

Maria Cristina Abdalla

São Paulo: Editora Unesp, 2006. 344 p.

Não há dúvidas que o número de livros escritos em sua língua é uma forma de medir o grau de desenvolvimento cultural de uma sociedade. No que concerne à cultura científica, o Brasil está passando por um ponto de inflexão com o surgimento de vários livros de divulgação científica, dentre eles o livro “O discreto charme das partículas elementares”, escrito pela professora Maria Cristina Batoni Abdalla, que será o tema desta resenha.

Antes de passar para a descrição do conteúdo do livro, gostaria de ressaltar que, embora não se trate de um livro didático, ao escrever um livro de divulgação científica o autor realiza internamente um processo de transposição didática. É necessário fazer escolhas de conteúdos e articulá-los de forma que ele possa realmente atingir o público alvo com uma perda mínima de precisão científica. Não há dúvidas que o saber encontrado em um livro de divulgação científica está deslocado de sua origem. Nesse caso, cabe à comunidade científica ajudar o autor no processo que Chevallard chamou de vigilância epistemológica (CHEVALLARD, 1991) de forma que se mantenha uma constante discussão, tendo como síntese livros e edições cada vez melhores. É nesse espírito de vigilância que esta resenha será escrita.

O livro da professora Maria Cristina pauta-se pelo uso de figuras criativas, desenhadas por Sergio Kon, dando personalidade às partículas elementares. Cada partícula tem uma imagem pictórica, como uma identidade, dando-lhe um caráter único. Partículas leves como léptons possuem asas; já o próton, que não é elementar, é representado por um monstinho todo costurado dando a entender que é formado por outras partículas. Entretanto, não são os desenhos de Sergio Kon o ponto mais forte deste livro, mas – do meu ponto de

---

<sup>+</sup> The unremarkable charm of the elementary particles

<sup>\*</sup> *Recebido: junho de 2006.*  
*Aceito: junho de 2006.*

vista – presença constante de um discurso envolvendo ciência, tecnologia e sociedade, que a autora costura com habilidade ao longo do texto. Em geral, é comum a mistificação dos cientistas e da ciência, processo que apenas aumenta a distância entre ciência e sociedade. Nesse livro, o conhecimento científico é apresentado de uma forma histórica, em que os cientistas cometem erros, idéias equivocadas são apresentadas e derrubadas, descobertas são feitas ao acaso (como a radiação cósmica de fundo), grandes investimentos e colaborações internacionais são feitos e, como resultado, não apenas respostas a questões de ciência básica são obtidas, mas também se produz a tecnologia presente em nosso cotidiano. Ao trabalhar de uma forma cuidadosa o binômio ciência-tecnologia, a autora ajuda a contextualizar a Física e torná-la pertinente ao leitor. Essa é a grande virtude deste livro e sua principal característica.

O livro começa por uma introdução histórica, a partir do conhecimento desenvolvido na Grécia antiga, onde nasceu a idéia de átomo, até a concepção atual de partícula elementar. Em seguida, no capítulo 2, a autora começa sua descrição das partículas elementares, tornando clara sua escolha didática. Em vez de estabelecer um marco teórico atual, que corresponderia a uma descrição dos dois pilares da Física de partículas elementares (mecânica quântica e relatividade restrita), a autora opta por descrever cada partícula seguindo a cronologia de suas descobertas, fazendo uma descrição detalhada das experiências e contextualizando as mesmas. Tal escolha possui a vantagem de aproximar o leitor do processo científico em que se deram as descobertas das partículas elementares, pelo menos no que concerne à parte experimental, visto que as experiências são descritas usando conceitos de física ensinados no ensino médio. Destaque aqui para o cuidado em descrever o funcionamento básico dos aceleradores de partículas, explorando as diferentes respostas de partículas carregadas a campos elétricos e magnéticos, um prato cheio para o professor que deseja contextualizar esses tópicos em aula no ensino médio. Entretanto, é impossível descrever 100 anos de pesquisa em Física de altas energias sem esbarrar em conceitos de mecânica quântica e relatividade, sendo que ao longo da descrição encontramos termos como função de onda (logo na página 26), spin e energia relativística. Dessa forma, tal escolha também se mostra perigosa, pois não há espaço para exposições teóricas mais detalhadas neste ponto do texto. Por exemplo, a descrição de spin aparece na página 30 em uma inserção, na qual a autora começa fazendo analogias com o movimento de rotação de um objeto em torno de seu eixo, o que pode facilmente levar à idéia que o spin é consequência de uma “rotação das partículas em torno de seu eixo” (lembrando que as partículas são objetos sem dimensão espacial). Tal imagem pode destruir todo o esforço da autora em mostrar para o leigo que as

