula chamada *glúon*. Glúon vem da palavra inglesa *glue*, que significa *cola*. Os glúons mantêm os quarks associados para formarem os hádrons. Quando dois prótons interagem, os quarks de um trocam glúons com os quarks do outro. Os glúons foram detectados experimentalmente.

Interações fracas – As interações fracas ocorrem com a troca de três partículas, chamadas W^+ , com carga positiva, W^- , com carga negativa, e Z , sem carga. As três partículas foram detectadas experimentalmente no CERN.

Interações gravitacionais – Por analogia com as outras interações, imaginamos que as interações gravitacionais também se exercem através da troca de uma partícula chamada *gráviton*. Contrariamente às outras partículas intermediárias, que foram detectadas experimentalmente, o gráviton nunca foi detectado.

14 - A física de partículas elementares, a astronomia e resumo dos fenômenos físicos no Universo

As interações entre partículas que ocorrem aqui na Terra também ocorrem em todo o Universo, nos astros e fora dos astros. O conhecimento atual dos tipos de partículas, tipos de interação e partículas intermediárias nas interações, aplica-se a todo o Universo. Chegamos a uma síntese dos fenômenos físicos do Universo, resumidos no quadro seguinte:

- 1- Partículas—léptons -6 léptons e 6 antiléptons
hádrons-6 quarks e 6 antiquarks
duas classes de hádrons: bárion- 3 quarks
méson- 1 quark e 1 antiquark
- 2- Interações – forte, fraca, eletromagnética, gravitacional
- 3- Partículas intermediárias nas interações

interação	partícula intermediária
forte	glúon
fraca	W^+ W^- Z
eletromagnética	fóton
gravitacional	gráviton

A física de partículas passou a ter uma influência enorme em astronomia nos últimos 20 anos. O estudo do Universo, que era realizado somente com detecção de ondas eletromagnéticas por telescópios, nos últimos anos passou a ser feito também com detecção de partículas emitidas pelos astros. Como já vimos, essas partículas são raios cósmicos. O estudo de raios cósmicos, que havia perdido o seu interesse para o estudo de partículas depois da construção dos aceleradores, retomou importância com sua aplicação em astronomia. No início estudávamos raios cósmicos para estudar partículas; hoje detectamos partículas de raios cósmicos para estudar astronomia. Passamos a utilizar em astronomia os mesmos tipos de detectores de partículas utilizados nas experiências no CERN. Criou-se um novo tipo de astronomia, chamado *astropartículas*.

O Universo é dinâmico. Devido às partículas que são criadas em colisões e às desintegrações de partículas, em cada segundo o Universo é diferente.

Tudo isso é evidentemente acompanhado de um formalismo matemático que ultrapassa os objetivos deste artigo.

Partindo de um grande número, centenas de partículas, e de muitos trilhões e trilhões de fenômenos que ocorrem no Universo por segundo, chegamos a uma síntese extremamente elegante, que com o formalismo matemático tem grande poder de previsão. Podemos prever processos que nunca haviam sido observados e que depois são confirmados pelas experiências.

Esse belo progresso começou na época em que o CERN foi fundado.

Podemos concluir que já compreendemos tudo? Longe disso. A ciência não pára. Cada vez que um

problema é resolvido, a solução desse problema cria outros problemas, e esse é o desafio eterno da ciência. Muitos problemas de física de partículas estão sendo estudados experimentalmente e teoricamente em vários lugares. Para trabalhos com o próximo acelerador LHC estão sendo preparadas quatro grandes experiências, cada uma com participação de mais de mil físicos, engenheiros e técnicos de dezenas de países.

Vejamos dois exemplos de problemas não resolvidos que são grandes desafios:

1) Não sabemos se os quatro tipos de interação podem ser apresentados como quatro casos de uma única teoria, que faria a unificação dos quatro; muitos físicos matemáticos estão trabalhando neste problema;

2) Detectamos, nas colisões, a criação de partículas que têm massas e cargas elétricas. No entanto, não sabemos o mecanismo que produz a massa nem como é criada uma carga elétrica. As quatro grandes experiências que serão feitas junto ao LHC procurarão detectar o processo responsável pela origem das massas.

15 - Resumo de sucessos do CERN

O CERN tem uma história de sucessos nas mais diversas atividades.

Física – Três experiências fundamentais que assemelham os conhecimentos sobre as interações fracas foram realizadas no CERN. A primeira, em 1957, com o acelerador de 600 MeV, o italiano Giuseppe Fidecaro e o inglês Alex Merrison descobriram que o méson π se desintegra também em elétron e neutrino, não somente em múon e neutrino (reação 2 acima). Esta descoberta foi fundamental para o avanço teórico. Na segunda, em 1973, uma colaboração coordenada por três franceses, André Lagarrigue, Paul Musset e André Rousset, descobriu um processo fundamental chamado *corrente neutra* com a câmara de bolhas Gargamelle. É opinião geral entre os físicos que Lagarrigue sem dúvida receberia o Prêmio Nobel, mas infelizmente ele faleceu. Na terceira, em 1983, descobriram as partículas intermediárias W^+ , W^- e Z, com o trabalho do italiano Carlo Rubbia e do holandês Simon Van der Meer, que receberam o Prêmio Nobel. Esta experiência é uma das mais importantes da história da física, pois contribuiu para os seus fundamentos. Com esta descoberta foi possível mostrar que as teorias das interações fracas e eletromagnéticas podem ser reunidas numa única teoria, que interpreta os dois tipos de fenômenos, a *teoria eletrofraca*.

