Universidade Federal do Paraná
Departamento de Física
Laboratório de Física Moderna

Bloco 02: AS LINHAS DE BALMER

Introdução

A teoria quântica prevê uma estrutura de níveis de energia quantizados para os elétrons atômicos, a qual possui um estado de energia fundamental e uma infinidade de níveis excitados. Um gás, ao ser excitado pela passagem de uma corrente elétrica, emite radiação cujo espectro é discreto. Este espectro de emissão é composto por comprimentos de ondas característicos do elemento no estado de vapor quando excitado, sendo único para tal elemento. Portanto, a análise do espectro de emissão fornece informações sobre a composição química de certa substância.

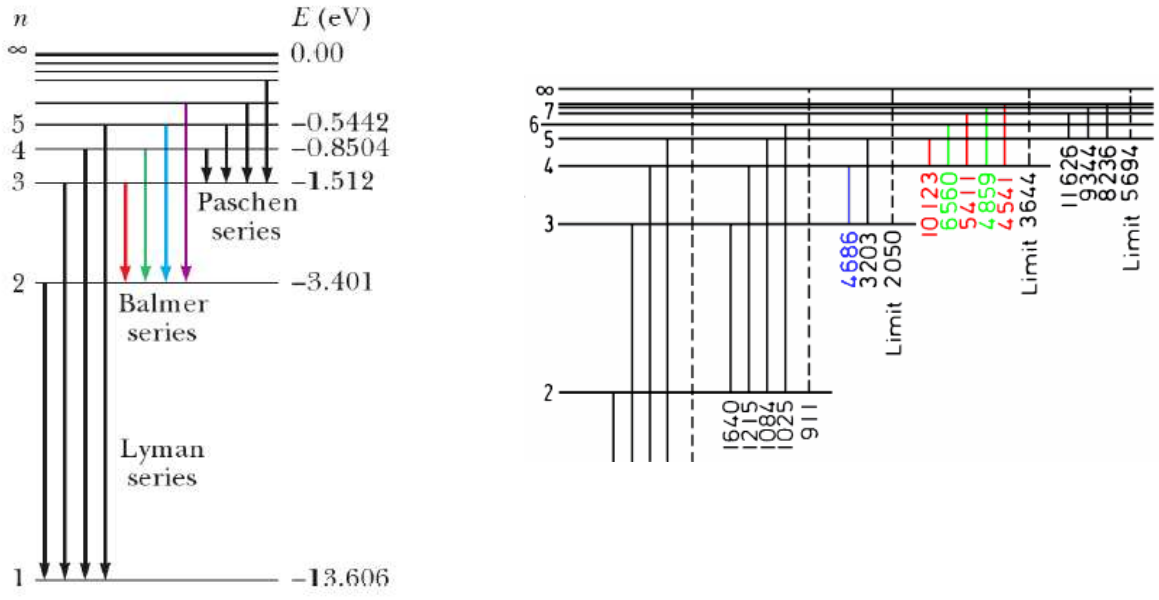
O espectro discreto de radiações tem origem na excitação da nuvem eletrônica ao redor do núcleo. Os elétrons excitados, ao passarem para um estado de energia menor, emitem fótons cuja energia é igual à diferença de energia entre os dois estados da transição. De modo geral, o espectro é constituído de diferentes séries de linhas para um determinado elemento. A transição entre níveis pode ser descrita pela expressão (1) conhecida como fórmula de Rydberg.

$$\frac{1}{\lambda_n} = R_\infty \left(\frac{1}{n_f^{\,2}} - \frac{1}{n_i^{\,2}} \right) \qquad (1)$$

na qual n_i e n_f são os números quânticos associados com os estados inicial e final da transição e R_∞ = 1.097 x 10^7 m^{-1} é a chamada constante de Rydberg para o átomo de hidrogênio com massa do núcleo infinitamente maior que a do elétron.

