

## DIVULGAÇÃO

### I. OS MEIOS DE INVESTIGAÇÃO EXPERIMENTAL

### II. O FUTURO

José Maria Filardo Bassalo

Departamento de Física da UFPA

#### I. OS MEIOS DE INVESTIGAÇÃO EXPERIMENTAL DAS PARTÍCULAS ELEMENTARES.

Em uma investigação experimental existem três aspectos principais a considerar: o feixe de partículas incidentes, as partículas-alvo e os detectores. O feixe de partículas incidentes pode ser: NATURAL - raios cósmicos, cuja intensidade ao nível do mar é da ordem de  $2 \times 10^{-2}$  partículas/cm<sup>2</sup>.s, com energia da ordem de  $10^{11}$  GeV, por partícula, e materiais radioativos; ARTIFICIAL, através de aparelhos denominados de aceleradores. Até o presente momento (1982), a máxima energia conseguida com aceleradores é da ordem de  $5 \times 10^2$  GeV, como veremos mais adiante. (O uso de raios cósmicos é bastante limitado, pois, além de serem incontroláveis, a incidência deles com alta energia na superfície da Terra é muito rara).

Os aceleradores podem ser lineares e circulares. Pode-se considerar a câmara de vácuo inventada por WILLIAM CROOKES (Físico inglês, 1832-1919) em 1875, como o primeiro acelerador linear - LINEAC, uma vez que a tensão aplicada entre o catodo e o anodo da mesma acelerava os elétrons emitidos pelo catodo aquecido, como mais tarde ficaria demonstrado através do efeito Edison<sup>(1)</sup> ou termo-iônico, e das experiências de J.J. Thomson, em 1897. Entre 1925 e 1930, novas tentativas foram feitas no sentido de acelerar partículas. Assim é que, nos Estados Unidos, G. BREIT, M. TUVE, entre outros, construíram um transformador de alta-voltagem (bobina Tesla) e com ele conseguiram acelerar partículas. Por essa mesma época, A. BRASCH e F. LANGE, na Alemanha, usaram um gerador de impulsos para acelerar prótons em tubos. Com idêntico objetivo, isto é, acelerar prótons em tubos, C.C. LAURITSEN e H. R. CRANE, no CALTECH ("California Institute of Technology") usaram uma série de transformadores montados em cascata.

No entanto, o primeiro lineac empregado na investigação da matéria nuclear foi o multiplicador de voltagens construído em 1930 (RO1), por Sir JOHN DOUGLAS COCKCROFT (Físico inglês, 1897-1967; Prêmio Nobel de Física, 1951) e ERNEST THOMAS SINTON WALTON (Físico irlandês, 1903- ; Prêmio Nobel de Física, 1951), se-

gundo o modelo inventado por H. GREINACHER, na Suíça. Com esse dispositivo conseguiram acelerar prótons que provinham da ionização de átomos de hidrogênio. Em 1932 (R02), produziram no Laboratório Cavendish, na Inglaterra, a primeira reação nuclear com aceleradores artificiais, ao enviarem um feixe de prótons acelerados com uma diferença de potencial de 770 kV contra um alvo de lítio, que, por sua vez, desintegrou-se em duas partículas alfa.

Por outro lado, em 1931 (R03), ROBERT JEMISON VAN DE GRAAFF (Físico norte-americano, 1901-1967) em Princeton, nos Estados Unidos, construiu, seguindo uma idéia que Lord Kelvin tivera em 1890, um gerador eletrostático de alta voltagem e que foi utilizado na aceleração de partículas pesadas, tais como: prótons, partículas alfa e íons. (Em 1925, B.N. URGIMOV já havia construído, anteriormente, uma correia transportadora de cargas, que é o princípio básico dos geradores van de Graaff como ficaram conhecidos os dispositivos construídos a partir do de Robert van de Graaff.) Em 1946, Luís Walter Alvarez elaborou um dispositivo para acelerar linearmente prótons, montado, basicamente, com cilindros longos axiais, cujas paredes são feitas de material bom condutor, como por exemplo, o cobre. Ao ser injetada uma onda eletromagnética de alta-frequência entre as paredes desses cilindros, as oscilações da mesma entre tais paredes, geram um campo elétrico linear, cujo valor máximo ocorre no eixo comum dos cilindros ou ressoadores, como são conhecidos esses cilindros. No momento, os principais *lineacs* de elétrons são: NINA, em Daresbury, Inglaterra, com energia de 4 GeV, denotado por (e4); DESY ("Deutsches Elektronen Synchrotron"), em Hambourg, Alemanha (e6), SLAC ("Stanford Linear Accelerator Center"), em Stanford, Estados Unidos (e20). Os principais *lineacs* de prótons são: CERN ("Centre Européen de Recherche Nucléaire"), em Genebra, Suíça (p450); FNAL ("Fermi National Accelerator Laboratory"), em Batavia, Illinois, Estados Unidos (p500); BNL ("Brookhaven National Laboratory") em Brookhaven, ainda nos Estados Unidos (p33); Serpukhov, na União Soviética (p76); e KEK, no Japão (p12). No Brasil, o primeiro *lineac* de elétrons foi inaugurado em 1963, no Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas - CBPF - e sob a orientação de JACQUES DANON (Físico-químico brasileiro, 1926- ) e ARGUS HENRIQUE MOREIRA (Físico brasileiro, 1920- ), aparelho esse que desenvolvia apenas 2 MeV. Atualmente, existem os seguintes aceleradores lineares no Brasil: Acelerador de elétrons de 50 MeV, no CBPF, ainda sob a orientação daqueles mesmos cientistas; Acelerador Van de Graaff, na PUC/RJ, sob

