

O ÁTOMO DE BOHR EM LIVROS DIDÁTICOS DE FÍSICA: INTERAGINDO COM AUTORES*¹

Basso, Andreza C.^a

andrezabasso@yahoo.com.br

Peduzzi, Luiz O. Q.^b

peduzzi@fsc.ufsc.br

Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica^a - UFSC
Departamento de Física/Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica^b -
UFSC

Resumo

Neste trabalho apresenta-se uma análise da abordagem dada ao conteúdo do modelo atômico de Bohr em dois livros didáticos de física do Ensino Médio. A partir de alguns pontos denotados nos textos, foram encaminhadas questões para os autores com o intuito de esclarecer tanto aspectos epistemológicos como os relativos ao conteúdo específico. Os resultados mostram que a visão empirista é a que prevalece, pois pode ser observada nos textos e nas respostas dos autores.

Palavras-chave: Átomo de Bohr; Física Moderna; Livros Didáticos; Empirismo.

I. INTRODUÇÃO

Dentre os primeiros modelos atômicos, o de Rutherford apresenta o átomo como um sistema solar em miniatura, com um núcleo positivamente carregado no centro e elétrons girando em órbitas circulares ao seu redor. Entretanto, o modelo rutherfordiano apresentou dificuldades quanto à explicação da estabilidade dos elétrons orbitais, tendo em vista a eletrodinâmica de Maxwell.

Assim, Bohr passou a estudar um novo modelo para o átomo, mostrando que somente a física clássica é incapaz de lidar com fenômenos atômicos, e que o interesse em desvendar a estrutura atômica da matéria envolve uma física em um processo cheio de transformações.

Paralelamente à busca de um modelo atômico satisfatório, os cientistas desta época também estavam interessados em explicar as séries espectrais dos elementos químicos. Em 1885, Balmer descobriu empiricamente uma fórmula para calcular a posição de linhas do espectro na região visível do hidrogênio. Em 1908, Paschen encontrou séries espectrais do hidrogênio na região do infravermelho. No entanto, ainda não havia nenhuma teoria que justificasse esses valores obtidos. Nem mesmo o modelo de Rutherford, que foi um avanço científico na época, era compatível com o espectro descontínuo dos elementos (Braz Júnior e Martins, 2002).

A teoria de Planck sobre a quantização da energia e os estudos sobre os modelos atômicos sugeriam a possibilidade da existência de alguma relação entre a constante de Planck (h) e as dimensões atômicas. A obtenção dessa ligação foi dada por Bohr quando, a partir do modelo atômico de Rutherford, ele considera sistemas de um elétron e admite que o equilíbrio dinâmico nos estados estacionários (onde não há emissão de radiação) é

* Apoio: CAPES

¹ Trabalho submetido à apresentação no IV Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências, Bauru, São Paulo, 25 a 29 de novembro de 2003.

determinado pelas leis da mecânica ordinária. Todavia, essas leis não se aplicam durante a transição de um elétron de um estado de energia definida a outro. Ao postular que não há emissão de radiação por uma carga em movimento acelerado, nos estados estacionários, Bohr torna sua teoria incompatível com o eletromagnetismo maxwelliano.

A determinação das possíveis órbitas permitidas para o elétron envolve a quantização do momento angular. Assim, o elétron do átomo de hidrogênio pode assumir apenas valores que sejam múltiplos inteiros da constante de Planck dividida por 2π , em concordância com uma sugestão feita por J. W. Nicholson (Bohr, 1989; Tipler e Llewellyn, 2001).

Além disso, a teoria de Bohr estava centrada no fato de haver algum vínculo entre as energias dos elétrons em suas órbitas atômicas e as correspondentes frequências, conforme sugeria a teoria da radiação de Planck. Em função disso, Bohr postula que a radiação emitida durante a transição de um estado estacionário a outro é homogênea e dada por $E = h\nu$.

Em 1913, Bohr apresentou sua teoria para o átomo de hidrogênio (aqui considerado). Além de desvendar o paradoxo da instabilidade do átomo de Rutherford, também explicou a formação das linhas de absorção e emissão do espectro do hidrogênio.

Como parte integrante da história da Física Moderna, o átomo de Bohr tem sido abordado em livros de Física do Ensino Médio atendendo, entre outras coisas, às orientações dos Parâmetros Curriculares Nacionais (Brasil, 1999). Por se tratar de um tema novo, explorado com certo detalhamento em edições recentes de alguns livros, o seu tratamento didático pode e deve ser objeto de pesquisa.

Assim, em um trabalho anterior (Basso e Peduzzi, 2003), foram analisados quatro livros de Física do nível médio, com o intuito de caracterizar como em geral se apresenta o modelo atômico de Bohr nesses materiais. A amostra foi composta pelos seguintes títulos: “Física 3” (Cabral e Lago, 2002); “Física 3” (Gaspar, 2001); “Tópicos de Física 3” (Gualter, Newton e Helou, 2001); “Temas de Física 3” (Bonjorno e Clinton, 1997). Além do contexto histórico em que se situa o tema, examinou-se alguns atributos gerais presentes nos textos, como notas explicativas, lembretes de tópicos importantes, exemplos de aplicação, sugestões de atividades experimentais, exercícios propostos, figuras, quadros desvinculados do corpo do texto (boxes) e analogias.

