

# Simpósio de Integração Acadêmica

“Bicentenário da Independência: 200 anos de ciência, tecnologia e inovação no Brasil e 96 anos de contribuição da UFV”

SIA UFV 2022



## Investigações teórico-experimentais em novos materiais

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA - CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS - DEPARTAMENTO DE FÍSICA

Ivana Patente Torres - ivana.torres@ufv.br e Winder Alexander de Souza Mello - winder@ufv.br

Investigações teórico-experimentais em novos materiais

Física da matéria condensada

### 1. Introdução

Nos Isolantes Topológicos (ITs) suas funções de onda descrevendo os estados eletrônicos que geram o espaço de Hilbert tem uma topologia não trivial descrita por um invariante [1]. Em 1980, após 83 anos da descoberta do Efeito Hall, os físicos Klaus von Klitzing, G.Dorda e M. Pepper conseguiram observar experimentalmente um comportamento exótico da matéria [2]. Quando um gás de elétrons, bidimensional, é submetido a baixas temperaturas e campos magnéticos fortes, em torno de 15T, são aplicados perpendiculares à amostra, ocorrerá corrente nas bordas do material. O resultado disso decorre do fato de que os elétrons, devido a incidência do campo magnético externo, são submetidos a realizar um movimento orbital, em que os elétrons presentes no interior da amostra traçam um movimento completo e aqueles próximos da extremidade caminham em semicircunferências, como mostrado na figura 1

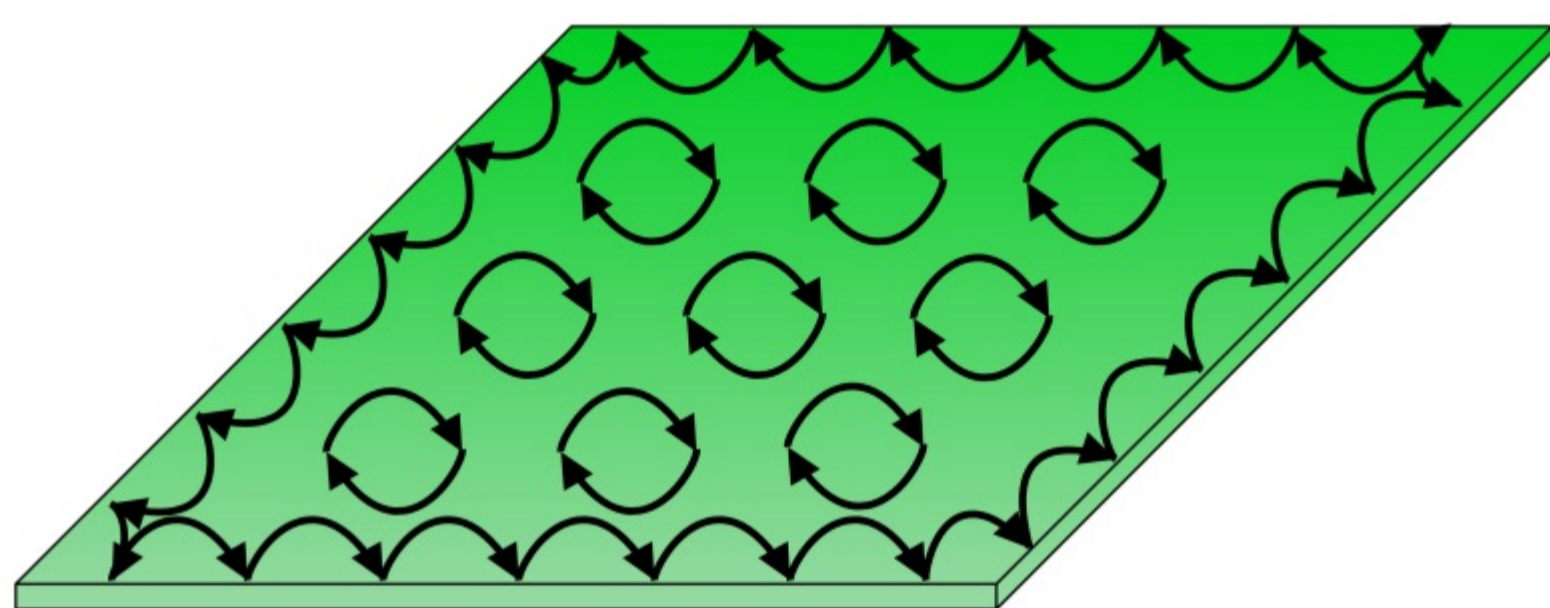


Figura 1: Representação gráfica do Efeito Hall Quântico

Ao mesmo tempo existe um *gap* de energia no *bulk*, que é uma característica típica de isolantes. Devido a esse fenômeno topologicamente distinto de outras fases já conhecidas da matéria, fez-se necessário um novo paradigma de classificação baseado na noção de topologia, visto que a condutância pode assumir apenas valores múltiplos de  $\frac{ne^2}{h}$ , que impõe uma restrição ao movimento dos portadores de carga.