a direção de ALCEU PINHO FILHO (Físico brasileiro, 1933- ); Acelerador Van de Graaff - PELLETRON - de 22 MeV (prótons), 27 MeV (partículas alfa) e 200 MeV (íons pesados), no Instituto de Física da USP, sob a direção de OSCAR SALA (Físico brasileiro, 1922- ) e o Acelerador de elétrons de 75 MeV, ainda no IFUSP, sob a direção de JOSÉ GOLDEMBERG (Físico brasileiro, 1928- ), que recebeu como doação da Universidade de Stanford.

O primeiro acelerador circular - CYCLOTRON - foi construído por ERNEST ORLANDO LAWRENCE (Físico norte-americano, 1901-1958; Prêmio Nobel de Física, 1939) e MILTON STANLEY LIVINGSTON (Físico norte-americano, 1905- ), em 1932 (R04), utilizando um método descrito pelo próprio Lawrence e por N.E. EDLEFSEN, em 1930 (R05) que, por sua vez, fora sugerido a Lawrence devido à leitura que fizera, em 1929, do trabalho de ROLF WIDERÖE (Físico sueco, 1902- ) publicado em 1928 (R06), no qual descreve a construção de um acelerador ressonante linear que se destinava a acelerar íons metálicos alcalinos (sódio e potássio). A idéia de Lawrence foi simples, pois ele substituiu as trajetórias retilíneas do modelo de Wideröe, por trajetórias circulares. Vejamos de que modo. Desde as experiências de J.J. Thomson, sabia-se que um íon de carga específica  $q/m$  ao penetrar com velocidade  $v$ , normalmente às linhas de força de um campo magnético uniforme  $B$  descreve uma circunferência de raio  $r = mv/qB$  e com uma velocidade angular  $\omega = qB/m$  independente de  $v$  e de  $r$ . (Essas expressões são válidas no sistema MKS.) No aparelho construído por Lawrence e Livingston, uma fonte de íons é colocada no centro de duas caixas na forma de D, uma defronte da outra (com um intervalo entre elas), e normais a um campo magnético uniforme (colocadas em uma câmara de vácuo). Devido à presença desse campo, o íon descreverá uma circunferência, conforme vimos acima. No entanto, quando o mesmo descreve metade dessa circunferência, recebe uma energia  $qV$ , onde  $V$  é a diferença de potencial devido a um campo elétrico oscilante de frequência  $\nu = \omega/2\pi$  (onde  $\omega$  é a velocidade angular do íon), situado entre os  $D$ 's e normal ao campo magnético. Desse modo, toda a vez que o íon atravessa o intervalo entre os  $D$ 's, ele é acelerado pelo campo elétrico e sua trajetória tem a forma de uma espiral que se inicia na fonte do íon, e dotada de aceleração múltipla. Depois que o íon adquire a energia necessária, ele é defletido em um canal e dirigido para o alvo que se deseja bombardear. O *cyclotron* de Lawrence e Livingston produziu prótons de 1 MeV.

No entanto, os *cyclotrons* apresentavam uma grande dificuldade quando eram utilizados na aceleração de elétrons, pois, a pequena massa dessas partículas carregadas aumentava à medida que sua velocidade crescia, conforme indica a mecânica relativística de Einstein, e sua frequência defasava em relação à frequência do campo elétrico oscilante. A primeira tentativa para contornar esse problema foi feita em 1940 (R07), por DONALD WILLIAM KERST (Físico norte-americano, 1911- ) ao construir, seguindo a mesma idéia de Wideröe (R06), o primeiro *BETATRON*, aparelho esse destinado a acelerar elétrons oriundos de um núcleo radioativo, partículas beta, como eram chamados esses elétrons - daí o nome do acelerador -, com energia da ordem de 2.5 MeV, em uma trajetória circular fixa, uma vez que o aumento de massa relativística era compensado pela variação do campo magnético (vide fórmula acima), produzido por um indutor. No Brasil, o primeiro *betatron* foi instalado em 1950, na USP, por Marcelo Damy (vide nota 1 da parte IV dessas Crônicas).

Como o *betatron* apresentasse limitação de energia devido ao efeito relativístico do aumento de massa, VLADIMIR IOSIFOVICH VEKSLER (Físico russo, 1907-1966), em 1944 (R08), e E.M. McMILLAN, em 1945 (R09), propuseram, independentemente, o princípio do *SINCHROCYCLOTRON*, segundo o qual a frequência do campo elétrico oscilante em um *cyclotron* era sincronizada com a frequência da partícula acelerada em uma dada órbita. Esse princípio, conhecido como *estabilizador de fase*, permitiu a construção de aceleradores cada vez mais potentes. O primeiro *sincrocyclotron*, com o diâmetro de 184 polegadas, foi inaugurado em 1947 (R10), na Universidade da Califórnia, em Berkeley, e utilizado na aceleração de deutérios (190 MeV) e de partículas alfa (380 MeV) <sup>(2)</sup>.

