

# Física IV – Poli – Engenharia Elétrica: 19ª Aula (30/10/2014)

Prof. Alvaro Vannucci

Na última aula vimos:

- Princípio de Exclusão de Pauli: “em nenhum átomo dois elétrons poderão estar no mesmo estado quântico”.
- No preenchimento dos orbitais a partir do de menor energia, a regra de Hund estabelece que a situação de elétrons desemparelhados é preferível.

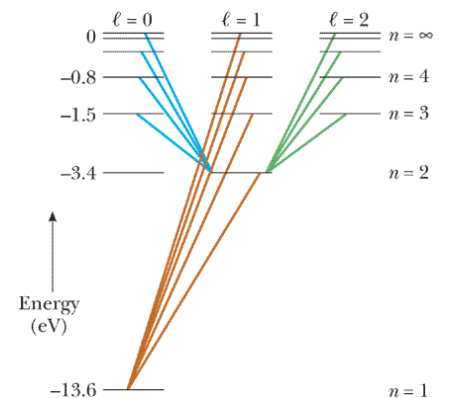
Atom	1s	2s	2p			Electronic configuration
Li						$1s^2 2s^1$
Be						$1s^2 2s^2$
B						$1s^2 2s^2 2p^1$
C						$1s^2 2s^2 2p^2$
N						$1s^2 2s^2 2p^3$
O						$1s^2 2s^2 2p^4$
F						$1s^2 2s^2 2p^5$
Ne						$1s^2 2s^2 2p^6$

- Regras de seleção que devem ser satisfeitas para que uma transição atômica

ocorra:  $\Delta l = \pm 1$  e  $\Delta m_l = 0$  ou  $\pm 1$

- Para átomos multieletrônicos a carga elétrica nuclear  $Z_e$  é em parte blindada pelos elétrons mais internos de forma que os elétrons mais externos (principalmente os elétrons de valência) sentem uma carga interna efetiva  $Z_{eff}$  bem menor. Assim, a energia do sistema pode ser escrita:

$$E_n = \frac{-13,6}{n^2} Z_{ef}^2 \text{ (eV)}$$



- No caso de um átomo com número atômico  $Z$ , considerando os dois elétrons da camada  $K$  ( $1s^2$ ), observou-se que um elétron blinda parcialmente o outro da carga nuclear ( $Ze$ ); este efeito pode ser entendido lembrando-nos da Lei de Gauss, vista em Física III.

- De forma que a energia de cada elétron da camada  $K$  ( $n = 1$ ) pode ser escrita como:

$$E_K \approx -(Z-1)^2 (13,6) eV$$

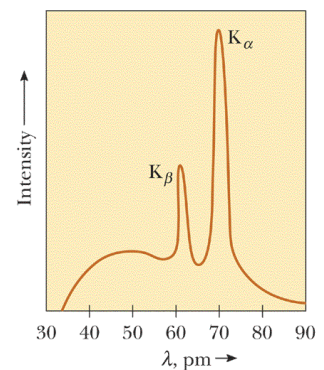
$Z_{efetivo}$

- Quando um destes elétrons é arrancado, um outro de uma camada mais externa pode ocupar o lugar vago, emitindo um fóton com energia  $\Delta E$ , correspondente à diferença de energia entre as duas camadas.
- Neste caso em particular, a energia do fóton é alta, situando-se na região dos raios-X; de forma que se o elétron vem da camada  $L$  (para ocupar o lugar vago na camada  $K$ ) então a radiação emitida é denominada  $K_\alpha$ .

- Se o elétron vem da camada  $M, N, \dots$ , temos então as emissões  $K_\beta, K_\gamma, \dots$ , que têm valores característicos para cada elemento da tabela periódica.

- De uma forma geral, a produção de raios-X é feita acelerando-se elétrons e fazendo-os incidir em um alvo metálico.

- Na interação com o metal os elétrons são freados, emitindo uma radiação contínua eletromagnética chamada de *bremsstrahlung* (“*radiação de freamento*”, em alemão). Na figura ao lado é mostrado um espectro característico.



- **Exercício:** Incidindo-se elétrons energéticos num alvo de tungstênio ( $Z = 74$ ), para a produção de raios-X, um elétron desloca-se da camada  $M$  ( $n = 3$ ) para a camada  $K$  ( $n = 1$ ). Qual é a energia dos raios-X emitidos nesta transição?

