

Instituto de Física *USP*

Física V - Aula 22

Professora: Mazé Bechara

Aula 22– O Modelo Atômico de Bohr

1. **Determinações das velocidades no movimento de um elétron interagindo com o núcleo no modelo de Bohr.**
2. Os estados atômicos no átomo de hidrogênio – resultados do modelo. Comparação com os resultados experimentais.
3. **Aplicações**

Resultados do modelo de Bohr

Cálculos em aula - Refaça!

- Os raios do movimento relativo:

$$r_n = \frac{n^2}{Z} \left[\hbar^2 \frac{4\pi\epsilon_0}{e^2 \mu} \right] = \frac{n^2}{Z} r_{n=1} = \frac{n^2}{Z} r_B = \frac{n^2}{Z} 0,529 \text{Å}$$

- Observe que o raio depende da massa reduzida, e que o átomo de H ($Z=1$ e $\mu \cong m_e$) no estado fundamental tem raio de 0,529 angstroms
- Os raios crescem com n^2 e caem linearmente com Z , Isto significa que maiores n têm raios “muito” maiores, e núcleos mais pesados tem raios menores para um elétron interagindo com ele e mesmo n , em comparação com o H.

Resultados do modelo de Bohr (cálculos em aula – refaça!)

- As energias do movimento relativo de um elétron-e e de um núcleo +Ze:

$$E_n = -\frac{1}{2} \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r_n} = -\frac{Z^2}{n^2} \frac{\mu}{2\hbar^2} \left[\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0} \right]^2 = -\frac{Z^2}{n^2} E_1 = -\frac{Z^2}{n^2} 13,60\text{eV}$$

- Observe que a menor energia ocorre para $n=1$, isto quer dizer que define o estado de menor energia para o H, ou seja o estado fundamental.
- A energia cresce (fica menos negativa) com o inverso do n^2 , ou seja, os estados excitados para o átomo de H têm $n=2,3,4...$
- A energia de um elétron interagindo com um núcleo +Ze cresce com Z^2 . Este fato torna as energias atômicas dos átomos pesados (soma das energias de todos os elétrons ligados ao núcleo) muito menores (mais negativas) do que as energias do hidrogênio, mesmo levando em conta que há um papel da repulsão coulombiana (energias positivas) entre os elétrons, e que nem todos os elétrons poderão estar no estado com $n=1$. Aguarde!

Resultados do modelo de Bohr

Cálculos em aula - Refaça!

- As velocidades do movimento relativo:

$$v_n = \frac{Z}{n} \left[\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0\hbar} \right] = \frac{Z}{n} v_{n=1} = \frac{Z}{n} 2,186 \times 10^6 \frac{m}{s}$$

- Observe que as velocidades independem da massa reduzida, e que os valores envolvidos são “altos”, comparados com as velocidades no mundo macroscópico.
- Observe ainda que as velocidades decrescem linearmente com n (raios mais distantes do núcleo tem menores velocidades) ;e crescem linearmente com Z , ou seja, núcleos mais carregados têm raios muito menores do que o H para o mesmo n .
- Observe também que: $v_1/c=1/137$, ou seja, o movimento é mesmo de velocidades não relativísticas. Ufa!
- Esta constante é chamada de constante de estrutura fina, por razões que ficarão claras posteriormente.

As transições atômicas no H

- O processo: um fóton de energia hc/λ é emitido na transição do estado de energia $E_{n'}$ para E_n conservando a energia no processo, ou seja:

$$hc/\lambda = E_n - E_{n'}$$

- Os comprimentos de onda emitidos (e absorvidos):

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{1}{hc} [E_n - E_{n'}] = \frac{1}{hc} \frac{\mu}{2\hbar^2} \left[\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0} \right]^2 \left\{ \frac{1}{n'^2} - \frac{1}{n^2} \right\} = +R_H \left\{ \frac{1}{n'^2} - \frac{1}{n^2} \right\}$$