Para acelerar elétrons a velocidades relativísticas foi construído uma variante do *sincrocyclotron*, no qual o campo elétrico oscilante era mantido constante e o campo magnético era feito variar com o tempo, aparelho esse que se denominou *SINCROTRON*. Para o desenvolvimento desses novos aceleradores e, principalmente para a redução de seus custos, foi importante a descoberta da *focagem forte* ("strong focusing") feita, independentemente, por THOMAS, em 1938, N. CHRISTOFILOS, em 1949, e por E.D. COURANT, M. S. LIVINGSTON e H. SNYDER, em 1952. Nesse método, basicamente os feixes de partículas aceleradas as mantêm juntas durante um enorme número de revoluções permitindo, dessa maneira, a aceleração por muito tempo, e mais, as órbitas das mesmas são contidas em re

giões relativamente pequenas, daí sua grande vantagem prática. Essa focagem forte é conseguida com uma sucessão de campos magnéticos variáveis e alternados, ou seja, de gradientes de campo magnético alternado. Os principais aceleradores circulares de alta energia (GeV) são: NIMROD, no laboratório Rutherford, Inglaterra (7 GeV); DUBNA e SERPUKHOV, na União Soviética (10 e 70 GeV, respectivamente), TÓQUIO, no Japão (10 GeV); ZGS ("Zero Gradient Synchrotron") - ARGONNE, nos Estados Unidos (14 GeV); PS ("Protons Synchrotron") e SPS ("Super Protons Synchrotron") - CERN, na Suíça (25 e 400 GeV, respectivamente); AGS ("Alternating Gradient Synchrotron") - BNL, nos Estados Unidos (30 GeV); ES ("Electric Synchrotron") - FNAL, nos Estados Unidos (400 GeV).

Em 1961, uma equipe de pesquisadores do SLAC, sob a liderança de Burton Richter, propôs a construção de um novo tipo de acelerador circular no qual feixes de partículas ou de partículas e antipartículas, deslocando-se em trajetórias circulares, colidem em pré-determinados pontos das mesmas. A primeira idéia de estudar a colisão de feixes de elétrons com energia total de até 1 GeV, em trajetórias circulares, foi dada por G.K. O'NEILL, da Universidade de Princeton, em 1957. Em 1958, Richter, O'Neill, W.C. BARBER e D. GITTELMAN, começaram no HEPL ("High Energy Physics Laboratory"), da Universidade de Stanford, a construção do primeiro *anel de colisão* ("storage ring"). Os físicos experimentais recorreram a esse tipo de acelerador devido à dificuldade de se obter energias do centro de massa do sistema projétil-alvo, cada vez mais altas, já que são essas as energias consideradas no processo de criação de partículas. Por exemplo: se um próton de  $10^3$  GeV colide com um próton em repouso, a energia do centro de massa do sistema projétil-alvo, segundo a cinemática relativista, é da ordem de 43 GeV. No entanto, se fizermos dois prótons com a energia de 22 GeV cada colidirem em um anel de colisão, atingiremos um pouco mais de energia do centro de massa do caso anterior, ou seja, 44 GeV. Os primeiros anéis de colisão a entrar em operação foram: ACO, em Orsay, França (1967 e com energia  $2 \times 1.9$  GeV); VEPP-2, em Novosibirsk, na União Soviética, em 1967 ( $2 \times 1.0$  GeV); ADONE, em Frascati, na Itália, em 1969 ( $2 \times 3.0$  GeV); SPEAR, em Stanford, nos Estados Unidos, em 1973 ( $2 \times 4.5$  GeV); DORIS, em Hambourg, na Alemanha, em 1974 ( $2 \times 6.0$  GeV), sendo que os três últimos são de segunda geração. Destes, os dois primeiros foram utilizados na descoberta da família das partículas  $\psi/J$ . No momento, existem os seguintes maiores anéis de colisão, ISR e SPR,

no CERN, com, respectivamente, a seguinte característica:  $pp(\bar{p}\bar{p})$  ( $2 \times 31$  GeV) e  $\bar{p}p$  ( $2 \times 270$  GeV); PEP, no SLAC:  $e^+e^-$  ( $2 \times 18$  GeV); PETRA, no DESY:  $e^+e^-$  ( $2 \times 19$  GeV); e NOVOSIBIRSK:  $e^+e^-$  ( $2 \times 7$  GeV). Num futuro próximo, entrarão em funcionamento os seguintes anéis de colisão: LEP, no CERN:  $e^+e^-$  ( $2 \times 125$  GeV); HERA, no DESY:  $ep$  ( $30 + 800$  GeV); TEVATRON I, no FNAL:  $p\bar{p}$  ( $2 \times 1000$  GeV); SLC, no SLAC:  $e^+e^-$  ( $2 \times 50$  GeV); ISABELLE, no BNL:  $pp$  ( $2 \times 400$  GeV); TRISTAN, no KEK:  $e^+e^-$  ( $2 \times 30$  GeV); e  $ep$  ( $20 + 300$  GeV); e BEIJING, na China:  $e^+e^-$  ( $2 \times 5.7$  GeV). É oportuno mencionar que a primeira colisão  $p\bar{p}$  foi obtida no CERN, em agosto de 1981. (Para maiores detalhes sobre aceleradores, veja-se: HERWIG SHOPPER, *Elementary Particle Physics: Where is it Going?*, CERN-82, August 1982; EMILIO SEGRE, *From X-Rays to Quarks*, W.H. Freeman and Company, 1980).