Na tentativa de discutir sobre isolantes topológicos confinados quanticamente, é preciso levar em consideração o volume da partícula a ser estudada, visto que as propriedades topológicas da matéria só irão surgir caso exista um volume considerável para que exista um *bulk* apreciável. Como discutido em [3], foi possível analisar propriedade topológicas em uma partícula esférica composta por apenas 1500 átomos.

### 2. Objetivos

Compreender a possibilidade do controle das propriedades óptico-eletrônicos de um ponto quântico através da variação não somente do seu tamanho, mas também sua geometria; estudar a dinâmica dos portadores de carga na superfície de um IT cuja simetria é toroidal.

### 3. Material e Métodos

A descrição matemática dos isolantes topológicos pode ser obtida através da teoria desenvolvida por Dirac, visto que as simetrias que sua equação possui e sua questão em prever efeitos importantes para os IT, como o efeito spin-órbita, indica essa relação, além da efetiva descrição dos estados de borda que aparecem nesses materiais. Dessa forma, uma vez que a curvatura de uma superfície toroidal provoca uma conexão de spin induzida, considerando o problema de autovalor

$$H_s\psi(\theta, \phi) = E\psi(\theta, \phi),$$

cujos autovalores são

$$\alpha(\theta, \phi) = e^{im\phi} \begin{pmatrix} \alpha_{m+} \\ \alpha_{m-} \end{pmatrix},$$

em que  $m$  representa o componente azimutal do momento angular orbital,  $L_\phi$ . Tomando valores semi inteiros,  $m = \pm \frac{N}{2}$  com  $N$  um inteiro ímpar, temos:

$$\left[ \frac{1}{\rho + \text{sen}\theta} \frac{d}{d\theta} (\rho + \text{sen}\theta) \frac{d}{d\theta} - \frac{\text{sen}\theta}{2(\rho + \text{sen}\theta)} - \frac{1}{(\rho + \text{sen}\theta)^2} (m + \frac{\rho}{2} \cos\theta)^2 + \varepsilon^2 \right] \alpha_{m\sigma} = 0,$$

onde  $\sigma = \pm$ ,  $\varepsilon = \frac{rE}{\hbar} e = \frac{R}{r}$ , como discutido em [4].

### 4. Resultados e Discussão

O presente documento é um trabalho de revisão, de forma que os resultados obtidos são de fins didáticos para obtenção de conhecimento com o intuito de construir bases para trabalhos futuros. Ademais, conhecendo brevemente as propriedades relacionadas aos isolantes topológicos, bem como aquelas relacionadas aos pontos quânticos, a combinação desse estado da matéria com o confinamento quântico se caracteriza como um sistema de muito interesse, sobretudo, atualmente.

### 5. Conclusões e perspectivas

A equação do tipo Dirac, que descreve a dinâmica dos portadores de carga na superfície de um isolante topológico toroidal, utilizada no presente trabalho possui resultados obtidos para modos zero. Objetiva-se, futuramente, encontrar soluções não triviais para o problema em questão. Além disso, outra possível discussão é a descrição de algumas propriedades eletromagnéticas de isolantes topológicos 3D, como o efeito magneto-elétrico topológico para um sistema rígido, ainda, pela simetria toroidal.

### 6. Apoio Financeiro

Este projeto contou com o apoio financeiro da CNPq.

### 7. Referências Bibliográficas

- [1] ABDALLA, L. B. **Propriedades eletrônicas dos Isolantes topológicos**. Tese de doutorado apresentado ao Instituto de Física. São Paulo, 2015.
- [2] KLITZING, K. v.; DORDA, G.; PEPPER, M. **New method for high-accuracy determination of the fine-structure constant based on quantized hall resistance**. Phys. Rev. Lett., 45:494–497, Aug 1980.
- [3] SIROK, G.; HAYNES, P. D.; LEE, D. K. K.; GIANNINI, V. **Protection of surface states in topological nanoparticles**. Physical review materials, Madrid, Espanha, julho, 2017. Disponível em: 10.1103/PhysRevMaterials.1.024201. Acesso em: 15 de julho de 2022.
- [4] FONSECA, J. M. MOURA-MELO, W. A.; PEREIRA, A. R.; CARVALHO, V. L. S. **Berry phases and zero-modes in toroidal topological insulator**. Disponível em: < <https://locus.ufv.br/handle/123456789/23641> >. Acesso em: 25 de maio de 2022.
- [5] VEIGA, L. G. **Interplay between geometry and topology on a conical quantum dot**. Disponível em: < <https://locus.ufv.br/handle/123456789/28449> >. Acesso em: 06 de junho de 2022.