

Linhas espectrais e a constante de Rydberg

INTRODUÇÃO

As linhas espectrais são padrões específicos de luz emitidos ou absorvidos por átomos e moléculas quando os elétrons transitam entre diferentes estados quânticos. No caso do hidrogênio, essas transições seguem a equação de Rydberg, que descreve os comprimentos de onda das linhas espectrais em função da constante de Rydberg. Essa constante fundamental relaciona-se diretamente com a estrutura do átomo de hidrogênio e a energia dos fótons emitidos ou absorvidos, sendo essencial para a compreensão da espectroscopia atômica e da quantização da energia nos átomos.

A solução completa para as energias permitidas do átomo de hidrogênio é obtida através da mecânica quântica, resolvendo a equação de Schrödinger para o potencial coulombiano que descreve a interação elétrica entre o elétron e o núcleo. Esse tratamento leva à quantização dos níveis de energia, cujos valores permitidos são dados por:

$$E_n = - \left(\frac{kZe^2}{\hbar} \right)^2 \frac{\mu}{2n^2} = - \frac{Z^2 E_1}{n^2} \quad (1)$$

sendo k a constante elétrica, Z o número atômico (no caso do hidrogênio, $Z = 1$), e a carga elementar do elétron, $\hbar = h/2\pi$ a constante de Planck reduzida, μ a massa reduzida do sistema elétron-núcleo, dada por $\mu = m_e M / (m_e + M)$, em que m_e é a massa do elétron e M massa do núcleo. Por fim, n é o número quântico principal. Além disso, $E_1 = (1/2)(ke^2/\hbar)\mu \approx 13,6$ eV determina a energia do estado fundamental do átomo de hidrogênio.

A energia do fóton emitido pelo átomo quando o elétron realiza a transição de um estado quântico de maior energia (n_i) para um estado de menor energia (n_f) é $E_f = hf$ sendo f a frequência da luz emitida. Mas, $c = \lambda f$ e considerando que a energia do fóton é igual a diferença de energia entre os estados inicial e final da transição, podemos escrever:

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{E_1}{hc} \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right) \quad (2)$$

As linhas espectrais na região do visível ocorrem para transições ao estado $n = 2$. A série de Balmer é obtida, por fim, definindo a constante de Rydberg $R_\infty = E_1/hc$ e assim:

$$\frac{1}{\lambda} = R_\infty \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{n^2} \right) \quad n = 3, 4, 5, \dots \quad (3)$$

PRÉ-LAB

1. Por que alguns emissores de luz apresentam espectros contínuos enquanto outros apresentam espectros de linhas discretos?
2. Por que uma lâmpada de tubo com gás de neônio apresenta uma cor distinta de uma lâmpada de tubo contendo gás de hidrogênio?
3. Qual é a diferença entre espectro de emissão e espectro de absorção? Para um mesmo elemento emissor (hidrogênio, por exemplo) os comprimentos de ondas obtidos possuem algum relação?

PROCEDIMENTOS

1. *Alinhamento.* Verifique o alinhamento do espectroscópio: (1) Ajuste o foco do telescópio observando um objeto distante; (2) Ajuste o foco do telescópio com a fenda localizada na extremidade do tubo colimador; (3) Adicione a grade de difração perpendicular à direção em que o tubo colimador e o tubo telescópio estão paralelos; (4) Observando uma fonte de luz através do telescópio, verifique na escala Vernier o ângulo do feixe de luz transmitido sem difratar (difração de ordem zero). Registre este ângulo como θ_0 .
2. *Medida 1.* Após realizar o alinhamento (procedimento anterior), adicione a 1 cm da fenda a fonte de luz que se deseja registrar o espectro (lâmpada de hélio ou de mercúrio). Ligue a lâmpada e registre os ângulos (θ) dos feixes difratados (ordem 1) para cada linha espectral observada. Garanta que o alvo (mira) do tubo telescópio esteja alinhado com o centro da linha espectral observada. Se possível, registre também os ângulos dos feixes difratados de ordem 2.
3. *Medida 2.* Repita o procedimento anterior usando uma lâmpada de hidrogênio.

PÓS-LAB

Para um espectrômetro com grade de difração, o comprimento de onda pode ser determinado a partir dos ângulos medidos:

$$\lambda = \frac{d}{N} [\sin(\theta) - \sin(\theta_0)] \quad (4)$$

sendo N a ordem de difração ($N=1$, para a difração de ordem 1, por exemplo) e $d = 1,66 \times 10^{-3}$ mm é a distância entre as linhas da grade de difração (600 linhas/mm). θ_0 é o ângulo obtido no alinhamento entre o tubo telescópio e o tubo colimador.

1. Determine o comprimento de onda de cada uma das linhas observadas na Medida 1 usando a Eq. (4). Compare os valores medidos com os valores tabelados obtidos consultando livros ou sites (não esqueça de citar a referência utilizada).
2. Determine os comprimentos de onda das linhas de hidrogênio (Medida 2) a partir da Eq. (4). Identifique os números quânticos n para cada linha observada. Produza o gráfico de $1/\lambda$ em função de $1/n^2$, e comparando com a Eq. (3), determine a constante de Rydberg pelo coeficiente de inclinação da reta.