Como dissemos no começo desta VII parte, em uma experiência física sobre partículas elementares, além do feixe de partículas incidentes, as partículas-alvo, bem como os detetores, são importantes na realização da mesma. Os alvos são constituídos de elementos de pequena massa, tais como: hidrogênio líquido (prótons livres), hidrogênio pesado líquido (dêuterons e nêutrons livres), berílio, carbono, alumínio, ferro, cobre, tungstênio (volfrâmio), etc., ou então compostos orgânicos ricos em radicais hidrogenados, como  $CH_2$ .

As partículas resultantes da colisão entre as partículas incidentes e alvo são detetadas em dois tipos principais de detetores: VISUAIS E PURAMENTE ELETRÔNICOS. Os visuais são constituídos, fundamentalmente, de três tipos<sup>(3)</sup>: câmara de bolhas, emulsões fotográficas nucleares e câmara de centelhas. A câmara de bolhas, conforme vimos na nota de número 9, da parte II desta Crônica, foi inventada por Glaser, em 1952. Basicamente, é constituída por um líquido superaquecido no limite de saturação: ao ser aliviada a pressão sobre o mesmo, forma-se um grande número de bolhas durante o estado metaestável entre as fases gasosa e líquida. Aumentando-se a pressão, as bolhas desaparecerão. Assim, quando partículas carregadas de eletricidade atravessam o líquido no momento da descompressão, pequenas bolhas se formam em torno dessas partículas. Se, no entanto, por um mecanismo bem preciso, for diminuída a pressão no instante em que a câmara é fortemente iluminada, só será possível fotografar as primeiras bolhas que se formam ao longo da trajetória.

A idéia de se detetar partículas alfa usando emulsões fotográficas foi do físico japonês S. KINOSHITA, antes da 1ª Guer-

ra Mundial quando trabalhava no Laboratório Rutherford, na Inglaterra. Mostrou que quando as partículas alfa atravessavam uma emulsão fotográfica deixavam em seu rastro uma coleção de grãos de emulsão. No entanto, sua técnica não se aplicava às partículas beta (elétrons). Essa técnica foi refinada por um ex-aluno de Rutherford e de Wilson (o da câmara de névoa), Cecil Powell entre 1939 e 1945. Vejamos o seu funcionamento. Quando uma partícula ionizante atravessa uma emulsão fotográfica sensível, os grãos de brometo de prata alteram-se, permitindo desse modo, após a revelação do filme, obter-se a trajetória dessa partícula. Como a imagem em uma película não é bem definida, usa-se uma pilha delas, e o rastro (alteração dos grãos de brometo de prata) deixado pela partícula ao atravessar essa pilha é observado através de um minucioso exame microscópico. Conforme vimos na parte III desta Crônica, foi graças a essa técnica que Powell, em colaboração com Lattes, Muirhead e Occhialini, descobriram em 1947, os primeiros píons<sup>(4)</sup>.

Em uma câmara de centelhas, a passagem de uma partícula carregada através de duas placas metálicas colocadas em um meio gasoso e muito próximas uma da outra, faz saltar uma centelha entre essas placas. A associação de vários pares dessas placas permite a determinação da trajetória da referida partícula.

Os principais detetores puramente eletrônicos são: CINTILADORES, nos quais a partícula carregada ao atravessar o material cintilante sólido (cristais ou plásticos) ou líquido, provoca a emissão de fótons (devido à excitação molecular do material cintilador) que por sua vez se converterão em elétrons, devido ao efeito foto-elétrico<sup>(5)</sup>, ao incidirem em superfícies fotosensíveis. Esses elétrons produzem uma corrente elétrica que é então "visualizada"; CONTADORES CHERENKOV, análogos aos cintiladores, com a diferença de que os fótons emitidos pelo material cintilante, que nesse caso pode ser sólido, líquido ou gasoso, decorrem do efeito Cherenkov<sup>(6)</sup>, segundo o qual uma partícula carregada, ao deslocar-se com uma velocidade constante maior do que a velocidade de fase ( $c/n$  da luz no meio material caracterizado pelo índice de refração  $n$ ), pode emitir radiação eletromagnética; e CONTADORES "MULTIFIOS" baseados no mesmo princípio do CONTADOR GEIGER-MUELLER<sup>(7)</sup>, segundo o qual uma partícula carregada, ao atravessar um gás sob alto potencial elétrico e contido em um cilindro metálico com um fio condutor fino no eixo do mesmo, provoca uma ionização nas moléculas do gás. Os elétrons arrancados na colisão, bem como os

próprios fons, geram uma corrente que é "visualizada" através de estalidos sonoros em receptores telefônicos.

