

CAPÍTULO 10 – MECÂNICA QUÂNTICA II – ESTRUTURA ATÔMICA

(*) Capítulo 41 do Livro Texto

10ª LISTA DE EXERCÍCIOS

1 - Exercícios

1.1 - O átomo de hidrogênio

1- (Exercício 7 – Livro Texto) Considere um elétron na camada N . (a) Qual é o menor momento angular orbital que esse elétron poderia ter? (b) Qual é o maior momento angular orbital que ele poderia ter? Expresse suas respostas em termos de \hbar e em unidades do SI . (c) Qual é o maior momento angular orbital que esse elétron poderia ter em qualquer direção escolhida? Expresse suas respostas em termos de \hbar e em unidades do SI . (d) Qual é o maior momento angular de *spin* que esse elétron poderia ter em qualquer direção escolhida? Expresse suas respostas em termos de \hbar e em unidades do SI . (e) Para o elétron no item (c), qual é a relação entre seu momento angular de *spin* na direção z e seu momento angular orbital na direção z ?

2- (Exercício 9 – Livro Texto) O momento angular orbital de um elétron possui módulo igual a $4,716 \times 10^{-34} \text{ kg} \times \text{m}^2/\text{s}$. Qual é o número quântico do momento angular l desse elétron?

3- (Exercício 12 – Livro Texto) Um átomo de hidrogênio está em um estado que possui $L_z = 2\hbar$. No modelo vetorial semiclássico, o vetor do momento angular \vec{L} para esse estado forma um ângulo $\theta_L = 63,4^\circ$ com o eixo $+z$. (a) Qual é o número quântico l para esse estado? (b) Qual é o menor valor possível do número quântico n para esse estado?

4- (Exercício 14 – Livro Texto) (a) Faça uma tabela mostrando todos os conjuntos de números quânticos l e m_l possíveis para os estados do elétron no átomo de hidrogênio quando $n = 4$. Quantas combinações existem? (b) Quais são as energias desses estados?

5- (Exercício 17 – Livro Texto) Mostre que $\Phi(\varphi) = e^{im_l\varphi} = \Phi(\varphi + 2\pi)$ (ou seja, mostre que $\Phi(\varphi)$ é periódica com período igual a 2π) se e somente se m_l possuir valores restritos a $0, \pm 1, \pm 2, \dots$. (Sugestão: use a fórmula de Euler $e^{i\varphi} = \cos \varphi + i \sin \varphi$.)

1.2 - O efeito Zeeman

6- (Exercício 18 – Livro Texto) Um átomo de hidrogênio está no estado d . Na ausência de campo magnético externo, os estados com valores diferentes de m_l possuem (aproximadamente) a mesma energia. Considere a interação do campo magnético com o momento de dipolo magnético orbital do átomo. (a) Calcule, em elétrons-volt, o desdobramento dos níveis m_l quando o átomo é colocado em um campo magnético de $0,800 \text{ T}$ na direção $+z$. (b) Qual é o nível m_l que possui a energia mais baixa? (c) Faça um diagrama dos níveis de energia d com e sem o campo magnético externo.

7- (Exercício 21 – Livro Texto) Um átomo de hidrogênio no estado $5g$ é colocado em um campo magnético de $0,600 T$ situado na direção z . (a) Em quantos níveis o estado se desdobra por causa da interação do campo magnético com o momento de dipolo magnético orbital do átomo? (b) Qual é a diferença de energia entre dois níveis adjacentes? (c) Qual é a diferença de energia entre o nível mais elevado e o nível mais baixo?

1.3 - Spin do elétron

8- (Exercício 21 – Livro Texto) Um átomo de hidrogênio no estado $n = 1$, $m_s = -1/2$ é colocado em um campo magnético com módulo igual a $1,60 T$ situado na direção $+z$. (a) Calcule a energia (em elétrons-volt) da interação magnética do elétron com o campo. (b) Existe alguma interação magnética entre o campo magnético e o momento de dipolo magnético orbital nesse estado? Explique. (c) Pode existir uma interação com o momento de dipolo magnético orbital para $n \neq 1$?

9- (Exercício 24 – Livro Texto) A interação hiperfina no átomo de hidrogênio entre o momento de dipolo magnético do próton e o momento de dipolo magnético de spin do elétron produz o desdobramento do nível fundamental em dois níveis separados por $5,9 \times 10^{-6} eV$. Calcule o comprimento de onda e a frequência do fóton emitido quando o átomo faz uma transição entre esses estados. Em que parte do espectro eletromagnético o fóton se situa? Esses fótons são emitidos por nuvens de hidrogênio frias do espaço interestelar; ao detectar esses fótons, os astrônomos são capazes de calcular o número e a densidade de tais nuvens.

10- (Exercício 26 – Livro Texto) Verifica-se que um átomo de hidrogênio em um estado com um determinado momento angular orbital possui números quânticos j iguais a $7/2$ e $9/2$. (a) Qual é a letra (na notação espectroscópica) correspondente ao valor de l para o estado? (b) Se $n = 5$, qual é a diferença de energia entre os níveis $j = 7/2$ e $j = 9/2$?

