

1 Projeto PIBER3268-2022

Título: Aplicações de Teoria de Campo à Matéria Condensada

Tipo de Financiamento: Financiamento UFMA (Projeto Novo)

Categoria: Projeto de Pesquisa

Situação: EM EXECUÇÃO

Unidade: COORDENAÇÃO DO CURSO DE LICENCIATURAS EM CIÊNCIAS NATURAIS - QUÍMICA/SÃO BERNARDO/CCSB (52.00.90.04)

Centro: CENTRO DE CIÊNCIAS DE SÃO BERNARDO - CCSB (52.00)

Departamento: COORDENAÇÃO DO CURSO DE LICENCIATURAS EM CIÊNCIAS NATURAIS - QUÍMICA/SÃO BERNARDO/CCSB (52.00.90.04)

Palavra-Chave: Materiais Bidimensionais, Grafeno, Teoria de Campos.

E-mail: josberg.silva@ufma.br

Período do Projeto: 01/09/2022 a 01/09/2024

2 Resumo

Compreender as interações entre os fônons e o elétron é crucial para a realização de muitas aplicações de dispositivos na eletrônica. No entanto, quando reduzidas a duas dimensões, a maneira como as interações agem muda e um efeito quântico pode entrar em ação. Neste projeto vamos investigar a física de materiais bidimensionais como o grafeno e isolantes topológicos a partir de aplicações de Teoria Quântica de Campos.

3 Introdução/Justificativa

(incluindo os benefícios esperados no processo ensino-aprendizagem e o retorno para os cursos e para os professores da instituição em geral)

Uma teoria quântica para o elétron completa e consistente com os postulados da relatividade especial foi introduzida em 1928 por Paul Adrien Maurice Dirac [1]. Ele propôs uma equação que descreve a dinâmica do elétron como uma

partícula quântica e relativística em que introduz de forma natural o conceito de spin, escreveu em uma linguagem covariante sua equação, dando origem aos espinores. A equação de Dirac livre é usada para expressar o movimento de partículas massivas de spin-1/2. Existem quatro soluções para a equação de Dirac, duas das quais pertencem às soluções de energia positiva e duas soluções de energia negativa. Dirac então propôs que esses estados de energia negativa poderiam ser ocupados por um novo tipo de partícula, desconhecida da física experimental, com massa igual e carga oposta à do elétron [2]. Assim, em 1932, Anderson confirmou a teoria de Dirac ao descobrir o chamado pósitron, em raios cósmicos [3]. No limite não relativístico obtemos como resultado a equação de Schrödinger que podemos aplicá-la para o átomo de Hidrogênio e tomando a equação de Dirac para massa zero chegamos na equação de Weyl ou espinores de Weyl, que representa o movimento de partículas quirais. Ainda no limite não relativístico da equação de Dirac e no limite de baixas energias, por exemplo aplicada ao átomo de hidrogênio recaímos na equação de Pauli, equação esta que gera um riqueza de novos fenômenos como a divisão das linhas espectrais (efeito Zeeman), estrutura fina, hiperfina e outros [2]. A equação de Dirac para Férmions de massa zero (férmions quirais) levam a vários resultados de aplicabilidade na matéria condensada: efeito Hall quântico, materiais topológicos magnetoelétricos e também com uma grande aplicabilidade na física do grafeno. Nesta pesquisa, investigaremos algumas propriedades de novas fases da matéria de sistemas bidimensionais como os isolantes topológicos e o grafeno. Estas fases são análogas ao efeito Hall quântico: são isolantes, caracterizados por uma gap no volume ("Bulk") mas apresentam a existência de estados de bordas eletrônicos robustos [4]. No caso do efeito Hall quântico, esses estados da borda são quirais após a quebra da invariância de reversão temporal por aplicação em um campo magnético forte. Nos isolantes topológicos, a invariância de reversão temporal é preservada e os estados de borda aparecem como pares de Kramers se propagando em direções opostas [5]. Suas bordas têm uma natureza metálica excepcional que os torna utilizáveis em eletrônica baseada no spin do elétron.

4 Objetivos

Geral: Investigar as aplicações de física da matéria condensada além de estudar a fenomenologia e propriedades dos diversos materiais como grafeno e isolantes topológicos. - Investigar as várias aplicações da equação de Dirac, Weyl e Majorana livre e acopladas com o campo eletromagnético. Específicos: Utilizar o ferramental matemático da teoria quântica de campos como linguagem para expressar os fenômenos acerca da estrutura da matéria. Trabalharemos a equação do elétron relativístico (eq. de Dirac) em materiais bidimensionais como os isolantes topológicos e grafeno. -Fazer uso de softwares computacionais como Mathematica, Maple para a confecção de gráficos e algoritmos específicos da pesquisa. -Colaborar com o grupo de pesquisa na realização de reuniões, palestras e seminários e na produção de artigos científicos.

5 Metodologia

A execução deste projeto acontecerá por meio da realização de minicurso sobre física teórica que serão ministradas pelo orientador e seminários apresentados pelos alunos do curso de Ciências Naturais/Química da Universidade Federal do Maranhão e consistirá nas seguintes etapas: Etapa-1: Seleção dos estudantes assistentes para as quais serão direcionadas as aulas de formação para desenvolvimento de recursos humanos; Etapa-2: Seleção de conteúdos de física teórica e da matéria condensada; Etapa-3: Seminários sobre a física da matéria condensada e Teoria Quântica de Campos; Etapa-4: Elaboração e desenvolvimento de aulas ministradas pelos estudantes pesquisadores do curso de Licenciatura em Ciências Naturais/Química da Universidade Federal do Maranhão - Campus São Bernardo. As aulas serão realizadas de forma expositivas e empregando softwares e materiais específicos para um melhor ensino aprendizagem. Etapa-5: Avaliação das atividades desenvolvidas e confecção de artigo científico.

- [1] Dirac, P.A. M. & Fowler, R. H. The quantum theory of the electron. Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical and Physical Character 117, 610–624 (1928).
- [2] Modern Quantum Mechanics, J.J. Sakurai, Addison-Wesley (1994).
- [3] C.D. Anderson, Science 76, 238 (1932); Phys. Rev. 43, 491 (1933).
- [4] Murakami, S.; Nagaoka, N.; Zhang, S. C.; Physical Review Letters, 93, 156804 (2004).
- [5] Haldane, F.D.M. (1988) Model of Quantum Hall Effect without Landau Levels: Condensed Matter Realization of the “Parity Anomaly”. Physical Review Letters, 61, 2015-2018.