UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

Aula 15 – Mais sobre Ondas de Matéria

Física 4

Ref. Halliday – Volume4

Profa. Keli F. Seidel

Sumário

...relembrando ...

Relembrando ... Elétrons e Ondas de Matéria

❖ Em 1924, **Louis de Broglie** propôs um novo raciocínio:

Se um feixe luminoso é uma onda, mas transfere energia e momento à matéria através de pacotes de energia (fótons) ...

...então...

Porque não podemos pensar em um elétron (ou qualquer outra partícula), como uma **onda de matéria**???

$$\lambda = \frac{h}{p}$$ (Comprimento de onda de "de Broglie")

Relembrando ... Equação de Schrödinger

Porém, que grandeza devemos associar a uma onda de matéria?

❖Essa grandeza é chamada de **função de onda Ψ(x, y, z, t)**
É uma onda que, além de transportar energia e momento, também transporta massa e (possivelmente) carga elétrica.

Também pode ser uma função complexa:

$$\boxed{\Psi(x,y,z,t) = \psi(x,y,z)e^{-i\omega t}}$$

Onde $\omega = 2\pi f$.
A função de onda descreve a distribuição de probabilidade de uma partícula o espaço, afinal, a onda de matéria é uma onda de probabilidade.
$|\psi|^2$ é chamado de densidade de probabilidade

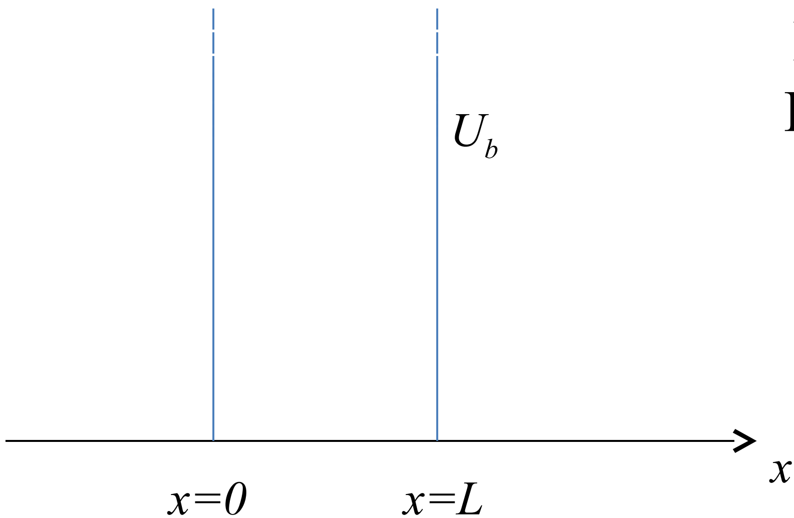
Relembrando ...Armadilhas de Elétrons

Armadilhas de "elétrons" (e/ou outras partículas sub-atômicas)...

Relembrando ...

A Energia de um Elétron Confinado

POÇO DE POTENCIAL INFINITO



Poço de Energia Potencial Infinitamente profundo, ou simplesmente, POÇO DE POTENCIAL INFINITO (unidimensional)

- Representação da energia potencial do elétron devido a armadilha representada no slide anterior
- Dentro do cilindro $U_b = -eV = 0$
- Em $x=0$ e $x=L$, $U_b = -eV \rightarrow +\infty$

UTFPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

Relembrando...Energia de um Elétron Confinado

- Vimos que...

- Os **níveis de energia permitidos** são dados por:

$$E_n = \left(\frac{h^2}{8mL^2}\right)n^2, para\ n = 1,2,3,..$$

O **confinamento de uma onda leva a quantização**, ou seja, à existência de estados discretos com energias discretas!

Relembrando...Energia de um Elétron Confinado

❖ Uma maneira de um elétron receber energia suficiente para executar a transição é absorvendo um fóton

Para que o elétron confinado absorva um fóton é preciso que a energia *hf* do fóton seja igual (ou maior) a diferença de energia *ΔE* entre a energia do estado inicial do elétron e a energia do outro estado permitido.

$$\boxed{hf = \Delta E = |E_i - E_f|}$$

Aplicada tanto para a absorção quanto para a emissão do fóton!

Assim, o elétron confinado também pode emitir um fóton!

A Energia de um Elétron Confinado

❖Exemplo 39-1

Um elétron é confinado a um poço de potencial unidimensional infinitamente profundo de largura *L=100 pm*.

a) Qual é a menor energia possível do elétron?
b) Qual é a energia de deve ser fornecida ao elétron para que executem um salto quântico do estado fundamental para o segundo estado excitado?
c) Se o elétron executa o salto quântico do item (b) após absorver a luz, qual é o comprimento de onda da luz?
d) Depois que o elétron salta para o segundo estado excitado, que comprimentos de onda pode emitir ao voltar ao estado fundamental?

$$E_n = \left(\frac{h^2}{8mL^2}\right)n^2, para\ n = 1,2,3,..$$

Um Elétron em um Poço Finito

- No caso anterior, do poço de potencial infinito, $U_b \rightarrow +\infty$

- Agora, para o **Poço de Potencial Finito**, vamos supor uma altura de barreira com um valor U_0, conhecido como profundidade do poço;

Neste caso não podemos mais garantir que a onda de matéria se anula em $x=0$ e $x=L$.