## II. O FUTURO DA FÍSICA DAS PARTÍCULAS ELEMENTARES

Ao finalizarmos esta Crônica da Física das Partículas Elementares gostaríamos de fazer algumas considerações a respeito de certos pontos fundamentais que constituirão o futuro do estudo dessa parte da física.

### A. Existência de Quarks Livres

Existem ou não quarks livres? Apesar de já haver evidências para a existência de quarks livres, conforme sugerem as experiências realizadas em 1977, por William M. Fairbank e colaboradores e por Leon G. Lederman e colaboradores, os físicos são céticos com relação a esses resultados por não haver ainda nenhuma evidência da presença de quarks nas experiências com raios cósmicos. A descoberta das partículas  $\psi/J$  (novembro de 1974), a do méson charmoso (maio de 1976), a da partícula  $T$  (agosto de 1977) e de suas ressonâncias  $T'$ ,  $T''$ , ... (1978), (sobre a partícula Upsilon ( $T$ ) veja o excelente artigo de LEON M. LEDERMAN, *Scientific American*, October, 1978) e do *gluonium* (1981), todas constituídas de estados ligados ou "ressonâncias" entre quarks e antiquarks de mesma espécie ou de espécie diferente, dá maior possibilidade à teoria do confinamento e coloca em evidência a teoria do espiral formulada por A. BARACCA e S. BERGIA, em 1975 (R11), segundo a qual, hádrons cada vez mais pesados serão detetados à medida que aceleradores mais potentes forem colocados em funcionamento.

### B. Existência de Léptons Pesados

Será a partícula  $\tau$  a última dos léptons ou haverá mais? Aceitando a teoria do charme e a simetria entre quarks e léptons, a teoria da espiral de quarks sugere que exista uma "espiral de léptons"? Segundo Martin L. Perl, um dos descobridores do lépton pesado  $\tau$  (1975), essa partícula seria "o começo de uma longa, ou mesmo, infinita série de léptons pesados" (R12).

### C. Problemas para o Futuro

Do que acabamos de ver até aqui, creio que podemos, ainda, levantar as seguintes questões:



- Será que os quarks não poderão existir livremente a exemplo do que acontece, atualmente, com os pólos magnéticos?

- Será que existirá uma única força na Natureza como sugere a *Teoria da Supergravidade*?

- Será que os léptons têm uma estrutura quarkônica conforme sugere JOSÉ LEITE LOPES (Físico brasileiro, 1918- ) (R13)?

- Quem teria razão: DEMÓCRITO OU ANAXÁGORAS? Serão as partículas quark/antiquark os "átomos" de Demócrito, isto é, a série de partículas fundamentais constituintes da matéria seria limitada inferiormente, ou os quarks serão sementes, no sentido de Anaxágoras e, portanto, existirão outras sementes dentro dos quarks, que conterão outras sementes, "ad infinitum"?

- Teria razão Werner Heisenberg ao afirmar em 1973 (R14), "teremos de abandonar a filosofia de Demócrito e o conceito de partícula elementar fundamental e, em vez disso, aceitar o de simetrias fundamentais, nascido na filosofia de PLATÃO?" (Para verificar o papel desempenhado pelas simetrias nas várias teorias de campo atualmente em estudo na Física, veja-se o excelente artigo de CHEN-NING YANG, *Physics Today*, june 1980).

#### NOTAS

- (1) Em 1883, THOMAS ALVA EDISON (Físico e inventor norte-americano, 1847-1931) observou a emissão de cargas negativas por um fio aquecido no vácuo, ao fabricar lâmpadas incandescentes. (Quem primeiro observou que um gás, nas proximidades de um sólido quente, conduzia eletricidade foi Dufay, no começo do século XVIII). A teoria da emissão termoiônica foi desenvolvida a partir de 1911 por OWEN WILLIAMS RICHARDSON (Físico inglês, 1879-1959; Prêmio Nobel de Física, 1928), ao determinar uma relação entre a corrente elétrica de emissão e a temperatura absoluta do metal emissor.
- (2) Foi com esse acelerador que Gardner e Lattes produziram, em 1948 (vide parte III desta Crônica), artificialmente os primeiros muons e píons.
- (3) Além desses métodos visuais e tradicionais para a detecção das partículas elementares, pesquisadores do CERN e do ESPCI de Paris estão tentando uma técnica nova de detecção tanto de íons

pesados quanto de partículas elementares, através da xerografia. Os primeiros resultados já foram apresentados na *Nucl. Inst. and Meth.* 1, 235 (1982).

- (4) O papel desempenhado por Occhialini no desenvolvimento da técnica de emulsões fotográficas nucleares, bem como as experiências realizadas com essas emulsões, estão descritos de maneira clara no livro de Segrè, citado anteriormente.
- (5) O efeito foto-elétrico - emissão de elétrons devido a incidência de fótons (nome proposto por G.N. LEWIS, em 1926 (R15)) - teve suas leis descobertas no período de 1889-1902, por PHILIPP EDUARD ANTON VON LENARD (Físico húngaro-alemão, 1862-1947; Prêmio Nobel de Física, 1905) e sua explicação teórica foi dada em 1905, por Einstein, com a qual ganhou o Prêmio Nobel de Física de 1921.
- (6) O efeito Cherenkov foi descoberto em 1934 (R16), por PAVEL ALEKSEYVICH CHERENKOV (Físico soviético, 1904- ; Prêmio Nobel de Física, 1958) e sua explicação teórica apresentada por IGOR YEVGENYEVICH TAMM (Físico soviético, 1895-1971; Prêmio Nobel de Física, 1958) e ILYA MIKHAYLOVICH FRANK (Físico soviético, 1908- ; Prêmio Nobel de Física, 1958) em 1937 (R17).
- (7) O Contador Geiger-Mueller foi inventado por Hans Geiger em 1913, por ocasião das experiências que realizou sobre o modelo atômico de Rutherford. Esse contador foi aperfeiçoado por ele próprio e por ERWIN WILHELM MUELLER (Físico germano-norte-americano, 1911- ), em 1928 (R18).

