

# Mecânica Quântica Para Todos

## Física X - Terceira Sessão

Armando Teixeira<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Luso Academia  
The L Project

Centro Tecnológico Nacional / Acelera Angola

# Índice

- 1 Motivação Histórica
- 2 Postulados da Mecânica Quântica
- 3 A Função de Onda
- 4 Paradoxos
- 5 Interpretações
- 6 Perguntas e Respostas

# Medição

- Qualquer pessoa que se tenha aproximado de um laboratório e teve que realizar uma experiência sabe que para se poder *dizer algo sobre o sistema* em estudo é sempre necessário interagir com o sistema
- Em linguagem mais respeitável devemos dizer o acto de medição perturba sempre o sistema em estudo

## Estado Mecânico

- O conceito de estado mecânico pressupõe o seguinte:
- A perturbação pode, nalguns casos, tornar-se tão pequena quanto se queira
- O facto de haver sempre limites é uma propriedade dos instrumentos que se utiliza e não da teoria que serve como base
- Existem algumas perturbações cujo efeito não pode ser desprezado
- No entanto é sempre possível fazer um cálculo exacto de quais os efeitos dessa perturbação e desse modo é possível compensá-los

# Síntese Mecânica Clássica

- Em suma a teoria clássica é causal e determinista
- "Causal": é a relação entre um evento A (a causa) e um segundo evento B (o efeito), provido que o segundo evento seja uma consequência do primeiro
- "Determinista": Princípio segundo o qual todo fato tem uma causa e, nas mesmas condições, as mesmas causas produzem os mesmos fatos, o que implica a existência de leis específicas que regem fatos e causas
- No entanto, uma das duas nuvens negras de Kelvin e mais uns quantos outros resultados experimentais mostraram que uma revisão dos conceitos clássicos era necessária:

# As Nuvens Negras de Lord Kelvin

- Radiação de corpo negro
- Efeito fotoelétrico
- Princípio da combinação de Ritz
- Existência e estabilidade de átomos
- Experiência de Stern-Gerlach
- Difracção de raios de electrões
- ...

# Introdução

- Os axiomas que aqui vamos apresentar não são os mais gerais nem os mais convenientes para um tratamento maduro da Física Quântica
- Mas são tudo o que necessitamos para cumprir com o âmbito do curso.

# Os Postulados I

- O estado de um sistema quântico evolui segundo a equação de Schrödinger:

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} + U(x)\Psi = i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t} \quad (1)$$

- A probabilidade de que uma partícula seja encontrada no elemento de espaço  $dx$  denota-se por  $P(x)dx$  e é:

$$P(x)dx = |\Psi(x, t)|^2 dx \quad (2)$$

- Uma partícula quântica é sempre resultante de interferência construtiva.



## Os Postulados II

- A função do axioma anterior é captar de uma só vez a natureza dual do conceito de partícula em Física Quântica.
- O valor médio de uma grandeza física  $A$ , que se representa  $\bar{A}$ , é dado pela seguinte expressão:

$$\bar{A} = \int \Psi^* A \Psi \quad (3)$$

Onde o integral se calcula na região relevante.

## Introdução

- Função de onda na mecânica quântica é algo que descreve o estado quântico de um sistema de uma ou mais partículas, e contém todas as informações sobre o sistema considerado isolado
- Em geral, a função de onda de um sistema é uma função de variáveis contínuas e descontínuas que caracteriza os graus de liberdade do sistema
- Há uma função de onda para todo o sistema, e não uma função de onda para cada partícula individual em certo sistema
- A equação de Schrödinger determina como a função de onda evolui ao longo do tempo, ou seja, a função de onda é a solução da equação de Schrödinger

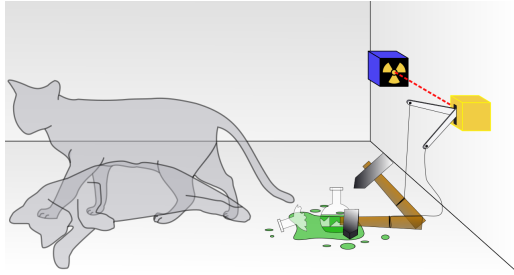
## Filosofando...

