

acrêscimo vindo de dentro, se partir das premissas do próprio Ensaio.

Assim, podemos concluir com Bento Prado, que "não se pode... encerrar, como faz Derrida, a questão da linguagem, em Rousseau, na alternativa simples entre a palavra (fala) e a escrita, entre a vida e a morte. Poderíamos dizer, fazendo variar um pouco a bela frase de Nietzsche, que há mais escritas do que se pensa. (...) Se a botânica de Rousseau nos fecha na eternidade da natureza, sua "linguística abre o campo da historicidade da língua e das formas de poder. Deste ponto de vista, não é em direção de Saussure que o Ensaio acena, lá do século XVIII, mas em direção da filologia nietzscheana..." (55).

Ao término deste nosso giro pelo discurso caleidoscópico de Rousseau, escusado seria dizer que a fixação em um dos mosaicos, por mais fascinante que seja, não exclui nunca a possibilidade de uma série indefinida de substituições que não cessa de nos excitar. Esse jogo Derrida nos ensinou a jogar.

Finalmente, se o sentido "primeiro" das citações foi preservado, pelo menos uma objeção poderia ser levantada a este trabalho de amarração a pontos largos: a de ter consagrado muitas linhas aos comentadores e muito pouco, ou quase nada, ao autor mesmo do Ensaio. A resposta a uma tal objeção poderia ser encontrada no prefácio de *Narciso* ou *O Amante de Si Mesmo*, da pena do próprio Rousseau: "... tal discurso constituirá, confesso, uma sátira muito amarga, não para mim, mas a meu século".

Agosto de 80.

(55) BENTO PRADO, J. J. Rousseau Entre as Flores e as Palavras, in, Almanaque, nº 8, Brasíliaense p. 30.

José Maria Filardo Bassalo

Departamento de Física

## 1. A CADEIA DE COGNIÇÃO DA FÍSICA

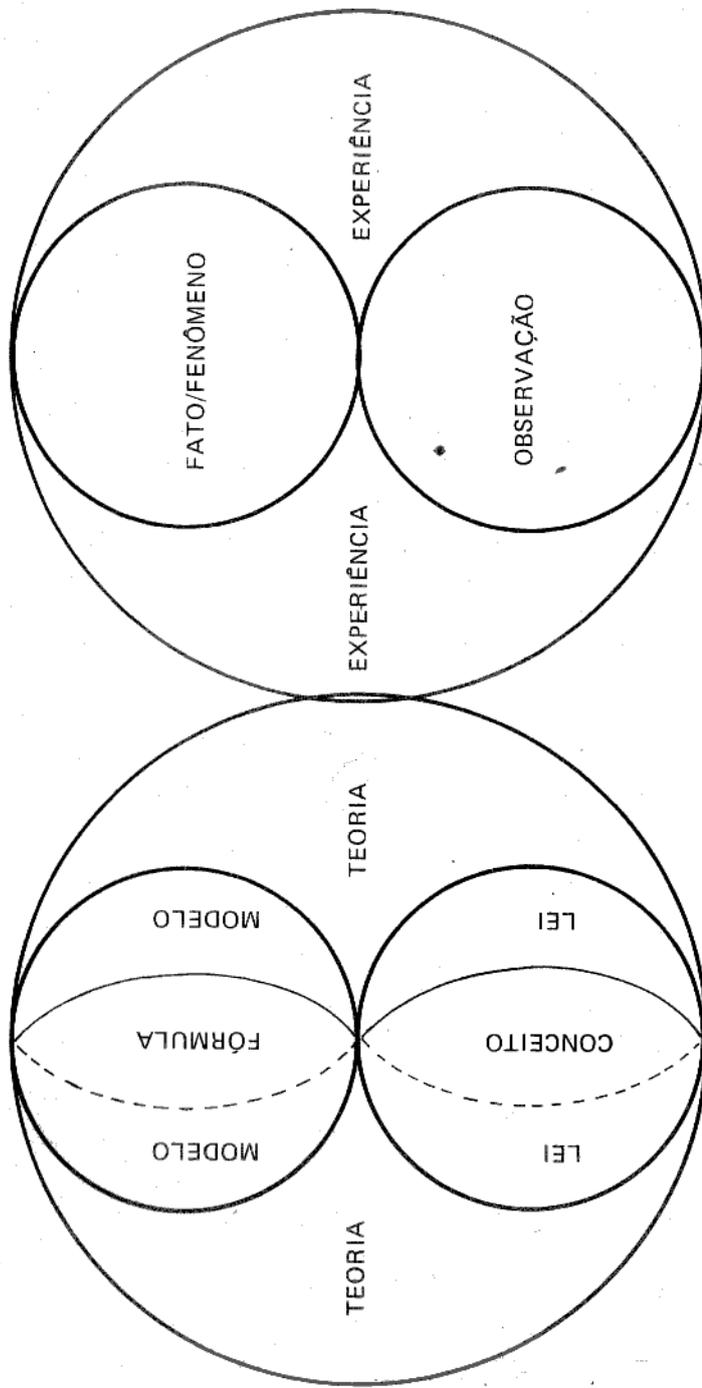
A intenção deste trabalho é mostrar como se desenvolve o conhecimento da Física; para isto, utilizaremos uma cadeia de cognição, poisque segundo Ponomarev<sup>1</sup> (1973), ela é a base de todo conhecimento físico. São conhecidos vários aspectos dessa cadeia (Osada<sup>2</sup>, 1972; Bunge<sup>3,4</sup>, 1974; Lucie<sup>5</sup>, 1977); no entanto, a cadeia apresentada na figura, tem por base a de Ponomarev (1973), aqui um pouco mais elaborada. A explicação dessa cadeia será feita através de exemplos físicos. Por outro lado, não estamos certos de que os poucos exemplos utilizados na explicação apliquem-se a todo conhecimento físico presente ou futuro. Pretendemos registrar o problema para, em seguida, questioná-lo; esperamos que os erros acaso existentes na elaboração dessa cadeia possam ser corrigidos, assim como novos elos venham nela a serem introduzidos.

