

Instituto de Física — UFRJ
Mecânica Quântica 2 – 2018-1 – Prof. Paulo A. Maia Neto
Lista 5

1. **Acoplamento Spin-Órbita.** Calcule o valor médio de $1/r^3$ no estado estacionário não-perturbado do átomo de Hidrogênio $|n = 2, j = \ell \pm 1/2, \ell = 1, m_j\rangle$. Explique porque ele não depende de j (para um ℓ dado) e nem de m_j . Obtenha, a partir deste resultado e dos elementos de matriz do operador $\mathbf{S} \cdot \mathbf{L}$ obtidos em aula, as correções de energia do nível $n = 2$ em primeira ordem no Hamiltoniano de perturbação spin-órbita $W_{\text{s.o.}} = \frac{1}{2m_e^2 c^2} \frac{1}{r} d_r V(r) \mathbf{S} \cdot \mathbf{L}$.
2. **Correção de massa relativística para o átomo de hidrogênio.** Calcule a modificação da energia do nível de número quântico principal $n = 2$ em primeira ordem de teoria de perturbação no Hamiltoniano

$$W_{mv} = -\frac{1}{8} \frac{P^4}{m^3 c^2}.$$

Sugestão: escreva $P^4 = (2m)^2 (H_0 - V(r))^2$, onde H_0 é o hamiltoniano não perturbado que descreve o hidrogênio em ordem zero na constante de estrutura fina.

3. **Termo de Darwin para o átomo de hidrogênio.** Considere o termo de Darwin

$$W_{\text{Darwin}} = \frac{\pi}{2} \left(\frac{\hbar}{mc} \right)^2 e^2 \delta^{(3)}(\mathbf{r}).$$

- (a) Determine a correção devida a W_{Darwin} em primeira ordem de teoria de perturbação para o nível de número quântico principal $n = 2$.
- (b) Combine o resultado obtido acima com os resultados das duas questões anteriores e obtenha a correção completa em ordem α^2 , onde α é a constante de estrutura fina.