Os resultados do estudo evidenciaram que não há uma convergência de pensamento entre os autores, pois cada livro apresenta características distintas na maneira de focar o assunto. Entretanto, em algumas obras verificou-se a ausência de determinados tópicos considerados essenciais para a contextualização do tema, como por exemplo, referências ao modelo atômico de Rutherford, aos estudos de Planck para a radiação do corpo negro e ao efeito fotoelétrico. Também, em dois dos livros analisados não houve qualquer menção às séries já conhecidas empiricamente para o átomo de hidrogênio. Em geral, o problema do qual Bohr partiu ao formular a sua teoria não é apresentado com clareza nos textos.

Neste trabalho estuda-se a abordagem dada ao conteúdo do modelo atômico de Bohr em dois dos livros (**Física 3** Cabral e Lago, 2002 e **Física 3** Gaspar, 2001) examinados no estudo acima mencionado. A partir desta análise, principalmente, foram elaboradas e encaminhadas questões aos respectivos autores, com o intuito de esclarecer algumas dúvidas. O posicionamento dos autores ensejou inferir suas concepções epistemológicas sobre o assunto.

II. A ABORDAGEM DO ÁTOMO DE BOHR NOS LIVROS DIDÁTICOS: ORIGEM DAS QUESTÕES PARA A INTERAÇÃO

O livro **Física 3** (Gaspar, 2001) utiliza a seguinte estratégia para apresentação do átomo de Bohr:

No primeiro parágrafo o texto afirma que “era consenso, na década de 1910, que a compreensão da estrutura elementar do átomo de hidrogênio deveria não só basear-se na fórmula de Balmer, mas também justificá-la”. A hipótese de que há uma relação entre as raias luminosas e as frequências emitidas pelo hidrogênio com sua estrutura interna, é chamada pelo autor de uma espécie de ‘código da natureza’, que Balmer descobriu, mas não entendeu. Coube a Niels Bohr solucionar essa questão:

“Bohr estava convencido de que a introdução do quantum de ação de Planck resolveria as dificuldades do modelo do átomo de Rutherford. A descontinuidade da natureza deveria impedir, de alguma forma, o contínuo movimento em espiral do elétron em direção ao núcleo previsto pela física clássica.”

Para explicar o raciocínio de Bohr, o autor propõe inicialmente que seja suposto que os elétrons só podem ter órbitas circulares e de qualquer raio. Contudo, salienta que de acordo com a Física Clássica essas órbitas seriam instáveis. Em seguida, menciona que as raias dos espectros, de acordo com a fórmula de Balmer, estavam associadas a números inteiros, o que teria permitido a Bohr concluir que esses números deveriam estar ligados a órbitas estáveis ou estados estacionários, nos quais os elétrons poderiam permanecer indefinidamente sem perder energia.

Como se pode observar, o texto transmite a idéia de que o estudo de Bohr além de utilizar os resultados de Balmer, também deveria justificá-los. Ou seja, há uma visão empirista veiculada no desenvolvimento do conteúdo.

A seguir, são introduzidas, sem mencionar como foram obtidas, as expressões para os raios das órbitas, r_n , e níveis de energia, E_n , do elétron: $r_n = n^2 \frac{\epsilon_0 h^2}{\pi m e^2}$ e

$$E_n = -\frac{1}{n^2} \frac{m e^4}{8 \epsilon_0^2 h^2}.$$

O sinal da energia é negativo “*porque a energia em uma órbita n no infinito é nula, como convenciamos no estudo do potencial elétrico, e a carga do elétron é negativa. Assim, no infinito, a energia do elétron atinge seu valor máximo, que é zero. Na órbita mais próxima do núcleo, de ordem $n=1$, a energia do elétron é mínima, pois é negativa*”. Aqui, para uma melhor compreensão do aluno, talvez devesse ser enfatizado que a energia negativa indica que o elétron não tem energia suficiente para escapar do átomo. Um gráfico dos níveis de energia de um elétron no átomo de hidrogênio em função das órbitas n é apresentado e comentado.

Na seqüência, é exibido o que o autor chama de ‘segundo postulado de Bohr’ dividido em duas partes: a primeira afirma que o elétron só pode ocupar órbitas bem determinadas e permanecer nelas sem emitir radiação; a segunda explica os saltos quânticos através da absorção ou emissão de fótons de energia $E = hf$, onde a diferença de níveis de energia entre dois estados estacionários é dado pela expressão $E_{final} - E_{inicial} = hf$. Através de figuras, demonstra o mecanismo dessas transições e relaciona a mudança de órbitas com as raias H_α e H_β do espectro de hidrogênio.