Segundo Cattani e Fernandes<sup>6</sup> (1975), o estudo da Física é feito através de um encadeamento, no qual se misturam descobertas de fatos novos com os já conhecidos, assim como acontece nas leis, em que velhas leis são utilizadas na descrição de fatos novos, ou, quando elas forem insuficientes, deverão ser criadas novas leis. Paralelamente a isso, a previsão de eventos novos, bem como a ampliação dos já conhecidos, poderão ser conseguidos através de leis estabelecidas. É claro que deveremos constantemente criticar tanto os elos quanto a própria cadeia, como por exemplo, o fizeram Galileu, com relação à física aristotélica, e Mach, com relação à física newtoniana. Veremos, a seguir, como se processa o encadeamento acima referido.

Inicialmente, diríamos que o tangenciamento mútuo entre as esferas que compõem a cadeia considerada, representa a influência recíproca entre os juízos indicados em cada esfera, na concepção de que não existe um sentido preferencial para passarmos de uma esfera à outra, ou seja, de que não existe uma relação de causalidade entre elas.

O contacto entre a esfera da teoria e a

CADEIA DE COGNIÇÃO



da experiência possui um sentido mais amplo ao referido anteriormente, pois, além de indicar que toda teoria (modelo teórico (Bunge<sup>3</sup>, 1973) ) deverá ser testada experimentalmente e que nenhuma experiência pode ser planejada e interpretada sem o recurso de teorias (Bunge<sup>3</sup>, 1973), tal contacto indica; ainda, a existência de uma relação de complementariedade entre elas, em que o conhecimento de uma, só é complementado pelo conhecimento da outra, como o *yín* e o *yang* na filosofia oriental. Aliás, essa relação de complementariedade aplicar-se-á a todas as esferas da cadeia de cognição da física. Em suma, diríamos como Feyerabend<sup>7</sup> (1975) que o aprendizado da Física não se desenvolve da observação para teoria, e nem da teoria para a experiência, mas sempre envolve esses dois elementos.

Exemplifiquemos, agora, o conteúdo de cada esfera. Começemos pelo da experiência. Esta contém duas outras esferas: a da observação e a do fato/fenômeno. Poderíamos, ainda, dividir cada uma delas, porém, para não complicar muito a cadeia de cognição, vamos nos ater somente a essas duas. A esfera da observação refere-se à *observação voluntária* e à *involuntária*. Na primei-

ra, o observador analisa um certo fato dentro de seu "Horizonte de expectativas", no sentido em que usou Popper<sup>8</sup> (1975), ou seja, a soma total de suas expectativas conscientes ou subconscientes. A observação poderá satisfazer à sua expectativa, na medida que forem sendo constatados fatos já conhecidos ou esperados. Por exemplo, nas experiências diárias realizadas em laboratório didáticos ou de pesquisas, vários resultados são reproduzidos constantemente (relação entre a carga e a massa do elétron, na experiência de Millikan, determinação de período de um pêndulo, associação de componentes elétricos, etc) ou novos resultados esperados são conseguidos, como por exemplo, a descoberta de píons por Lattes, Muirhead, Occhialini e Powell (1947). Por outro lado, a observação voluntária poderá não corresponder ao horizonte de expectativas do observador, o que ocorrerá quando um resultado novo não-esperado for conseguido. Nesse caso, enquadra-se a célebre experiência realizada por Michelson-Morley, em 1887, relativa à existência do ether. Os autores esperavam comprovar a existência do ether de corrente da Teoria Eletromagnética de Maxwell (1873), porém o resultado de tal experiência in-

dicava um fato novo não-esperado: a não existência do ether. É oportuno salientar que Michelson não aceitou de imediato esse resultado, tanto que, até o ano de sua morte, 1931, ele continuou medindo a velocidade da luz, talvez como pretexto para se convencer de que o ether não existe. Vários exemplos poderiam ainda ser mencionados, tanto na época atual como em épocas bem remotas, mas para não nos alongarmos muito, daremos apenas o exemplo de Hiparco, que em 134 a.C. descobriu uma nova estrela na constelação de Escorpião. Tal descoberta fugiu ao seu horizonte de expectativas, que era o da incorruptibilidade do céu, doutrina vigente em sua época, proposta ou defendida por Aristóteles, cerca de 200 anos antes de Hiparco.

Passemos agora à observação involuntária, ou seja, à observação não-voluntária, a que se encontra fora dos limites (esperado e não-esperado) do horizonte de expectativas do observador, a qual chamaremos de *acidental*. Muito embora ao homem comum pareça que as descobertas científicas sejam continuamente acidentais, nem sempre isso é verdade, como tivemos oportunidade de esclarecer, ao analisarmos a observação voluntária. Da

remos alguns exemplos para mostrar a acidentalidade de algumas descobertas, muito embora seja difícil caracterizá-la. Começamos pela descoberta acidental feita por Oersted, em 1820, na qual o efeito magnético de uma corrente elétrica foi evidenciado, de vez que dentro do conceito científico da época (o paradigma, para usarmos o termo criado por Kuhn<sup>9</sup> (1975)), somente os ímãs poderiam produzir campos magnéticos. Observou Oersted que uma corrente elétrica, oriunda de uma pilha de Volta, era capaz de deslocar uma agulha magnética colocada em suas proximidades. As observações posteriores de Ampère, Arago, etc., sobre o efeito magnético da corrente elétrica, foram, no entanto, observações voluntárias. A descoberta dos raios-X feita por Roentgen, em 1895, e a da radioatividade, por Becquerel, em 1896, consideramos acidentais, uma vez que elas não pertenciam ao horizonte de expectativa dos paradigmas correspondentes. No caso dos raios-X, o paradigma seria a teoria eletromagnética de Maxwell que não previa a emissão de radiação por uma carga acelerada, o que só seria demonstrado por Larmor (1897), e para a radioatividade, o paradigma seria a química de Lavoisier, onde não havia nenhu

ma expectativa que indicasse a existência de elementos químicos capazes de se desintegrarem em outros elementos, como acontece com os elementos radioativos que emitem partículas de seu interior (Rutherford, 1897) ou radiação pura (Villard, 1900).

