
Introdução aos Princípios e Consequências da Mecânica Quântica

Postulado 1: A cada sistema físico está associado um espaço de Hilbert ε_H .

A cada estado do sistema está associado um vetor normalizado de ε_H :

$$|\psi\rangle$$

Os *observáveis* são as grandezas físicas que, nos estados quânticos, podem ser medidas (e.g., posição, velocidade, momento, energia, spin, etc.).

Postulado 2: A cada observável A está associado um operador \hat{A} que representa a medição da grandeza A .

Certos estados, chamados de *autoestados* ou *autovetores*, apresentam sempre o mesmo valor A_i , quando se mede o observável A . Podemos representar os autoestados por:

$$|A_i\rangle$$

Nesse caso temos:

$$\hat{A}|A_i\rangle = A_i|A_i\rangle$$

Os valores A_1, A_2, \dots, A_n que resultam da medida de autoestados de um observável A são chamados *autovalores* de A .

Postulado 3: os operadores associados aos observáveis são hermitiano.

(Não analisaremos, nesta introdução, as consequências deste postulado.)

Postulado 4: Os autoestados formam uma base completa dos estados, i.e., um estado que não é um autoestado é uma combinação linear de autoestados,

$$|\psi\rangle = a_1|A_1\rangle + a_2|A_2\rangle + \dots + a_n|A_n\rangle$$

tal que os coeficientes a_i satisfazem a condição de normalização $\sum_{i=1}^n a_i^2 = 1$. Dizemos, neste caso, que $|\psi\rangle$ está numa *superposição* dos estados $|A_1\rangle, |A_2\rangle, \dots, |A_n\rangle$. Além disso, os autoestados da base são linearmente independentes, isso é, nenhum é uma combinação linear, como acima, dos outros autovetores.

Postulado 5: Na decomposição de $|\psi\rangle$ acima, a_i^2 é a probabilidade de, ao se realizar a medida do observável A , encontrar o autovalor A_i que são os únicos valores que são obtidos quando se mede A .

Assim, segundo a interpretação usual da Mecânica Quântica, o estado $|\psi\rangle$ acima, antes da medida de A , é uma *superposição* dos estados $|A_1\rangle, |A_2\rangle, \dots, |A_n\rangle$, i.e., o sistema não está *apenas* em um deles e nós desconhecemos qual, mas está *em todos* eles ao mesmo tempo, sendo que, depois da medida de A , que resulta A_i , o sistema *colapsa*, i.e., muda seu estado para o autoestado correspondente $|A_i\rangle$.

Notemos que, muitas vezes, um autoestado de um observável pode ser descrito em termos da combinação linear de autoestados de um outro observável:

$$|A_i\rangle = b_1|B_1\rangle + b_2|B_2\rangle + \dots + b_m|B_m\rangle$$

Assim, um autoestado $|A_i\rangle$, e.g. uma posição bem definida, em termos da medida do observável B , e.g., a velocidade, não tem valor definido, i.e., está em uma superposição dos autoestados $|B_i\rangle$ de B . É assim que surgem as relações de indeterminação entre duas medidas (e.g., posição e velocidade).

Postulado 6: Seja $|\psi(t)\rangle$ o estado de um sistema no instante t . Se o sistema não é submetido a nenhuma observação, sua evolução ao longo do tempo é regido pela Equação de Schrödinger:

$$i\hbar \frac{d}{dt} |\psi(t)\rangle = \hat{H} |\psi(t)\rangle$$

na qual \hat{H} é o operador hamiltoniano, associado à medida de energia do sistema.

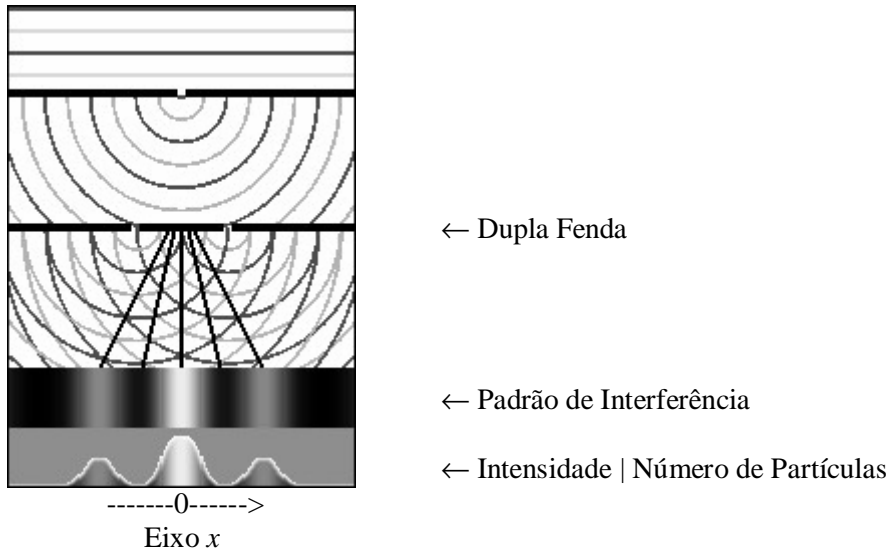
Obs.: Os valores a_i na decomposição de um vetor $|\psi\rangle$ na base $|A_i\rangle$ são números complexos.

(Não analisaremos, também, as consequências desse aspecto.)

Resumo da Ópera:

Se um estado é uma superposição de vários autoestados de um observável A, o sistema está em todos os autoestados *antes da medida de A*. *Depois da medida de A*, o sistema passa a estar no autoestado indicado pela medida (*colapsa*). Mudar o que se mede, i.e. de observável, é mudar de referencial no espaço de Hilbert. Há observáveis cujos autoestados são superposições de autoestados de outro observável (como no caso da posição e velocidade); nesse caso, não é possível se definir valores precisos para ambos simultaneamente. Há uma equação diferencial (cuja solução é uma função) que dá a evolução do sistema no tempo (os novos estados em função dos anteriores).

Consideremos o experimento das duas fendas:



Nele, há um padrão de interferência. Esse padrão não aparece quando o experimento é realizado com uma fenda só.

Mas por qual das fendas a partícula passou? Nesse caso,

$$|\psi\rangle = a_1|A_1\rangle + a_2|A_2\rangle$$

no qual:

- |A₁⟩ representa a partícula na fenda 1;
- |A₂⟩ representa a partícula na fenda 2;
- a₁² é a probabilidade de encontrar a partícula na fenda 1; e
- a₂² é a probabilidade de encontrar a partícula na fenda 2;
- sendo que a₁² + a₂² = 1

Se não efetuarmos uma medida de posição da partícula nas fendas, então a partícula se encontra nas duas fendas e daí sua passagem pelas duas fendas gerar o padrão de interferência. Se efetuarmos uma medida, quando a partícula passa pelas fendas, então haverá o colapso da função de onda, a partícula será encontrada em uma das fendas, passará a executar sua evolução a partir daí e deixará de haver o padrão de interferência.

O mesmo ocorre na formação do padrão de interferência: ele indica o número de partículas que foram encontradas nas diversas posições do eixo x, ou seja, o acúmulo das diversas partículas (que passaram pelas duas fendas).

No caso dos orbitais atômicos dos elétrons em torno dos átomos, temos que o elétron com um nível definido de energia (autoestado de energia) se encontra em uma superposição das diferentes localizações (posições) e, portanto, encontra-se em todas as posições, antes da medida, e em apenas uma, depois da medida. A região com maior probabilidade de se encontrar o elétron é chamada de *orbital*.