Em 1885, J. J. Balmer observou uma série de linhas discretas que eram emitidas pelo hidrogênio. A linha de maior comprimento de onda era de 6.583 Å. As linhas subsequentes decresciam de intensidade à medida que o comprimento de onda diminuía e estes podiam ser acuradamente descritos pela relação (1) com n_f = 2 e n_i = 3, 4, 5 e 6. Outras séries foram descobertas posteriormente 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), substituindo o fator n_i 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(a). As diferentes séries originam-se das transições para um mesmo nível de energia. Na Figura 1(b) estão representadas as transições para o átomo de He. A série que descreve as transições no visível recebe o nome série de Pickering em homenagem a E. C. Pickering que as descobriu estudando a estrela Zeta Puppis em 1896.



(a) (b)

Figura 1- (a) As transições entre os diferentes níveis de energia do átomo de hidrogênio que originam as diferentes séries do seu espectro de emissão. (b) As transições entre os diferentes níveis de energia do átomo de hélio que originam as diferentes séries do seu espectro de emissão. A série de Pickering está destacada em vermelho e verde.

A capacidade de predizer as séries do espectro do hidrogênio foi um dos sucessos da teoria do átomo de Bohr, que embora incorreta, prevê os mesmos resultados que a solução da equação de Schrödinger para o átomo de hidrogênio. Uma curiosidade histórica é a de que, em 1925, a partir da análise de espectros atômicos, W. Pauli estabeleceu o princípio de exclusão, no qual dois elétrons não podem ocupar o mesmo estado quântico. Para átomos que não o hidrogênio, certas linhas não são observadas e Pauli mostrou que estas correspondem às transições de estados com momento de spin igual.

2. Rede de Difração

O espectro de emissão de um gás em baixa pressão é analisado utilizando-se um aparato experimental semelhante ao da 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.

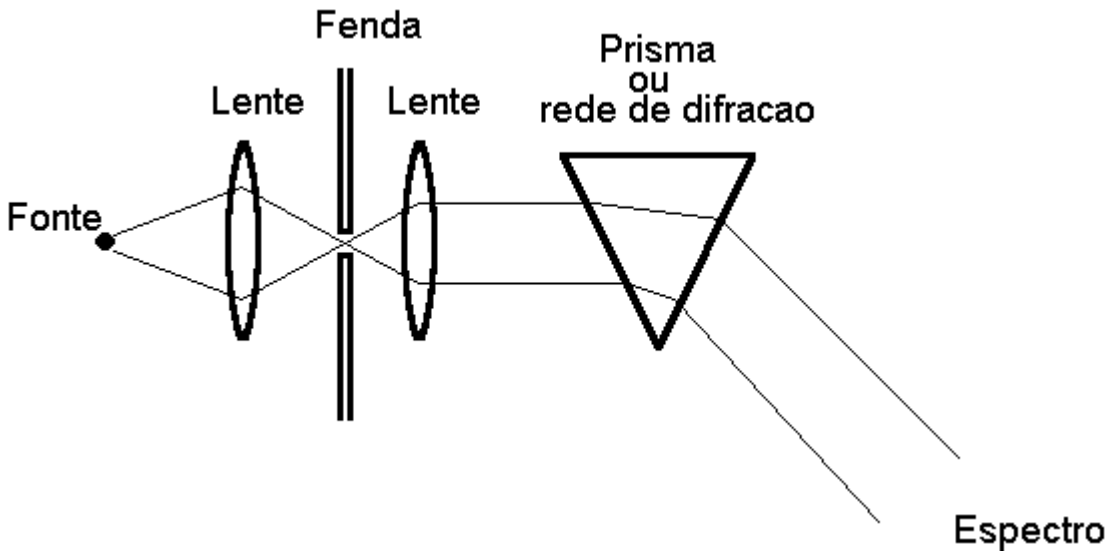


Figura 2. Aparato experimental usado na análise do espectro de emissão do hidrogênio.

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. A rede de difração consiste em uma placa de vidro ou polímero com sulcos ou relevos retos uniformemente separados por uma distância d. Estes sulcos ou relevos possuem transmitância menor, de modo de o espaço entre eles atua como uma fonte

luminosa puntual. Quando a luz passa através da rede gerando um espectro no outro lado, falamos em rede de difração de transmissão. Quando a rede é metalizada e a luz interfere na reflexão falamos na rede de difração de reflexão.