Completaríamos a análise sobre a esfera de observação dizendo que graças a um acidente ocorrido numa experiência realizada por Davisson e colaboradores sobre espalhamento de elétrons, houve comprovação da hipótese de de Broglie (1924), sobre a natureza ondulatória da matéria. Conforme Oldenberg e Holladay<sup>10</sup> (1971), durante aquela experiência, um frasco de ar líquido explodiu, oxidando o alvo de níquel utilizado por Davisson em tal experiência. Quando a camada de óxido foi retirada e a experiência repetida, obteve-se um resultado completamente diverso do primeiro, cuja interpretação, atribuída à difração de elétrons, foi sugerida por Elsassner (1925), então aluno de Max Born. Em 1927, juntamente com Germer, Davisson repetiria a experiência sobre difração de elétrons e confirmaria a hipótese de de Broglie. É oportuno salientar que G. P. Thomson, em 1928, faria uma observação voluntária so

bre a difração de elétrons, já que na sua experiência sobre a incidência de elétrons, de alta energia, através de lâminas delgadas metálicas, ele próprio admitia a hipótese de de Broglie, ou seja, do aspecto ondulatório do elétron. Para concluir o estudo da observação accidental, daremos o exemplo de Mourão<sup>11</sup> (1979). Segundo ele, a descoberta, feita em 1965, por Penzias e Wilson, a respeito da radiação de 3 K, que seria o vestígio fóssil do "big-bang" (explosão que deu origem ao Universo), foi accidental, de vez que esses astrônomos estavam preocupados na detecção dos sinais emitidos pelo satélite Telstar.

A esfera de fatos/fenômenos é composta tanto dos conhecidos quanto dos novos, decorrentes de observações voluntárias/involuntárias. Conforme salientamos, anteriormente, não existe um sentido preferencial para o contacto entre as duas esferas (observação-fenômeno), pois o fluxo entre elas se dá nos dois sentidos. Além do mais, esse tangenciamento indica que elas representam uma única coisa - a *experiência*. Não ocorre o fenômeno em si, pois ao observá-lo, há destruição do fenômeno primitivo, e o que "vemos, através de nossos sentidos ou da extensão destes, que

são os aparelhos (Ponomarev<sup>1</sup> (1973)), é o resultado experimental: fenômeno-observação/observação-fenômeno. Assim, o observador seria um participante, como acentua Wheeler (Cabra<sup>12</sup>, 1975). Concluindo a análise da esfera da experiência, diríamos que ela representa a *realidade-física*, realidade essa composta de observação-fenômeno-observação e tomada no sentido complementar de Bohr (1923), em que o conhecimento de uma só é completado pelo conhecimento da outra, conforme já havíamos ressaltado anteriormente.

Estudaremos, agora, a esfera da teoria. Nela, estão contidas quatro outras esferas. Descrevamos cada uma delas. Começemos pela do conceito. Embora os conceitos físicos sejam sempre de dois tipos: *formal* e *factual* (Bunge<sup>3</sup>, 1973), não nos deteremos na análise completa desses dois tipos, no seu sentido filosófico, pois pretendemos, através de alguns exemplos, mostrar como se formam os conceitos físicos e como os mesmos modificam-se ou mesmo caem em desuso, à medida que cresce o conhecimento físico. No decorrer de nossa descrição, os diversos aspectos que possam tomar cada um dos dois tipos indicados, tais como: simples, complexo, particular, universal, etc.

(Brugger<sup>13</sup>, 1969), surgirão, naturalmente, por simples inspeção, apesar da dificuldade de sua definição. Um conceito será simples ou complexo, particular ou universal, dependendo do contexto a que esteja inserido. Assim, o conceito de *trajetória* é relativamente simples quando se descreve o movimento de uma partícula (corpo de dimensões desprezíveis) no espaço, porém, extremamente complexo quando suas dimensões são relevantes. Por exemplo, a extrema dificuldade na descrição da trajetória de uma moeda ao ser lançada para cima, nos faz apelar para o cálculo das probabilidades para saber qual a face que aparecerá da moeda quando a mesma retornar ao ponto de partida. A complexidade do conceito de trajetória aumenta quando se procura descrever a trajetória de uma partícula elementar em uma câmara de bolhas, já que necessitamos de muitos outros conceitos, tais como o de carga elétrica, de ionização, pressão de saturação, etc., para descrevermos sua trajetória. Dificuldades semelhantes acontecem na descrição da trajetória no movimento browniano.

A aquisição de um conceito não é muito simples, porquanto nem sempre podemos apresentar

uma imagem visual (conforme o caso de trajetória), e muitas vezes, não pode nem ser medido, como acontece com os conceitos hamiltoniano e lagrangiano, fundamentais para todo físico que trabalha em Teoria de Campo. O tangenciamento mútuo apresentado na cadeia de cognição continua a ter o significado que vimos dando até agora, ou seja, o de não existir um sentido preferencial de passar de uma esfera para outra. Por exemplo: o conceito de *radiação* foi introduzido por Larmor (1897) utilizando a Teoria Eletromagnética de Maxwell (1873). Demonstrou Larmor que um elétron acelerado emitia uma onda eletromagnética e que esta se desprendia daquele, propagando-se no espaço. Como Maxwell havia demonstrado ser a luz uma onda eletromagnética, cuja comprovação experimental fora feita por Hertz (1888), o conceito de radiação passou a ser utilizado para explicar a razão pela qual um corpo aquecido adquire colorações diferentes. Ao ser aquecido o corpo, aumenta o movimento vibratório de seus átomos, conseqüentemente, aumentando a aceleração das cargas elétricas e, portanto, ela passa a emitir radiações luminosas. Convém observar que, para explicar a radiação térmica, como fize

mos acima, utilizamos vários conceitos além do de radiação, tais como os de aceleração, átomo, carga elétrica, onda, etc.

Continuemos com a descrição da esfera do conceito. É comum perguntarmos às crianças o que pesa mais, se um quilo de chumbo ou um quilo de algodão. Como normalmente elas associam o peso ao volume, respondem que é o quilo de algodão por ser o mais volumoso dos dois. Após refletirem um pouco, lembram que a palavra quilo se referia aos dois materiais e corrigem sua resposta. Por que não respondem certo imediatamente? Poderíamos dizer que uma criança mais esperta não vacilaria na resposta. De acordo. Porém, se mostrássemos à criança dois volumes distintos, um de algodão e outro de chumbo, embora com o mesmo peso de um quilo, porém sem seu conhecimento a respeito do peso, a resposta não seria imediata. Se a criança não tiver uma balança à mão, não responderá. Entretanto, se ela tivesse o conceito de peso específico, poderia arriscar uma resposta, ao comparar visualmente os volumes.

