



**INSTITUTO DE FÍSICA DA USP**

**1º. SEMESTRE DE 2012**

**Física Moderna I – 4300375 - noturno**



**Prof. Mazé Bechara**

---

**4º Trabalho Extra-Classe (TEC4) - *Peso 2***  
***Princípio incerteza de Heisenberg e Mecânica Quântica de Schroedinger***

---

***Data limite para entrega: 21h de 20/06/2012 (quarta-feira)***

☺ ***Compreender é indispensável!!!*** ☹ ***Calcular faz parte do processo para se chegar à compreensão.***

**Obs. Importantes:**

- (1) **Faça as questões de forma refletida, com clareza e concisão.** Se tiver dúvidas busque esclarecê-las completamente.
- (2) **Respeite a sua e a nossa ética e inteligência.**

**(1,75) Questão 1. O princípio de incerteza de Heisenberg – as indeterminações em pares de grandezas físicas e a energia de ponto zero na interpretação de Copenhague.**

- (0,75) Estime, usando o princípio de incerteza, o valor da energia mínima da partícula de massa  $m$  “presa na caixa” de lado  $L$ , em movimento unidimensional. Compare essa energia mínima com o valor mínimo na Física Clássica e na onda de de Broglie e comente.
- (0,5) Os primeiros estados excitados do átomo de hidrogênio têm meia vida  $\tau$  da ordem de  $10^{-8}$ s. (Isto significa que se há  $N$  átomos em um estado excitado, depois do intervalo de tempo  $\tau$ , metade deles transitam para outro estado de menor energia). Usando o princípio de incerteza e a informação dada estime o valor  $\Delta E$  da indeterminação na energia dos primeiros estados excitados. Compare a indeterminação na energia  $\Delta E$  com o valor das energias dos estados segundo Bohr. Essa indeterminação é maior, menor ou da mesma ordem que as imprecisões experimentais? Justifique.
- (0,5) Escreva na forma  $E \pm \Delta E$ , com  $E$  do modelo de Bohr e  $\Delta E$  a indeterminação intrínseca do princípio de incerteza, os valores (em eV) do 1º estado excitado e do estado fundamental. Justifique.

***Obs. Na ciência se considera que as teorias são uma boa descrição da real natureza daquilo que elas (teorias) descrevem. Até prova em contrário...***

**(2,25) Questão 2. Bases da Mecânica quântica - operadores e funções no formalismo de Schroedinger e as interpretações de Copenhague.**

- (0,35) Quais características devem ter as grandezas físicas para serem representadas por funções quando se trabalha com a função de onda espaço-temporal no formalismo de Schroedinger para a mecânica quântica? Quais as funções que representam tais grandezas físicas? Justifique e dê um exemplo.
- (0,40) Responda as mesmas perguntas do item anterior para as grandezas físicas representadas por operadores diferenciais. Justifique e dê um exemplo.
- (0,75) A equação da dinâmica do movimento unidimensional com velocidades não relativísticas de uma partícula de massa  $m$ , na teoria de Schroedinger é dada por:



$$\left\{-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2}{\partial x^2} + U(x)\right\}\psi(x,t) = \left\{i\hbar \frac{\partial}{\partial t}\right\}\psi(x,t)$$

**Diga o significado físico** de cada um dos termos entre colchetes { } e da função  $\psi(x,t)$ .

(d) (0,75) Uma partícula está em um estado físico com função de onda  $\psi(x,t)$  que obedece a seguinte equação:

$$\left\{-\hbar^2 \frac{\partial^2}{\partial x^2}\right\}\psi(x,t) = \{p_0^2\}\psi(x,t)$$

$p_0^2$  é um constante. Explique o significado físico da equação e da constante  $p_0^2$ .

**(6,0) Questão 3. Bases da Mecânica quântica – a função de onda no espaço-tempo na mecânica ondulatória de Schroedinger e suas previsões sobre a dinâmica da partícula.**

Uma partícula de massa  $m$  está em um estado físico cuja **parte espacial** da função de onda é dada por:

$$\varphi_0(x) = A_0 e^{-\frac{\alpha x^2}{2}} \quad \alpha = \frac{\sqrt{km}}{\hbar}$$

São dados da questão: a energia do estado  $E_0 = \frac{\hbar}{2} \sqrt{\frac{k}{m}}$  e a constante  $k$ . A constante  $A_0$  não está dada. .

- (1,0) Determine a autofunção normalizada  $\Psi_0(x,t)$  em termos das constantes dadas. Justifique a resposta e procedimentos.
- (1,0) Usando a função de onda normalizada e equação básica da dinâmica da partícula determine a energia potencial de interação a qual está sujeita essa partícula. Justifique.
- (0,25) Faça o gráfico da densidade linear de probabilidade versus a posição  $x$ . Quanto vale a área total sob esta curva? Justifique.
- (0,75) Determine o valor mais provável da posição da partícula. Justifique dando o significado físico de valor mais provável. Há valor menos provável da posição neste estado? Justifique. Determine a probabilidade de a partícula ser observada na posição mais provável. Justifique.
- (1,0) Mostre matematicamente se o momento linear é ou não é uma constante no movimento da partícula. Se provar ser constante determine o valor do momento linear em termos dos dados da questão. Se provar não ser uma constante, determine o valor médio do momento linear em termos dos dados da questão.
- (0,5) A energia potencial é uma constante de movimento? E a energia mecânica? Justifique matematicamente.
- (0,75) O que **a função de onda dada** pode prever como resultado de **uma única** medida experimental da energia? Idem do momento linear. Justifique.
- (0,75) O que **a função de onda dada** pode prever como resultado de **cem (100)** medidas da energia? Idem para o momento linear. Justifique.