No uso da rede de difração, diferentes raios luminosos serão difratados e sofrerão interferência construtiva se a diferença de caminho ótico entre eles (δ) for igual a $m.\lambda$, na qual λ é o comprimento de onda e m é a ordem da difração. Através da Figura 3, verifica-se que:

$$dsen\theta = m\lambda \qquad (2)$$

na qual θ é o ângulo do raio difratado com relação à normal da grade.

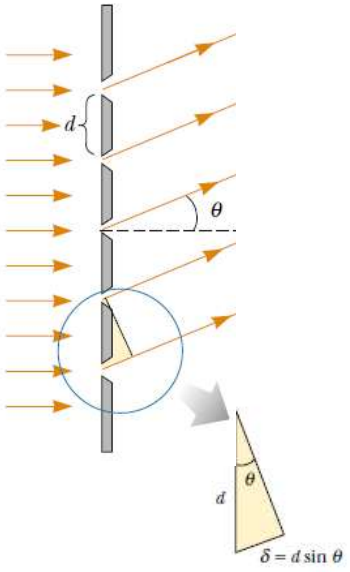


Figura 3. Esquema de funcionamento de uma rede de difração por transmissão. O feixe luminoso incidente sobre a rede de difração e é difratado com ângulo θ passando pela lente indicada em azul na figura e chegando ao anteparo para observação.

Procedimento

Nós fornecemos as lâmpadas espectrais de H_2, He e Ne. Ligue uma lâmpada por vez à fonte disponível para gerar a descarga luminosa.

1) Alinhe o espectrômetro ótico. Ajusta-se a lente da ocular até que a fenda do espectrômetro esteja nítida.

2) Ligue a lâmpada espectral de Hidrogênio.

3) Alinhe o espectrômetro com a lâmpada. Coloque a rede de difração perfeitamente perpendicular ao eixo ótico do ramo da objetiva. A perpendicularidade será perfeita quando

a difração para a esquerda e para a direita for simétrica. Tome uma mesma linha e faça este ajuste.

4) Meça as linhas mais intensas para as difrações à esquerda e à direita e anote a cor e o ângulo. Se desejar, poderá também medir as linhas de difração de segunda ordem.

5) Calcule o comprimento de onda correspondente a cada raia do hidrogênio e teste a fórmula de Balmer para as linhas encontradas.

6) Ligue a lâmpada espectral de hélio.

7) Meça as linhas intensas do espectro do hélio.

8) Você vai notar que algumas das linhas do hidrogênio estarão presentes. Se medir com precisão vai notar que não são exatamente as linhas do hidrogênio. São as linhas do He^+, que é um hidrogenóide! Estas linhas do He^+ caem na chamada série de Pickering.

9) Só para divertir observe o espectro da lâmpada do Ne. É uma experiência visual muito bonita.

10) Complete o relatório Vapt-Vup.

UFPR- Departamento de Física

Laboratório de Física Moderna

Relatório Vapt-Vupt

Bloco 02: AS LINHAS DE BALMER

1) Faça um desenho esquemático da montagem experimental:

2) Linhas do hidrogênio: meça as linhas mais intensas, para as difrações à esquerda e à direita.

Cor	θ esquerdo	θ direito	λ médio(Å)	n_i

3) Teste da fórmula de Balmer: construa um gráfico de (1\λ) versus (1\ $n_i)^2$. Quais informações podem ser obtidas a partir dos coeficientes da reta?

4) Encontre a constante de Rydberg para o hidrogênio R_H e compare com o valor da literatura.

5) Linhas do hélio: meça as linhas mais intensas, para as difrações à esquerda e à direita.

Cor	θ esquerdo	θ direito	λ médio(Å)	n_i

6) Teste da série de Pickering: faça a mesma análise gráfica utilizada no caso do hidrogênio.

7) Encontre a constante de Rydberg para o hélio R_{He} e faça a razão R_{He}/ R_H. O que você conclui?

Dica: use a equação $1/\lambda_n = \beta^2 R_H \left[\left(1/n_f \beta\right)^2 - \left(1/n_i \beta\right)^2 \right]$ e identifique β.