

As Linhas Espectrais da Série de Balmer

Roteiro

Um gás, quando excitado por colisões ao ser atravessado por uma corrente elétrica, emite radiação. O espectro desta radiação emitida não é contínuo, mas sim discreto, contendo apenas alguns comprimentos de onda. Este espectro de emissão é característica exclusiva do elemento no estado de vapor que está sendo excitado, de forma que a análise do espectro de emissão fornece informações sobre a composição química de uma certa substância ou mistura de gases.

Tal espectro tem origem na excitação da nuvem eletrônica ao redor do núcleo. Os elétrons que absorvem energia saem de seus níveis fundamentais e vão para um estado de energia maior. Nesta situação ficam por um curtíssimo intervalo de tempo, quando então decaem novamente para o estado fundamental, emitindo fótons cuja energia é igual a diferença de energia dos dois estados da transição. O espectro em geral constitui-se de um conjunto de linhas discretas, que são características de um determinado elemento. Na tentativa de se obter alguma relação lógica entre os comprimentos de onda emitidos pelos átomos, J. J. Balmer em 1885 foi o primeiro que encontrou uma expressão empírica para a série de linhas emitidas pelo hidrogênio. A linha de maior comprimento de onda era de 6.583 Å e as linhas subsequentes decresciam de intensidade à medida que o comprimento diminuía. Seus comprimentos de onda foram descritos com precisão pela relação:

$$1/\lambda_n = R_H (1/2^2 - 1/n^2), \quad (1)$$

onde $n = 3, 4, 5, \dots$ e R_H foi mais tarde chamada constante de Rydberg para o hidrogênio, cujo valor mais aceito é $1.097 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$.

Outras séries foram posteriormente identificadas para o hidrogênio: a série de Lyman na região do ultravioleta e as séries de Paschen, de Brackett e de Pfund no infravermelho. Tais séries podiam também ser descritas acuradamente pela relação (1), apenas o fator 2 na primeira fração deveria ser substituído por 1 (série de Lyman), ou por 3, 4 ou 5 para representar as séries de Paschen, de Brackett e de Pfund, respectivamente.

As transições eletrônicas que dão origem às séries para o átomo de hidrogênio são representadas na figura 1. As diferentes séries originam-se das transições de vários estados excitados para um mesmo nível de energia.

A capacidade de prever corretamente todas as séries do espectro do átomo de hidrogênio foi um dos sucessos da teoria atômica de Bohr, que embora incorreta conceitualmente, prevê os mesmos resultados que a solução

da equação de Schrödinger para o átomo de hidrogênio.

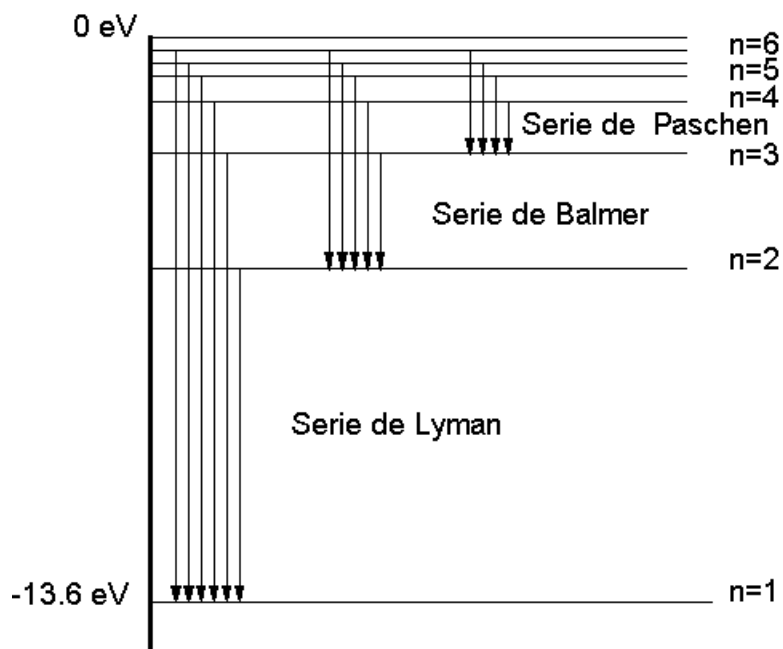


Figura 1. As transições entre os diferentes níveis de energia do átomo de hidrogênio que originam as diferentes séries do espectro de emissão.

