

## **Interações Teóricas dos Monopolos Magnéticos**

Andrew Santos Correia<sup>1</sup>; Werner Krambeck Sauter<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade federal de Pelotas – andrewscorreia99@gmail.com

<sup>2</sup>Universidade federal de Pelotas – werner.sauter@ufpel.edu.br

### **1. INTRODUÇÃO**

O estudo de monopolos magnéticos, partículas hipotéticas com carga magnética isolada, tem sido uma área de grande interesse na física teórica e experimental. A existência de monopolos magnéticos foi originalmente sugerida por Dirac em 1931, como uma maneira de quantizar a carga elétrica (DIRAC, 1931). Desde então, sua busca e estudo têm implicações profundas na compreensão das forças fundamentais da natureza, em especial na unificação das interações eletromagnéticas. No entanto, a trajetória de uma carga elétrica na presença de um monopolo magnético ainda é um tópico em aberto, gerando questionamentos sobre os efeitos dessa interação no comportamento de partículas carregadas.

O foco deste trabalho está na análise detalhada da trajetória de uma carga na presença de uma carga magnética, e como essa trajetória é modificada pela presença do monopolo. A análise dessa dinâmica é fundamental para a compreensão de sistemas onde monopolos poderiam influenciar partículas eletricamente carregadas (CABIBBO; FERRARI, 1962). Além disso, o estudo da seção de choque de espalhamento elétron-monopolo é crucial para prever como um elétron interage com um monopolo magnético, uma vez que essa interação tem implicações importantes para experimentos de detecção de monopolos (SCHWINGER, 1976).

A fundamentação teórica deste trabalho baseia-se em estudos que modelam a dinâmica de partículas carregadas em campos magnéticos e teóricos que exploram a interação entre elétrons e monopolos magnéticos. O objetivo deste estudo é descrever, de maneira clara e quantitativa, como a trajetória de uma carga é afetada na presença de um monopolo magnético e como ocorre o espalhamento entre um elétron e um monopolo, abordando a seção de choque resultante dessas interações (PRESKILL, 1984). Assim, espera-se contribuir para uma melhor compreensão dos fenômenos relacionados aos monopolos magnéticos e suas potenciais observações experimentais.

### **2. METODOLOGIA**

Este trabalho foi desenvolvido com base em uma análise teórica da trajetória de uma carga elétrica na presença de um monopolo magnético e do espalhamento elétron-monopolo, utilizando cálculos e abordagens já consagradas na literatura. O estudo se apoia principalmente nas metodologias apresentadas por BOULWARE et al. (1976) e SCHWINGER et al. (1976), que fornecem os fundamentos teóricos e matemáticos para a modelagem dessas interações.

A primeira parte do trabalho consiste em analisar a trajetória de uma partícula carregada na presença de uma carga magnética. Para isso, foi utilizada a equação do movimento de uma partícula sob a influência de um campo

magnético radial gerado pelo monopolo, seguindo o formalismo desenvolvido por BOULWARE et al. (1976). A partir das equações de Maxwell modificadas para incluir a presença de um monopolo magnético, foram deduzidas as expressões para a força de Lorentz em uma carga elétrica em movimento próximo a um monopolo. A integração dessas equações permitiu traçar a trajetória da partícula e identificar as principais características do movimento, como precessionamento e a deflexão angular.

Na segunda etapa, foi analisada a seção de choque de espalhamento entre um elétron e um monopolo. Utilizando os trabalhos de SCHWINGER et al. (1976), foi possível aplicar as técnicas de teoria de espalhamento não relativística, considerando tanto o regime de baixas quanto de altas energias. O formalismo de SCHWINGER et al. (1976) foi crucial para definir as equações diferenciais que descrevem o espalhamento de uma carga elétrica em torno de uma carga magnética. A solução dessas equações permitiu calcular a seção de choque diferencial e total, e avaliar o comportamento do espalhamento em diferentes condições de energia incidente.