Em um ‘boxe’ denominado **História**, é apresentado um pouco da vida de Bohr e suas relações com outros físicos. Em outro, chamado **Aprofundamento**, menciona que Bohr fundamentou sua teoria em dois postulados básicos.

No último parágrafo do texto, o autor conclui sua explanação destacando o mérito da teoria de Bohr, ressaltando que “*Bohr chegou a uma genial solução para o modelo atômico de Rutherford: ajustou com extraordinária simplicidade a descontinuidade dos espectros, expressa pela fórmula de Balmer, ao quantum de ação de Planck, oriundo da radiação do corpo negro, e ao quantum de luz de Einstein, do efeito fotoelétrico. Um resultado extraordinário para um procedimento teórico tão ambíguo!*” (p. 346)

No livro **Física 3** (Cabral e Lago, 2002) os conteúdos relativos ao átomo de Bohr estão dispostos na seguinte forma:

Na seção “O espectro dos elementos”, é apresentada a expressão para a série de Balmer e mencionado que estas, posteriormente, foram ‘elegantemente’ explicadas por Niels Bohr. Em seguida, introduz a essência dos postulados de Bohr, interligando os dois assuntos. Como esses postulados constituem o ‘núcleo duro’ da teoria de Bohr, seria de se esperar que eles fizessem parte da seção seguinte, específica sobre o átomo de Bohr. A apresentação dos postulados no estudo dos espectros enseja a inferência de que os autores tentam explicar os resultados da experiência através do uso da teoria, induzindo com isso uma visão empirista.

O texto ressalta que o modelo de Bohr mostrava que as possíveis energias do elétron podiam ser calculadas pela expressão

$$E_n = -\frac{1}{n^2} \frac{m_e e^4}{8\epsilon_0^2 h^2} = -\frac{13,6}{n^2} eV$$

da diferença entre as energias de dois níveis, é possível determinar a frequência da onda emitida nessa transição e, assim, explicar o espectro (de emissão) do hidrogênio. No contexto da disposição dos conteúdos da seção, esta relação tem claramente a função de propiciar a explicação de um resultado experimental.

A seção específica sobre o modelo atômico de Bohr inicia com uma abordagem do átomo de Rutherford, destacando a sua ‘falha incorrigível’, de acordo com a eletrodinâmica de Maxwell. Em seguida, os autores expressam que “*Bohr, em 1913, propôs uma solução engenhosa para este problema. Usando o conceito de quantização, proposto por Einstein para o efeito fotoelétrico e por Planck para a radiação do corpo negro (osciladores), estipulou que a energia dos elétrons em suas órbitas em torno do núcleo também era quantizada*” (p.505).

A seguir, é mencionado que a passagem de um nível de energia para outro ocorre com a emissão ou a absorção de um *quantum* de energia. E também, que Bohr calculou a energia de cada nível do átomo de hidrogênio e obteve um valor de $-13,6/n^2$ eV. Contudo, os autores não explicam como se chegou a esse resultado. O valor negativo da energia é interpretado como um indicativo de que ‘o elétron está preso ao núcleo’.

Como se pode observar, a prioridade e ênfase conferida ao estudo dos espectros faz com que os autores se tornem repetitivos. A seção é concluída com a afirmação de que o espectro do átomo de hidrogênio é corretamente explicado pelo modelo de Bohr.

É interessante destacar ainda que, entre os livros analisados, este é o único que propõe objetivos a serem atingidos com o estudo, propiciando uma orientação a professores e alunos.

III. INTERAGINDO COM OS AUTORES

Nesta seção, apresenta-se as perguntas encaminhadas aos autores das obras em estudo e as respectivas respostas, comentadas.

As questões a seguir foram respondidas pelo professor Alberto Gaspar, autor do livro **Física 3**.

QUESTÃO 1- Esta questão está relacionada ao ‘boxe’ **Aprofundamento**, da página 345 do livro **Física 3**.

Os postulados formulados por Bohr ao propor o seu estudo para o átomo fundamentaram todo o desenvolvimento de seu modelo. Neles estão as principais considerações feitas em sua teoria, ou seja, eles são o *núcleo* de seu programa de pesquisa².

² Lakatos,1979.

Tendo em vista a importância dos postulados no desenvolvimento do modelo atômico de Bohr, pergunta-se: é conveniente colocar os postulados e ‘hipóteses contraditórias de Bohr’ fora do corpo do texto e, ainda, considerá-los como um aprofundamento do assunto? A denominação **Aprofundamento** é devido a esta parte do conteúdo ser considerada inacessível ao aluno do Ensino Médio ou não interessar diretamente a este nível? Que sugestão poderia ser dada ao aluno para a abordagem dos ‘boxes’ (**História, Aprofundamento**): eles devem ser estudados preferencialmente na seqüência em que foram apresentados no texto ou apenas ao final do estudo?

Resposta 1 - O autor inicia afirmando que a origem e o critério para a utilização dos quadros ou boxes foi a fluência do texto. Destaca que muitas vezes as “*explicações das explicações tornavam o texto confuso ou muito difícil de redigir*”, o que o fez optar por sua desvinculação. Com essa separação ele acredita que a leitura e o entendimento dos textos, em geral, tornam-se mais fáceis, uma vez que podem ser feitas em dois níveis de complexidade.