partículas elementares não são “bolinhas”. Em seguida, a autora afirma que o spin é discreto, onde aparece pela primeira vez a constante de Planck e afirma que o spin é a resposta a simetrias espaço-temporais, sem mais explicações. Da mesma forma, para descrever a descoberta do nêutron na página 61, a autora precisa do princípio da incerteza para explicar porque não existem elétrons dentro do núcleo; entretanto, descreve o princípio de forma muito rápida e não o relaciona com outros pontos que aparecem no livro, como, por exemplo, a definição de fóton virtual que aparece na página 60. O conceito de partícula virtual é definido no glossário, mas, como até o momento o fóton é tratado da mesma forma que as demais partículas, o leitor pode ficar confuso com tal expressão. Essas inserções se mostram necessárias para a autora construir seu texto histórico, mas podem facilmente subtrair do leitor mais paciente a fruição da leitura. Digo impaciente porque, nos capítulos seguintes, conceitos mais teóricos são discutidos de forma precisa (na medida do possível) e didática, inclusive a importância das simetrias e transformações, com a definição dos números quânticos preservados por essas. Este tipo de problema decorre da escolha cronológica feita pela autora e mostra quão difícil é escrever um livro deste porte.

Ao final do capítulo 2, o leitor tem uma idéia clara e precisa do modelo padrão das partículas elementares, o qual a autora representa por uma série de caixas, em que cada partícula ocupa seu espaço. O caráter particular de cada partícula ajuda o leitor a entender seu papel. Assim, ao final desse capítulo, o leitor sabe que toda a matéria é formada por duas famílias: a família dos léptons e a família dos quarks, sendo que existem seis quarks e seis léptons. Os quarks ainda possuem um número quântico chamado cor e existem três cores. Para cada lépton e quark temos ainda uma antipartícula associada e, sendo assim, temos no total 12 léptons e 36 quarks. Os quarks se juntam para formar os hádrons que se dividem em bárions (formados por três quarks) e mésons (formados por um quark e um antiquark). Os prótons e os nêutrons são exemplos de bárions. A autora também descreve nesse capítulo, de forma bastante rápida, as interações fundamentais e seu papel na construção do modelo padrão. As partículas fundamentais interagem via gravitação (que não tem efeitos importantes no modelo padrão) e mais três forças fundamentais, essas sim de grande relevância: força forte, força fraca e eletromagnética. A subdivisão entre a família dos léptons e a família dos quarks é devida justamente ao tipo de interação que sentem. A carga da força forte é a cor e os léptons não possuem cor. Portanto, os léptons não interagem via força forte, diferentemente dos quarks. As interações fundamentais são descritas usando um ferramental teórico balizado na relatividade restrita e mecânica quântica. Ao fazermos isso, associamos a cada interação um conjunto de partículas mediadoras