1.4 - Átomos com muitos elétrons e o princípio de exclusão

11- (Exercício 27 – Livro Texto) Faça uma lista dos quatro números quânticos n , l , m_l e m_s para cada um dos dez elétrons no estado fundamental do átomo de neônio. Evite consultar as tabelas do livro texto.

12- (Exercício 30 – Livro Texto) (a) Escreva a configuração eletrônica do estado fundamental ($1s^2, 2s^2, \dots$) para o átomo de carbono. (b) Qual é o próximo elemento de Z em tamanho que possui propriedades químicas semelhantes às do carbono? Forneça a configuração eletrônica do estado fundamental desse elemento.

2 - Problemas

13- (Exercício 48 – Livro Texto) (a) Qual é a menor energia possível (em elétrons-volt) de um elétron no hidrogênio se seu momento angular orbital é $\sqrt{20}\hbar$? (b) Quais são os maiores e os menores valores da componente z do momento angular orbital (em termos de \hbar) do elétron no item (a)? (c) Quais são os maiores e os menores valores do momento angular de *spin* (em termos de \hbar) do elétron no

item (a)? (d) Quais são os maiores e os menores valores do momento angular orbital (em termos de \hbar) de um elétron na camada M do hidrogênio?

14- (Exercício 50 – Livro Texto) Para um átomo de hidrogênio, a probabilidade $P(r)$ de encontrar o elétron no interior de uma camada esférica de raio interno r e raio externo $r + dr$ é dada pela equação $P(r)dr = |\psi|^2 4\pi r^2 dr$. Para um átomo de hidrogênio no estado fundamental $1s$, em que valor de r a probabilidade $P(r)$ atinge seu valor máximo? Como seu resultado se compara à distância entre o elétron e o núcleo no estado $n = 1$ no modelo de Bohr?

15- (Exercício 51 – Livro Texto) A função de onda radial normalizada, para o estado $2p$ do átomo de hidrogênio, é $R_{2p}(1/\sqrt{24a^5})re^{-r/2a}$. Depois de fazermos a média das variáveis angulares, a função de probabilidade radial torna-se $P(r)dr = (R_{2p})^2 r^2 dr$. Em que valor de r a função $P(r)$ é um máximo para o estado $2p$? Compare seus resultados com o raio do estado $n = 2$ no modelo de Bohr.

16- (Exercício 56 – Livro Texto) **Experiência de Stern-Gerlach.** Em uma experiência de Stern-Gerlach, a força de desvio sobre o átomo é $F_z = -\mu_{sz}(dB_z/dz)$, onde $\mu_{sz} = -(2,00232)\frac{e}{2m}S_z$ e dB_z/dz é o gradiente do campo magnético. Em uma experiência na qual a região do campo magnético apresenta 50 cm de comprimento, suponha que o gradiente do campo magnético seja constante nessa região. Um feixe de átomos de prata entra no campo magnético com uma velocidade de 375 m/s . Que valor de dB_z/dz é necessário para resultar em uma separação de 1 mm entre os dois componentes do *spin* ao saírem do campo? (Nota: o momento dipolo magnético da prata é igual ao do hidrogênio, já que seu elétron de valência se encontra em um estado $l = 0$.)

16- (Exercício 59 – Livro Texto) **Universo estranho.** Em outro universo, o elétron é uma partícula com *spin* igual a $3/2$ em vez de $1/2$, mas todas as outras leis e fenômenos físicos são iguais aos do nosso universo. Nesse universo, (a) quais são os números atômicos dos dois gases inertes mais leves? (b) Qual é a configuração do elétron do estado fundamental do sódio?

17- (Exercício 60 – Livro Texto) A configuração eletrônica do estado fundamental $^2S_{1/2}$ de um átomo de lítio com três elétrons é $1s^2 2p$. O estado excitado $1s^2 2p$ se desdobra em dois níveis muito próximos, $^2P_{3/2}$ e $^2P_{1/2}$, em virtude da interação *spin*-órbita (veja o Exemplo 41.7 na Seção 41.5 do livro texto). Um fóton de comprimento de onda igual a $67,09608\ \mu\text{m}$ é emitido na transição $^2P_{3/2} \rightarrow ^2P_{1/2}$, e um fóton de comprimento de onda igual a $67,09761\ \mu\text{m}$ é emitido na transição $^2P_{1/2} \rightarrow ^2P_{1/2}$. Calcule o campo magnético efetivo que atua sobre o elétron no estado $1s^2 2p$ do átomo de lítio.

18- (Exercício 62 – Livro Texto) **Ressonância de *spin*.** Os elétrons situados no mais baixo de dois estados de *spin* em um campo magnético podem absorver um fóton com uma frequência exatamente suficiente para efetuarem uma transição para o estado com *spin* mais elevado. (a) Calcule o módulo B do campo magnético necessário para essa transição induzida por micro-ondas de comprimento de onda λ em átomos de hidrogênio no estado $n = 1$ e $l = 0$. (b) Calcule o valor de B para um comprimento de onda igual a $4,20\text{ cm}$.