

**Questão 1**

A molécula de monóxido de carbono (CO) pode ser imaginada como um átomo de oxigênio e um de carbono ligados por uma “mola” de constante elástica  $k$ , como está mostrado na figura 1.

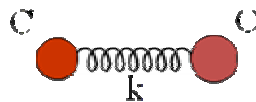


Figura 1. Modelo “massa-mola” para a molécula de CO.

- a) Usando esse modelo, calcule o espectro de energias da molécula de CO em termos de  $k$  e das massas dos átomos,  $m_C$  e  $m_O$ . Não leve em consideração possíveis movimentos de rotação.
- b) Em um experimento (G. J. Schulz, *Vibrational Excitation of  $N_2$ , CO, and  $H_2$  by Electron Impact*, Phys. Rev. 135, A988, 1964), elétrons de energia 2 eV colidem com moléculas de CO. A figura 1.2 mostra que os elétrons tendem a perder apenas certas quantidades de energia nessas colisões. Ou seja, as moléculas de CO ganham apenas determinadas energias. Usando a figura 2, obtenha as energias de excitação do CO e compare-as com a previsão do modelo do item (a). Que valor para a constante  $k$  da ligação C-O resulta dessa comparação? As massas molares do carbono e oxigênio são, respectivamente, 12 g/mol e 16 g/mol.

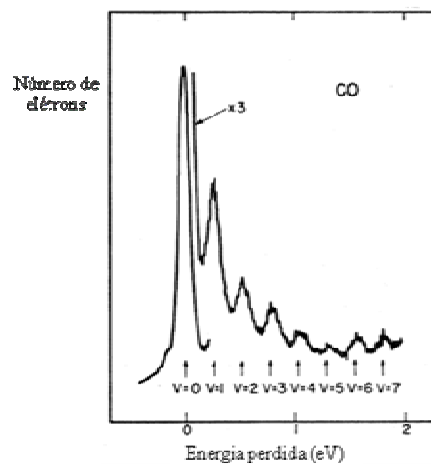


Figura 2. Energia perdida pelos elétrons em colisões e + CO.

### Questão 2

Uma partícula de massa  $m$  descreve uma órbita circular de raio  $r$ , com velocidade constante, como mostrado na figura 1.

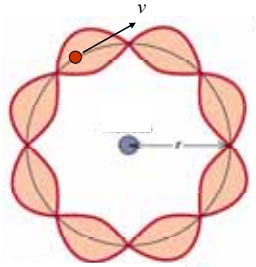


Figura 1. Onda de de Broglie de uma partícula em órbita circular.

- Que comprimentos de onda pode ter a onda de de Broglie associada a essa partícula?
- Que velocidades a partícula pode ter nessa órbita?
- Mostre que o momento angular da partícula é quantizado pela regra de Bohr,  $L = n \hbar$ .

### Questão 3

No modelo de Bohr do átomo de hidrogênio, o elétron descreve órbitas circulares em torno do próton, com momento angular  $L = n \hbar$  (veja a figura 1).

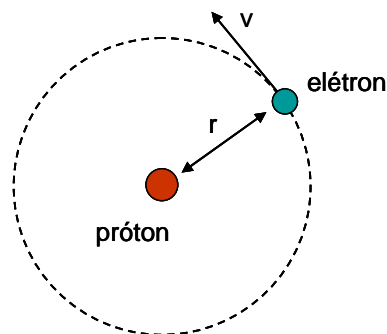


Figura 1. Órbita do elétron no átomo de Bohr.

- Calcule os raios das possíveis órbitas do elétron. Qual é a velocidade do elétron nessas órbitas?
- Calcule as energias que o átomo de hidrogênio pode ter. Obtenha também o espectro da radiação emitida pelo hidrogênio atômico.
- Qual é o tamanho de um átomo de hidrogênio no estado de menor energia?

#### Questão 4

Considere o oscilador harmônico bidimensional mostrado na figura 1, onde uma partícula de massa  $m$  move-se sob a ação da força elástica  $\vec{F} = -k\vec{r}$ .

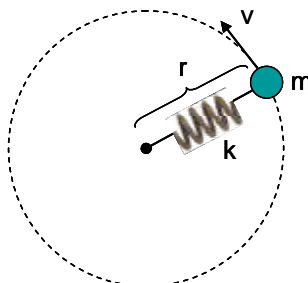


Figura 1. Oscilador harmônico bidimensional.

- Calcule o raio das órbitas *circulares* permitidas pela regra de Bohr para quantização do momento angular,  $L = n\hbar$ . Encontre também a velocidade da partícula nessas órbitas.
- Calcule a energia das órbitas obtidas no item (a).

#### Questão 5

Uma partícula de massa  $m$  está presa no interior de uma caixa unidimensional de comprimento  $L$  e paredes impenetráveis, como mostrado na figura 1.

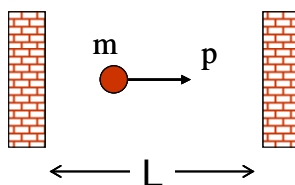


Figura 1 Partícula em uma caixa de paredes impenetráveis.

- Calcule o comprimento de onda das ondas de de Broglie que podem ser formadas no interior da caixa.
- Obtenha as possíveis quantidades de movimento  $p$  que a partícula pode ter no interior da caixa. Calcule o espectro de energia da partícula.
- Considere uma situação macroscópica:  $m \sim 1$  kg,  $L \sim 1$  m e energia  $E \sim 1$  J. Porque a quantização da energia não é percebida nesse caso?

### **Questão 6**

Use a regra de quantização de Bohr-Sommerfeld para obter o espectro de energia de um oscilador harmônico.