

Uma breve história do mundo dos quanta

Érica Polycarpo & Marta F. Barroso

Unidade 6

O spin das partículas

Sumário:

- Apresentação
- Um pouco de história
- Referências

Apresentação

Já vimos que a mecânica quântica é a teoria que produz resultados muito mais acurados que aqueles obtidos a partir da mecânica clássica para os objetos microscópicos. Além disso, em alguns casos, as suas previsões estão em total desacordo com os resultados da física clássica. Nesses casos, porém, as previsões reproduzem as observações experimentais, como a estabilidade do átomo e o fato da radiação total emitida por um corpo negro ser finita.

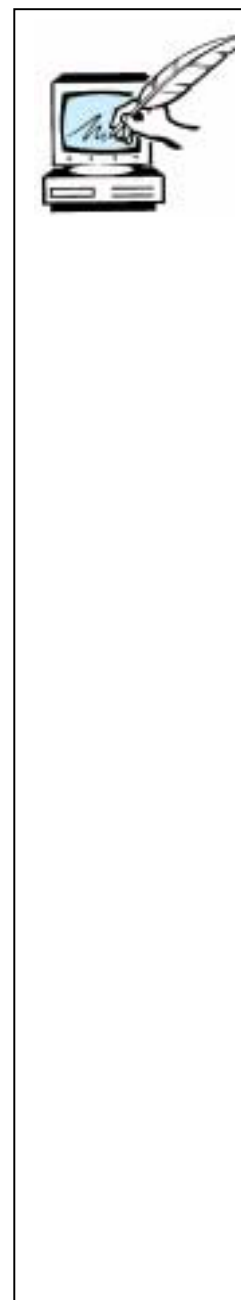
O termo quântico aparece porque muitos resultados da teoria implicam na quantização de algumas grandezas físicas, como a energia, o momento, o momento angular. Vimos anteriormente que a energia do fóton é quantizada. Exemplos simples de quantização de momento e energia total de uma partícula envolvem a solução da Equação de Schrödinger para o caso da propagação limitada a uma região finita do espaço (“partícula em um caixa”) e sistemas ligados, respectivamente.

Nessa aula, veremos um exemplo de quantização de momento angular ao analisarmos o conceito de **spin**.

Um pouco de história

O conceito de spin foi introduzido em 1925, por George Uhlenbeck e Samuel Goudsmit. A. Pais [1] conta que Uhlenbeck havia se graduado em 1920 na Universidade de Leiden, na Holanda, onde foi aluno de Ehrenfest, seu mais estimado professor. Depois de quase dois anos de cursos avançados, que hoje corresponderiam a uma pós-graduação, ele assumiu a posição de tutor de matemática, física, química, holandês, alemão e história holandesa do filho mais novo do embaixador J.H. van Royen, em Roma, voltando a Holanda apenas nos verões. Em 1923, ele ganhou o título que seria equivalente ao de mestre atualmente.

Embora tenha se mantido em contato com a ciência, durante o período que esteve em Roma sua atenção se voltou para a história, em especial para a história cultural. Ao voltar para a Holanda em 1925, ele considerava seriamente a possibilidade de abandonar a ciência para se tornar um historiador. Ao discutir o assunto com Ehrenfest, esse sugeriu que ele primeiro se atualizasse sobre os últimos acontecimentos da Física, e que trabalhasse por um tempo com ele e com o estudante de graduação Samuel Goudsmit, que já estudava os espectros atômicos há algum tempo, havia publicado vários artigos sobre esse tema e era assistente de Pieter Zeeman em Amsterdã. Esse seria o início de uma intensa colaboração profissional e de uma grande e duradoura amizade.



Goudsmit falou a Uhlenbeck sobre a teoria de Landé para explicar o efeito Zeeman anômalo, a divisão das linhas espectrais que tinham padrões diferentes dos previstos por Lorentz tempos atrás. Landé mostrou que era possível explicar o padrão observado ao se fazer a hipótese de que os números quânticos de momento angular podem ter valores semi-inteiros. Falou ainda que Heisenberg, em seu primeiro artigo publicado, foi mais fundo ao propor que, em átomos alcalinos, o elétron de valência e o núcleo residual, cada um deles tinha momento angular igual a $1/2\hbar$ e de como, então, Landé deduziu que o raio giromagnético (g) do núcleo devia ser igual a 2, ao invés de 1, como era previsto classicamente. O próprio Goudsmit havia mostrado que usando o raio giromagnético de Landé, igual a 2, era possível entender todas as inúmeras e complicadas observações relacionadas com o efeito Zeeman anômalo. Pauli, com base nisso, propôs que se designasse um novo número quântico, de valor semi-inteiro, não ao núcleo do átomo, mas ao próprio elétron de valência e, partir daí, descobriu o princípio da exclusão.