À denominação **Aprofundamento**, o autor expõe que esta significa exatamente uma abordagem “*um pouco mais aprofundada*”, mas que não visa restrições quanto ao nível de ensino de que está tratando. Enfatiza que o objetivo é proporcionar ao aluno a oportunidade de realizar duas ou mais leituras.

Alerta ainda para um aspecto que passou despercebido na hora da elaboração das questões: o fato de que, no começo do livro, há orientação específica em relação à forma com que os quadros deveriam ser abordados: “*Aliás, no início do livro há duas páginas que dão essa orientação, ou seja, sugerem que o aluno leia primeiro todo o texto do capítulo e depois retorne a ele incluindo alguns quadros nessa releitura*”.

Quanto à escolha dos quadros para a releitura, indica aos alunos que consultem o seu professor. “*Acho que o professor é quem sabe melhor o que o aluno pode entender e quem pode avaliar melhor a adequação dessas leituras às suas aulas*”.

QUESTÃO 2 - O comentário a seguir refere-se ao ‘boxe’ denominado **História**, também localizado na página 345 do livro **Física 3**.

Sabe-se, através de inúmeros estudos, que são muitas as discussões relacionadas à pertinência ou não da utilização didática da história da ciência no Ensino de Ciências. Há pesquisadores que defendem a sua utilização e acreditam que ela realmente contribui para a construção do conhecimento científico. No entanto, muitos se posicionam contrários, alegando os mais diversos motivos. Zanetic (1989)³ examina bem essa questão. Entre outras coisas, destaca que em textos didáticos de disciplinas introdutórias de cursos superiores e nos destinados ao Ensino Médio têm-se quase sempre ‘arremedos de história’, os quais classifica como sendo: seqüências cronológicas de datas de grandes invenções e descobertas; datas de nascimento e morte de personagens envolvidos nos acontecimentos e ilustrações representando os personagens e seus feitos. Sendo assim, não seria melhor dar outra designação ao conteúdo proposto nesse ‘boxe’, tendo em vista que ele não apresenta informações necessárias para se considerar como uma história adequada - que auxilie na aprendizagem, motive e estimule o aluno a buscar novas informações? Não seria mais apropriado chamá-lo de ‘curiosidades’, ‘saiba que’, ou ‘um pouco da vida de Bohr’, ou qualquer outra coisa que não fosse **História**?

Resposta 2 - Na resposta a essa questão o autor inicialmente esclarece que não compartilha de receios de pesquisadores quanto à qualidade da história apresentada nos livros textos. Afirma ser adepto de uma pedagogia vigotskiana na qual “*não há informações contraproducentes, desde que tenham pertinência*”.

³ Zanetic, J. **Física Também é Cultura**. São Paulo:USP, Tese de Doutorado, 1989.

Elucida ainda que não vê “*mal algum*” em apresentar apenas o lugar e data de nascimento de um personagem, embora afirme não ter feito isso. Salienta que, “*mesmo essa informação pode ser útil ao aluno e/ou professor, pois dá a eles a oportunidade de localizar o cientista num contexto histórico e geográfico, o que sem ela não seria possível (nossos professores são extremamente carentes de recursos e informações – tenho certeza que eles apreciam até mesmo essas pobres informações)*”.

Quanto ao questionamento referente ao nome do quadro **História**, o autor transcreve quatro dos quinze significados do verbete história do Dicionário Houaiss:

7. conjunto de dados concernentes a um indivíduo ou coisa - Ex: a h. [história] de uma família; 8. caso, aventura ou problema particular - Ex: a h. de um divórcio; 9. relacionamento (p.ex.,o amoroso) - Ex: durou anos a h. entre os dois; 10. seqüência de ações, de acontecimentos reais ou imaginários; enredo, trama - Ex: a h. do filme envolve o espectador.

Afirmado que a pergunta feita restringe muito o sentido conferido ao termo história, destaca que “*história é também o que eu coloquei nos quadros, dados que me pareceram relevantes para a compreensão do conceito ou do contexto em que ele foi formulado*”. A história apresentada pelo quadro do livro é a seguinte:

Niels Bohr

O físico dinamarquês Niels Bohr (1885-1965) era filho de um eminente fisiologista e da filha de um rico banqueiro judeu. Niels começou a se interessar pela Física ainda criança, estimulado pelo pai. Com vinte anos de idade ganhou um prêmio de pesquisa da Academia Dinamarquesa de Ciência e, aos 26 anos, depois do seu doutoramento foi trabalhar na Inglaterra com J.J. Thomson no laboratório Cavendish, em Londres. Depois de alguns meses mudou-se para Manchester, onde ficou quatro anos trabalhando com Rutherford.