Creemos ser importante salientar nesta altura de nossa análise sobre conceito que, à medida que o conhecimento vai crescendo, certos con-

ceitos vão sendo substituídos por outros. É bem conhecida a evolução sofrida pelo conceito de calor. Este inicia-se com o fogo de Heráclito, passa pelo flogístico de Stahl, mais tarde refutado pelo calórico de Lavoisier, até chegar à explicação atual de que o calor é uma forma de radiação, a térmica, descrita anteriormente. O mesmo aconteceu com o conceito de fluido elétrico de Franklin, para explicar as propriedades elétricas dos corpos, hoje substituído pelo de *elêtron*. Outros conceitos perdem seu caráter geral e adquirem o particular, como acontece com o de trajetória, hoje só aplicável à Física Clássica, já que em Física Quântica o Princípio da Incerteza de Heisenberg (1927) não permite ser a trajetória das partículas determinada, uma vez que tal princípio impede a precisão simultânea da posição e da velocidade de uma partícula. Sem o conhecimento desses dois elementos, não se pode traçar a trajetória da partícula, pois somente com os valores dos mesmos, em determinado instante, é possível obter-se uma solução unívoca das equações de movimento, pois estas, como sabemos, são equações diferenciais de segunda ordem no tempo. Assim, em Física Quântica, o conceito de

trajetória é substituído pelo de *estado*. O mesmo ocorreu com o conceito de força, aplicável apenas à Física Clássica, pois em Física Quântica, o conceito responsável pela mudança de estados de um sistema é a *interação* (Feinberg<sup>14</sup>, 1978). É oportuno lembrar que a mudança da trajetória de um sistema decorre da aplicação de uma força sobre ele.

Segundo Edmonds Jr.<sup>15</sup> (1978), o conceito universal de massa perderá esse caráter se no futuro houver confirmação sobre a teoria do confinamento dos quarks, (jaffe<sup>16</sup>, 1977; Zagury e Ferreira<sup>17</sup>, 1977; Cattani e Fernandes<sup>18</sup>, 1979). Segundo essa teoria, os quarks, constituintes fundamentais das partículas elementares (Gell-Mann, 1964; Zweig, 1964), não poderão existir livremente e, assim, não poderão ter medidas as suas massas. Os quarks seriam como os monopolos magnéticos (Dirac, 1931) que não existem livremente. É oportuno salientar que evidências experimentais sobre a existência livre dessas partículas já foram detectadas: monopolos magnéticos, por Price e colaboradores (1975) e quarks, por Chupka e colaboradores (1966); McCusker e colaboradores (1969); e La Rue e colaboradores (1977).

Poderíamos continuar com uma série de exemplos mostrando como o conceito em si, seu aspecto (simples, complexo, geral, particular, etc.) é de natureza dinâmica, isto é, muda com o tempo. Entretanto, o objetivo deste trabalho leva-nos a prosseguir com a análise da esfera da teoria. Será que apenas o conhecimento dos conceitos é suficiente para respondermos às indagações que fazemos à Natureza? Por exemplo: como poderemos saber o que pesa mais, um corpo na Terra ou na Lua? A resposta só poderá ser dada se conhecermos os conceitos de peso, massa e aceleração, bem como a maneira como esses conceitos se correlacionam, ou seja, precisamos para tanto de uma *lei* ou *princípio físico*. Por exemplo: a lei da força de Newton (1686) afirma que corpos de mesma massa, são cada vez mais acelerados à medida que aumenta a força externa a eles aplicada. Apesar do conhecimento dessa lei, não podemos responder à pergunta formulada, pois não sabemos ainda como relacionar peso com força. À época de Newton essa identificação era tácita, sem nenhuma explicação, admitindo-se a equivalência entre massa inercial (relacionada com força) e massa gravitacional (relacionada com peso). Tal identi

ficação acima referida, começou a ser entendida depois da experiência de Eötvös, em 1890, na qual foi determinada uma relação quase unitária entre massa inercial e massa gravitacional. (Uma versão moderna da experiência de Eötvös foi realizada por Dicke (1960)). Em 1907, Einstein afirmaria essa identificação através do Princípio da Equivalência entre massa inercial e massa gravitacional, que seria a base da Teoria Geral da Relatividade, formulada pelo próprio Einstein, (1911) (Bassalo<sup>19</sup>, 1979).

Será que já estamos em condições de responder à pergunta que fizemos? Qual pesa mais, um corpo na Terra ou na Lua? Hoje, depois de termos visto pela televisão os saltos dados por Armstrong quando pisou na Lua, em julho de 1969, não teríamos dificuldade nenhuma em afirmar que em nosso satélite um corpo pesa menos do que no planeta em que vivemos. No entanto, Newton fez a mesma afirmação, porém, através de cálculos com a fórmula de sua lei da gravitação universal. A dedução dessa lei por intermédio do sábio inglês é mais um exemplo do inter-relacionamento entre as esferas que compõem a cadeia de cognição da Física, pois Newton conseguiu demonstrar com es-

sa lei as observações experimentais de Kepler sobre o movimento dos planetas em torno do sol.

Antes de começarmos a análise da esfera da fórmula, procuraremos ressaltar um pouco mais a interligação entre as esferas de conceito e de lei. Existem certos conceitos intimamente ligados a leis de conservação, isto é, para que ocorra determinado fenômeno físico é necessário que alguns conceitos permaneçam inalterados. Algumas dessas leis são universais, como a conservação de energia, de momento linear, de momento angular, de carga elétrica e de número de partículas (bariônico e leptônico), que devem ocorrer para todas as interações físicas conhecidas na Natureza. Outros conceitos e respectivas leis de conservação mostram-se particulares. Por exemplo: a estranheza e a paridade não se conservam nas interações fracas. Além do mais, como temos frisado por diversas vezes, esse inter-relacionamento não tem sentido preferencial, como atesta o fato de que a lei de conservação do spin e da não-conservação da paridade nas interações fracas, levou ao conceito de *helicidade*, direção preferencial de rotação do spin de uma partícula, introduzido por Goldhaber, Grodzins e Sunyar (

1958).

