
PROJETO DE PESQUISA

Programa de Iniciação Científica e Tecnológica – CBPF

Nome do Orientador e Coordenação (Pesquisador/Tecnologista/Pós-doc):

Alan Carlos Maioli

Nome do pesquisador ou tecnologista e Instituição de Pesquisa Externa: (Coorientador ou Colaborador externo, se houver):

Não há.

Nome do Supervisor e Coordenação: (Pesquisador/Tecnologista):

Evaldo Mendonça Fleury Curado COTEO

Título do Projeto:

Desenvolvimento e investigação da álgebra de Heisenberg generalizada em diferentes sistemas quânticos

Palavra-chave:

Álgebra quântica, Mecânica Quântica, Estados coerentes

Área de conhecimento:

Mecânica Quântica e Física-matemática

Pré-requisitos desejáveis (se houver):

Ter cursado ou cursar a disciplina de mecânica quântica

Pré-requisitos obrigatórios (se houver):

Não há

Possibilidade de orientação remota:

(x) Sim

() Não

Resultante do Projeto:

Preparação do bolsista para área científica, e produção de produto educacional/didático, com possibilidade de publicação de artigo científico em longo prazo.

Rio de Janeiro, 28 de Abril de 2025

PROJETO:

RESUMO:

O presente projeto propõe o estudo da álgebra de Heisenberg generalizada, uma extensão das relações de comutação fundamentais da mecânica quântica. Pretende-se proporcionar ao aluno uma formação sólida nos aspectos teóricos e aplicados dessas estruturas algébricas, contribuindo para sua formação como pesquisador iniciante em Física Teórica.

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de álgebras voltadas para sistemas quânticos surgiu em uma abordagem de modelos quânticos integráveis unidimensionais usando o *ansatz* algébrico de Bethe. A partir daí, diversas tentativas foram aplicadas para abordar uma grande classe de fenômenos físicos, como, por exemplo, Modelos com soluções bidimensionais para matrizes-S e as soluções de suas equações de fatorização de Yang-Baxter, hamiltonianas de cadeias de spin anisotrópicas, teoria quântica de campos topológica, vértices quirais, regras de fusão e blocos na teoria de campos conformal, estatística quântica, e fenomenologia heurística de moléculas deformadas e de núcleos.

Quando a álgebra está associada ao oscilador harmônico, é denominada de álgebra de Heisenberg e é apresentada em função dos operadores de criação e aniquilação. Sua generalização (q -osciladores) foi implementada através do grupo $SU_q(2)$ no método de Jordan-Schwinger, que é uma versão deformada do grupo $SU(2)$.

Em 2000, os pesquisadores Evaldo M. F. Curado e Marco A. R. Monteiro desenvolveram uma versão ainda mais geral da álgebra de Heisenberg, que é construída através de um funcional de um gerador da álgebra $f(J_0)$, onde f pode ser qualquer função analítica. Essa liberdade na escolha da função f permite que diversos problemas sejam encarados. Como, por exemplo, física molecular, física atômica, bilhares quânticos e aspectos mais elementares como decoerência e evolução de estados coerentes em diferentes sistemas. Essa álgebra será a peça central do arcabouço teórico necessário para a implementação do projeto.

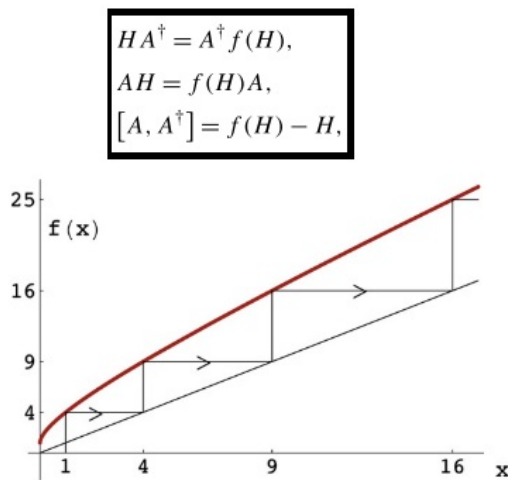


Fig. 1. Characteristic function $f(x)$ associated with the infinite square-well potential (bold line) and its first iterations, starting from the initial value $\epsilon_1 = 1$.

$$|z, l\rangle = N_l(|z|) \sum_{m=1}^{\infty} \frac{z^m}{N_{l,m-1}!} |l, m\rangle.$$