Em 1913 propôs o seu modelo atômico, resolvendo as dificuldades do modelo atômico de Rutherford. Em 1919, voltou à Dinamarca como professor de física teórica. Como Rutherford, Bohr também formou uma equipe de físicos extraordinários. E, como ocorreu com Planck e Einstein, as idéias revolucionárias de Bohr demoraram a ser aceitas e reconhecidas, tanto que o Prêmio Nobel só lhe foi concedido em 1922.

Na seqüência, o autor deixa evidente que não acredita que se possa ensinar Física a partir da história, mas que o conhecimento do contexto e de algumas particularidades da vida do cientista ajudam a compreender a Física. De qualquer modo, o significado do termo história, configurado na pergunta, é claramente diferente daquele que lhe confere o autor.

QUESTÃO 3 - O questionamento a seguir refere-se ao terceiro parágrafo da página 344 do livro **Física 3**.

Segundo Lakatos (1979)⁴, o problema básico de Bohr era explicar o ‘*enigma de como os átomos de Rutherford podiam permanecer estáveis*’. No entanto, alerta para o fato de que como as séries de Balmer e Paschen já eram conhecidas antes de 1913, alguns historiadores apresentar a história como um exemplo de ‘ascensão indutiva’ baconiana, constituída das seguintes etapas: 1. O caos das linhas do espectro, 2. A lei empírica de Balmer e 3. A explicação teórica de Bohr.

Jammer, citado em Lakatos (1979), afirma que Bohr não ouvira falar nas fórmulas de Balmer e Paschen antes de escrever a primeira versão de seu trabalho. Além disso, Lakatos complementa que “*o progresso da ciência pouco se teria atrasado se nos faltassem os*

⁴ Lakatos, I. O falseamento e a metodologia dos programas de pesquisa científica. In Lakatos, I. & Musgrave, A. (orgs), **A crítica e o desenvolvimento do conhecimento**. São Paulo, Cultrix, 1979.

louváveis ensaios do engenhoso mestre-escola suíço: a linha especulativa da ciência, levada adiante pelas ousadas especulações de Planck, Rutherford, Einstein e Bohr teriam produzido dedutivamente os resultados de Balmer, como enunciados-testes de sua teoria, sem o chamado ‘pioneirismo’ de Balmer”.

No terceiro parágrafo do texto analisado consta que “... *as raias dos espectros isoladas e descontínuas estavam associadas a números inteiros n , de acordo com a fórmula de Balmer. Bohr concluiu que esses números estariam associados às órbitas, que seriam estáveis*”. As informações contidas neste parágrafo transmitem a idéia de que Bohr se utilizou dos resultados de Balmer para determinar as possíveis órbitas para os elétrons. Este escrito não estaria passando uma visão empirista para o aluno?

Resposta 3 - Para esclarecer essa questão o autor explicita que baseou o conteúdo dos capítulos 13 e 14 no livro “*Dos raios X aos quarks*” de Emílio Segrè (1987), que na página 125 traz a seguinte afirmação atribuída a Bohr: “*Logo que vi a fórmula de Balmer, tudo se tornou claro para mim*”.

No parágrafo a que Gaspar se refere, Segrè afirma que:

*“Era óbvio que [Bohr] estava muito entusiasmado com o modelo, mas ainda não tinha analisado o espectro de hidrogênio. Os espectros tornaram-se a grande chave para o que veio depois, mas eram considerados muito complicados e um campo aparentemente indecifrável na época. No início de 1913 é que um estudante seu amigo, Hans Marius Hansen, indagou de Bohr o que é que seu modelo tinha a dizer a respeito dos espectros. Quando Bohr afirmou que nada tinha a dizer sobre o assunto, Hansen aconselhou-o a dar uma olhada na fórmula de Balmer. ‘ Logo que vi a fórmula de Balmer, tudo se tornou claro para mim’ – **declarou Bohr muitos anos mais tarde** (grifos nossos)”.*(Segrè, 1987, p. 125)

Percebe-se que quando Bohr foi indagado sobre o que seu modelo tinha a dizer sobre os espectros, ele ainda nada sabia a respeito. É importante salientar que esta questão foi feita no início de 1913 e, segundo o próprio Segrè, o primeiro artigo escrito e publicado sobre o átomo de Bohr está datado de 5 de abril de 1913. Nota-se que passou muito pouco tempo entre questionamento, resposta de não conhecimento e publicação sobre o modelo.

Além disso, a declaração de que ‘após conhecer a fórmula de Balmer tudo ficou claro’, foi feita por Bohr **anos mais tarde**. Desse modo, ela parece não fornecer fundamentação suficiente para poder afirmar que Bohr utilizou-se dos resultados de Balmer para desenvolver sua teoria (que é o que o livro **Física 3** sugere).

Depois, Gaspar menciona que em toda a sua coleção combateu veemente a transmissão da visão empirista. E que não seria o detalhe observado que invalidaria todo o resto. É importante salientar que não é, evidentemente, possível e nem intenção dos autores deste trabalho generalizar a partir de uma única instância, sob pena de incidência em um indutivismo ingênuo, sem uma ampla análise dos três volumes.