Para mostrar como a cadeia de cognição é intimamente inter-relacionada, daremos mais um exemplo: o da existência do neutrino. Vimos, anteriormente, que Rutherford mostrara que a radioatividade descoberta por Becquerel, era composta de dois tipos de partículas: alfa e beta, respectivamente, carregadas positiva e negativamente. Na década de 1920, os físicos não tinham mais dúvidas de que a partícula beta era simplesmente o elétron. Não obstante, um fato relacionado com a desintegração beta dos elementos químicos, intrigava os cientistas: a conservação de energia não era satisfeita para o núcleo pai, o núcleo filho e a partícula beta. Em vista disto, Pauli (1930), postulou a existência de uma nova partícula que reperia o "dogma" da conservação de energia. Com a descoberta do nêutron por Chadwick (1932), Fermi (1934) propôs uma explicação para o decaimento radioativo beta: no núcleo pai, um nêutron transforma-se em um próton, formando um novo elemento, o núcleo filho, e emitiria o elétron (partícula beta) e a partícula proposta por Pauli, à qual Fermi denominou de neutrino, por não ter carga elétrica e não ter massa de repouso. Essa expli-

cação de Fermi levaria à introdução de um novo conceito em Física: interação fraca. A comprovação experimental (observação voluntária) do neutrino só foi feita em 1956, por Cowan e Reines. Fato semelhante aconteceu com a partícula omega menos, prevista, teoricamente, por Gell-Mann e Ne'eman (1961), através do modelo de octetos (Frazer<sup>20</sup>, 1966) com a comprovação experimental em 1964, de Barnes e colaboradores.

Havíamos feito uma pausa na descrição da esfera da teoria, para mostrar o imbricamento das esferas que compõem a cadeia de cognição da Física e, com isso, enfatizarmos a unidade da mesma. Continuemos, agora, com a esfera da fórmula. Resaltamos, também, anteriormente, que Newton chegara à conclusão de que a aceleração da gravidade na Lua é menor do que na Terra, por intermédio de uma fórmula: a da gravitação universal. Graças a uma fórmula análoga a essa, Coulomb (1785), e com auxílio da lei de Du Fay (1734), segundo a qual a Natureza apresenta dois tipos de eletricidade (positiva e negativa), introduziria o conceito de carga elétrica. Faraday (1834), ao estudar o fenômeno da eletrólise (efeito químico da corrente elétrica), chegaria à lei

da conservação da carga elétrica.

Antes de passarmos para a análise da esfera do modelo, mostraremos como uma fórmula alterou toda a cadeia de cognição que estamos estudando. Em 1814, Fraunhofer descobriu que o espectro solar apresentava certas linhas escuras, as mesmas que Wollaston havia observado em 1802, às quais, no entanto, não dera valor, pois acreditava serem essas linhas defeitos do prisma que usara para decompor a luz solar. Seria interessante ressaltar que Newton, o primeiro a observar a decomposição espectral dos raios luminosos, através de um prisma de vidro, não haja voltado sua atenção para essas linhas escuras. Talvez seu conceito sobre cor haja bloqueado seu horizonte de expectativas, impedindo que ele fizesse uma descoberta acidental. Todavia, a descoberta de Fraunhofer foi fruto de uma observação voluntária. Utilizando os conceitos de comprimento de onda e de difração da luz, e com auxílio de uma rede de difração, Fraunhofer, em 1821, chegou a calcular o comprimento de onda de algumas dessas linhas, conhecidas a partir de então como franjas ou linhas de Fraunhofer.

Apesar do mistério que envolvia a natu-

reza dessas raias, a técnica de obtê-las, a espectroscopia, abriu um campo inteiramente novo à Ciência, sobretudo à Química, pois, com essa mesma técnica, vários novos elementos químicos foram descobertos, como foi o caso do césio e do rubídio, revelados por Bunsen e Kirchhoff, no período de 1860-1861. Por outro lado, a espectroscopia estelar permitiu a identificação de vários elementos químicos no Sol e noutras estrelas. Um primeiro véu do mistério envolvendo as raias espectrais de Fraunhofer foi levantado por Balmer, em 1885, ao obter a fórmula empírica que permitia o cálculo das linhas do espectro visível do hidrogênio, valores esses bem próximos dos medidos por Angstrom, em 1868. Muito embora a fórmula de Balmer haja sido ampliada por Rydberg, em 1890, para aplicá-la ao espectro visível dos demais elementos químicos, e Ritz, em 1908, ter anunciado um princípio segundo o qual as diversas linhas de um espectro poderiam ser relacionadas (nessa época já eram conhecidos espectros na região ultra-violeta (Lyman, 1906) e na região infravermelha (Paschen, 1908)), não se conseguia demonstrar a fórmula de Balmer-Rydberg, através do paradigma físico conhecido até então,

qual seja, a teoria eletrodinâmica de Maxwell-Lorentz.

Veremos, agora, que a dedução da fórmula de Balmer-Rydberg só foi possível graças a uma associação de conceitos, leis e fórmulas: um modelo. Para nós, neste trabalho, um modelo é o que Bunge<sup>3,4</sup> (1973,1974) chama de objeto-modelo. (Lembremos que um modelo ou um conceito pode ter uma representação pictórica ou gráfica (desenho, figura), como acontece com as linhas de força, diagrama de Feynman, esquema de circuitos, modelo planetário do átomo, etc.). Com a descoberta do elétron por J. J. Thomson, em 1897, os físicos passaram a tentar explicar o átomo dos químicos. Uma primeira tentativa foi feita pelo próprio Thomson, em 1898 ao propor que o átomo era composto de uma carga positiva uniformemente distribuída em uma esfera de raio da ordem de  $10^{-8}$  cm, embebida de elétrons para torná-la neutra. Outros modelos foram tentados, principalmente os semelhantes aos sistemas astronômicos, como o de Perrin, em 1901, o de Nagaoka, em 1902, e o mais conhecido, o de Rutherford, em 1911. Entretanto, todos esses modelos não conseguiram explicar a estrutura de raias do espectro de um elemento,

bem como eram inconsistentes com a teoria eletromagnética de Maxwell-Lorentz-Larmor, pois, sendo o elétron uma partícula carregada, ao girar em torno do núcleo, perderia energia por emissão de radiação, conforme indicava o cálculo feito por Larmor e, conseqüentemente, não poderia permanecer por muito tempo em sua órbita.

