

O CONCEITO DE SPIN EM LIVROS DIDÁTICOS DE QUÍMICA GERAL UTILIZADOS EM UNIVERSIDADES BRASILEIRAS

Carlos Roberto Senise Junior

UNIFESP – Universidade Federal de São Paulo– Campus Diadema – Brasil

Hélio Viana Bonini

UNIFESP – Universidade Federal de São Paulo– Campus Diadema – Brasil

José Bento Suart Júnior

UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Apucarana - Brasil

RESUMO: Este trabalho analisa o conceito de spin em livros didáticos de Química Geral frequentemente utilizados no Brasil. Foram selecionados livros entre os mais retirados pelos usuários de uma expressiva biblioteca universitária no ano letivo de 2016. Os livros foram analisados a partir dos seguintes tópicos: o experimento de Stern-Gerlach, a proposição de Uhlenbeck e Goudsmit, a analogia clássica e a reinterpretação do spin. Verificou-se que a analogia clássica do spin está presente em todos os livros, assim como o seu aspecto indutivo. Nenhum dos livros analisados apresentou os fatos históricos em ordem cronológica, com seus respectivos personagens, evidenciando uma abordagem pseudo-histórica.

PALAVRAS-CHAVE: Spin, Livro Didático, Química Geral

OBJETIVOS: Analisar o conceito de spin em livros didáticos de Química Geral utilizados em cursos superiores do Brasil à luz da história da ciência, isto é, contemplando experimento de Stern-Gerlach, a proposição de Uhlenbeck e Goudsmit, a analogia clássica e a reinterpretação do spin.

MARCO TEÓRICO

Trabalhos envolvendo a apresentação da física quântica em livros didáticos de Ciências da Natureza vêm se tornando mais frequentes neste início de século, sendo notório o emprego da quase-história (GOMES & PIETROCOLA, 2011) e/ou da pseudo-história, e também de analogias na abordagem dessa temática (NIAZ & FERNANDEZ, 2008). No tocante ao conceito de spin, é comum os livros didáticos de Química, tanto do ensino médio como do ensino superior, o apresentarem através da rotação de uma carga elétrica. Todavia, essa analogia, resultante de uma transposição didática feita, segundo Linus Pauling (1950), pelos holandeses Uhlenbeck e Goudsmit, pode resultar em obstáculos epistemológicos, por associar fisicamente o spin a um momento orbital clássico, fomentando incorreções, como a dependência do movimento, a impossibilidade da rotação de um ponto e a violação do limite físico da velocidade da luz.

Para buscarmos uma compreensão mais adequada sobre o conceito de spin, é necessário nos remetermos à década de 1920. Nessa década, alguns resultados provenientes de experimentos com átomos não eram explicados satisfatoriamente pela então “jovem” Mecânica Quântica (por exemplo, o famoso experimento de Stern-Gerlach, com átomos de prata interagindo com campos magnéticos) (REINISCH, 1999).

Entre 1921 e 1922, Otto Stern e Walther Gerlach realizaram um experimento (proposto por Stern, em 1921) para testar a quantização espacial, que havia sido introduzida por Arnold Sommerfeld entre 1913 e 1916, para explicar a estrutura fina do átomo de hidrogênio (GOMES & PIETROCOLA, 2011). Os resultados obtidos no experimento foram os esperados, porém, sua explicação só seria plenamente satisfatória usando-se o conceito de spin, proposto em 1925, primeiramente por Wolfgang Pauli (que não o nomeou) e, posteriormente, no mesmo ano, por George Uhlenbeck e Samuel Goudsmit, que o nomearam e o usaram para explicar algumas propriedades atômicas (CUSHING, 1994; UHLENBECK & GOUDSMIT, 1926).