Na seqüência, explicita: “*Acho também que é importante dar ao aluno a oportunidade de perceber de onde vieram os insights dos cientistas, e a experimentação sempre foi pródiga em oferecer insights.*”

Aqui, o vínculo insight-experimentação, mesmo sem a intenção do autor, pode reforçar o empirismo.

Em seguida, Gaspar critica quem faz a crítica:

“Acho que você está com uma preocupação exagerada com possíveis idéias erradas que podem ser passadas aos alunos. Como já disse, essa idéia de que uma idéia errada é algo que prejudica indelevelmente o entendimento do aluno é, também, uma idéia errada...toda a idéia inicial adquirida em qualquer aprendizagem, por qualquer

processo, sempre tem incorreções. É da natureza da mente humana. Quem garante é Vigotski”.

QUESTÃO 4 - A informação comentada a seguir também se encontra na página 345 no ‘boxe’ **Aprofundamento**.

O texto afirma que foram dois os postulados formulados por Bohr. Entretanto, em sua obra “Sobre a constituição de átomos e moléculas”, Bohr enumera cinco postulados (Bohr, 1989). Embora o conteúdo destes postulados possa eventualmente ser agrupado em um número menor, para fins didáticos, esta se constitui em uma informação incorreta. Não seria adequado fazer um comentário a esse respeito?

Resposta 4 – “*Não disse que eram só dois, disse que eram os dois ‘postulados básicos’. Mas concordo com você, vou corrigir e fazer o comentário que você sugere na próxima reimpressão”.*

Os dois postulados enunciados no livro são:

1. Que o equilíbrio dinâmico dos sistemas nos estados estacionários pode ser discutido com o auxílio da mecânica clássica; enquanto a passagem do sistema entre estados estacionários diferentes não pode ser tratada da mesma forma.

2. Que o segundo processo é seguido pela emissão de uma radiação homogênea, para a qual a relação entre a frequência e o total da energia emitida é dada pela teoria de Planck.

Apresentam-se agora, os questionamentos direcionados aos professores Fernando Cabral e Alexandre Lago, autores do Livro “Física 3”.

QUESTÃO 1- O comentário a seguir refere-se ao conteúdo do final da página 502 e ao primeiro parágrafo da página 503, do livro **Física 3**.

A concepção empirista da ciência considera que a construção do conhecimento científico se inicia com a observação. Segundo Bacon⁵, a natureza é quem dá os fatos e a única tarefa do cientista é descobri-los. Mas para isso, ele deve estar com a mente livre de preconceitos ou fontes de ilusão cognitiva⁶.

Para os empiristas, a observação de um grande número de fatos e experimentos, a elaboração das hipóteses e a comprovação experimental permitem conclusões que, por indução, levam à formulação das leis e teorias gerais. Desta forma, chega-se ao verdadeiro conhecimento científico. Estas etapas a serem seguidas mecanicamente caracterizam o chamado *método científico* que, segundo Gil Pérez et al. (2001), constitui-se em uma *visão deformada do trabalho científico*.⁷

Para Popper (1982)⁸, por exemplo, a ciência começa com um problema e não com uma observação. Uma característica dominante da moderna filosofia da ciência é a concepção de que toda a observação está impregnada de teoria (Hanson, 1975)⁹.

No entanto, vários trabalhos de pesquisa denotam que a concepção empirista-indutivista é a que prevalece na sala de aula e nos materiais didáticos (Köhnlein e Peduzzi, 2001)¹⁰,

⁵ Bacon foi o primeiro a sistematizar a filosofia empirista.

⁶ Bacon, F. **Novum Organum ou Verdadeiras Indicações acerca da Interpretação da natureza**. São Paulo, Editora Abril Cultural, 1979.

⁷ Gil Pérez, et al. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência & Educação**, v.7, n.2, p.125-153, 2001.

⁸ Popper, K. R. **Conjecturas e Refutações**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1982.

⁹ Hanson, N. R. Observação e Interpretação. In: **Filosofia da Ciência**. São Paulo: editora Cultrix, 1975. Morgenbesser, S. (org.).

Moreira e Ostermann, 1993¹¹). Um dos motivos de ela continuar arraigada é porque reforça a convicção de que o conhecimento científico derivado dos dados e da experiência por ser provado, é definitivo e confiável.

Ao analisar a disposição dos conteúdos na seção sobre os espectros observa-se que os postulados estão inseridos como explicação para os resultados empíricos das séries. Sabendo-se que os postulados de Bohr são fundamentais em sua teoria, pergunta-se: não seria mais adequado dispô-los na seção específica sobre o modelo atômico de Bohr? Isso evitaria que fosse transmitida uma visão empirista pelo texto e ainda, poderia servir de base para a apresentação das expressões fundamentais do modelo. Na explanação feita pelo livro não fica subentendido que Bohr estava preocupado em explicar os resultados empíricos conhecidos, ao invés de desvendar o paradoxo da estabilidade do átomo de Rutherford?