chamadas bósons de *gauge*. Esse conceito é melhor trabalhado no capítulo 4. Cada interação tem seu bóson de *gauge* associado: o fóton (que possui massa zero) é o da força eletromagnética, os glúons (existem oito deles, todos não massivos) são os da força forte e a força fraca possui três ( $W^+$ ,  $W^-$  e  $Z^0$ , todos com massa). Os bósons de *gauge* são colocados na imagem pictórica do modelo padrão em uma coluna a parte, tornando clara sua fundamental diferença. Dessa forma, nesse ponto o leitor tem uma idéia clara de como pensamos hoje os tijolos fundamentais da natureza. Em particular, a autora enfatiza o papel importante das simetrias e leis de conservação, que ajudaram a entender, classificar e descobrir as partículas elementares. O leitor tem contato com processos nos quais uma partícula pode decair em outras e como tais processos são regidos por simetrias e leis de conservação que não podem ser violadas. É verdade que a descrição de grupos, simetrias e suas relações com leis de conservação é um assunto árduo e o leitor leigo pode ficar confuso nesta parte do livro. Mas também é preciso ficar claro que a linguagem matemática é inerente à física e muitos avanços na física de altas energias também se deram a partir de uma melhor compreensão da matemática por parte dos físicos. Isso aconteceu quando Dirac estudou objetos matemáticos chamados espinores e construiu uma equação quântica relativística que previu a existência de antipartículas, e quando Gell-Mann estudou representações do grupo  $SU(3)$ , organizando dessa forma todos os hádrons que estavam aparecendo nas experiências, e previu novos resultados. Essa mensagem fica clara no texto. Se por um lado alguns leitores possam sentir um certo desconforto em relação a alguns conceitos teóricos, a riqueza de detalhes com que as experiências são descritas tornam a leitura prazerosa, dando ênfase para a relação entre ciência básica e tecnologia. Por exemplo, a autora discute desde o avanço de novas emulsões de chapas fotográficas (que eram usadas para detectar o rastro deixado pelas partículas) até os aceleradores de partículas. Sem dúvida, a habilidade com que relata as histórias envolvendo os avanços da física de altas energias aproxima o leitor leigo e também faz deste livro uma excelente fonte para aqueles interessados em ensino de física moderna. O esforço envolvendo a descoberta do pión (um méson), com a participação brilhante do brasileiro Cesare Lattes merece destaque. Para o leitor ter uma idéia do estilo empregado no livro, farei um pequeno resumo aqui do que nele está descrito em detalhes.

O pión começa como uma hipótese teórica feita pelo físico japonês Hideki Yukawa em 1933. A idéia era tão boa que os laboratórios começaram uma corrida em busca dessa partícula e acabaram encontrando outra: o múon, que é um lépton. Erroneamente, a comunidade achou que se tratava da partícula proposta por Yukawa, mostrando que a ciência também evolui com erros e descobertas

ocasionais. A autora descreve com precisão como mésons oriundos de raios cósmicos podem ser encontrados. Após várias tentativas, o pión é encontrado por Lattes em 1947. Por que Lattes foi capaz de encontrar o pión e não os concorrentes de outros grupos que estavam fazendo a mesma experiência? A resposta é digna de nota. A autora nos conta que Lattes usou uma emulsão a base de bórax e os outros não. O bórax fez com que os traços deixados pelos píons ficassem mais visíveis, enquanto que a emulsão usada por outros grupos fazia com que o traço se apagasse logo. Esse tipo de sutileza presente no progresso científico dificilmente é encontrado em outros livros, e é o grande trunfo deste.

Nas páginas finais do capítulo 2, encontramos uma discussão sobre um dos grandes pilares do modelo padrão, ainda sem comprovação experimental: a partícula de Higgs. A partícula de Higgs ainda não foi detectada e é a partícula responsável pela separação da força eletrofraca. Quando o universo tinha uma temperatura da ordem de  $10^{15}$  K, as forças eletromagnética e fraca eram unificadas e constituíam a força eletrofraca, com quatro bósons de *gauge* não massivos. Em um certo ponto da origem do universo ( $10^{-12}$  segundos) a partícula de Higgs entra em cena gerando massa ao  $W^+$ ,  $Z^0$  e  $W^-$  e deixando o fóton sem massa, fazendo essa superforça se separar em duas: fraca (com bósons de *gauge* massivos) e eletromagnética, tendo o fóton como bóson de *gauge*. Temos evidências teóricas (e também uma certa crença) de que todas as interações eram unificadas numa só em um período ainda mais primordial do universo. Ainda não compreendemos essa teoria unificada, mas temos a certeza de que a compreensão da mesma é a chave para entendermos a origem do universo. A autora volta a esse ponto no final do livro. Por enquanto, retornando ao modelo padrão, a existência da partícula de Higgs é fundamental para o seu “funcionamento” e isso está muito bem claro no texto. A autora também torna visível o problema da hierarquia das massas através de figuras em escala. O quark top tem uma massa 40,6 vezes maior que o quark bottom, segundo mais massivo, que tem massa 3,3 vezes maior que o quark charme. Por que essa diferença? Dentro do modelo padrão, não temos como responder esta questão. Entretanto, na página 143, o texto pode dar a entender ao leitor mais desavisado que a descoberta do Higgs possa resolver esse problema, o que não é verdade.