- Na mecânica clássica a descrição completa de um sistema consistia na tarefa de encontrar a posição e a velocidade de todas as partículas
- Podemos prever todos os movimentos futuros e passados do sistema
- Na mecânica quântica não se pode descrever todas as grandezas desejadas com a mesma certeza
- A descrição do sistema termina ao nível da função de onda, com suas probabilidades de posição

# Gato de Schrödinger I

- A experiência traz à tona questões sobre a natureza do "observador" e da "medição" na mecânica quântica
- Junto a um frasco de veneno e um contador Geiger ligados por relés, e um martelo
- O contador Geiger será accionado ou não
- Se for, transmitirá movimento através dos relés; o martelo baterá no frasco de veneno e o gato morrerá
- Se o contador não acionar, o martelo não bate no frasco e o gato vive

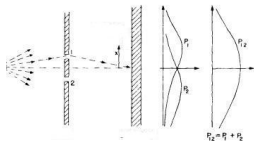
## Gato de Schrödinger II



## Amigo de Wigner

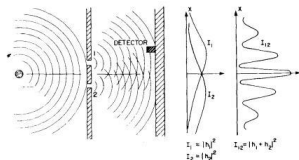
- Ponto de partida para a discussão do problema mente-corpo
- É proposto a um amigo de Wigner que realize o experimento do gato de Schrödinger enquanto Wigner esta fora da sala
- Somente quando Wigner retornar a sala ele poderá ficar sabendo o resultado do experimento
- Até este ponto, o estado do sistema era uma superposição de "gato morto /amigo triste" e "gato vivo/amigo feliz" ?
- Ou ele tinha sido determinado a algum momento anterior
- Wigner elaborou esta experiência mental para destacar que a consciência é necessária para o processo de medição da mecânica quântica

## A Experiência da Dupla Fenda - Partículas



- Nesta situação as partículas passam pela fenda 1 ou pela fenda 2
- As partículas que passam pela fenda 1 são responsáveis pela curva de probabilidades  $P_1$
- enquanto que as partículas que passam pela fenda 2 são responsáveis pela curva de probabilidades  $P_2$
- A curva de probabilidades resultante  $P_{12}$  é simplesmente a soma das curvas  $P_1$  e  $P_2$ .

## A Experiência da Dupla Fenda - Ondas

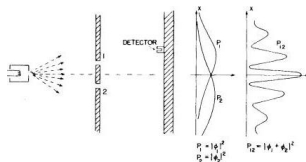


- Neste caso a intensidade das ondas é a quantidade que interessa estudar
- Temos a curva de intensidades  $I_1$  que é causado pela fenda 1
- A curva de intensidades  $I_2$  que é causada pela fenda 2
- A intensidade resultante no entanto é

$$I_{12} = |h_1 + h_2|^2 = I_1 + 2I_1 I_2 \cos \theta$$

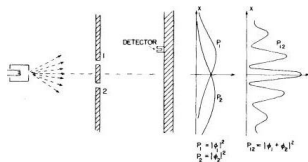


# A Experiência da Dupla Fenda - Electrões I



- No caso dos electrões temos que novamente pensar em termos de curvas de probabilidades e curvas de probabilidades são inerentes ao conceito de partículas
- Contudo o que nós observamos é um padrão de interferências e isso é inerente a ondas
- Para podermos explicar os padrões que vemos temos que assumir que a cada probabilidade  $P_i$  está associada uma amplitude de probabilidade  $\phi_i$

## A Experiência da Dupla Fenda - Electrões II



- Para calcularmos a probabilidade devemos calcular o módulo quadrado da amplitude de probabilidade  $P_i = \phi_i^2$
- Assim antes de mais devemos calcular a soma da amplitude de probabilidades de passar pela fenda **ou** de passar pela fenda 2
- Só depois devemos calcular o módulo quadrado desta amplitude para obtermos a probabilidade de um electrão passar pela fenda 1 ou de passar pela fenda 2:

$$P_{12} = |\phi_1 + \phi_2|^2$$

# Introdução

- De início, não se entendeu a natureza probabilística da função de onda
- Foi Max Born quem propôs a interpretação de distribuição de probabilidade no espaço para a posição da partícula associada
- Outros cientistas de destaque, tais como Albert Einstein, tiveram grande dificuldade em concordar com as implicações básicas da teoria
- A natureza das respostas por vezes transcendem em muito os limites científicos e não se encontram univocamente determinadas

# Interpretações

- As posições de cada escola são determinadas através da resposta à seguinte pergunta: supondo que medimos uma partícula no ponto A, onde ela estava logo antes da medida
- Segundo a **escola realista**, ela estava no ponto A. Isso implica que a mecânica quântica é uma teoria incompleta e que há, portanto, outras variáveis que são necessárias para descrever o comportamento da partícula.
- Segundo a **escola ortodoxa**, foi o ato da medida que colapsou a função de onda obrigando a partícula a obter uma posição definida. Essa interpretação, conhecida como interpretação de Copenhaga
- Segundo a **escola agnóstica**, não se pode afirmar algo que não se pode medir

Motivação Histórica

Postulados da Mecânica Quântica

A Função de Onda

Paradoxos

Interpretações

Perguntas e Respostas

# Perguntas e Respostas

...