

## CAPÍTULO 8 – PROPRIEDADES ONDULATÓRIAS DAS PARTÍCULAS

(\*) Capítulo 39 do Livro Texto

### 8ª LISTA DE EXERCÍCIOS

#### 1 - Exercícios

##### 1.1 - Ondas de elétrons

1- (Exercício 1 – Livro Texto) (a) Um elétron se move com velocidade igual a  $4,70 \times 10^6 \text{ m/s}$ . Qual é seu comprimento de onda de De Broglie? (b) Um próton se move com a mesma velocidade. Determine seu comprimento de onda de De Broglie.

2- (Exercício 3 – Livro Texto) O comprimento de onda de De Broglie de um elétron é  $2,80 \times 10^{-10} \text{ m}$ . Determine (a) o módulo do momento linear; (b) sua energia cinética (em joules e em elétrons-volt).

3- (Exercício 4 – Livro Texto) Comprimento de onda de uma partícula alfa. Uma partícula alfa ( $m = 6,64 \times 10^{-27} \text{ kg}$ ) emitida no decaimento radioativo do urânio 238 possui energia igual a  $4,20 \text{ MeV}$ . Qual é seu comprimento de onda de De Broglie?

4- (Exercício 7 – Livro Texto) (a) Se um fóton e um elétron têm a mesma energia de  $20,0 \text{ eV}$ , encontre o comprimento de onda de cada um. (b) Se um fóton e um elétron têm o mesmo comprimento de onda de  $250 \text{ nm}$ , encontre a energia de cada um. (c) Você deseja estudar uma molécula orgânica de cerca de  $250 \text{ nm}$  de extensão usando um fóton ou um microscópio eletrônico, com o comprimento de onda  $\lambda = 250 \text{ nm}$ , para os dois casos. Qual das partículas, o elétron ou o fóton, tende a danificar menos a molécula? Justifique!

5- (Exercício 10 – Livro Texto) Que diferença de potencial  $V$  seria necessária para acelerar os elétrons para terem (a) o mesmo comprimento de onda que um raio X de comprimento de onda de  $0,220 \text{ nm}$  e (b) a mesma energia que o raio X no item (a)?

6- (Exercício 14 – Livro Texto) (a) Em um microscópio eletrônico, qual é a voltagem de aceleração necessária para produzir um feixe de elétrons de comprimento de onda igual a  $0,0600 \text{ nm}$ ? (b) Se usarmos prótons em vez de elétrons, qual será a voltagem de aceleração necessária para produzir prótons de comprimento de onda igual a  $0,0600 \text{ nm}$ ?

##### 1.2 - O núcleo atômico e espectros atômicos

7- (Exercício 17 – Livro Texto) Um feixe de partículas alfa incide sobre um alvo de chumbo. Uma partícula alfa em particular chega “de frente” a um núcleo de chumbo em particular e para a  $6,50 \times 10^{-14} \text{ m}$  de distância do centro do núcleo. (Esse ponto está bastante fora do núcleo.) Suponha que o núcleo de chumbo, que possui 82 prótons, permanecesse em repouso. A massa da partícula alfa é de  $6,64 \times 10^{-27} \text{ kg}$ . (a) Calcule a energia potencial eletrostática  $U$  no instante em

que a partícula alfa para. Expresse seu resultado em *joules* e em *MeV*. (b) Que energia cinética inicial (em *joules* e em *MeV*) a partícula alfa tinha? (c) Qual era a velocidade inicial da partícula alfa?

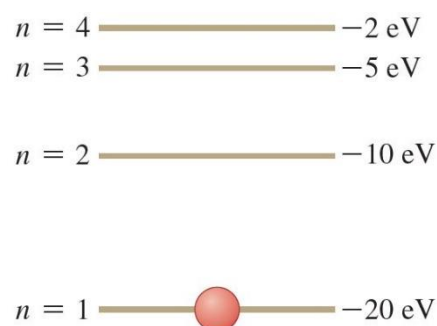
### 1.3 - Níveis de energia e o modelo do átomo de Bohr

8- (Exercício 19 – Livro Texto) Um átomo de hidrogênio está em um estado com energia  $-1,51$  eV. No modelo de Bohr, qual é o momento angular do elétron no átomo em relação a um eixo no núcleo?

9- (Exercício 20 – Livro Texto) Um átomo de hidrogênio em seu nível fundamental absorve um fóton, que excita o átomo até o nível  $n = 3$ . Determine o comprimento de onda e a frequência do fóton.

10- (Exercício 23 – Livro Texto) (a) Usando o modelo de Bohr, calcule a velocidade do elétron em um átomo de hidrogênio nos níveis  $n = 1, 2$  e  $3$ . (b) Calcule o período orbital em cada um desses níveis. (c) O tempo de vida médio do primeiro nível excitado  $n = 2$  de um átomo de hidrogênio é  $1,0 \times 10^{-8}$  s. No modelo de Bohr, quantas órbitas um elétron no nível  $n = 2$  completa antes de retornar ao nível fundamental?

