

INTERFERÊNCIA QUÂNTICA NÃO-LOCAL DE ORIGEM TOPOLÓGICA

Felipe Azevedo Gomes¹; Carlos Alberto de Lima Ribeiro²

1. Bolsista PIBIC/CNPq, Graduando do Bacharelado em Física, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: fagfisica@gmail.com
2. Orientador, Departamento de Física, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: calr@cnpq.

PALAVRAS-CHAVE: Fase Geométrica, Defeito Topológico, Não-Localidade

INTRODUÇÃO

Durante muitos anos os físicos deram pouca importância a fase quântica, devido ao fato de perdermos a informação contida na fase quando calculamos a densidade de probabilidade de uma função de onda, por isso acreditava-se que esta fase não tivesse significado físico. Após a descoberta do efeito Aharonov-Bohm (AB), foi comprovado que a fase é um parâmetro essencial para a completa descrição de um sistema quântico. O efeito AB consiste numa interferência quântica não-local, no qual um feixe de elétrons contorna um solenóide infinito que confina um campo magnético em seu interior. Este feixe, mesmo estando em uma região na ausência de campo, sente a presença do potencial e adquire uma fase geométrica na sua função de onda no final do percurso (AHARONOV, Y.; BOHM, D, 1959).

Em 1984, Michael Berry mostrou que a fase nesse efeito poderia ser interpretada como um caso especial da sua fase geométrica (BERRY, M. V, 1984). Um teorema importante que ajudou Berry nos seus estudos com fase geométrica foi a aproximação adiabática. Um sistema é dito estar em evolução adiabática se existe uma mudança lenta e gradual das condições externas. Esta aproximação nos diz que se uma partícula está no n -ésimo autoestado do hamiltoniano inicial, ela é levada para o n -ésimo autoestado do hamiltoniano final em um processo adiabático. Onde a função de onda final será obtida pelo acoplamento de uma fase geométrica e outra dinâmica à função de onda original.

Quando estudamos um sistema quântico é importante conhecer o seu comportamento em diversas geometrias, nesse contexto o estudo de sistemas na presença de defeito topológicos tem sido aplicado para o estudo de diversos materiais, como o grafeno e os recém descobertos isolantes topológicos. Nosso tema de trabalho tem sido o estudo de defeitos topológicos e suas conexões com as fases geométricas. Nesse trabalho investigamos a aproximação adiabática, a formação da fase geométrica, o efeito da interferência quântica não-local de origem topológica produzida pelo efeito AB sobre uma partícula de spin $1/2$ em presença de campo magnético. Investigamos também a mudança de fase devido a uma interferência quântica não-local em um meio com defeito topológico.

MATERIAIS E MÉTODOS

Iniciamos o nosso trabalho estudando alguns artigos retirados de periódicos internacionais e da bibliografia sugerida, esses artigos serviram como base para situar nossa proposta no que tem sido feito atualmente, bem como o entendimento de como se deu o início dos estudos com a aproximação adiabática. Fizemos a leitura desses artigos seguida da elaboração de resumos e apresentação de seminários sobre os mesmos.

Começamos então o estudo da aproximação adiabática, estudando diversos sistemas que nos mostraram a importância da aproximação adiabática tanto para sistemas clássicos como para sistemas quânticos. O passo seguinte foi a aplicação do teorema adiabático no sistema partícula em repouso, com spin $1/2$, sob presença de um campo magnético cuja direção varia com o tempo formando um cone. Durante o tratamento desse sistema foi necessário o estudo de todo o formalismo a ser usado em uma partícula com spin $1/2$, desde a definição de spin, até os métodos para se escrever os autovalores e o spinor desse sistema (GRIFFITHS, D, 2005). Ao passo que compreendíamos esses temas partimos para a determinação da função de onda do sistema. Outro tema que foi alvo de nossa pesquisa foi o estudo da fase geométrica em sistema quânticos, através do teorema adiabático estudamos o surgimento da fase geométrica e a partir daí estudamos a fase de Berry. Após essa etapa determinamos a fase para o sistema partícula com spin $1/2$ na presença de um campo magnético. D. H. Lin, em 2004 (LIN, D. H, 2004) demonstrou que uma interferência quântica não local resulta em uma diferença de fase, seguindo um modelo semelhante, inserimos uma desclinação no sistema e analisamos com a presença do defeito altera a dinâmica do sistema.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como vimos o estudo de fases geométricas em sistemas quânticos é essencial para a completa descrição do sistema. Esse tema teve destaque especial em nosso trabalho, estudamos desde a formação da fase geométrica, até sua aplicação em vários sistemas. Ao analisar como o estado final pode diferir do estado inicial se os parâmetros no hamiltoniano forem transportados adiabaticamente em um ciclo fechado, chegamos a famosa expressão para a fase de Berry