Para isso, supuseram que o elétron possuía uma nova variável, que, assim como o momento angular orbital (L), deveria ter os valores de seu módulo e de sua projeção em um dos eixos (usualmente a projeção no eixo “z”) quantizados. Entretanto, diferentemente de L_z (projeção do momento angular L na direção do eixo z), que pode assumir vários valores para um determinado valor de número quântico de momento angular (l), a componente z desta nova variável só poderia assumir dois valores fixos, o que conseqüentemente também fixaria o valor de seu módulo. Com esta exigência, os únicos valores possíveis para a componente z são $-1/2$ e $+1/2$. Estes dois únicos valores possíveis foram associados a dois sentidos de rotação de uma pequena esfera, que seria o elétron. Desta forma, constrói-se uma analogia entre o elétron e esta esfera. Tal analogia explicava os desvios sofridos pelo feixe de átomos sob ação de um campo magnético não homogêneo, como constatado por Stern e Gerlach. O “novo momento angular” recebeu o nome de spin, denotado por S , e com ele temos a inclusão de dois novos números quânticos, o número quântico magnético (m_l) e o número quântico de spin (m_s). Contudo, esta analogia resulta em alguns problemas: o spin dependeria estritamente do movimento de rotação do elétron e um ponto no equador deste teria que girar com uma velocidade maior do que a velocidade da luz. Atualmente, podemos afirmar que o spin é um tipo de momento angular intrínseco ao elétron, não podendo ser considerado um tipo qualquer de momento angular orbital clássico, dependente do movimento do elétron.

Em uma análise do conceito de spin, este trabalho procurará focar em livros didáticos de Química Geral. Afinal, quais seriam as características do conteúdo sobre o spin divulgadas nesses livros? Em razão da importância histórica, foram escolhidos os seguintes tópicos: o experimento de Stern-Gerlach, a proposição de Uhlenbeck e Goudsmit, a analogia clássica e a reinterpretação do spin.

METODOLOGIA

Os livros de Química Geral selecionados constam em uma relação como os mais retirados pelos usuários da biblioteca do Conjunto das Químicas da Universidade de São Paulo (Campus São Paulo – Butantã – SP), no ano letivo de 2016. Esta biblioteca é frequentada por alunos de diversos cursos de graduação e pós-graduação, como os de Química, Farmácia-Bioquímica e Engenharia Química. Diante desses dados, podemos assumir que estes livros estão entre os mais empregados por estudantes brasileiros.

Desse modo, 05 (cinco) livros de Química Geral analisados foram: A) Princípios de Química (ATHINKS & JONES, 2006), B) Química: a matéria e suas transformações (BRADY, SENESE & JEPERSEN, 2015), C) Química: a ciência central (BROWN; LEMAY JUNIOR, BURSTEN & BURDGE, 2005, p.2005), D) Química geral: conceitos iniciais (CHANG, 2010) e E) Química geral e reações químicas (KOTZ, TREICHEL & WEAVER, 2009). Vale ressaltar aqui que todos esses livros são traduções de versões norte-americanas.

Considerando o questionamento da pesquisa, buscamos, a partir do sumário, ou mesmo do índice remissivo, as seções em que o conceito de spin aparecia pela primeira vez no livro didático. Caso o conceito

fosse ainda mencionado, foi feita uma análise para uma possível reinterpretação da primeira explanação.

A partir de um levantamento histórico do problema, dedicamos esta análise aos seguintes tópicos: o experimento de Stern-Gerlach, proposição de Uhlenbeck e Goudsmit, analogia clássica e reinterpretação do spin.

Traçando um perfil descritivo, primeiramente foi analisado se o livro didático apresentava o problema de deflexão dos átomos sob um campo magnético não homogêneo como um problema de cunho experimental, apresentando o mesmo através de um esquema pictórico, e sua apresentação ou não a partir de uma perspectiva histórica, com menção aos personagens envolvidos. Em seguida, buscou-se identificar a definição de spin proposta pelo livro didático, essencialmente em busca de uma possível definição que remetesse à analogia clássica de uma carga em rotação. Seguindo este viés, analisou-se se a proposição tinha perspectiva histórica mencionando os personagens históricos envolvidos.

Dada a constatação da presença da analogia clássica, verificou-se então se o livro didático trazia as limitações envolvidas na adoção desta conceituação e conseqüentemente a proposição de uma reinterpretação filosófica do mesmo, apontando as ideias mais atuais acerca do termo, com introdução dos personagens e embates históricos envolvidos.

Para facilitar a análise foram propostos as seguintes questões: 1) Apresenta o spin como uma evidência experimental? 2) Menciona os personagens históricos envolvidos na constatação experimental de uma propriedade magnética relacionada aos átomos? 3) Adota a analogia clássica de carga em movimento de rotação para conceituar spin? 4) Menciona os personagens envolvidos na interpretação clássica do spin? 5) Apresenta as limitações que a analogia clássica admite? 6) Apresenta uma reinterpretação do conceito de spin a partir de teorias e dados posteriores à interpretação clássica, mencionando os personagens envolvidos?