11- (Exercício 25 – Livro Texto) O esquema do nível de energia para o elemento hipotético de um elétron Searsium aparece na figura ao lado. A energia potencial é considerada zero para um elétron a uma distância infinita do núcleo. (a) Quanta energia (em elétrons-volt) é necessária para ionizar um elétron a partir do nível fundamental? (b) Um fóton de  $18$  eV é absorvido por um átomo de Searsium em seu nível fundamental. Quando o átomo retorna a seu nível fundamental, que energias possíveis os fótons emitidos podem ter? Suponha que possa haver transições entre todos os pares de níveis. (c) O que acontecerá se um fóton com uma energia de  $8$  eV atingir um átomo de Searsium em seu nível fundamental? Por quê?



12- (Exercício 28 – Livro Texto) Determine os comprimentos de onda mais longo e mais curto nas séries de Lyman e Paschen para o hidrogênio. Em que região do espectro eletromagnético cada série se encontra?

13- (Exercício 30 – Livro Texto) Use as fórmulas de Balmer para calcular (a) o comprimento de onda, (b) a frequência e (c) a energia do fóton para a linha  $H_\gamma$  da série de Balmer para o hidrogênio.

### 1.4 – O Laser

14- (Exercício 31 – Livro Texto) *Cirurgia a laser*. Usando uma mistura de  $CO_2$ ,  $N_2$  e às vezes  $He$ , os lasers de  $CO_2$  emitem um comprimento de onda de  $10,6$  mm. Com saídas de potência de  $0,100$  kW, esses lasers são usados para cirurgia. Quantos fótons por segundo um laser de  $CO_2$  fornece ao tecido durante seu uso em uma operação?

15- (Exercício 32 – Livro Texto) *Removendo marcas de nascença*. Os lasers de corante pulsados emitem luz com comprimento de onda de  $585 \text{ nm}$  em pulsos de  $0,45 \text{ ms}$  para remover manchas na pele, como marcas de nascença. O raio normalmente é focalizado em um ponto circular de  $5,0 \text{ mm}$  de diâmetro. Suponha que a saída de um laser desse tipo seja de  $20,0 \text{ W}$ . (a) Qual é a energia de cada fóton, em  $eV$ ? (b) Quantos fótons por milímetro quadrado são fornecidos à mancha durante cada pulso?

### 1.5 – Espectros contínuos

16- (Exercício 38 – Livro Texto) Determine  $\lambda_{\text{máx}}$ , o comprimento de onda no pico da distribuição de Planck, e a frequência correspondente  $f$ , nestas temperaturas: (a)  $3 \text{ K}$ ; (b)  $300 \text{ K}$ ; (c)  $3.000 \text{ K}$ .

17- (Exercício 40 – Livro Texto) O comprimento de onda visível mais curto é cerca de  $400 \text{ nm}$ . Qual é a temperatura de um irradiador ideal cujos picos de emissão espectral estão nesse comprimento de onda?

18- (Exercício 41 – Livro Texto) Duas estrelas, ambas se comportando como corpos negros ideais, irradiam a mesma energia total por segundo. A mais fria possui uma temperatura  $T$  na superfície e um diâmetro igual a  $3,0$  vezes o da estrela mais quente. (a) Qual é a temperatura da estrela mais quente em termos de  $T$ ? (b) Qual é a razão entre o comprimento de onda de intensidade máxima da estrela mais quente e o comprimento de onda de intensidade máxima da estrela mais fria?

### 1.6 – Revisão do princípio da incerteza

19- (Exercício 44 – Livro Texto) Um mosquito de  $1,5 \text{ mg}$  está importunando-o enquanto você tenta estudar física no seu quarto, que tem  $5,0 \text{ m}$  de lado e  $2,5 \text{ m}$  de altura. Você decide atingir o inoportuno inseto quando ele se aproxima, mas você precisa estimar a velocidade dele para aplicar um golpe mortal. (a) Qual é a incerteza máxima na posição horizontal do mosquito? (b) Que limite o princípio da incerteza de Heisenberg estabelece sobre sua capacidade de saber a velocidade horizontal desse mosquito? Esse limite é um sério obstáculo à sua tentativa de atingir o mosquito?

20- (Exercício 45 – Livro Texto) (a) A incerteza no componente  $y$  da posição de um próton é  $2,0 \times 10^{-12} \text{ m}$ . Qual é a incerteza mínima em uma medição simultânea do componente  $y$  da velocidade do próton? (b) A incerteza no componente  $z$  da velocidade de um elétron é  $0,250 \text{ m/s}$ . Qual é a incerteza mínima em uma medição simultânea da coordenada  $z$  do elétron?

21- (Exercício 49 – Livro Texto) Um átomo em um estado metaestável possui vida média de  $5,2 \text{ ms}$ . Qual é a incerteza na energia do estado metaestável?

