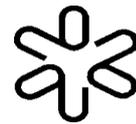




**INSTITUTO DE FÍSICA DA USP**

**2º. SEMESTRE DE 2013**



**Física V – 4300311 - noturno**

**Prof. Mazé Bechara**

---

**4º (e último – ufa!) Trabalho Extra-Classe – peso 2**  
**As ondas das partículas materiais na mecânica quântica e as interpretações de Max Born/Copenhague**

---

**Prazo limite para entrega: 26/11/2013 (terça-feira) às 19h10**

**Obs. Importantes:**

1. Leia com atenção pense e discuta como e com quem quiser. Porém elabore as soluções com reflexão, detalhes e cuidado.
2. **Se tiver dúvidas, busque esclarecê-las completamente antes de fazer sua redação individual - condição para que seu trabalho não seja anulado.**
3. **O nível de exigência na avaliação será de trabalho bem feito no conteúdo e na forma, no sentido de compreensão do que está feito. Evite entregar “qualquer coisa de qualquer jeito”, que de nada serve.**
4. Por favor, entregue cada uma das questões com nome e iniciando em nova folha. Poderão ser corrigidas por diferentes pessoas.
5. **Na data limite os trabalhos devem ser entregues à professora no início da aula.**

**Questão 1. A dinâmica de uma partícula na mecânica quântica de Schroedinger.**

Uma partícula de massa  $m$  em movimento não relativístico tem uma auto-função de energia cuja parte espacial é dada por:

$$\psi_o(x,t) = A_0 e^{-\frac{\alpha x^2}{2}} e^{-i\frac{E_0 t}{\hbar}} \quad \alpha = \frac{\sqrt{km}}{\hbar}, \quad E_0 = \frac{\hbar}{2} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

$X$  é a coordenada de posição,  $t$  é o instante,  $k$  é uma constante da dinâmica da partícula e  $A_0$  uma constante da solução da equação fundamental, matematicamente arbitrária.

- a) (1,0) Diga todas as propriedades desta função que permitem que ela represente um estado físico na mecânica quântica.
- b) (0,75) Esta função de onda pode ser normalizada? Se puder normalize e diga, em palavras, a razão física desta normalização.
- c) (0,75) Determine a densidade de probabilidade da partícula estar em uma posição  $x$  no instante  $t$ . Esboce o gráfico desta densidade de probabilidade.
- d) (1,0) Determine: os valores mais prováveis e os menos prováveis da posição da partícula. Determine ainda: a probabilidade da partícula estar nestas posições no estado em questão. Indique todos estes valores no gráfico da densidade de probabilidade.
- e) (1,5) Mostre formalmente se a energia cinética é ou não é uma constante de movimento no estado acima. Se for, determine o valor da energia cinética. Se não for, determine o valor médio desta grandeza. Justifique.
- f) (1,5) Mostre formalmente que esta função de onda obedece ao princípio de incerteza momento linear-posição e energia-tempo. Diga em palavras o seu entendimento físico deste princípio para posição-momento linear e energia-tempo.

- g) (1,0) A partir das informações dadas determine a energia potencial de interação a qual está sujeita essa partícula. Justifique.
- h) (1,0) O que pode ser previsto como resultado **de uma única medida** para a energia cinética usando diretamente a função de onda dada? E sobre a energia potencial? E sobre a energia total? **E em 100 medidas**, o que pode ser previsto para a energia cinética? Para a energia potencial? E para a energia total? Justifique.
- i) (1,5) A partícula sujeita a essa interação pode estar em estados físicos com energia mecânica variável no tempo segundo a física clássica? Justifique. E segundo a física quântica? Justifique. Se sua resposta foi positiva para o caso clássico ou quântico, dê um exemplo, justificando.

## questão 2. Solução da mecânica de Schroedinger para um potencial esquemático unidimensional.

Uma partícula de massa  $m$  se move com velocidade não relativística sob ação de um potencial  $V(x)$  tal que:

$$V(x < 0) = V_0$$

$$V(0 < x < a) = -V_0$$

$$V(x > a) = +3 V_0/2$$

- (a) (0,25) Desenhe este potencial.
- (b) (1,0) Com base na **mecânica clássica** argumente sobre as **possíveis energias** da partícula, com os **tipos de movimento e sua relação com as energias da partícula**. Deixe claras as **razões físicas** nos seus argumentos. **Justifique**.
- (c) (1,0) Escreva **as equações dos auto-estados de energia** desta partícula. Diga em palavras o seu entendimento **de auto-estados de energia**.
- (d) (1,5) **A partir das equações do item anterior determine as autofunções de energia** da partícula **em função de constantes não nulas para  $E > 2V_0$** . Explícite as **razões físicas** que obrigam a **anulação ou não anulação** de constantes da **solução matemática geral**. **Justifique**.
- (e) (1,5) Faça **o esboço das funções de uma função de onda versus a posição da partícula em todo o espaço**. Abaixo, **na mesma escala, faça um esboço da densidade linear de probabilidade versus a posição no mesmo estado**. Estes gráficos dependem de um particular instante? **Justifique**.
- (f) (0,75) **Argumente** sobre as posições que a partícula pode ocupar em seu movimento segundo a mecânica de Schroedinger. **Compare** essa resposta com a as posições ocupadas segundo a física clássica (resposta ao item (b)) e **comente, semelhanças e diferenças**.
- (g) (2,0) **Escreva explicitamente todas as condições** que as funções de onda devem obedecer **neste caso**. Explícite as **razões físicas** de cada uma das condições. **Explícite ainda** quais são as **incógnitas que devem ser determinadas** a partir das condições que você escreveu para que a dinâmica da partícula esteja completamente resolvida (**Você não precisa chegar à solução das condições escritas**). **São as energias quantizadas? Justifique**.
- (h) (2,0) São as autofunções determinadas normalizáveis? **Justifique**. Se a resposta for **positiva escreva a condição de normalização**. Em caso de resposta **negativa escreva a equação "equivalente"** para **essa particular partícula** dizendo explicitamente o significado físico da equação. **Justifique**.