Além desses trabalhos que permanecerão na história da física, foram publicados milhares de outros feitos no CERN.

Um dos detectores de partículas mais importantes, utilizado em todas as experiências, chamado *câmara proporcional*, foi inventado no CERN pelo fran-

cês George Charpak, que recebeu o Prêmio Nobel por essa invenção.

Informática e a invenção de internet www – A física de partículas utiliza muita programação, exige colaboração de especialistas em informática. Foi no CERN que o inglês Tim Berners-Lee e o francês Robert Cailliau em 1990 inventaram a internet sob a forma *www* (*world wide web*), que se espalhou por todo o mundo e revolucionou o modo de comunicação. A internet invadiu a sociedade, é indispensável na indústria, no comércio, na pesquisa, no jornalismo, nos contatos entre pessoas. É uma das mais importantes invenções dos últimos tempos.

O CERN desenvolveu um novo método de programação chamado GRID, que permitirá a qualquer laboratório ter todos os dados de uma experiência, desde o instante em que os prótons entram em colisão no acelerador. No LHC, que entrará em funcionamento em 2007, haverá 1 bilhão de interações próton-próton por segundo! Os eventos terão de ser selecionados, as trajetórias das partículas reconstruídas no espaço, as partículas identificadas, e depois começarão a funcionar os programas para se estudar a física dos eventos. O GRID fará todas essas etapas da análise da experiência. Um grupo no Brasil com esse programa terá as mesmas condições de trabalho que um grupo no CERN ao lado do acelerador. Por outro lado, os laboratórios que não tiverem esse programa não terão condições de trabalhar nessas experiências.

A filosofia do GRID está se estendendo a outras ciências e outras aplicações, como medicina, geologia, cristalografia, meteorologia, ensino etc., e permitirá colaborações internacionais e nacionais entre as instituições.

Ainda em informática, o CERN foi uma das primeiras instituições a chamar a atenção para o perigo do *Digital Divide*. Esse nome indica a divisão entre países que terão informática de vanguarda e os que não terão. Os primeiros poderão desenvolver ou ter acesso a programas indispensáveis para trabalhos em domínios os mais diversos, como ensino em todos os níveis e em todas as áreas, medicina, biologia, meteorologia, tecnologia. Os países que não tiverem essa informática não poderão acompanhar o desenvolvimento dos outros. Em outras palavras, a informática tornou-se fator indispensável para o desenvolvimento e vai aumentar o fosso entre países desenvolvidos e subdesenvolvidos. O CERN é ativo no esforço para diminuir o Digital Divide, tem organizado e estimulado reuniões internacionais para tratar

desse importante problema e colabora para o desenvolvimento da informática em outros países.

Aceleradores – O CERN, com seu complexo de aceleradores e as inovações que introduziu, é uma referência em todo o mundo. Construiu vários aceleradores de prótons, de energias cada vez maiores: 600 MeV; 28 GeV; depois dois anéis com prótons de 28 GeV que faziam colisão frontal; um acelerador de 400 GeV; um acelerador de prótons e de antiprótons de 400 GeV girando em sentidos contrários que faziam colisão frontal; está construindo o LHC, anéis de colisão frontal de prótons de 7.000 GeV cada, a maior energia jamais obtida num acelerador. Além desses aceleradores de prótons, construiu um acelerador de elétrons e de pósitrons de 100 GeV que faziam colisão frontal.

O CERN está projetando pequenos aceleradores para aplicação em medicina e colocará o projeto à disposição de qualquer país.

Eletroímãs, vácuo e eletrônica – Para construção de aceleradores, o CERN tornou-se especialista em grandes eletroímãs supracondutores, cujas bobinas são mantidas a temperaturas próximas do zero absoluto. Para o LHC, os eletroímãs têm o maior campo magnético jamais obtido com eletroímãs grandes, de 15 metros de comprimento.

Nos aceleradores, as partículas são mantidas num tubo onde se faz alto vácuo. No LHC o tubo tem 27 quilômetros de comprimento e o vácuo é superior ao vácuo interestelar no Universo.

O CERN desenvolve eletrônica rápida. Pode-se medir diretamente o tempo de um bilionésimo de segundo, tempo que a luz demora para percorrer 30 centímetros (lembremos que a velocidade da luz é de 300 mil quilômetros por segundo).

O impacto tecnológico do CERN pode ser avaliado pelo fato de que aproximadamente a metade da verba anual de € 630 milhões é utilizada em contratos com a indústria.

Vemos por esta curta descrição que o CERN é realmente um laboratório de paz, tratando de questões fundamentais da natureza em espírito de grande colaboração internacional.

* * *

Paris, outubro de 2004