Resposta 1 - Os autores iniciam explicitando que ao apresentarem a Física Quântica foram mostradas três situações experimentais “*que levaram à formulação de Bohr*”: a radiação do corpo negro, o efeito fotoelétrico e os espectros de emissão e absorção do hidrogênio. “*Essas observações foram de grande valia para que se chegasse a um modelo de átomo*”.

A resposta dos autores corrobora a impressão inicial sobre a disseminação da visão empirista associada a esse assunto, uma vez que destacam três situações experimentais que, supostamente, levaram Bohr a formular seu modelo. Em seguida, justificam que o motivo da disposição dos experimentos antes do modelo de Bohr é devido à seqüência histórica, já que a fórmula de Balmer para as linhas espectrais é de 1885 e, portanto, anterior à teoria de Bohr. Conforme mencionam: “*Esperamos que a seqüência histórica facilite a compreensão dos alunos neste nível. Achamos que isso também facilita o professor na abordagem do assunto*”.

Os autores não fizeram referência a dois pontos da questão proposta: à visão empirista observada no texto e a possível disseminação da informação de que Bohr estava preocupado em explicar os resultados empíricos ao invés de desvendar a instabilidade do átomo de Rutherford. É importante salientar que a seqüência cronológica pode, sem dúvida, ser adotada e propiciar resultados positivos, no entanto, ela não deve tornar implícito ou suscitar o surgimento do empirismo.

QUESTÃO 2 - A pergunta a seguir está relacionada com os objetivos listados na página 493 do livro **Física 3**.

Entre os livros analisados até o momento, este é o único que propõe objetivos relativos à aprendizagem. Esta é uma característica importante, pois eles propiciam uma orientação tanto para o professor quanto para o aluno no desenvolvimento das atividades. Além disso, os objetivos podem servir de parâmetro para fins de avaliação. Quais os critérios utilizados na definição dos objetivos? Por exemplo, foram levadas em consideração as sugestões dadas pelos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio, os quais visam, entre outras coisas, o desenvolvimento de habilidades e competências?

Resposta 2 – Na resposta dada a essa questão, os autores afirmam que sempre se nortearam pelos parâmetros curriculares. Destacam que os objetivos foram direcionados para aspectos mais importantes do conteúdo presentes em cada capítulo e pelo que eles imaginavam possível de ser alcançado com o estudo. Explicam ainda, que os objetivos não foram subdivididos em gerais e específicos, pois esta terminologia poderia confundir o aluno.

¹⁰ Köhnlein, J. F. K. e Peduzzi, L.O.Q., Sobre a concepção empirista-indutivista no ensino de ciências. **Atas VII Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Física**. 5 a 8 de junho de 2002. Águas de Lindóia – SP.

¹¹ Moreira, M.A. e Ostermann, F. Sobre o ensino do método científico. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v.10, n.2: p.108-117, ago.1993.

Não se atendo somente à pergunta, os autores indicam ser importante observar que em todos os exercícios resolvidos foi atribuído um título que identifica a ‘situação problema’. Sugerem, neste caso, que o professor pode trabalhar essa situação antes da resolução numérica do exercício resolvido.

QUESTÃO 3 - O próximo questionamento está direcionado ao segundo parágrafo da página 505 do livro **Física 3**.

As expressões para a energia e para os raios das órbitas são fundamentais no modelo atômico de Bohr, pois através delas sabe-se quais órbitas são possíveis para o elétron e que energia ele pode ter em cada órbita. No entanto, a expressão para a energia é apresentada no estudo dos espectros, ou seja, em um local que não parece ser o mais adequado. No estudo específico sobre o átomo de Bohr é apenas destacado que Bohr calculou a energia de cada nível do elétron e obteve o valor de $-13,6/n^2$, mas não é mencionado de onde provém este valor. Não seria melhor explicar mais detalhadamente a expressão? Por que não apresentar a relação completa para a energia na seção específica do modelo atômico de Bohr ao invés de no estudo dos espectros?

Resposta 3 – Os autores afirmam que concordam com as sugestões feitas nesta questão e que irão reformular esta parte do texto na próxima edição do livro. Explicam que na edição analisada eles optaram por apresentar os valores para os níveis de energia de maneira mais simples, *“de modo a facilitar tanto o aprendizado do aluno quanto a árdua tarefa do professor em introduzir um assunto com tamanho grau de abstração para alunos de Ensino Médio, normalmente com muito pouco tempo disponível”*.

QUESTÃO 4 - A formação específica dos autores é na área de ciências exatas, ou seja, não é direcionada para o ensino. Isto causa uma certa curiosidade em se saber quais os motivos que os levaram a dedicar-se à produção de material didático: como surgiu o interesse pela produção de livros didáticos para o Ensino Médio? Por que este foi o nível de ensino escolhido uma vez que ambos os autores são professores universitários?