Uma curiosidade histórica é que em 1925 Wolfgang Pauli estabeleceu o princípio de exclusão (pelo qual dois elétrons não podem ocupar o mesmo estado quântico) a partir da análise de espectros atômicos. Para átomos que não o hidrogênio, certas linhas não são observadas e Pauli mostrou que estas correspondem a transições de estados com igual momento de spin.

Rede de Difração

O espectro de emissão de um gás em baixa pressão é analisado utilizando-se um aparato experimental semelhante à figura 2. A luz é focalizada e colimada através de um conjunto de lentes e fenda e é decomposta através do uso de uma rede difração ou de um prisma. No nosso caso, o equipamento disponível trabalha com rede de difração de 570 linhas por mm.

A separação do espectro através da utilização do prisma é baseada nos diferentes índices de refração para diferentes comprimentos de onda enquanto o uso da rede de difração se baseia no princípio de interferência construtiva. O uso do prisma é limitado pelo intervalo de frequências que ele é capaz de transmitir devido à absorção do material do prisma, além de uma usualmente baixa dispersão.

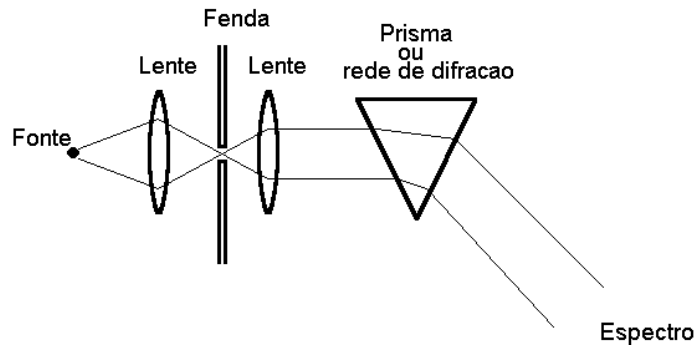


Figura 2. Aparato experimental usado na análise do espectro de emissão do hidrogênio.

Uma rede de difração consiste em uma placa de vidro ou polímero com sulcos ou relevos retos uniformemente separados por uma distância d . A interferência construtiva entre os feixes refletidos ou transmitidos pela rede dá origem ao espectro de difração da luz incidente. Tomando o exemplo de uma rede de transmissão com feixe coletado em incidência normal, os diversos comprimentos de onda serão separados em diferentes ângulos segundo a regrinha básica:

$$d \sin \theta = m \lambda, \quad (2)$$

onde d é a separação entre as ranhuras da rede, m é a ordem da difração, λ é o comprimento de onda e θ é o ângulo com o qual este comprimento de onda em particular será difratado. Assim, usando um goniômetro para medir os ângulos das linhas espectrais na região do visível, podemos calcular seus comprimentos de onda.

1) Objetivos

Os objetivos deste experimento são medir os comprimentos de onda característicos do Hidrogênio e do Hélio, dentro da região espectral da luz visível, e comparar com os valores aceitos atualmente. A partir destes valores, utilizar a série espectral apropriada (Balmer, Pickering) para determinar a constante de Rydberg para os dois elementos, e comparar com os valores aceitos atualmente.

2) Metodologia

O aparato experimental consiste em três lâmpadas da PASCO de gases

diferentes (hidrogênio – SE 9461, hélio – SE 9462, e neônio – SE 9467), um suporte para lâmpadas com fonte de alimentação (Electro Technic SP200) e um goniômetro (Gaertner) já contendo uma rede de difração de 570 linhas/mm.

