1. Uma partícula de massa m é livre mas confinada numa caixa unidimensional de potencial, de largura L (isto é, $V(x) = 0$ para $0 \leq x \leq L$ e infinita fora desse intervalo). Em $t = 0$ ela se encontra no estado $\psi(x) = cte$, sendo cte uma constante no intervalo $0 \leq x \leq a < L$ e zero fora dele.

   (a) Quais são os estados estacionários dessa partícula?

   (b) Qual a função de onda num instante $t > 0$ qualquer?

   (c) Qual o valor médio da energia num instante $t > 0$ qualquer?

2. O teorema do virial para um oscilador harmônico unidimensional afirma que $\langle V(x)\rangle = \langle T(p)\rangle$ entre os valores médios da energia potencial e da energia cinética. Calcule, então, as incertezas na posição x e no momento linear p para <u>um estado n qualquer</u> desse oscilador. Qual o valor de $\Delta x \Delta p$ para o estado fundamental?

3. Para o átomo de hidrogênio,

   (a) qual o fato principal que leva à quantização da energia?

   (b) por que seus estados (de um elétron) podem ser rotulados por $1s$, $2s$, $2p_x$, $2p_y$, $2p_z$, $3s$, ...?

   (c) qual o valor da sua energia de ionização?

   (d) qual a origem física das interações finas e qual a ordem de grandeza das mesmas? Dê exemplo de uma dessas interações, escrevendo o Hamiltoniano dela.

   (e) qual a origem física das interações hiperfinas e qual a ordem de grandeza das mesmas?

4. Três spins 1/2 interagem segundo $H = -J[\vec{S}_1 \cdot \vec{S}_2 + \vec{S}_2 \cdot \vec{S}_3 + \vec{S}_3 \cdot \vec{S}_1]$, com J constante. Determine:

   (a) os possíveis valores do momento angular total;

   (b) os autovalores de H e respectivas degenerescências.

   (c) Qual o valor do spin total do estado fundamental caso $J > 0$? Idem para $J < 0$.

5. Uma partícula com spin 1 é regida pelo Hamiltoniano $H^0 + H'$, onde (ambos são escritos na base dos autoestados de S_z, isto é, na base $\{|-1\rangle, |0\rangle, |1\rangle\}$)

$$H^0 = \alpha S_z^2 = \alpha\hbar^2 \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad \text{e} \quad H' = \beta S_x^2 = \beta\frac{\hbar^2}{2} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 0 & 2 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

   Considerando H' como perturbação, obtenha as correções até segunda ordem (em β) no autovalor não degenerado e em ordem mais baixa nos degenerados.