Para contornar essa dificuldade, Bohr, em 1913, propôs um modelo segundo o qual as órbitas dos elétrons seriam estáveis quando o momento angular, para cada órbita, fosse múltiplo da constante de Planck ( $h$ ), dividido pelo dobro do valor de pi. Esse princípio estabilizava a órbita, porém como explicar a emissão de luz pelos átomos, ou seja, como explicar os espectros atômicos? Então, Bohr enunciou um outro princípio: sempre que o elétron passe de uma órbita mais externa para outra mais interna, emite um quantum de luz, conceito este que Einstein havia introduzido, em 1905, para explicar o efeito fotoelétrico. Bohr teve grande sucesso com esse modelo, pois conseguiu, daí em diante, deduzir a fórmula de Balmer-Rydberg. Apesar desse êxito, o modelo de Bohr apresentava algumas dificuldades, como a inconsistência lógica entre o conceito clás

sico de órbita e o quântico da descontinuidade energia, assim como a estrutura fina das raias do hidrogênio observada por Paschen, em 1912, ao analisar o espectro do hidrogênio com um espectroscópio de maior poder separador. Enquanto a inconsistência lógica permanecia, a estrutura fina seria explicada por Wilson (1915) e Sommerfeld (1916), com a introdução de órbitas elípticas e correções relativísticas ao movimento orbital dos elétrons no modelo de Bohr. Não obstante essas correções ao modelo bohriano, e seu relativo sucesso na explicação de outros resultados experimentais então conhecidos: efeito Zeemann, 1896 e efeito Stark, 1913, uma questão fundamental permanecia ainda sem explicação, qual seja, a da tabela periódica dos elementos, proposta por Mendeleev, em 1869. Para responder a essa questão e outras que foram aparecendo como consequência natural do desenvolvimento científico, surgiu uma teoria geral no sentido de Bunge (1973), que substituiu o modelo de Bohr, conhecida hoje como Mecânica Quântica, e que foi desenvolvida a partir dos trabalhos de Heisenberg (1925), Schrodinger (1926), Pauli (1927) e Dirac (1928) (Van der Waerden<sup>21</sup>, 1967).

É importante ressaltar que os modelos podem ou não ser inseridos em uma teoria geral ou especial (Bunge<sup>3</sup>, 1973). Por exemplo: os modelos de Ptolomeu (140) e de Copérnico (1543) que explicavam certos aspectos de nosso sistema planetário, não se inseriam em nenhuma teoria, seja geral, seja especial. Eles foram substituídos pela teoria geral da gravitação de Newton (1687). O modelo de Bohr, conforme vimos acima, não estava inserido em nenhuma teoria geral e foi substituído pela teoria geral da Mecânica Quântica. No momento, o modelo dos quarks proposto por Gell-Mann e, independentemente, por Zweig, em 1964, e que tenta explicar algumas partículas elementares que sofrem interação forte, os chamados *hádrons*, ainda não foi inserido em nenhuma teoria geral. Capra<sup>12</sup> (1975) acredita que a teoria da matriz-S venha a constituir-se uma teoria geral para o estudo das interações físicas que ocorrem na Natureza.

Na maioria das vezes, o modelo proposto para a explicação de algum fenômeno, como se sabe, é inserido em uma dada teoria: geral ou especial. Por exemplo, o modelo do potencial periódico

co de F. Bloch (1931) para explicar a interação elétron-rede, em uma estrutura cristalina, ou o modelo de L. N. Cooper (1956) em que um par de elétrons ligados por um fônon é responsável pela supercondutividade (Onnes, 1911), estão inseridos na teoria geral da Mecânica Quântica. É oportuno salientar que F. e H. London, em 1935, fizeram uma tentativa para explicar alguns efeitos da supercondutividade (como, por exemplo, o efeito diamagnético de Meissner-Ochsenfeld, 1933), utilizando-se para isto da teoria (geral) eletromagnética de Maxwell, com um modelo segundo o qual o momento linear de uma partícula carregada, colocada em um campo magnético, era nulo.

Um outro aspecto a destacar, no estudo de modelos, é o que se refere à utilização da idéia representativa deles, na explicação de certos resultados experimentais conhecidos ou a serem testados. Já falamos da idéia do modelo planetário aplicado ao átomo. Essa mesma idéia foi utilizada por M. Mayer (1949) e, independentemente, por Hakel Jensen e Suess (1949), na descrição do núcleo atômico. Nesse modelo, conhecido como modelo de camadas, os nucleons (prótons e nêutrons) descrevem órbitas em torno de um potencial médio

ma de modelo teórico ou teoria especial, a única, segundo esse autor, que é passível de teste, ou seja, que pode ser confrontada com dados experimentais. Ainda segundo Bunge<sup>3</sup> (1973), a mecânica quântica, a mecânica estatística, a mecânica dos meios contínuos, a mecânica clássica, e a teoria eletromagnética clássica, são teorias gerais, construídas a partir de um corpo de axiomas (leis constitutivas) com suas proposições deduzidas logicamente. Diríamos que se trata de *constructos matemáticos*. Já a eletrodinâmica quântica, a teoria da relatividade geral e a moderna teoria quântica de "gauge" ou de calibre (Leite Lopes<sup>23</sup>, 1960) ou ainda de padrão, são teorias especiais no sentido bungeano do termo, ou teorias, em nossa cadeia. Uma teoria geral que unifique todas as interações da Natureza vem sendo tentada desde 1971, por Y. A. Golfand e E. F. Likhtman, conforme salientam Freedman e Van Nieuwenhuizen<sup>24</sup> (1978), através da chamada supergravidade que reuniria a relatividade geral com a teoria quântica de campos. É oportuno salientar que Salam (1968) e Weinberg (1967) (Bassalo<sup>25</sup>, 1980) conseguiram uma teoria unificada entre interação eletromagnética e fraca, utilizando para isso uma