No capítulo 3, intitulado “janelas para o invisível”, a autora define conceitos de mecânica quântica (que haviam ficado obscuros no capítulo anterior) e faz uma descrição detalhada da evolução dos aceleradores, começando pelo primeiro ciclotron, construído em 1929, até o LHC (Large Hadron Collider), que iniciará o seu funcionamento no CERN (European Laboratory for Particle Physics), Suíça, a partir de 2007 e terá condições de detectar a partícula de Higgs.

Uma das grandes características da física experimental de altas energias é descrita com primor neste capítulo: os grandes investimentos financeiros e as grandes colaborações internacionais. O leitor menos romântico poderia se perguntar por que, em um mundo governado pelo capital, cujo ente sagrado é o mercado, são feitos investimentos da ordem de dez bilhões de francos suíços para procurar a partícula de Higgs? A resposta encontra-se ao final do capítulo 3, no qual a autora mais uma vez explora a tríade ciência-tecnologia-sociedade para mostrar como a pesquisa básica da física de altas energias está também intimamente ligada à produção tecnológica, presente em diversas áreas e que possuem aplicação cotidiana direta. O exemplo mais relevante é o WWW (World Wide Web), criado no CERN para que físicos situados em diferentes regiões do mundo pudessem ajudar na análise dos dados. Não é necessário descrever o impacto que a internet causou em nossa sociedade, tanto nas nossas relações pessoais como em relações de mercado.

No capítulo 4, a autora faz uma descrição do paradigma básico da física das partículas elementares: a teoria quântica de campos. Novamente, alguns conceitos (como o de bósons de *gauge*) que poderiam ter ficado obscuros no capítulo 2 são tratados com cuidado aqui. A teoria quântica de campos pode ser considerada um método (existem físicos que a consideram uma teoria, outros um método) para se estudar as interações fundamentais em escalas nas quais a mecânica quântica e a relatividade restrita precisam ser usadas. A autora descreve neste capítulo como tratamos as interações fundamentais a partir desse paradigma, associando a cada interação uma partícula mediadora que é chamada bóson de *gauge* da interação. Por exemplo, elétrons interagem porque existe entre eles uma nuvem de fótons, que é a partícula da força eletromagnética. Obviamente que não podemos exigir precisão numa descrição como essa em um livro de divulgação. Entretanto, visto que a autora fez um enorme esforço para descrever os grupos de simetrias no capítulo 2, poderia voltar a esse ponto aqui e discutir os bósons de *gauge* neste contexto. Das quatro forças fundamentais, a gravitação é tratada separadamente, mostrando que ainda não sabemos como lidar com essa interação do mesmo modo como fazemos com as outras. O processo de unificação da força fraca com a eletromagnética é descrito novamente com mais detalhes. Senti falta de uma menção ao físico brasileiro José Leite Lopes, que também teve trabalho pioneiro neste assunto, principalmente na proposta do  $Z^0$ . Ao final deste capítulo, o leitor terá uma idéia mais precisa do modelo padrão e entenderá melhor o papel das interações fundamentais na construção do mesmo. Contudo, a autora torna claro que, embora o modelo tenha passado por vários testes experimentais, ainda existem problemas que nos levam a questões ainda mais fundamentais. O término do

capítulo 4 é um convite à leitura do próximo, que o leitor sem dúvida aceitará prontamente.

