

## Introdução à Física de Partículas Elementares (NHZ3024)

Prof. Dr. Marcelo Augusto Leigui de Oliveira  
 Centro de Ciências Naturais e Humanas (CCNH)  
 Universidade Federal do ABC (UFABC)

### LISTA DE EXERCÍCIOS #5

1. Partindo da função de onda do átomo de hidrogênio no estado fundamental ( $n = 1, \ell = 0$  e  $m = 0$ ):

$$\Psi_{100} = \sqrt{\frac{4}{a^3}} e^{-r/a} L_{10}(2r/a) Y_0^0(\theta, \phi) e^{-iE_1 t/\hbar},$$

onde  $a = \hbar^2/me^2$  é o raio de Bohr,  $L_{n\ell}$  é o polinômio de Laguerre associado,  $Y_\ell^m$  o harmônico esférico correspondente e  $E_1 = -me^4/2\hbar^2 = -13,6$  eV o nível de energia do nível fundamental, cheque que ela satisfaz à equação de Schrödinger:

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 \Psi - \frac{e^2}{r} \Psi = i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \Psi.$$

Mostre que a função  $\Psi_{100}$  está normalizada.

Dicas:

- A parte radial do laplaciano em coordenadas esféricas é:  $\nabla^2 f(r) = \frac{1}{r^2} \frac{d}{dr} [r^2 \frac{df}{dr}]$ ;
  - A condição de normalização em 3 dimensões, em coordenadas esféricas, é:  $\int |\Psi|^2 r^2 \sin\theta d\theta d\phi = 4\pi \int_0^\infty |\Psi|^2 r^2 dr$ .
2. Partindo da fórmula da energia cinética relativística, mostre que a correção relativística de ordem mais baixa da fórmula clássica é  $-p^4/8m^3c^2$ .
3. Encontre a separação entre os níveis de energia de estrutura fina  $j = 3/2$  e  $j = 1/2$  para o nível  $n = 2$ , em elétron volts, e compare com o espaço entre os níveis de energia de Bohr  $n = 2$  e  $n = 1$ .
4. Estime o intervalo de energia do desvio Lamb entre os níveis do hidrogênio  $2S_{1/2}$  e  $2P_{1/2}$ . Qual é a frequência do fóton emitido numa transição entre estes 2 níveis? (Resp.: 1057 Hz.)
5. Partindo da função de onda do átomo de hidrogênio no nível fundamental:

$$\psi_{100} = \frac{1}{\sqrt{\pi a^3}} e^{-r/a},$$

calcule, para o estado fundamental do pósitron, a probabilidade de o encontrarmos na origem,  $|\psi_{100}(0)|^2$ .

6. Dado que pode-se calcular a massa dos mésons por:

$$M_{meson} = m_1 + m_2 + A \frac{\vec{S}_1 \cdot \vec{S}_2}{m_1 m_2},$$

calcule a massa dos mésons pseudoescalares usando que  $m_u = m_d = 308$  MeV/c<sup>2</sup>,  $m_s = 483$  MeV/c<sup>2</sup> e o parâmetro é:  $A = (2m_u/\hbar)^2 159$  MeV/c<sup>2</sup>.