- Confira a lista de equipamentos.
- Certifique-se que a fonte de alimentação está desligada.
- Coloque a lâmpada de Neônio na fonte de alimentação. Esse tipo de lâmpada deve ser manipulada sem contato direto das mãos sobre o invólucro de vidro. A gordura corporal depositada se transforma em absorvedor eficiente e com o tempo tende a aquecer localmente uma região do vidro, o que pode gerar uma dilatação assimétrica e quebrar a lâmpada em funcionamento. Existem espumas dentro das caixas das lâmpadas, que devem ser utilizadas para manipulá-las. Em caso de dúvida, grite por socorro!
- Ligue a fonte de alimentação. A lâmpada acende, emitindo uma luz vermelha intensa.
- Posicione o goniômetro de forma a alinhar a entrada com a região mais fina da lâmpada.
- Coloque o braço móvel do goniômetro na posição 180 graus e observe a ordem zero de difração (não há separação de comprimentos de onda). Refine o posicionamento do goniômetro como um todo, da fenda de entrada (parafuso do lado direito na ponta do braço fixo), e da ocular (ela é móvel no sentido radial para dentro ou para fora do braço móvel) até obter uma imagem bem definida da fenda.
- Gire o braço móvel para a esquerda ou para a direita enquanto olha pela ocular e observe o número absurdo de linhas espectrais diferentes, que vão do azul-verde ao vermelho. Estas são as linhas características do Neônio, e a soma de todos estes comprimentos de onda compõe a luz da lâmpada que você vê a olho nu. O propósito desta lâmpada é apenas demonstrativo.
- Desligue a fonte, troque a lâmpada de Neônio pela de Hidrogênio.
- Ligue a fonte, posicione o goniômetro (tente trocar de lâmpada sem mover o goniômetro, torna o experimento mais rápido!) e observe a ordem zero. Use a linha escura vertical (visível pela ocular) para alinhar o braço do goniômetro exatamente com a ordem zero, e faça a leitura do ângulo.
- Se você não sabe como ler um “paquímetro angular”, chame por socorro. Se sabe, e tem certeza do que está fazendo, prossiga. Aproveite para estimar a incerteza experimental de leitura angular.
- Desloque o braço móvel para a esquerda até localizar as três (quatro se o sistema estiver bem alinhado e a claridade da sala não for excessiva) linhas do espectro visível do Hidrogênio (primeira ordem de difração). Use a linha escura vertical para posicionar o braço do goniômetro em uma delas, anote a cor e faça a medida do ângulo. Repita para as outras linhas.
- Desloque o braço móvel ainda mais para a esquerda até localizar a segunda ocorrência das mesmas linhas já medidas no passo anterior (segunda ordem

de difração). Use a linha escura vertical para posicionar o braço do goniômetro em uma delas, anote a cor e faça a medida do ângulo. Repita para as outras linhas.

- Repita estes passos procurando as linhas de primeira ordem e de segunda ordem para o lado direito. Faça todas as medidas.
- Desligue a fonte de alimentação e troque a lâmpada de Hidrogênio pela de Hélio.
- Ligue a fonte, posicione o goniômetro e observe a ordem zero. Use a linha escura vertical para alinhar o braço do goniômetro exatamente com a ordem zero, e faça a leitura do ângulo.
- Repita o mesmo procedimento para medir as linhas da primeira ordem de difração, tanto à esquerda quanto à direita) para as oito ou nove linhas visíveis. Como são muitas linhas (o átomo de Hélio é um pouquinho mais complexo que o de Hidrogênio), não é necessário medir as linhas em segunda ordem (mas se quiserem...). No caso de cores aparentemente repetidas, a sugestão é, além de anotar a cor, indicar se a linha é intensa ou fraca.
- Desligue a fonte, guarde a lâmpada de Hélio na caixa.

3) Análise

Use os ângulos medidos para calcular [através de (2)] os comprimentos de onda das linhas do Hidrogênio e do Hélio. Atente para a propagação de incertezas! Note que para o primeiro gás você terá quatro resultados para cada cor, o que permite fazer uma média e obter um desvio padrão, melhorando o resultado das medidas. No caso do Hélio serão apenas duas, mas faça as médias assim mesmo.

Use a eq.(1) para obter um valor (médio) para a constante de Rydberg para o átomo de Hidrogênio. Compare com o valor mais aceito.

Observando a tabela de valores para as linhas do Hélio, você vai notar que algumas linhas são muito parecidas em comprimento de onda com as do Hidrogênio. Não é por acaso, estas são as linhas do He^+ , que é um hidrogenóide. Veja que os valores são parecidos mas não são os mesmos. Eles são representados pela chamada série de Pickering. Use a mesma eq. (1) para calcular a constante de Rydberg para o Hélio ionizado. Como este valor se compara com o Rydberg do Hidrogênio? Se for diferente, por quê? Se tiver condições, descubra a expressão para a série de Pickering em alguma referência, calcule o Rydberg com essa expressão e compare com os valores anteriores.