No capítulo final, a autora sai do nível microscópico das partículas elementares e transporta o leitor para a escala da astrofísica e da cosmologia. O leitor desavisado pode pensar que a autora mudou o tópico do livro, entretanto, neste capítulo é mostrado como a física teórica é interdisciplinar e problemas envolvendo partículas elementares tornam-se também fundamentais sob uma ótica cosmológica. Novamente, o livro é pautado por uma descrição histórica, desde os mitos da criação até a cosmologia moderna, incluindo discussões extremamente interessantes sobre o princípio antrópico. Destaque para a contribuição de Tycho Brahe e para a construção do observatório da ilha de Hveen, que na metade do século XVI desenvolvia o papel que o CERN tem hoje, sendo o grande centro de pesquisa da época. Ao descrever o trabalho dos gregos antigos, a autora não comenta o trabalho de Aristarco de Samos, que tinha uma teoria heliocêntrica. Uma menção a Aristarco tornaria seu discurso histórico mais rico. A autora descreve aqui a evolução do universo, desde o limite onde a física teórica tem ferramentas para descrever (cerca de  $10^{-35}$  segundos após o *big bang*) até os dias atuais. Neste capítulo a autora parece vencer a dicotomia precisão/clareza. A forma como obtemos dados astronômicos é tratada com enorme detalhe, sem nenhuma perda didática, incluindo revisões bastante claras do efeito Doppler e do átomo de Bohr. Entretanto, o modelo de Bohr poderia ter sido melhor contextualizado, tornando claro que, a partir do advento da mecânica quântica, os postulados de Bohr não são mais necessários. O texto pode dar a entender ao leitor leigo que o modelo de Bohr ainda se faz necessário para explicar o universo atômico. Os dados são extremamente atuais, incluindo os dados do BOoMERanG (Ballon Observations of Millimetric Extragalactic Radiation and Geophysics) lançado em 1998 na Antártica e da sonda WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe) lançada em 2001, que mostraram (entre outras coisas) que a expansão atual do universo é acelerada. A aceleração atual do universo é um dos grandes problemas da cosmologia moderna. A partir desses dados precisamos postular a existência da energia escura, algo que não sabemos o que é, mas que está acelerando a expansão do universo. Da mesma forma, a autora descreve em detalhes que, ao analisar a rotação de galáxias, dados mostram que ou a gravitação clássica deve sofrer alterações (algo um tanto improvável), ou existe matéria no universo que está fora do modelo padrão. Portanto, neste capítulo a autora torna claro que o modelo padrão não é uma porta fechada, mas sim uma porta aberta para as leis mais fundamentais da natureza. O modelo padrão das partículas elementares tem um espetacular suporte experimental, embora não seja compatível com as massas dos

neutrinos que chegam até nós oriundos do sol. É preciso salientar que não há lugar para neutrinos massivos no modelo padrão como conhecemos hoje, e esta é uma área de forte atividade. Mas um ponto ainda mais delicado é a partícula de Higgs. A experiência que começará a rodar no LHC em busca dessa partícula será fundamental e nossa geração vai viver um momento fantástico na história da física de altas energias. Embora existam alternativas teóricas para a geração de massa caso a partícula de Higgs não seja detectada, nenhuma tem o sucesso do modelo padrão. Pode-se afirmar sem riscos que o modelo de padrão é um programa de pesquisa sem concorrentes à altura. Portanto, caso a partícula de Higgs não seja detectada, haverá uma avalanche de novas idéias. Por outro lado, caso ela seja detectada, fecha-se apenas um capítulo nesta história.