Todavia, enquanto no modelo planetário ou no modelo atômico, o potencial atrativo (Sol e núcleo atômico, respectivamente) têm existência física, o mesmo não acontece com o potencial nuclear. A idéia do modelo de quarks como constituintes da matéria hadrônica, visto anteriormente, tem sido aplicado por J. Leite Lopes<sup>22</sup> desde 1975, na descrição dos léptons, partículas que sofrem interação fraca e eletromagnética, através do modelo do quark leptônico neutro. Com o objetivo de estudar os hádrons, vários modelos foram tentados (Sakata (1956), Tiomno (1957), etc.), porém, o de maior sucesso foi o modelo do octeto proposto por Gell-Mann, e independentemente, por Ne'eman, em 1961, pois além de explicar alguns resultados experimentais, teve a previsão de uma nova partícula elementar, a omega-menos, comprovada experimentalmente em 1964, por V. E. Barnes e colaboradores.

Completamos, assim, a descrição da esfera de modelo de nossa cadeia de cognição. Cremos haver deixado evidente que a esfera da teoria deverá englobar as de conceito, lei, fórmula e modelo. Entretanto, gostaríamos de enfatizar que, por teoria, consideramos o que Bunge<sup>3</sup> (1973) cha-

teoria quântica de campos de "gauge".

A esfera da teoria, ou do modelo teórico, na linguagem bungeana, simboliza, em nosso entender, a *realidade-matemática*, já que as fórmulas matemáticas de uma teoria, inteligíveis para qualquer pessoa versada no assunto e independente de seu credo, cor ou ideologia, representam fenômenos *reais*, passíveis de serem observados e medidos. Por exemplo, as regras de seleção que explicam as raias espectrais dos elementos químicos, decorrem de propriedades matemáticas das funções de onda que representam um elétron em cada estado de energia de um determinado átomo. Segundo o modelo de Feynman para os pósitrons, proposto em 1949, os estados de energia negativa de um elétron livre obtidos por Dirac (1928), podem ser conseguidos fazendo os elétrons caminharem para *trás* no tempo. Ainda com essa mesma teoria, Feynman<sup>26</sup> (1962) conseguiu obter resultados análogos aos da teoria da segunda quantização formulada por Tomonaga (1943) e Schwinger (1948). Embora a inversão da flecha do tempo não seja uma realidade física, o modelo decorrente dessa idéia apresenta resultados que são observados e medidos. A realidade física da polarização do vá-

cuo - produção virtual de par elétron-positron -, depende do número de dimensões do espaço em que se resolvem as equações da teoria quântica de campos, conforme salienta J.J. Giambiagi<sup>27</sup> (1978). Queremos ressaltar que a realidade a que nos referimos, é uma parte da realidade objetiva do mundo (Ponomarev<sup>1</sup> (1973)). Ao enfatizarmos a realidade-matemática, não queremos com isso assumir uma atitude idealista-subjetiva (Rydnik<sup>28</sup>, 1965) em que o Universo, com seus fenômenos e leis físicas, exista somente na capacidade do *homo sapiens* em imaginar teorias (gerais ou especiais), porém, no momento, pelo menos no lado ocidental do mundo, cremos que uma das maneiras, quiçá a única, de descrever a realidade-física (parte da realidade objetiva do mundo), seja por intermédio da realidade-matemática. Por exemplo, os físicos entendem melhor um elétron livre relativístico, descrito pela equação de Dirac, do que qualquer descrição verbal do mesmo, por mais clara que esta seja. Capra<sup>12</sup> (1975), no entanto, acredita que a filosofia oriental é capaz de descrever o Universo físico da mesma maneira que a Física. É interessante frisar que várias formulações teóricas podem levar a uma mesma realidade-

matemática, como por exemplo, as formulações de Schrödinger, de Heisenberg, de Feynman e da matriz densidade para a mecânica quântica, e as formulações de Feynman, Tomonaga e Schwinger para a eletrodinâmica quântica.

Ao finalizarmos este trabalho, gostaríamos de dizer algo sobre a intuição. Para M. Schenberg<sup>29</sup> (1979) ela representa o elemento preponderante do desenvolvimento científico, já que muitas idéias foram primeiro intuídas para depois serem comprovadas dedutivamente. O próprio cientista brasileiro, acima referido, em 1941, teve a intuição de que certas interações físicas poderiam prescindir da conservação de paridade. A quebra da paridade nas interações fracas foi formulada por Lee e Yang, em 1956, e confirmada experimentalmente nesse mesmo ano por Madame Wu e colaboradores. Ainda é Schenberg<sup>30</sup> (1979) quem afirma que o próprio Newton em seu livro *Óptica* (1700) teve a intuição de que eram de natureza elétrica as forças que atuam dentro dos átomos, hipótese essa que só seria confirmada, cerca de 300 anos depois, com o advento da Teoria Atômica, que começou com a descoberta do elétron por J.J. Thomson, em 1897. O "buraco negro", como corpos

invisíveis e sem luz no espaço, foi pela primeira vez sugerido por J. Michell, em 1783, conforme salienta Mourão<sup>11</sup> (1979). No entanto, a hipótese de tratar-se de uma singularidade no espaço foi intuída por Laplace, em 1795, tendo K. Schwarzschild, em 1916, a partir das equações de Einstein, formulado a primeira teoria dos buracos negros não rotacionais. Uma série de exemplos poderiam ser dados a respeito da importância da intuição na elaboração do conhecimento científico, no entanto, o escopo deste trabalho não nos permite nos alongarmos. Concluiríamos dizendo que a intuição é um ato criador (Schenberg<sup>30</sup>, 1979).

Em suma, a análise que acabamos de fazer da cadeia de cognição do conhecimento físico, mostra que não existe uma sequência lógica entre o fenômeno observado e sua explicação por intermédio de uma teoria (modelo teórico bungeano) com os seus ingredientes (conceito, lei, fórmula e modelo) e que o crescimento desse mesmo conhecimento, ora se faz utilizando o racionalismo crítico (Popper<sup>31</sup>, 1975) através de "conjecturas e refutações", ora se faz utilizando o irracionalismo anárquico (Feyerabend<sup>7</sup>, 1975), em que tal

crescimento depende tanto da observação quanto da teoria, sem um sentido preferencial.