$$n = 1, 2, 3, \dots > n'$$

$$n' = 1 \text{ Série de Lyman}$$

$$n' = 2 \text{ Série de Balmer}$$

$$n' = 3 \text{ Série de Paschen...}$$

- Em acordo com a emissão e absorção observadas

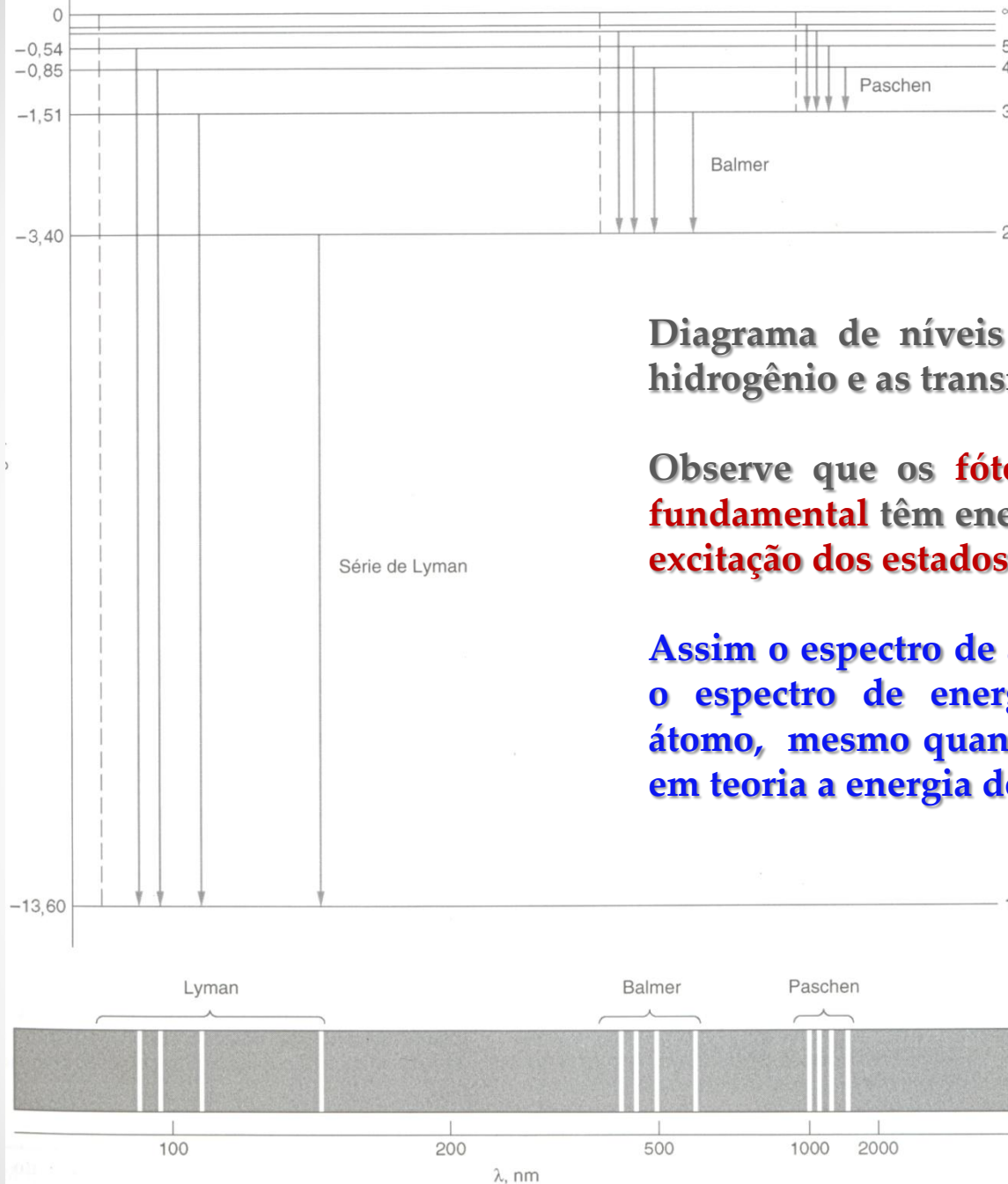


Diagrama de níveis de energia do átomo de hidrogênio e as transições possíveis.

Observe que os **fótons absorvidos no estado fundamental** têm energias iguais **às energias de excitação dos estados atômicos**.

Assim o espectro de absorção permite conhecer o espectro de energia atômica de qualquer átomo, mesmo quando não se sabe determinar em teoria a energia do estado fundamental.

As várias séries de emissão do H. A visível (aos olhos humanos) foi a primeira observada. É a série de Balmer.



$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{n'^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad n = 2, 3, \dots > n'$$

n=1 – série de Lyman

n=2 – série de Balmer (pioneira - visível)

n=3 – série de Paschen

n=4 – série de Pfund

R_H = constante de Rydberg (para o hidrogênio) = $1,096776 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$

Transições no modelo de Bohr - Aplicação

Um átomo de H no estado cuja energia de ionização é de $+0,85\text{eV}$ faz uma transição para o estado com energia de excitação de $10,20\text{eV}$. Adote as hipóteses do modelo de Bohr e os seus resultados para o átomo de hidrogênio.

- (a) Determine o estado inicial e o estado final da transição pelo número quântico que o caracteriza. Diga se algum destes estados é o estado fundamental, ou se são estados excitados do átomo de H diga quais dos estados excitados eles se referem (1° , 2° , etc). Determine o momento angular orbital do movimento relativo do átomo em cada estado acima referido.
- (b) Descreva o processo desta transição atômica. Determine a frequência e o comprimento de onda da REM envolvida na transição. Este comprimento de onda é visível? E a qual das séries do átomo de H se refere tal transição? Justifique.
- (c) Escreva a energia e o momento linear do fóton envolvido na transição. Há conservação da energia e do momento linear na transição? Justifique.
- (d) Haverá necessariamente outras transições com este átomo após a primeira? Se sua resposta for positiva, explicita quais transições podem ocorrer em um diagrama de energia atômica do H. Indique neste diagrama as energias e os momentos angulares orbitais de cada estado possível.
- (e) Seria correto definir a energia do estado fundamental do hidrogênio como $e=0\text{eV}$? Se isto for correto, quais seriam os valores de energia dos estados envolvidos nesta transição? Qual seria a máxima energia de um estado do átomo de hidrogênio neste caso? Desenhe o diagrama de níveis e compare com o que você fez no item anterior.