Sem falar no problema da matéria e energia escura e da hierarquia das massas, existem várias questões fundamentais que ainda precisam ser respondidas. Por exemplo, o modelo padrão possui 16 parâmetros livres adimensionais, ou seja, parâmetros que precisam ser ajustados para que os resultados teóricos sejam compatíveis com os experimentais. É possível explicar de onde vêm esses parâmetros? Lembramos que uma teoria fundamental não deveria ter parâmetros livres. Outra questão essencial está relacionada com os grupos de *gauge* que escolhemos arbitrariamente para explicar os dados experimentais. O modelo padrão está balizado em três grupos de simetria, os grupos de *gauge* SU(3) da força forte, SU(2) da força fraca e U(1) do eletromagnetismo; por que a natureza escolheu esses grupos e não outros? O fato de o universo possuir três dimensões espaciais e uma temporal afeta todos os resultados do modelo padrão; por que o universo tem estas dimensões e não outras? Por fim, a questão cuja resposta possa solucionar todas as outras: como podemos acomodar a gravidade no modelo padrão e unificar as quatro forças fundamentais? Quando conseguirmos essa proeza, poderemos pensar em realizar o sonho de entender o começo do universo. No momento, sabemos que o modelo padrão está calcado numa física que está longe de responder essas questões e nem pretende fazê-lo. Está claro que esse modelo é uma teoria efetiva de outra mais fundamental. A única teoria fundamental que conhecemos hoje com potencial para responder tais questões, inclusive o problema da energia escura, é a teoria de supercordas, entretanto, ela ainda é um enorme edifício teórico que precisa urgentemente de um arcabouço experimental. Nos próximos anos, tanto dados oriundos do WMAP como do LHC no CERN e do NLC (Next Linear Collider) em Stanford poderão indicar pelo menos a direção para solucionarmos algumas dessas questões. Neste ponto, o livro da professora Maria Cristina desempenha um papel fundamental para o aumento de nossa cultura científica. Estamos, sem dúvida, vivendo um momento mágico na



física de altas energias, e o presente livro compartilha este momento com a sociedade em geral. O livro possui um glossário com termos técnicos que ajuda muito o leitor, mas um índice remissivo faz falta, dada a quantidade de informação contida no texto.

Para finalizar, gostaria de ressaltar que, embora seja de divulgação científica, o presente livro pode desenvolver um papel fundamental nas recentes mudanças no ensino de física, em que a introdução de conceitos de física moderna no ensino médio vem sendo bastante discutida e se faz mais do que necessária (REZENDE, 2001). O ensino médio desenvolve um papel importante na aproximação entre ciência e sociedade, visto que é o grau de ensino no qual os futuros sujeitos da sociedade terão seu primeiro contato – na maioria das vezes último – com a ciência. Entretanto, é um fato que o ensino de ciências no nível médio pouco vem ajudando nesse processo. A partir da LDB de 1996, o ensino por competências (embora não haja consenso sobre isso) apresenta-se como uma solução potencial para esse problema (entre outros), colocando a relação didática em perspectiva e assumindo-a como um problema de transposição didática (RICARDO, 2004). Ao assumir a relação didática em perspectiva, estamos pensando em um tempo e em um espaço fora dos muros da escola, onde os alunos estabelecem a sua relação com os saberes, sem a intervenção do professor. Neste ponto, a existência de bons livros de divulgação científica é tão fundamental quanto a harmonia da relação didática, calcada no triângulo professor-aluno-saberes. Ao explorar habilmente as relações entre ciência básica, tecnologia e sociedade, o livro da professora Maria Cristina apresenta uma física pertinente ao leitor, desenvolvendo, assim, um papel importante para que se estabeleça uma relação aluno-saberes incentivada pelo professor. Nesse contexto, a obra pode servir como suporte aos livros didáticos que já apresentam conceitos de física moderna e também pode ser usado como fonte para profissionais que trabalham em ensino de física, principalmente no que concerne à introdução de física moderna no ensino médio. Sem dúvida, um livro para estar em todas as bibliotecas.

*Daniel Luiz Nedel*  
Instituto de Física Teórica – Unesp  
São Paulo – SP

## **Referências**

RICARDO, E. C. Física. In: SEB/MEC. (Org.). **Orientações Curriculares do Ensino Médio**. Brasília: Secretaria da Educação Básica SEB/MEC, 2004. v. único, p. 170-206. Disponível em:

<<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/08Fisica.pdf>> Acesso em: 23 jun. 2006.

REZENDE JR., M. F. **Fenômenos e a Introdução da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio**. 2001. 170f. Dissertação (Mestrado em Educação) – Centro de Educação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

CHEVALLARD, Y. **La Transposición Didáctica: del saber sábio al saber enseñado**. Trad. Claudia Gilman. Buenos Aires: Aique Grupo Editor, 1991. 196p.