

MECÂNICA QUÂNTICA II – SPIN E MOMENTO ANGULAR

*Sandro Dias Pinto Vitenti**Departamento de Física – CCE – UEL*

1. Dadas as matrizes de Pauli abaixo, responda às questões.

$$\sigma_x = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}, \quad \sigma_y = \begin{pmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{pmatrix}, \quad \sigma_z = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}.$$

- (a) Explique qual é a relação entre essas matrizes e os elementos de matriz dos operadores de Spin \hat{S}_x , \hat{S}_y , \hat{S}_z .
- (b) Descreva como os elementos de matriz estão relacionados à base $|j, m\rangle$, onde j é o rótulo do momento angular total \hat{S}^2 e m é o rótulo da projeção do momento angular ao longo do eixo z , ou seja, \hat{S}_z .
- (c) Explique como é possível utilizar as matrizes de Pauli apresentadas para calcular explicitamente os elementos do grupo de rotação. Utilize a fórmula explícita abaixo como referência:

$$U[R] = e^{-i\boldsymbol{\theta} \cdot \mathbf{S}/\hbar}$$

Descreva o procedimento passo a passo e discuta como as propriedades das matrizes de Pauli estão relacionadas com o resultado.

- (d) Utilizando a representação dos elementos do grupo de rotação, encontre as duas rotações necessárias para transformar o vetor unitário na direção z , \mathbf{e}_3 , em um vetor unitário $\mathbf{n} = (\sin \theta \cos \phi, \sin \theta \sin \phi, \cos \theta)$. Em seguida, usando essas rotações, encontre o Spinor que representa um estado de Spin positivo na direção \mathbf{n} .
2. Considere o termo de interação dado por $H_{\text{int}} = -\gamma \mathbf{S} \cdot \mathbf{B}$, onde \mathbf{S} é o vetor de spin e \mathbf{B} é um campo magnético constante na direção \mathbf{e}_3 . Responda às seguintes questões:
- (a) Dado um Spinor inicial ψ_0 que é autovetor de $\mathbf{n} \cdot \mathbf{S}$, descreva como ocorre a evolução desse estado considerando apenas o termo de interação como a Hamiltoniana. Calcule explicitamente $\psi(t)$.
 - (b) Calcule os autovetores de σ_x e σ_y , usando esses estados determine a probabilidade de encontrar o spin positivo nas direções x e y em função do tempo. Interprete o resultado fisicamente.

3. Adição de momento angular: Considere duas representações irredutíveis rotuladas por j_1 e j_2 , ou seja, \mathbb{V}_{j_1} e \mathbb{V}_{j_2} . O espaço formado pelo produto tensorial dessas duas representações ($\mathbb{V}_{j_1} \otimes \mathbb{V}_{j_2}$) não é irredutível, portanto, pode ser decomposto como uma soma direta de representações irredutíveis. Essas representações estão relacionadas ao operador de momento angular total $\hat{\mathbf{J}} = \hat{\mathbf{J}}_1 + \hat{\mathbf{J}}_2$. Com base nessas informações, responda às seguintes perguntas:
- Quais são os possíveis valores para o momento angular total que podem aparecer na soma direta? (Leve em consideração os possíveis valores de \hat{J}_z).
 - Quantas vezes cada um desses valores do momento angular total aparece na soma direta? (Conte quantas vezes o mesmo autovalor de \hat{J}_z pode ser encontrado).
 - Usando os resultados anteriores escreva explicitamente a decomposição de $\mathbb{V}_2 \otimes \mathbb{V}_{3/2}$ em uma soma direta.
 - Considere uma partícula composta em um estado de Spin total $s = 0$ que decai em duas partículas de Spin $s_1 = s_2 = 1/2$. Qual é o estado final do sistema na representação $\mathbb{V}_{1/2} \otimes \mathbb{V}_{1/2}$? Desconsidere qualquer momento angular orbital.