#### REFERÊNCIAS

- (R01) COCKROFT, J.D. and WALTON, E.T.S., *Proc. Roy. Soc. (London)*, 129A, 477 (1930).
- (R02) COCKROFT, J.D. and WALTON, E.T.S., *Proc. Roy. Soc. (London)*, 137A, 229 (1932).
- (R03) VAN DE GRAAFF, R.J., *Phys. Rev.* 38, 1919 (1931).
- (R04) LAWRENCE, E.O. and LIVINGSTONE, M.S., *Phys. Rev.* 40, 19 (1932).
- (R05) LAWRENCE, E.O. and EDLEFSEN, N.E., *Science* 72, 376 (1930).
- (R06) WIDERÖE, R., *Arch. Elektrotech.* 21, 387 (1928).
- (R07) KERST, D.W., *Phys. Rev.* 58, 841 (1940).
- (R08) VEKSLER, V.I., *Comp. Rend. Acad. Sci. USSR* 40, 393 (1944).

- (R09) McMILLAN, E.M., Phys. Rev. 63, 143 (1945).
- (R10) BROBECK, W.M., LAWRENCE, E.O., MACKENSIE, K.R., McMILLAN, E.M., SERBER, R.; SEWELL, D.C., SIMPSON, K.M. and THORNTON, R.L., Phys. Rev. 71, 449 (1947).
- (R11) BARACCA, A. and GERGIA, S., La Spiralle delle alte energie, Bompiani (1975).
- (R12) PERL, M.L., Nature 275, 273 (September, 1978).
- (R13) LEITE LOPES, J., Rev. Bras. Fís. 5, 37 (1975).
- (R14) HEISENBERG, W., in Simpósio sobre a Natureza da Descoberta Científica, Smithsonian Institute, Washington, D.C. (veja a tradução desse artigo in Ciência e Cultura 26, 629 (Julho, 1974)).
- (R15) LEWIS, G.N., Nature 118, 874 (1926).
- (R16) CHERENKOV, P.A., Comp. Rend. Acad. Sic. USSR 8, 451 (1934).
- (R17) TAMN, I.Y. and FRANK, I.M., Comp. Rend. Acad. Sci. USSR 14, 109 (1937).
- (R18) GEIGER, H. and MUELLER, E.W., Z. Physik 29, 839 (1928).

NOTA DA REDAÇÃO:- Com este artigo, o autor J.M.F. Bassalo encer-  
ra a série "Crônica das Partículas Elementares", constituída de  
7 partes, publicadas pela REF: I - Do átomo-filosófico de Leuci-  
po ao átomo-científico de Dalton (vol.2, nº 2) ; II - As partícu-  
las constituintes do átomo (vol. 2, nº 3) ; III - As partículas  
constituintes do núcleo (vol. 3, nº 2) ; IV - As partículas estra-  
nhas e as ressonâncias (vol. 3, nº 3) ; V - Os primeiros quarks (vol.  
3, nº 4) ; VI - As mais recentes partículas: gluons, charmônia, botto-  
monium, toponium e tau (vol. 4) e VII - Os meios de investigação  
experimental e O futuro (vol. 5, nº 1) .

#### AGRADECIMENTOS

Muitos amigos contribuíram para que este trabalho fosse rea-  
lizado, assim sendo, o mesmo não ficaria completo se não regis-  
trasse os nossos agradecimentos aos professores YASHIRO YAMAMOTO  
e MAURO SÉRGIO DORSA CATTANI, do Instituto de Física da Universi-  
dade de São Paulo; ANTÔNIO LUCIANO LEITE VIDEIRA, do Departamen-  
to de Física da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janei-  
ro; PAULO DE TARSO SANTOS ALENCAR, do Departamento de Física da  
Universidade Federal do Pará; BENEDITO JOSÉ VIANNA DA COSTA NU-

NES, do Departamento de Filosofia e Psicologia da Universidade Federal do Pará; e UBIRATAN GONÇALVES DE SANT'ANNA, do Departamento de História e Antropologia da Universidade Federal do Pará, por haverem lido essas páginas em sua primeira fase, ministrando-nos muitas informações valiosas, e permitindo acesso a referências bibliográficas não existentes em Belém.

A minha esposa, companheira e amiga, CÉLIA COELHO BASSALO, professora do Departamento de Língua e Literatura Vernáculas da Universidade Federal do Pará, responsável pela redação final dessas páginas, minha profunda gratidão.