Os resultados obtidos encontram-se expostos na seção a seguir.

RESULTADOS

As respostas para as questões transcritas na metodologia encontram-se na tabela 1.

Tabela 1.
Resultado da análise dos livros

LIVRO	QUESTÃO					
	1	2	3	4	5	6
A	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não
B	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não
C	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não
D	Sim	Não	Sim	Não	Não	Não
E	Sim	Não	Sim	Não	Não	Não

Todos os livros apresentam o spin como uma evidência experimental e fazem a analogia clássica. Entretanto, nenhum dos livros analisados apresenta as limitações da teoria clássica, bem como explicações pertinentes a uma nova abordagem conceitual.

Em Atkins e Jones (2006) o conceito é introduzido ao longo da discussão sobre os números quânticos. O texto admite que os cálculos previstos por Schrödinger não descreviam exatamente as linhas espectrais e então menciona que em 1925, dois cientistas, Uhlenbeck e Goudsmit propuseram uma

explicação para as diferenças entre as linhas espectrais experimentais e os cálculos de Schrödinger. Segundo Atkins e Jones (2006), os cientistas em questão propuseram que o elétron podia se comportar, de certo modo, como uma esfera que gira, admitindo assim a analogia clássica como proposta pelos personagens históricos. Posteriormente, em um box distinto do texto principal, Atkins e Jones (2006) apresentam o experimento de Stern e Gerlach, mas o mesmo aparece proposto sob o arcabouço teórico de uma analogia clássica. Após isso, existe a descrição simplificada do aparato experimental em um desenho esquemático.

Brady *et al* (2015) apresentam o spin como uma propriedade importante na análise do preenchimento dos orbitais eletrônicos. Iniciam com o fato empírico de que ao passar por um campo magnético um feixe de átomos pode vir a ser defletido. Tal deflexão é também explicada em virtude de uma propriedade magnética advinda do movimento de rotação do elétron (analogia clássica), na qual os elétrons se comportam como pequenos ímãs. O experimento de Stern-Gerlach é mencionado em um box paralelo, como uma figura apresentando um esquema reduzido do aparato experimental. Contudo, não é feita menção a Uhlenbeck e Goudsmit.

Também em Brown *et al* (2005) o spin é solução para o problema de preenchimento dos subníveis eletrônicos e a propriedade está ligada ao desdobramento das linhas espectrais. Aqui, a proposição de Uhlenbeck e Goudsmit é dada como solução para este problema. Admite-se que os cientistas postularam o spin como uma propriedade intrínseca mas recorrem à analogia clássica que é enfatizada em uma figura ilustrativa.

O elétron aparentemente comportava-se como se fosse uma esfera minúscula rodando em torno de seu próprio eixo. (BROWN *et al*, 2005, p.2005)

Em um box secundário, ao final da seção sobre spin, aparece a descrição do experimento de Stern-Gerlach. Segundo o texto,

“Mesmo antes de o spin eletrônico ser proposto, havia evidências experimentais de que os elétrons tinham uma propriedade adicional que necessitava de explicações (BROWN *et al*, 2005, p.201).

Nesta seção existe um esquema reducionista acerca do experimento, com o spin sendo postulado para poder responder ao problema das linhas espectrais. Só posteriormente o texto admite que isso já era uma evidência experimental de relação do elétron com um campo magnético.

No livro de Chang (2010) a primeira menção ao spin é feita no interior da apresentação dos números quânticos. O texto inicia apresentando o dado empírico relativo ao desdobramento das linhas espectrais, associado à interação com um campo magnético por um feixe de átomos. Assim como Kotz, *et al* (2009), o texto toma uma posição instrumentalista, uma vez que coloca a ideia do elétron como um ímã em uma figura esquemática associando a rotação aos polos do “microímã”.

