

FÍSICA MODERNA - 1/2011

LISTA 6

1. (a) Encontre o valor do raio de Bohr $a_B = \hbar^2/(ke^2m)$, onde m é a massa do elétron, usando os valores em unidades SI das constantes envolvidas.

(b) Normalmente é mais fácil fazer estes cálculos usando combinações destas constantes que aparecem com muita frequência e que podem ser memorizadas em unidades convenientes, tais como $ke^2 = 1,44 \text{ eV}\cdot\text{nm}$, por exemplo. Encontre o valor da combinação $\hbar c$ em $\text{eV}\cdot\text{nm}$ a partir do valor conhecido de hc . Agora calcule a_B escrevendo-o como $(\hbar c)^2/(ke^2mc^2)$ e usando os valores conhecidos de $\hbar c$, ke^2 e mc^2 em unidades convenientes.

2. (a) Encontre uma expressão para a velocidade do elétron na órbita de Bohr de ordem n .

(b) Demonstre que a velocidade é máxima na órbita $n = 1$, na qual ela vale $v_1 = ke^2/\hbar$. Compare este valor com a velocidade da luz, e discuta a validade de se ignorar efeitos relativísticos na discussão do átomo de hidrogênio, como fizemos.

(c) A razão

$$\alpha = \frac{v_1}{c} = \frac{ke^2}{\hbar c}$$

é chamada a *constante de estrutura fina* (por razões que serão discutidas no capítulo 9) e o valor geralmente usado para esta constante é $\alpha \approx 1/137$. Verifique este valor.

3. Encontre o intervalo de valores dos comprimentos de onda nas séries de Lyman, Balmer e Paschen do espectro do átomo de hidrogênio. Mostre que todas as linhas da série de Lyman estão na região do ultravioleta (UV), que todas as da série de Paschen estão na região do infravermelho (IV) e que as da série de Balmer estão na região do visível ou do UV. Note que a região do visível vai do violeta, com comprimento de onda de cerca de 400 nm, ao vermelho profundo com cerca de 700 nm. Mostre que estas três séries não se superpõem, mas que a próxima série espectral, na qual o nível mais baixo é o $n = 4$, se superpõe à série de Paschen.

4. O muon negativo é uma partícula subatômica com a mesma carga que o elétron mas uma massa cerca de 207 vezes maior, $m_\mu \approx 207m_e$. Um muon pode ser capturado por um próton para formar um "átomo de hidrogênio muônico", ou muônio, com energia e raio dados pelo modelo de Bohr, bastando para isso trocar m_e por m_μ .

(a) Qual o raio e a energia do estado fundamental do muônio?

(b) Qual o comprimento de onda da linha α de Lyman no hidrogênio muônico? Em que região do espectro está esta radiação eletromagnética? Considere o próton como fixo, apesar de esta não ser uma boa aproximação neste caso.

5. Na maior parte deste capítulo tratamos o núcleo atômico como se estivesse parado. Esta aproximação, em geral muito boa, pode ser evitada se usarmos a massa reduzida, como explicado nas notas de aula.

(a) Que erro percentual cometemos nas energias do átomo do hidrogênio ordinário ao ignorar o movimento do próton?

(b) Responda à mesma pergunta, agora para o hidrogênio muônico apresentado no problema anterior.

6. Quando o espectro do íon de hélio uma vez ionizado He^+ foi observado pela primeira vez, ele foi

interpretado como sendo uma nova parte do espectro do átomo de hidrogênio. As duas questões que se seguem ilustram esta confusão.

(a) Mostre que linhas alternadas da série de Balmer do He^+ - isto é, as linhas dadas pela fórmula de Rydberg com o nível inferior $n' = 2$ - coincidem com as linhas da série de Lyman do hidrogênio.

(b) Mostre que todas as linhas do He^+ podem ser (incorretamente) interpretadas como sendo linhas do espectro do hidrogênio se permitirmos que os números n e n' da fórmula de Rydberg possam ser também *semi-inteiros*, além de inteiros.

7. O pion negativo, π^- , é uma partícula subatômica com carga igual à do elétron mas $m_\pi = 273m_e$. Um π^- pode ser capturado por um núcleo atômico para uma órbita de Bohr, com raio dado pela fórmula de Bohr, mas com m_π no lugar de m_e .

(a) Qual o raio orbital de um π^- capturado na órbita $n = 1$ de um núcleo de carbono?

(b) Dado que o raio do núcleo de carbono tem raio $R \approx 3 \times 10^{-15}$ m, é possível a existência desta órbita?

(c) Repita os itens (a) e (b) para um núcleo de chumbo, Pb, que tem raio $R \approx 7 \times 10^{-16}$ m.

8. Suponha que um muon negativo (veja problema 4 desta lista) penetra na nuvem eletrônica de um átomo de prata e é capturado na órbita $n = 1$ ao redor do núcleo.

(a) Qual o raio (em fm) da órbita do muon? Ignorar o efeito dos elétrons atômicos é uma boa aproximação neste caso? (Você verá que o raio orbital do muon é muito próximo do raio do núcleo. Por esta razão, os detalhes da órbita do muon são muito sensíveis à distribuição da carga do núcleo, e o estudo de átomos muônicos constitui uma sonda muito útil para o estudo de propriedades nucleares.)

(b) Quais são a energia e o comprimento de onda do fóton emitido quando o muon sofre uma transição entre os níveis $n = 2$ e $n = 1$?