## BIBLIOGRAFIA

### a) Livros

- AZIMOV, I., Biographical Encyclopaedia of Science and Technology (Gênios da Humanidade, Boch Editores, 1974).
- BEISER, A., Conceitos de Física Moderna, Editora Polígono-Editora da Universidade de São Paulo, 1969.
- BLACKWOOD, O.H., OSGOOD, T.H., and RUARK, A.E., Introdução à Física Atômica, Editora Globo, 1960.
- BOHR, N., Sobre a Constituição de Átomos e Moléculas, Fundação Calouste Gulbenkian, 1969.
- BORN, M., Física Atômica, Fundação Calouste Gulbenkian, 3ª edição, 1965.
- BURCHAM, W.E., Nuclear Physics: an Introduction, Longman, 1973.
- CHATELET, F., História da Filosofia: Idéias e Doutrinas, 8 vols., Zahar Editores, 1974.
- DAMPIER, W.C., Pequena História da Ciência, IBRASA, S.P., 1961.
- DIXON, B., Para que serve a Ciência?, Companhia Editora Nacional e Editora da Universidade de São Paulo, 1976.
- FRAZER, W.R., Elementary Particles, Prentice-Hall, Inc., 1966.
- FRISCH, O.R., A Natureza da Matéria, Editorial Verbo, 1973.
- FRISCH, D.H. y THORNDIKE, A.M., Partículas Elementales, Editorial Reverté Mexicana, SA.
- GOUIRAN, R., Elementos de Física Nuclear: Partículas e Aceleradores, Editorial Inova Ltda., 1967.
- HALLIDAY, D., Introduction a la Física Nuclear, Editorial Reverté S.A., 1956.
- HAMMOND, C.R., The Elements, in Handbook of Chemistry and Physics, CRC-Press, 1975.

- HERZBERG, G., Atomic Spectra and Atomic Structure, Dover, 1944.
- JAPIASSO, H., Para ler Bachelard, Livraria Francisco Alves Editora S.A., 1976.
- KAPLAN, I., Nuclear Physics, Addison-Wesley Publishing Company Inc., 1963.
- KERNAN, W.J., Aceleradores, Comission de Energia Atômica de los Estados Unidos de la America, Division de Información Técnica, 1963.
- KITTEL, C., Introduction to Solid State Physics, John Wiley & Sons Inc., 4th ed., 1971.
- KLINE, M., Mathematical Thought from Ancient to Modern Times, Oxford University Press, 1974.
- LANDAU, L. et LIFCHITZ, E., Physique Statistique, Editions Mir, 1967.
- LIVINGTON, M.S., Particle Physics: the High-Energy Frontier, McGraw-Hill Book Co., 1968.
- MISNER, C.H., THORNE, K.S. and WHEELER, J.A., Gravitation, W.H. Freeman and Co., 1973.
- OREAR, J., Física, Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda., 1971.
- OSADA, J., Evolução das Idéias da Física, Editora Edgard Blucher Ltda. e Editora da Universidade de São Paulo, 1972.
- PAULING, L. and WILSON Jr., E.B., Introduction to Quantum Mechanics with Applications to Chemistry, McGraw-Hill Book Co. Inc., 1935.
- PLATO, The Dialogues of, Great Books of the Western World, Encyclopaedia Britannica Inc., 1971.
- PONOMAREV, L., In Quest of the Quantum, Mir Publishers, 1973.
- RICHTMYER, F.K., KENNARD, E.H. and COOPER, J.N., Introduction to Modern Physics, McGraw-Hill Book Co., 6th Edition, 1969.
- ROCHA e SILVA, M., A Evolução do Pensamento Científico, HUCITEC, S.P., 1972.
- ROWLATT, P.A., Group Theory and Elementary Particles, Longmans, Green and Co. Ltd., 1966.
- SEMON, R., As Partículas Fundamentais da Matéria, Editorial Estúdios Cor, 1966.
- STRONG, J., Concepts of Classical Optics, W.H. Freeman and Co., 1957.
- SWARTZ, C.E., The Fundamental Particles, Addison-Wesley Publishing Co. Inc., 1965.
- WARDEN, van der, Sources of Quantum Mechanics, Dover.

WATSON, W.G., A Brief History of Element Discovery, Synthesis and Analysis, Lawrence Radiation Laboratory, University of California, Berkeley, 1963.

WEHER, M.R. and RICHARD Jr., J.A., Física do Átomo, Ao Livro Técnico S.A., 1965.

b) Teses e Artigos

ARMONY, M., Simetrias Unitárias: Algumas Aplicações à Física das Partículas Elementares, Tese de Mestrado, PUC/RJ, 1970.

BERRÈRE, M., La Première Particule Charmée Identifiée, La Recherche 70, 767 (9/1976).

CATTANI, M. e FERNANDES, N.C., Os Quarks como Constituintes Fundamentais da Matéria, O ESTADO DE SÃO PAULO, 10/07/1977.

CHOUNET, L., Les Prix Nobel 1976: Course au Trésor en Physique des Particules, La Recherche 73, 1058 (12/1976).

CONSTANT, J.-L., Les Partons Nouveau-Nés des Hautes Energies, La Recherche 14, 662 (07/1971).

de RÚJULA, A., GEORGI, H., and GLASHOW, S.L., Hadron Masses in a Gauge Theory, Phys. Rev. D12, 147 (1975).