Todos os cálculos foram realizados numericamente, utilizando métodos de integração para resolver as equações do movimento e as equações diferenciais de espalhamento. Os resultados foram comparados com os valores teóricos previstos pela literatura, garantindo a consistência dos métodos aplicados. Dessa forma, a abordagem metodológica adotada neste trabalho permitiu uma análise rigorosa dos fenômenos de interação entre cargas elétricas e magnéticas.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A presença de um monopolo magnético altera a dinâmica do campo magnético e, conseqüentemente, a trajetória de uma carga elétrica que se move em seu campo. O campo magnético gerado pelo monopolo é descrito pela equação  $\mathbf{B} = g\mathbf{r}/r^3$ , onde  $g$  é a carga do monopolo e  $\mathbf{r}$  é a posição da carga em relação ao monopolo. A equação de movimento resultante para a carga envolve o produto vetorial entre a velocidade da carga e o campo magnético, levando a uma trajetória que não é retilínea, mas sim uma curva aberta. A distância mínima que a carga atinge em relação ao monopolo, denominada parâmetro de impacto  $b$ , caracteriza o espalhamento. Essa trajetória é aproximada como uma espiral, sendo que a carga se aproxima, sofre uma deflexão e retorna ao infinito.

A análise do momento angular total,  $\mathbf{J}$ , revela que ele é conservado no sistema carga-monopolo. Este é composto pela soma do momento angular clássico da carga,  $\mathbf{L} = \mathbf{r} \times m\mathbf{v}$ , e um termo devido à presença do monopolo,  $qg\hat{\mathbf{r}}$ , onde  $q$  é a carga elétrica da partícula e  $\hat{\mathbf{r}}$  é o vetor unitário na direção de  $\mathbf{r}$ . A conservação do momento angular indica que, mesmo na presença do monopolo, o sistema mantém simetrias que possibilitam o cálculo da trajetória.

A seção de choque de espalhamento fornece insights sobre a probabilidade de interação entre partículas. Neste caso, o espalhamento de um elétron em um campo de monopolo magnético é analisado. O momento angular conservado difere do caso de uma interação Coulombiana comum, pois agora inclui um termo associado ao monopolo. A trajetória do elétron ao redor do monopolo ocorre em um cone, com a direção do vetor momento angular não sendo fixa, o que reflete a geometria tridimensional da interação.

A análise da seção de choque para o espalhamento permite calcular a probabilidade de eventos de deflexão, sendo que o parâmetro de impacto  $b$  coincide com a separação mínima entre o monopolo e a carga. O resultado obtido indica que o monopolo impõe uma deflexão significativa à trajetória da carga, o que poderia, em princípio, ser detectado experimentalmente.

#### 4. CONCLUSÕES

Em conclusão, o trabalho contribui para a compreensão geral e uma visão clara e introdutória sobre os fenômenos de interação teóricos relacionados aos monopolos magnéticos. O estudo de monopolos magnéticos continua a ser uma área de grande interesse e complexidade, e os resultados aqui discutidos podem servir como uma base simples e útil para futuras pesquisas no campo. Embora ainda há muito o que avançar na busca pela detecção de monopolos, este trabalho ajuda a consolidar os conhecimentos básicos para apoiar investigações mais profundas e detalhadas no futuro.

Os autores, na condição de bolsistas, agradecem o **Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul - FAPERGS**.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DIRAC, P. A. M. **Quantised singularities in the electromagnetic field**. Proceedings of the Royal Society of London. Series A, v. 133, n. 821, p. 60–72, 1931. DOI: 10.1098/rspa.1931.0130.
- PRESKILL, J. **Magnetic monopoles**. Annual Review of Nuclear and Particle Science, v. 34, p. 461–530, 1984. DOI: 10.1146/annurev.ns.34.120184.002333.
- CABIBBO, N.; FERRARI, E. **Quantum electrodynamics with Dirac monopoles**. Il Nuovo Cimento (1955-1965), v. 23, p. 1147-1154, 1962.
- SCHWINGER, J. et al. **Nonrelativistic dyon-dyon scattering**. Annals of Physics, v. 101, n. 2, p. 451-495, 1976.
- BOULWARE, D. et al. **Scattering on magnetic charge**. Physical Review D, v. 14, n. 10, p. 2708, 1976.