$$\gamma_n(T) = i \oint \langle \psi_n | \nabla_{\mathbf{R}} \psi_n \rangle \cdot d\mathbf{R}. \quad (01)$$

Nesse trabalho nos familiarizamos com as principais propriedades da fase geométrica, como sua independência do tempo de percurso. Ao analisarmos o sistema partícula em repouso com spin $1/2$ na presença de um campo, pudemos investigar o elegante surgimento da fase e suas propriedades, bem como nos familiarizar com o tratamento de um sistema quântico com spin e campo magnético. Calculamos a fase para esse sistema quando o campo magnético tem módulo constante e direção variando de forma a varrer um cone com ângulo θ em relação ao eixo z , encontramos como resultado

$$\gamma_+(T) = \pi(\cos(\theta) - 1). \quad (02)$$

Determinamos também a fase para o caso mais geral de o campo magnético ter módulo constante, mas variar de forma arbitrária, como resultado encontramos

$$\gamma_+(T) = -\frac{1}{2}\Omega, \quad (03)$$

onde Ω é o ângulo sólido formado pela trajetória do campo magnético. Percebemos facilmente que mantendo o ângulo esférico θ reduzimos o caso mais geral (03) ao caso especial (02).

Um dos objetivos do nosso grupo de pesquisa tem sido o estudo das conexões entre defeitos topológicos e fases geométricas. Nesse trabalho analisamos uma interferência quântica não-local de origem topológica em um meio com um defeito topológico do tipo desclinação. Mostramos que a presença do defeito leva a uma

mudança de fase e determinamos os níveis de energia para esse sistema e como eles são influenciados pela presença do defeito. Os níveis de energia encontrados foram

$$E = \hbar\omega_l[2n + |M_\alpha| + (M_\alpha) + 1], \quad (102)$$

onde ω_l é a frequência de Lamor, $n=0,1,2,3,\dots$ são números inteiros, e M_α é um parâmetro que depende diretamente do defeito topológico no material. Desta forma podemos concluir que a presença do defeito exerce uma influencia nos estados de energia do sistema.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O tema principal do nosso grupo de pesquisas tem sido o estudo das conexões entre fases geométricas e defeitos topológicos, nesse trabalho encontramos o espectro de energia para um experimento de interferência não-local e percebemos claramente a influência do defeito topológico (no caso uma desclinação) no parâmetro M_α , que depende diretamente do parâmetro α da desclinação, os resultados obtidos generalizam o sistema usual para o tratamento do sistema com a presença de defeitos do tipo desclinação.

Estudamos desde a formação da fase geométrica, até sua aplicação em vários sistemas. Nos familiarizamos com as principais propriedades da fase geométrica, como sua independência do tempo de percurso. Ao analisarmos o sistema partícula em repouso com spin 1/2 na presença de um campo, pudemos investigar o elegante surgimento da fase e suas propriedades, bem como nos familiarizar com o tratamento de um sistema quântico com spin e campo magnético.

REFERÊNCIAS

- AHARONOV, Y.; BOHM, D. .Physical Review, v.115, p.485, (1959).
 BERRY, M. V., Proceeding of Royal Society of London A, v.392, p.45, (1984).
 GRIFFITHS, D., **Introdution to Quantum Mechanics**, 2.ed, Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, 2005.
 LIN, D. H., Physics Letters A, v.331, p. 269, (2004).