

\* Há outra forma do princípio da incerteza, que estabelece os limites de exatidão com que se pode medir a energia de um sistema  $\Delta E$ , quando se precise de um intervalo de tempo para efetuar a medida.

\* O Princípio da Incerteza na forma energia-tempo pode ser enunciado como:

$$\Delta E \Delta t \geq \hbar$$

\* Esta relação parece plausível, por exemplo, na medida de uma onda eletrica de 1000 Hz. Se o aparelho medidor de frequência tiver uma sensibilidade fixa de  $\pm 1$  ciclo, ele medirá  $(1000 \pm 1)$  ciclos/1s. Em 2 segundos a medida será  $(2000 \pm 1)$  ciclos/2s.

A incerteza na frequência  $\Delta f$  inversamente proporcional a  $\Delta t$ , intervalo de tempo durante o qual se faz a medida.

Ou seja:  $\Delta f \cdot \Delta t \approx 1$

Como os sistemas quânticos têm caráter ondulatório temos  $E = hf \Rightarrow \Delta E = h \Delta f \Rightarrow \Delta E \approx h \frac{1}{\Delta t}$

$\Delta E \Delta t \approx \hbar$ , concorda com a equação acima.

\* Resolva os exercícios (1-5)

Lista de Exercícios Física IV

Fótons e Ondas Eletromagnéticas, Propriedades Ondulatórias das Partículas, Experiência de Dupla Fenda (partículas), Princípio da Incerteza, Mecânica Quântica, Partícula numa Caixa, Equação de Schrödinger, Partícula num Poço de Altura Finita, Tunelamento através de uma Barreira e Oscilador Harmônico Simples

- Achar o comprimento de onda de de Broglie de uma bola de 0,15kg, movendo-se com velocidade de 20 m/s.
- Na experiência de Davisson-Germer elétrons de 54 eV são difratados numa rede de níquel. Se o primeiro máximo da figura de difração for observado no ângulo  $\phi = 50^\circ$  (figura ao lado), qual o espaçamento da rede,  $d$ , dos átomos de níquel?
- Num microscópio eletrônico, os elétrons são acelerados por 40.000 V. Qual seria teoricamente qual a menor distância percebida no microscópio?
- Um feixe de nêutrons, à velocidade de 0,4 m/s, passa por uma dupla fenda que tem 1 mm de separação. Um conjunto de detectores de nêutrons está colocado a 10 m da fenda. (a) Qual é o comprimento de onda de de Broglie dos nêutrons? (b) A que distância do eixo está o primeiro ponto de intensidade nula no conjunto de detectores? (c) Podemos dizer qual a fenda atravessada por um nêutron? Explique.
- Um próton tem a energia cinética de 1 MeV. Se seu momento for medido com uma incerteza de 5%, qual a incerteza mínima na posição?
- Um garoto deixa uma pequenina pelota cair do alto de uma escada visando a um alvo do solo. (a) Mostre que, conforme o princípio da incerteza, o afastamento em relação ao alvo deve ser pelo menos  $\Delta x = \left(\frac{h}{m}\right)^{1/2} \left(\frac{H}{2g}\right)^{1/4}$ , onde  $H$  é a distância vertical inicial de cada pelota em relação ao solo e  $m$  a massa de cada pelota. (b) Se  $H = 2$  m e  $m = 0,5$  g, qual o valor de  $\Delta x$ ?
- Um elétron tem a função de onda  $\Psi(x) = \sqrt{\frac{2}{L}} \sin\left(\frac{2\pi x}{L}\right)$ . Achar a probabilidade de se encontrar o elétron entre  $x=0$  e  $x=L/4$ .
- Um elétron com energia de aproximadamente 6 eV move-se entre paredes rígidas afastadas por 1 nm. (a) Achar o número quântico  $n$  do estado ocupado por este elétron. (b) Achar o valor exato da energia do elétron
- A função de onda de uma partícula é dada por  $\Psi(x) = A\cos(kx) + B\sin(kx)$ , onde  $A$ ,  $B$  e  $k$  são constantes. Mostrar que  $\Psi$  é uma solução da Equação de Schrödinger, admitindo que a partícula seja livre ( $U=0$ ), e achar a energia da partícula.
- Numa região do espaço, uma partícula com energia nula tem a função de onda dada por  $\Psi(x) = Ax e^{-\frac{x^2}{L^2}}$ . (a) Achar a energia potencial  $U$  em função de  $x$ . (b) Fazer o gráfico de  $U(x)$  em função de  $x$ .
- Suponha que uma partícula esteja confinada, no seu estado fundamental, numa caixa com paredes infinitamente altas. Suponha então que a altura da barreira à esquerda seja, num certo instante, reduzida a uma altura finita. (a) Faça o gráfico qualitativo da função de onda da partícula num pequeno intervalo de tempo depois do abaixamento. (b) Se a caixa tiver uma largura  $L$ , qual o comprimento de onda da onda que penetra na barreira?
- Uma partícula com 7 eV de energia cinética passa de uma região onde o potencial é nulo para um outro onde  $U = 5$  eV (figura ao lado.) Classicamente espera-se que a partícula continue a se mover para a direita, embora com energia cinética menor. Conforme a mecânica quântica, a partícula tem uma probabilidade de ser transmitida e uma probabilidade de ser refletida. Quais são estas probabilidades?
- Um elétron de 5 eV incide sobre uma barreira que tem 0,2 nm de espessura e 10 eV de altura (figura ao lado). (a) Qual a probabilidade do elétron tunelar através da barreira? (b) Qual o probabilidade do elétron ser refletido?
- A função de onda de um oscilador harmônico é  $\Psi(x) = Ax e^{-bx^2}$ . (a) Mostrar que  $\Psi$  satisfaz a equação de Schrödinger. (b) Achar  $b$  e a energia total  $E$ . (c) Esta função é de um estado fundamental ou de um primeiro estado excitado?
- Mostrar que as energias do oscilador na Equação  $E_n = \left(n + \frac{1}{2}\right) \left(\frac{h}{2\pi}\right) \omega$  correspondem às amplitudes clássicas
 
$$A_n = \sqrt{\left(\frac{h}{2\pi}\right)(2n + 1)/m\omega}$$
- Um átomo está num estado excitado 1,8 eV acima do estado fundamental e permanece neste estado excitado, em média, 2  $\mu$ s antes de fazer uma transição para o estado fundamental. Achar (a) a frequência e (b) o comprimento de onda do fóton emitido. Achar a incerteza aproximada da energia do fóton.