**Resolução:**

- Um elétron na camada  $K$  ( $n = 1$ ) tem energia:

$$E_K = -(74-1)^2 \frac{(13,6)}{1^2} = -72.500 eV = -72,5 KeV$$

- Um elétron na camada  $M$  ( $n = 3$ ) sente uma carga nuclear efetiva que será aproximadamente  $(Z) - (\text{o número de elétrons nas camadas interiores})$ , exatamente antes da transição.

- Ou seja:  $\begin{cases} \text{camada } n = 2: 8 \text{ elétrons} \\ \text{camada } n = 1: 1 \text{ elétron (o outro foi removido)} \end{cases}$

$$\therefore Z_{ef} = Z - 9 = 74 - 9 = 65 \Rightarrow E_n \approx - (65)^2 \frac{(13,6)}{3^2} \approx 6.380 eV$$

➤ Finalmente:  $\Delta E = E_n - E_k = -6.380 + 72.500 = 66.100 eV = 66,1 KeV$

$$\therefore \lambda = \frac{c}{f} = \frac{c}{\Delta E/\hbar} = \frac{c\hbar}{\Delta E} = \frac{(3 \times 10^8)(6,6 \times 10^{-30})}{(66,1 \times 10^3)(1,6 \times 10^{-19})} \Rightarrow \lambda = 1,87 \times 10^{-11} m = 0,0187 nm$$

## Física Nuclear

- O ano de 1896 assinala o nascimento da Física Nuclear, quando Henry Becquerel descobriu acidentalmente que um composto mineral, contendo urânio, emitia radiação que sensibilizavam chapas fotográficas isoladas da luz.
- Rutherford mostrou, posteriormente, que as radiações emitidas naturalmente por certos minerais eram de três tipos diferentes:
  - (i) Raios  $\alpha$ : núcleos de hélio
  - (ii) Raios  $\beta$ : elétrons energéticos
  - (iii) Raios  $\gamma$ : fótons muito energéticos
- Em seguida, descobre-se a existência de uma nova força, a Força Nuclear, que é muito mais intensa que a eletromagnética (e a gravitacional). Apesar de sua ação ser de curta distância, é ela que explica a estabilidade nuclear.
- Simbologia adotada para representar o núcleo de um átomo:  ${}^A_Z X$ , sendo:
  - $\left\{ \begin{array}{l} Z \equiv \text{número atômico (corresponde ao número de prótons)} \\ A \equiv \text{massa atômica (fornece a soma dos prótons e dos nêutrons)} \end{array} \right.$
- Os *isótopos* de um átomo correspondem a átomos que possuem o mesmo número de prótons (o que define o elemento atômico) mas que têm quantidades diferentes de nêutrons.
- Por exemplo, pegando o átomo de hidrogênio:  ${}^1_1 H$ ; os seus isótopos são o *deutério*  ${}^2_1 H$  e o *trítio*  ${}^3_1 H$ .
- É muito comum expressar as massas nucleares por *unidades unificadas de massa*  $u$  sendo que  $1u = 1,660559 \times 10^{-22} kg$ .
- Em particular, o elemento carbono  ${}^{12}_6 C$  tem massa nuclear padronizada de  $12u$ .

- Agora, relembando a expressão  $E = mc^2$ , é também muito comum representar a *massa de repouso* de uma partícula em termos da unidade  $eV$  (ou  $MeV$ ).
- O próton, por exemplo ( $m_p = 1,67 \times 10^{-27} \text{ kg} = 1,007276u$ ) tem massa de repouso  $m_p^0 = mc^2 = (1,67 \times 10^{-27})(3 \times 10^8)^2 = 1,5 \times 10^{-10} \text{ J} = 938MeV$ ; enquanto que para o elétron  $m_e^0 = 0,511MeV$  (energia dos raios-X:  $\sim 100eV \leq E_{RX} \leq 100KeV$ )
- Em termos de dimensões, o tamanho nuclear é muito menor que o atômico; enquanto que o segundo é  $\sim 10^{-10} m$ , o primeiro é  $\sim 10^{-15} m$ .
- Muitas vezes se representa  $10^{-15} m = 1fm$  (Fermi).
- Resultados empíricos mostram que o núcleo pode ser representado por uma esfera com raio médio:

$$\boxed{\langle r \rangle = r = r_0 A^{1/3}}; \text{ sendo a constante } \underline{r_0 = 1,2 \times 10^{-15} m}$$