- Neste caso foi demonstrado os resultados numéricos particulares de U_0 e L (resultados de uma função de onda que descreve os estados quânticos de um elétron no Poço de Potencial Finito, partindo da equação de Schrödinger)

Um Elétron em um Poço Finito

❖ Exemplo 39-4 (Halliday)

Um elétron está confinado no estado fundamental de um poço finito com $U_0 = 450\ eV$ e $L = 100\ pm$.

a) Qual é o maior comprimento de onda de luz capaz de liberar o elétron do poço de potencial por absorção de um único fóton?
b) O elétron, que se encontra inicialmente no estado fundamental, pode absorver luz com um comprimento de onda λ=2,00 nm? Qual é a energia do elétron após a absorção?

O Modelo de Bohr para o Átomo de Hidrogênio

❖ Qualquer tipo de confinamento (em nível atômico/subatômico) faz com que a energia E do elétron seja quantizada e **isso também ocorre em átomos que são sistemas quantizados**!

❖ Como Bohr chegou a essa conclusão???

i) Descreveu o átomo mais simples, o Átomo de Hidrogênio;
ii) Como ($m_p >> m_{e-}$), assim, supôs que o próton ocupa uma posição fixa e o e^- não pode se afastar de sua vizinhança (e^- confinado!!!);

O Modelo de Bohr para o Átomo de Hidrogênio

- Na época já existiam algumas fórmulas empíricas que descreviam o fato de que o **espectro do átomo não era contínuo**, mas sim quantizado (discretizado);

- Uma das fórmulas era a **Fórmula de Rydberg-Ritz**;

$$\frac{1}{\lambda} = RZ^2\left(\frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2}\right);\ n_1 > n_2$$

- onde

  Z=número atômico

  Z_H=1

  R=cte. de Rydberg-Ritz

Veja que a fórmula não possui uma descrição física, mas puramente matemática!!!

UTFPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

O Modelo de Bohr para o Átomo de Hidrogênio

- Para desenvolver a descrição do comportamento discreto do espectro do átomo, **Bohr lançou três postulados**:

Primeiro Postulado – os elétrons se movem em certas órbitas sem irradiar energia. Essas órbitas são estados estacionários.

Segundo Postulado – os átomos irradiam(/absorvem) quando em elétron sofre uma transição de um estado estacionário para outro;

$$hf = \Delta E = |E_i - E_f|$$

...quadro e giz ...

$$f = RZ^2\left(\frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2}\right);$$

O Modelo de Bohr para o Átomo de Hidrogênio

- Mas como ocorre a transição??

Terceiro Postulado – o momento angular é quantizado e pode assumir valores iguais a ($n\hbar$), onde n é um número inteiro;

- O momento angular de uma órbita circular é quantizado

$$mrv = \frac{nh}{2\pi} = n\hbar$$

...quadro e giz ...

$$f = RZ^2\left(\frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2}\right);$$

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

O Modelo de Bohr para o Átomo de Hidrogênio

❖ Com esses três postulados ele chega ao seguinte resultado:

$$\boxed{f = Z^2\left(\frac{mk^2e^4}{4\pi\hbar^3}\right)\left(\frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2}\right)}$$

frequência de radiação do espectro, onde:

$$R = \left(\frac{mk^2e^4}{4\pi\hbar^3}\right)$$

R=cte. de Rydberg

O Modelo de Bohr para o Átomo de Hidrogênio

❖ Com esses três postulados ele chega ao seguinte resultado:

$$\boxed{f = Z^2\left(\frac{mk^2e^4}{4\pi\hbar^3}\right)\left(\frac{1}{n_2^2}-\frac{1}{n_1^2}\right)}$$

$$f = \frac{1}{\lambda} = RZ^2\left(\frac{1}{n_2^2}-\frac{1}{n_1^2}\right);$$

frequência de radiação do espectro, onde:

$$R = \left(\frac{mk^2e^4}{4\pi\hbar^3}\right)$$

R=cte. de Rydberg

O Modelo de Bohr para o Átomo de Hidrogênio

Algumas consequências...

❖O primeiro **Raio de Bohr:**

$$a_0 = \frac{\hbar^2}{mke^2} \approx 0{,}0529\ nm$$

❖ Os raios “quantizados” são dados por:

$$r_n = n^2 \frac{a_0}{Z}$$

O Modelo de Bohr para o Átomo de Hidrogênio

Algumas consequências...

- Energia quantizada do átomo:

$$E_n = -\frac{mk^2e^4}{2\hbar^2}\frac{E_0}{n^2} = -Z^2\frac{E_0}{n^2}$$

-
- Estado Fundamental do Hidrogênio

$$E_0 = \frac{mk^2e^4}{2\hbar^2} \approx 13{,}6\,eV \Leftrightarrow$$

O processo de remover um elétron de um átomo é chamado de IONIZAÇÃO

Energia de ligação entre o elétron e o átomo.