DRELL, S.D., When is a Particle?, Physics Today 23 (06/1978).

FRAZIER, K., Superheavy Elements, Science News 113, 236 (15/04/1978).

FRENKEL, J. e FRENKEL, M.L., Quarks - Partículas Elementares da Matéria, Ciência e Cultura 29 (11), 1225 (11/1977).

FROISSART, M., Les Interactions Fortes, La Recherche 63, 15 (01/1976).

GOLDEMBERG, J., 100 anos de Física, Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, Ciência e Sociedade, 11(2), 1973.

KLEIN, H.A.; Physics in Poetry, Physics Today, 84 (01/1977).

KOBERLE, R., Fenomenologia de Hádrons segundo SU(3), III Simpósio Brasileiro de Física Teórica, PUC/RJ, 1970.

McDOWEEL, S.W., Interações Fracas, II Simpósio Brasileiro de Física Teórica, PUC/RJ, 1969.

MOFFAT, J.W., SU(4) and SU(8) Mass Splitting and the Possible Existence of New Hadrons, Phys. Rev. D12, 288 (1975).

MUSSET, P., La Physique du Neutrino, La Recherche 74, 5 (1977).

MUSSET, P. et VIALLE, J.-P., Un défi des neutrinos, La Recherche 91, 676 (7-8/1978).

PANCHERI, L.U., Pierre Gassendi, a Forgotten but Important Man in the History of Physics, Am. J. Phys. 46(5), 455 (05/1978).

PATY, M., Le Charme: une Interprétation des Nouvelles Particules, La Recherche 56, 466 (05/1975).

- PATY, M., Le Photon, les Leptons et la Structure de la Matière, La Recherche 63, 63 (01/1976).
- \_\_\_\_\_, Le Charme Laisse des Traces, La Recherche 75, 165 (02/1977).
- RICHTER, B., From the Psi to Charm: the Experiments of 1975 and 1976, Rev. Mod. Phys. 49, 251 (04/1977).
- SALMERON, R.A., Noções Elementares sobre Aspectos Atuais da Física de Partículas, III Simpósio Nacional de Ensino de Física, S.P., 1976.
- SINCLAIR, R.M., More Physics in Poetry, Physics Today 15 (10/1977).
- SCHWINGER, J., A Magnetic Model Of Matter, Science 165, 757(08/1969).
- SUZUKI, M., Dynamical Considerations on the Isoscalar Píon-Ró Ressonance (975 MeV), Il Nuovo Cimento 34, 1829 (1964).
- THOMSEN, D.E., Chromodynamics, Science News 109, 408 (26/06/1976).
- \_\_\_\_\_, Tom Swift and His Electric Synchrotron, Science News 111, 282 (30/04/1977).
- TING, S.C.C., The Discovery of the J Particles: a Personal Recollection, Rev. Mod. Phys. 49, 235 (04/1977).
- CENTRO BRASILEIRO DE PESQUISAS FÍSICAS, Chacaltaya Emulson Chamber Experiment, by Japanese (HASEGAWA e colaboradores) and Brazilian (LATTES e colaboradores) Emulsion Chamber Groups, Notas de Física, XVII(1), (1971).
- ENCYCLOPAEDIA BRITANNICA
- GRANDE ENCICLOPÉDIA DELTA LAROUSSE
- PHYSICS TODAY, Evidence for Superhaves in Mica Looks Weaker, 17 (01/1977).
- \_\_\_\_\_, Dubna Believes it has Produced Element 107, 19 (01/1977).
- \_\_\_\_\_, Stanford Groups Shows Apparent Evidence for Quarks, 17 (11/1977).
- \_\_\_\_\_, Upsilon Particles at 9.4 and 10 GeV suggest New Quark, 17 (10/1977).
- \_\_\_\_\_, Evidence Grows for Charged Heavy Lepton at 1.8-2.0 GeV, 17 (11/1977).
- \_\_\_\_\_, Search for Quarks using Magnetic Levitation, 9 (12/1977).
- SCIENCE NEWS, Where Goes my Little Charm Gone?, 109, 293(08/05/1976).
- \_\_\_\_\_, Charm at Last: How Sweet it is, 109, 356(05/06/1976).
- \_\_\_\_\_, Elements 116 and 126: Claim of Discovery, 109, 404 (05/06/1976).
- \_\_\_\_\_, Evidence for Fractional Electric Charge, 111, 276 (30/03/1977).

SCIENCE NEWS, Dileptomania: Heavier and Heavier, 112, 187 (06/08/1977).  
\_\_\_\_\_, Upsilon and the Fifth Quark: a Heavy Resonance, 112,  
100 (13/08/1977).  
\_\_\_\_\_, A Giant Step Toward Unified Field Theory, 114, 20  
(08/07/1978).  
\_\_\_\_\_, Upsilon Prime: 10 GeV Excited State, 114, 196 (16/09/1978).  
THE BETATRON, Lawrence Radiation Laboratory, University of Cali-  
fornia, Berkeley, 1964.  
THE 184-INCH SYNCHROCYCLOTRON, Lawrence Radiation Laboratory, Uni-  
versity of California, Berkeley, 1964.