Resposta 4 – Inicialmente os autores destacam que esta é uma questão difícil de ser respondida concisamente, mas que escrever este tipo de material - os livros didáticos- lhes deu grande prazer. Explicam que alguns eventos combinados determinaram o início da produção de livros didáticos para o Ensino Médio: ambos tinham filhos cursando o Ensino Médio o que forneceu uma idéia das dificuldades pelas quais eles passavam com o material didático que recebiam de colégios e cursinhos. Além disso, salientam que ao mesmo tempo, eles ministravam aulas para alunos adolescentes nas fases iniciais de cursos de engenharia: *“Isto nos permitia (e permite) verificar como os alunos assimilam ou não os conceitos de Física, conceitos que, em princípio, deveriam ter sido aprendidos no Ensino Médio com certa facilidade”*.

IV. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através da análise da apresentação do átomo de Bohr nos textos **Física 3** (Gaspar, 2001) e **Física 3** (Cabral e Lago, 2002), e das respostas às perguntas formuladas, constata-se que os autores transmitem uma visão empirista sobre a gênese deste conteúdo, seja apresentando situações experimentais que teriam levado Bohr a formular seu modelo ou vinculando os insights dos cientistas diretamente à experimentação.

Um dos autores vê pouca utilidade na história da Física para a aprendizagem dos conceitos, embora saliente que o conhecimento do contexto e de algumas particularidades da vida de um cientista possa auxiliar na compreensão da Física. Esta concepção de história não é a dos autores deste trabalho. Além de estimular e motivar o estudante a buscar novas informações, a história pode contribuir para a aprendizagem dos conceitos, ser útil para lidar com as concepções alternativas, incrementar a cultura geral do aluno, desmistificar o método científico, mostrar que o conhecimento científico não é definitivo.

Apesar das divergências entre os autores dos textos e os deste trabalho, algumas críticas foram explicitamente aceitas pelos autores dos livros, que se propuseram a fazer alterações em novas edições de suas obras. Nesse sentido, além de procurar contribuir para um melhor delineamento de um tema de Física Moderna que está sendo incorporado em livros didáticos de Física do nível médio, este trabalho mostra que é possível o diálogo com autores. Ao menos, com aqueles preocupados com a melhoria do ensino de Física e atentos aos resultados da pesquisa nesta área.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BACON, F. **Novum Organum ou Verdadeiras Indicações Acerca da Interpretação da Natureza**. São Paulo, editora Abril Cultural, 1979. (Trad. José A. R. Andrade, 2^a ed., (Coleção Os Pensadores)

BASSO, A. C. e PEDUZZI, L. O. Q., O átomo de Bohr em livros de Física do Ensino Médio: um estudo exploratório. **Atas XV SNEF**. Curitiba, 2003.

BOHR, N. **Sobre a constituição de átomos e moléculas**. Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian, 1989.

BONJORNO e CLINTON, **Temas de Física 3**. Editora FTD, São Paulo, 1997.

BRASIL, Ministério da Educação, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais**. Ensino Médio. Brasília: Ministério da Educação, 1999.

BRÁZ JÚNIOR, D. e MARTINS, R. **Física Moderna: tópicos para o Ensino Médio**. Companhia da Escola, 1^a edição, Campinas, 2002.

CABRAL, F. & LAGO, A., **Física 3**. Editora Harbra, São Paulo, 2002

GASPAR, A. **Física 3**. Editora Ática. São Paulo, 2001.

GIL PÈREZ, et al. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência & Educação**, v.7, n.2, p.125-153, 2001.

GUALTER, NEWTON e HELOU, **Tópicos de Física 3**. Editora Saraiva, 15^a.edição, São Paulo, 2001.

HANSON, N. R. Observação e Interpretação. In: **Filosofia da Ciência**. São Paulo: editora Cultrix, 1975. Morgenbesser, S. (org.).

HOUAISS, A. **Dicionário Houaiss da Língua Portuguesa**. Editora Objetiva. 1^a Edição, Brasil, 2001.

KÖHNLEIN, J. F. K. e PEDUZZI, L.O.Q., Sobre a concepção empirista-indutivista no ensino de ciências. **Atas VII Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Física**. 5 a 8 de junho de 2002. Águas de Lindóia – SP.

LAKATOS, I. O falseamento e a metodologia dos programas de pesquisa científica. In

LAKATOS, I. & MUSGRAVE, A. (orgs.) **A crítica e o desenvolvimento do conhecimento**. São Paulo, Cultrix, 1979.

MOREIRA, M.A. e OSTERMANN, F. Sobre o ensino do método científico. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v.10, n.2: p.108-117,ago.1993.

POPPER, K. R. **Conjecturas e Refutações**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1982.

SEGRÈ, E. **Dos raios X aos quarks**. Brasília, Editora da Universidade de Brasília, 1987.

TIPLER,P. A. e LLEWELLYN, R. A. **Física Moderna**. 3ª. edição, Rio de Janeiro, LTC, 2001.

ZANETIC, J. **Física Também é Cultura**. São Paulo:USP, Tese de Doutorado, 1989.

Agradecimento: Os autores agradecem aos professores/autores dos livros analisados pela pronta resposta às perguntas formuladas.