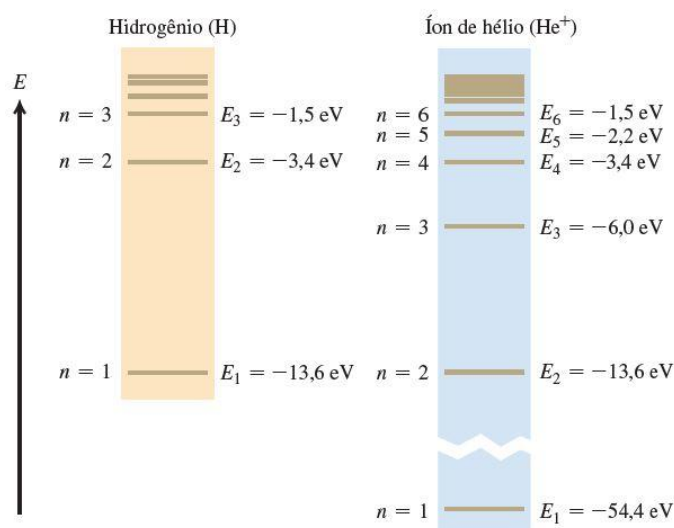
## 2 - Problemas

22- (Exercício 50 – Livro Texto) Um átomo com massa  $m$  emite um fóton com comprimento de onda  $\lambda$ . (a) Qual é a velocidade de recuo do átomo? (b) Qual é a energia cinética  $K$  do átomo recuando? (c) Determine a razão  $K/E$ , onde  $E$  é a energia do fóton emitido. Se essa razão for muito menor que

a unidade, o recuo do átomo pode ser desprezado no processo de emissão. O recuo do átomo é mais importante para massas atômicas pequenas ou grandes? Para comprimentos de onda longos ou curtos? (d) Calcule  $K$  (em *elétrons – volt*) e  $K/E$  para um átomo de hidrogênio (massa de  $1,67 \times 10^{-27} \text{ kg}$ ) que emite um fóton ultravioleta de energia  $10,2 \text{ eV}$ . O recuo é uma consideração importante nesse processo de emissão?

23- (Exercício 53 – Livro Texto) (a) Qual é a menor quantidade de energia em *elétrons – volt* que deverá ser dada a um átomo de hidrogênio inicialmente em seu nível fundamental para que ele possa emitir a linha  $H_\alpha$  na série de Balmer? (b) Quantas possibilidades diferentes de emissões de linha espectral existem para esse átomo quando o elétron começa no nível  $n = 3$  e por fim termina no nível fundamental? Calcule o comprimento de onda do fóton emitido em cada caso.

24- (Exercício 56 – Livro Texto) Considere que o intervalo de comprimentos de onda do espectro visível seja de  $380$  a  $750 \text{ nm}$ . (a) Quais são a maior e a menor energias de fóton para a luz visível? (b) Os seis menores níveis de energia do íon  $He^+$  de um elétron são dados na figura ao lado. Para esses níveis, que transições geram absorção ou emissão de fótons de luz visível?



25- (Exercício 57 – Livro Texto) **A supergigante vermelha Betelgeuse.** A estrela Betelgeuse possui uma temperatura de  $3.000 \text{ K}$  na superfície e tem  $600$  vezes o diâmetro do nosso sol. (Se o nosso sol fosse tão grande, estaríamos dentro dele!) Suponha que ela irradie como um corpo negro ideal. (a) Se a Betelgeuse irradiasse toda a sua energia no comprimento de onda com intensidade máxima, quantos fótons por segundo ela irradiaria? (b) Encontre a razão entre a potência irradiada por Betelgeuse e a potência irradiada pelo nosso sol (a  $5.800 \text{ K}$ ).

26- (Exercício 59 – Livro Texto) Qual deverá ser a temperatura de um corpo negro ideal para que os fótons de sua luz irradiada com comprimento de onda de intensidade máxima possam excitar o elétron no átomo de hidrogênio do modelo de Bohr do nível fundamental ( $n = 1$ ) para o nível de energia  $n = 4$ ?

27- (Exercício 67 – Livro Texto) Um feixe de elétrons e um feixe de fótons passam por fendas idênticas. Em um anteparo distante, a primeira franja escura ocorre no mesmo ângulo para ambos os feixes. A velocidade dos elétrons é bem menor que a da luz. (a) Expresse a energia de um fóton em termos da energia cinética  $K$  de um dos elétrons. (b) Qual é maior, a energia de um fóton ou a energia cinética de um elétron?

28- (Exercício 72 – Livro Texto) Energia do próton em um núcleo. Os raios dos núcleos dos átomos são da ordem de  $5,0 \times 10^{-15} \text{ m}$ . (a) Estime a incerteza mínima no momento linear de um próton quando ele está confinado no núcleo. (b) Considere o valor da incerteza no momento linear como uma estimativa do módulo do momento linear. Use a expressão relativística entre a energia  $E$  e o momento linear  $p$ , para obter uma estimativa da energia cinética  $K$  de um próton confinado em um núcleo. (c) Para que um próton permaneça ligado no interior do núcleo, qual deve ser o módulo da energia potencial (negativa) para que ele fique confinado no núcleo? Dê sua resposta em  $eV$  e em  $MeV$ . Compare com a energia potencial de um elétron no átomo de hidrogênio, a qual é da ordem de algumas dezenas de  $eV$ . (Esse resultado mostra por que a interação que mantém um próton ligado ao núcleo é chamada de “força nuclear forte”.)