

# Aula 15 – Mais sobre Ondas de Matéria

Física 4  
Ref. Halliday – Volume 4

---

---

# 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**???

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

---

# Relembrando ... Equação de Schrödinger

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

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

Também pode ser uma função complexa:

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

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

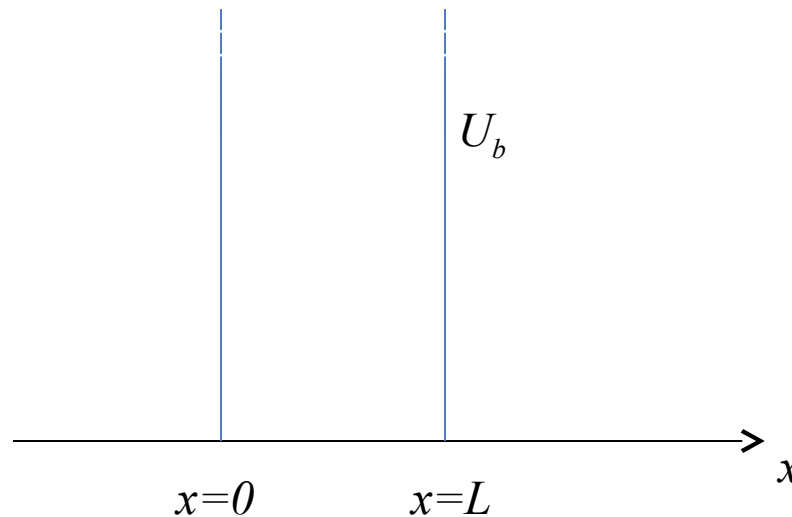
*Armadilhas de “elétrons” (e/ou outras partículas sub-atômicas)...*

---

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  $x=L$ ,  $U_b = -eV \rightarrow +\infty$

---

# Relembrando...Energia de um Elétron Confinado

❖ Vimos que...

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

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

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  $\Delta E$  entre a energia do estado inicial do elétron e a energia do outro estado permitido.

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

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  $L=100 \text{ pm}$ .

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

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

---

# 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  $U_0 = 450 \text{ eV}$  e  $L = 100 \text{ pm}$ .

- Qual é o maior comprimento de onda de luz capaz de liberar o elétron do poço de potencial por absorção de um único fóton?
- O elétron, que se encontra inicialmente no estado fundamental, pode absorver luz com um comprimento de onda  $\lambda = 2,00 \text{ nm}$ ? 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 ( $m_p \gg m_{e^-}$ ), 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**;

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

- ❖ onde

Z=número atômico

$Z_{\text{H}}=1$

R=cte. de Rydberg-Ritz

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

---

# 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 um elétron sofre uma transição de um estado estacionário para outro;

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

...quadro e giz ...

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

---

# 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

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

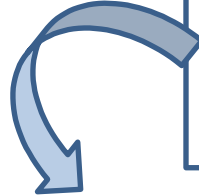
...quadro e giz ...

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

---

# O Modelo de Bohr para o Átomo de Hidrogênio

❖ Com esses três postulados ele chega ao seguinte resultado:


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

frequência de radiação do espectro, onde:

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

R=cte. de Rydberg



---

# O Modelo de Bohr para o Átomo de Hidrogênio

❖ Com esses três postulados ele chega ao seguinte resultado:

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

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

frequência de radiação do espectro, onde:

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

R=cte. de Rydberg

---

# O Modelo de Bohr para o Átomo de Hidrogênio

Algumas consequências...

❖ O primeiro **Raio de Bohr**:

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

❖ O raio “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:

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

- ❖
- ❖ Estado Fundamental do Hidrogênio

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

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

Energia de ligação entre o elétron e o átomo.