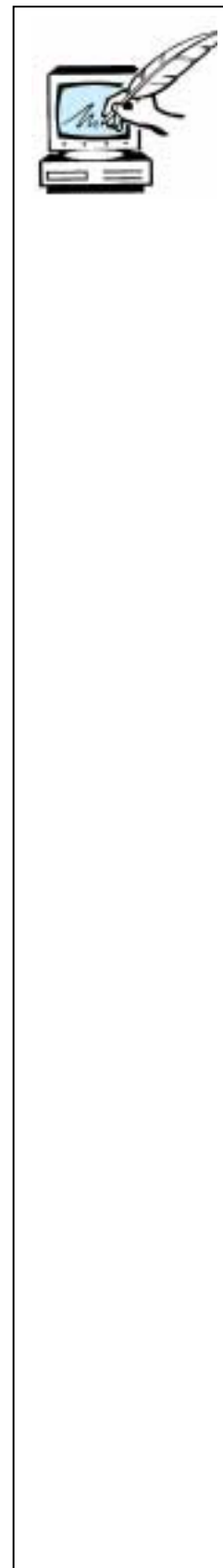
Samuel Goudsmit também explicou a Uhlenbeck como a expressão de Sommerfeld para a estrutura fina do átomo de hidrogênio funcionava tão bem. Uhlenbeck, porém, mostrava-se insatisfeito. Por que deveria haver dois modelos distintos, um para o átomo de hidrogênio e outro para os átomos alcalinos, se eles eram tão parecidos? Por que não tentar usar os números quânticos semi-inteiros também para o átomo de hidrogênio? Pois foi o que eles fizeram, e foi então que ocorreu a Uhlenbeck que cada número quântico correspondia a um grau de liberdade, ou, em outras palavras, o elétron devia estar rodando! Tudo parecia se encaixar. O elétron tinha spin $1/2$ e o fator de Landé $g=2$ não se aplicava ao núcleo, mas ao próprio elétron. George Uhlenbeck achou em um antigo artigo de Max Abraham que o elétron considerado com uma esfera rígida com carga apenas superficial realmente tem $g=2$. Tudo isso foi escrito em uma nota curta, considerada a nota da descoberta, entretanto, havia uma advertência: supondo que o elétron é um objeto extenso com "raio clássico" igual e^2/mc^2 , a sua velocidade rotacional periférica deveria ser muito maior que a velocidade da luz.

A. Pais acredita que essa advertência deixa claro que a descoberta do spin, feita depois que Heisenberg já havia publicado seu primeiro artigo em mecânica quântica, é um avanço no sentido da antiga teoria quântica, "aquela mistura maravilhosamente bizarra de raciocínio clássico e regras quânticas *ad hoc*".

Hoje entende-se o spin como um momento angular intrínscio das partículas, sem análogo clássico. Não precisamos, desta forma, associar nenhum tipo de movimento rotacional, porque entendemos que em alguns casos não é possível associar imagens clássicas ao mundo microscópico.

Matematicamente, foi Dirac quem mostrou, ao substituir a equação da energia pela sua forma relativística, que um elétron precisa ter momento angular intrínscio $1/2$, um momento de dipolo magnético com fator $g=2$ e todas as demais propriedades associadas ao spin, o que evidencia o fato de que o conceito de spin está intimamente ligado com a relatividade.

Não nos cabe aqui derivar matematicamente as equações que envolvem spin, pois o tempo é curto para apresentar todos os conceitos necessários. Esse material pode ser encontrado nos livros textos que foram utilizados como referência nas unidades anteriores. Nosso objetivo aqui é apenas o de abordar um tema que normalmente é ensinado do ponto de vista clássico, de forma histórica e enfatizando a sua natureza essencialmente quântica.



Referências

- [1] A. Pais, "George Uhlenbeck e a descoberta do spin do elétron, *Physics Today*, p34-40, Dezembro de 1989.