Átomo positrônico no Modelo de Bohr.

1. Usando o resultado do modelo de Bohr determine a energia do estado fundamental (de mais baixa energia) do átomo positrônico.
2. Qual é a distância entre as cargas no átomo positrônico no estado de menor energia comparado com a distância entre as cargas no H? e a velocidade do movimento relativo, como se comparam?
3. No modelo de Bohr é possível ter este átomo estável?

Conceitos Importantes na Física Atômica

1. **Estado Atômico:** uma dada situação de estrutura do átomo, ou seja, **da dinâmica do núcleo e dos elétrons**. Entre as grandezas do estado dinâmico estão: **a energia e o momento angular que usualmente definem o particular estado atômico**.
2. **Estado Fundamental (EF):** **o estado do átomo (núcleo e seus elétrons) no qual a energia é mínima**. Neste estado, o átomo é estável por concepção, de acordo com o fato que na natureza existe um estado natural estável (para átomos estáveis).
3. **Estados Excitados:** os estados atômicos **com energias maiores que a do EF**. O estado com energia mais próxima do EF é chamado de **1º estado excitado**, o seguinte **2º** e assim sucessivamente. Um átomo no estado excitado está em equilíbrio instável. Isto significa que depois de um tempo típico do estado, o átomo espontaneamente muda para um estado de menor energia.

Conceitos Importantes na Física Atômica

1. **Estado Atômico:** uma dada situação de estrutura do átomo, ou seja, **da dinâmica do núcleo e dos elétrons**. Entre as grandezas do estado dinâmico estão: **a energia e o momento angular que usualmente definem o particular estado atômico**.
2. **Estado Fundamental (EF):** **o estado do átomo (núcleo e seus elétrons) no qual a energia é mínima**. Neste estado, o átomo é estável por concepção, de acordo com o fato que na natureza existe um estado natural estável (para átomos estáveis).
3. **Estados Excitados:** os estados atômicos **com energias maiores que a do EF**. O estado com energia mais próxima do EF é chamado de **1º estado excitado**, o seguinte **2º** e assim sucessivamente. Um átomo no estado excitado está em equilíbrio instável. Isto significa que depois de um tempo típico do estado, o átomo espontaneamente muda para um estado de menor energia.

Conceitos Importantes na Física Atômica – cont.

4. **Diagrama de níveis de energia atômica:** gráfico com **escala vertical em energia e linhas horizontais representando as energias (constantes) dos estados atômicos**. Cada um destes estados têm outras grandezas físicas bem definidas.
5. **Energia de excitação de um estado atômico:** **diferença (positiva) entre a energia de um estado excitado e a energia do estado fundamental**. Esta energia é igual a energia que o átomo absorve para ir do estado fundamental ao estado excitado específico e, naturalmente, igual a energia do fóton emitido quando este estado excitado decai diretamente para o estado fundamental.
6. **Números quânticos:** **são números inteiros que quantizam grandezas físicas**. O número quântico **n** é chamado de **número quântico principal** (posteriormente aparecerão outros).

Conceitos Importantes na Física Atômica – cont.

7. **Transição atômica:** situação na qual um átomo está mudando de um estado (atômico) para outro. **A transição para um estado de menor energia ocorre espontaneamente**, sendo que a diferença de energia é emitida obrigatoriamente em forma de fóton, segundo o modelo de Bohr e o entendimento atual da Física. Estas transições também chamadas de decaimentos são espontâneas e explicam o **espectro de emissão atômica**.

Obs. 1: Pode haver transição de um estado de menor para outro de maior energia desde que o átomo receba energia de outro sistema para fazer tal transição com conservação de energia, não sendo assim uma transição espontânea.

Obs. 2: Os átomos podem receber energia de várias formas: energia cinética de um elétron ou outra partícula livre) e de absorção de fótons, para citar dois exemplos. O último caso explica o fato do espectro de absorção ser o “negativo” do espectro de emissão atômica.

Conceitos Importantes na Física Atômica - cont.

8. **No caso do átomo de hidrogênio, o valor da energia do único elétron em relação ao núcleo e é igual a a energia do estado atômico.** A energia de ionização do átomo naquele estado é o mínimo valor positivo de energia que deve ser dado ao átomo para ionizá-lo.
9. Energia de ligação de um elétron no átomo: o negativo do valor mínimo de energia (positiva) que deve ser dada ao elétron ligado, para que ele se desligue da força (atrativa) que o prende ao átomo, quando adotado $U(r \rightarrow \infty) = 0$.
10. **Nas tabelas é dada a energia de ionização do átomo para o átomo no seu estado fundamental.** Portanto, ele é o módulo da energia de ligação do elétron menos ligado do átomo no estado fundamental.