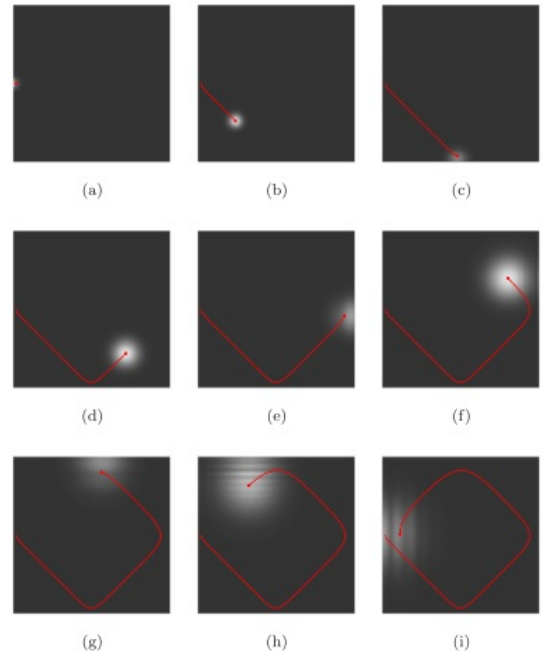


Ilustração de aplicações da álgebra de Heisenberg generalizada.

OBJETIVOS:

Geral:

Esse projeto tem por objetivo introduzir conceitos fundamentais a cerca da implementação de álgebras em sistemas físicos para alunos de graduação que possuam interesse na área, além de familiarizar o bolsista com a área científica via a produção de material didático e/ou artigo científico.

Específicos:

Investigar a estrutura e as aplicações da álgebra de Heisenberg generalizada, com foco em seus aspectos matemáticos e físicos, visando a formação inicial do aluno em pesquisa teórica.

Desenvolver a capacidade crítica do aluno na leitura de artigos científicos e no manejo de ferramentas matemáticas avançadas.

Estimular a escrita científica com a preparação de relatórios parciais e um relatório final do projeto, bem como a participação em eventos acadêmicos (seminários, congressos de iniciação científica).

Produzir um material educacional explicando didaticamente os fundamentos e as aplicações do tema aqui proposto.

Construir explicitamente exemplos de álgebras de Heisenberg generalizadas, analisando suas propriedades algébricas e físicas.

Desenvolver e implementar a álgebra de Heisenberg generalizada para um sistema quântico que ainda não foi abordado na literatura (objetivo de longo prazo).

PLANO DE TRABALHO/ DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES:

A primeira parte do projeto possui um caráter de revisão nas áreas de física e de matemática. Dessa forma, serão abordados conceitos básicos de mecânica quântica, incluindo seus postulados, a equação de Schrödinger, e sua aplicação em um oscilador harmônico quântico. Enquanto que, em matemática, serão estudados fundamentos relacionados à álgebra.

Em segundo lugar, o aluno irá se familiarizar com a álgebra de Heisenberg generalizada (GHA), e suas aplicações em diferentes sistemas físicos já estudados e presentes na literatura. A metodologia também incluirá a construção desses exemplos explícitos de álgebras de Heisenberg generalizadas, utilizando técnicas formais de teoria de operadores e álgebra linear. Em paralelo, o aluno estudará representações dessas estruturas e investigará possíveis aplicações em sistemas físicos simples, como variantes do oscilador harmônico quântico ou quantizações alternativas.

O acompanhamento será feito por meio de reuniões semanais com o orientador, nas quais o aluno poderá discutir dúvidas, apresentar os avanços e receber sugestões de aprofundamento. Para estimular a comunicação científica, o aluno preparará apresentações orais sobre temas específicos estudados ao longo do projeto. Além disso, serão elaborados relatórios parciais, organizando os resultados obtidos, e, ao final do projeto, um relatório científico completo será produzido.

Todo o trabalho será conduzido com foco no desenvolvimento da autonomia de pesquisa, pensamento crítico e habilidades de expressão científica, essenciais para a formação acadêmica do aluno.

RESULTADO ESPERADO:

Espera-se que, ao final do projeto, o aluno tenha adquirido uma compreensão sólida sobre a álgebra de Heisenberg canônica e sua generalização, dominando conceitos fundamentais de álgebra de operadores e suas aplicações em sistemas físicos. O aluno deverá ser capaz de construir e analisar exemplos de álgebras generalizadas, interpretar suas representações e discutir suas implicações físicas em modelos simples.