Kotz *et al* (2009) apresentam o conceito admitindo que a analogia clássica foi experimentalmente demonstrada:

Por volta de 1920, foi demonstrado experimentalmente que o elétron comporta-se como se tivesse uma rotação, da mesma forma que a Terra. (KOTZ *et al*, 2009, p.291)

Os autores abordam o spin através do conceito de paramagnetismo. A evidência empírica de interação com um campo magnético é então chamada a fazer parte da conceitualização:

Experiências mostraram que, se um átomo com um único elétron desemparelhado for colocado em um campo magnético, somente duas orientações serão possíveis para a rotação do elétron: alinhado com o campo ou oposto. (KOTZ *et al*, 2009, p.292)

Posteriormente, em uma figura ilustrativa, o movimento de rotação do elétron é evidenciado, enfatizando a analogia clássica em que o elétron é descrito como um “microímã”. O livro não faz qualquer menção aos personagens Stern, Gerlach Uhlenbeck ou Goudsmit, como responsáveis pela analogia clássica.

CONCLUSÕES

Nenhum dos livros analisados apresentou os fatos históricos em sua ordem cronológica, com seus personagens respectivos, trazendo evidências claras de pseudo-história. Em geral, os livros apresentam o conceito como necessário à descrição quântica do elétron, associam o spin à analogia clássica de uma carga elétrica em movimento de rotação, e posteriormente admitem que tal perspectiva foi proposta por Uhlenbeck e Goudsmit, mas não a mencionam como uma interpretação para os dados experimentais encontrados por Stern e Gerlach (o que só ocorreu em 1927, cinco anos após a realização do experimento), mas sim ao desdobramento das linhas espectrais, sugerindo a inclusão de uma propriedade magnética sem que esta tenha sido encontrada experimentalmente.

A situação da análise se agrava ao seguir os questionamentos propostos, já que nenhum dos livros menciona qualquer tipo de reinterpretação filosófica do conceito, ou mesmo as limitações da interpretação clássica. Se a discussão das limitações e da reinterpretação clássica abre portas para a introdução de uma discussão pertinente à natureza das proposições científicas, especialmente relacionadas ao problema do realismo/instrumentalismo associado às entidades teóricas, os livros analisados parecem buscar uma interpretação mais imediatista e estritamente ligada a uma perspectiva instrumental, que possibilite o avanço do conteúdo para a utilização do número quântico associado ao spin como parte do princípio de exclusão de Pauli.

REFERÊNCIAS

- ATKINS, P. & JONES, L. (2006). *Princípios de Química* (3a ed). Porto Alegre: Bookman.
- BEZERRA, V. A. (2003). Schola quantorum: progresso, racionalidade e inconsistência na antiga teoria atômica Parte I: desenvolvimento histórico, 1913-1925. *Scientiae Studia*, Vol. 1, n. 4, 463-517.
- BRADY, J. E., SENESE, F. & JESPERSEN, N. D. (2015). *Química: a matéria e suas transformações* (Vol. 1, 5a ed). Rio de Janeiro: LTC.
- BROWN, T. L., LEMAY JUNIOR, H. E., BURSTEN, B. E. & BURDGE, J. R. (2005) *Química: a ciência central*. São Paulo: Prentice Hall.
- CHANG, R. (2010). *Química geral: conceitos essenciais* (4a ed). Porto Alegre: AMGH.
- CUSHING, J.T (1994). *Quantum mechanics: historical contingency and the Copenhagen interpretation*. The University Chicago Press.
- KOTZ, J. C., TREICHEL, P. M. & WEAVER, G. C. (2009) *Química geral e reações químicas* (Vol. 1, 6a Ed). São Paulo: Cengage Learning.
- GOMES, G. G. & PIETROCOLA, M. (2011). O experimento de Stern-Gerlach e o spin do elétron: um exemplo de quasi-história. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 33, n. 2, 2604, 1-11.
- NAZ, M., & FERNANDEZ, R. (2008). Understanding quantum numbers in general chemistry textbooks. *International Journal of Science Education*. v.7, n. 30, 869-901.
- PAULING, L (1950). *General Chemistry* (2a ed). Gordonsville :W.H. FREEMAN Co.
- REINISCH, G. (1999). Stern–Gerlach experiment as the pioneer—and probably the simplest—quantum entanglement test? *Physics Letters A*. v.6 n. 259, 427-430.
- UHLENBECK, G.E & GOUDSMIT, S.A. (1926). Spinning Electrons and the Structure of Spectra. *Nature*. n. 117, 264-265.