#### REFERÊNCIAS

- (01) - PONOMAREV, L., "In Quest of the Quantum", Mir Publishers, 1973.
- (02) - OSADA, J., "A Evolução das Idéias da Física", Editora Edgar Blucher e EDUSP, 1972.
- (03) - BUNGE, M., "Philosophy of Physics", D.Reidel Publishing Co., 1973.
- (04) - \_\_\_\_\_, "Teoria e Realidade", Editora Perspectiva-Debates, 1974.
- (05) - LUCIE, P., "A Gênese do Método Científico" Editora Campus, 1977.
- (06) - CATTANI, M. e FERNANDES, N., Comunicação Privada, 1975.

- (07) - FEYERABEND, P., "Contra o Método", livraria Francisco Alves Editora, S.A., 1975.
- (08) - POPPER, K., "O Conhecimento Objetivo", Editora Itatiaia e EDUSP, 1975.
- (09) - KUHN, T., "A Estrutura das Revoluções Científicas", Editora Perspectiva-Debates, 1975.
- (10) - OLDENBERG, O. e HOLLADAY, W.G., "Introdução à Física Atômica e Nuclear", Editora Edgard Blucher e EDUSP, 1971.
- (11) - MOURÃO, R. R. F., "Buracos Negros - Universos em Colapso", Editora Vozes, 1979.
- (12) - CAPRA, F., "The Tao of Physics", Shambhala, Boulder, 1975.
- (13) - BRUGGER, W., "Dicionário de Filosofia", Editora Herder, 1969.

- (14) - FEINBERG, G., "What is the world made of?", Anchor Press, 1978.
- (15) - EDMONDS, Jr., J. D., "Parton Confinement: A different perspective", *Found. Phys.*, 8, 1978.
- (16) - JAFFE, R. L., "Quark confinement", *Nature*, 268, 1977.
- (17) - ZAGURY, N. e FERREIRA, P. L., PUC-RJ, NC 25, 1977.
- (18) - CATTANI, M. e FERNANDES, N., *Acta Phys. Polonica*, B10, 1979.
- (19) - BASSALO, J. M. F., "Albert Einstein: Aspectos de sua vida e de sua obra", *O Liberal*, 8/7/1979.
- (20) - FRAZER, W. R., "Elementary Particles", Prentice-Hall, Inc. 1966.
- (21) - VAN DER WARDEN, B. L., "Sources of Quan-

tum Mechanics", Dover, 1967.

- (22) - LEITE LOPES, J., "Quarks for Hadrons and Leptons", *Rev. Bras. Física*, 5, 1975.
- (23) - \_\_\_\_\_, "Fundamentos da Eletrodinâmica Clássica", Faculdade Nacional de Filosofia da Universidade do Brasil, Série Científica nº 3, 1960.
- (24) - FREEDMAN, D. Z. and van NIEUWENHUIZEN, "Supergravity and the Unification of the Laws of Physics", *Scientific American*, 2/2978.
- (25) - BASSALO, J. M. F., "Os Prêmios Nobel de Física de 1979", *Boletim da SBF*, 1, 1980.
- (26) - FEYNMAN, R. P., "Quantum Electrodynamics" Benjamin Publishers, 1962.
- (27) - GIAMBIAGI, J. J. "Teoria Unificada de Interacciones Debiles y electromagnéticas", Departamento de Física da Uni-

versidade Federal de São Carlos, 1978.

- (28) - RYDNIK, V., "ABC'S of Quantum Mechanics", Peace Publishers, 1965.
- (29) - SCHENBERG, M., *Rev. do Ensino da Física*, SBF, 2, 1979.
- (30) - \_\_\_\_\_, "Einstein e a Relatividade Restrita", *Ciência e Cultura*, 31, 1979
- (31) - POPPER, K., "A Lógica da Pesquisa Científica", Editora Cultrix e EDUSP, 1975.

#### AGRADECIMENTOS

Muitos amigos contribuíram para que a primeira versão desse trabalho pudesse tomar a forma apresentada. Assim sendo, o mesmo não ficaria completo se não registrássemos os nossos agradecimentos aos professores MAURO SÉRGIO DORSA CATTANI e YASHIRO YAMAMOTO, da Universidade de São Paulo; ANTONIO LUCIANO LEITE VIDEIRA, da

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro; BENEDITO JOSÉ VIANNA DA COSTA NUNES, CARLOS CARDOSO DA CUNHA COIMBRA, CÉLIA COELHO BASSALO, PAULO DE TARSO SANTOS ALENCAR e PEDRO PINHO DE ASSIS, da UFPa, e aos alunos BENEDITO RODRIGUES e WILSON OLIVEIRA, pela leitura crítica e diversas sugestões apresentadas.

#### DEBATE

As críticas e reparos ao trabalho anterior, *A Cadeia de Cognição na Física*, do professor José Maria Bassalo, a quanto de sua apresentação, por parte dos professores Carlos Coimbra, Haroldo Calado, José Edison Ferreira, Benedito Nunes e Pedro Pinho Assis, do Departamento de Filosofia e Metodologia, em torno do processo de conhecimento, a partir do esquema metodológico em cadeia apresentada pelo autor, levaram a questões de ordem mais geral, como a do caráter da intuição e da natureza neutra ou ideologicamente comprometida da ciência. Para melhor fixar o seu ponto de vista, o professor José Maria Bassalo, apresentou, já no âmbito de um seminário, do qual os objetores concordaram em participar, o texto a seguir, *Neutralidade Científica e Intuição*. Da discussão desse texto registramos, resumidamente, as intervenções dos professores Carlos Coimbra e Haroldo Calado (*Dois Tópicos da Discussão*) e o resumo crítico dos debates (*As Linhas do Debate*) pelo moderador professor Benedito Nunes, antes da apresentação, na sessão que encerrou o seminário, do ensaio *A Ciência não é nada neutra, muito pelo contrário*, do professor Pedro Pinho Assis, aqui estampado.