



## O Monopólo Magnético de Nambu

Departamento de Física, Universidade Federal de Viçosa

**Victória R. de Oliveira<sup>1</sup> ([victoria.ramos@ufv.br](mailto:victoria.ramos@ufv.br))**, **Oswaldo M. Del Cima<sup>2</sup> ([oswaldo.delcima@ufv.br](mailto:oswaldo.delcima@ufv.br))**,  
**Daniel O. R. Azevedo<sup>3</sup> ([daniel.azevedo@ufv.br](mailto:daniel.azevedo@ufv.br))**, **Milena L. Bispo<sup>4</sup> ([milena.bispo@ufv.br](mailto:milena.bispo@ufv.br))**

Monopólos Magnéticos, Nambu, Espalhamento

Grande área: Ciências Exatas e da Terra / Área: Física / Subárea: Física da Partículas Elementares e Campos.

Categoria: Pesquisa

### Introdução

O eletromagnetismo está há muito tempo incorporado no cotidiano da sociedade e formam as bases de toda tecnologia que desenvolvemos até hoje. No entanto, diferentemente do que se esperaria, ainda não temos um entendimento completo da teoria e ainda existem questões elementares a serem resolvidas como por exemplo a existência de monopólos magnéticos. Muitas vezes, a "beleza" de uma teoria está associada à presença de simetrias e, dessa forma, podemos descrever como um ponto central dos últimos dois séculos de teorias físicas a busca por simetrias na natureza e nas leis que a governam. Um dos problemas de quebra de simetria que mais atrai atenção e causa incômodo é o fato de existirem em nosso mundo cargas elétricas, mas sua contraparte, os monopólos magnéticos, ainda não ter sido observada.

### Objetivos

Tem-se como objetivo o estudo dos monopólos magnéticos fundamentais e suas buscas ao longo do tempo.

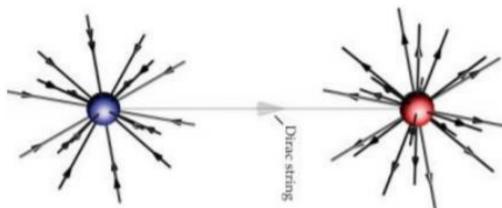
### Metodologia

#### Dualidade Eletromagnética

A eletrodinâmica clássica não só não proíbe a existência de monopólos magnéticos como a descoberta dos mesmos traria simetria às equações de Maxwell:

$$\begin{aligned} (i) \quad \nabla \times \vec{E} &= -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} - \frac{4\pi}{c} \vec{J}_m & (iii) \quad \nabla \cdot \vec{B} &= 4\pi\rho_m \\ (ii) \quad \nabla \times \vec{B} &= \frac{1}{c^2} \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} + \frac{4\pi}{c} \vec{J}_e & (iv) \quad \nabla \cdot \vec{E} &= 4\pi\rho_e \end{aligned} \quad (1)$$

#### Proposta de Dirac



**Fig. 1:** Monopólos de Dirac. O monopólo norte (vermelho) é conectado ao monopólo sul (azul) por uma linha de singularidade conhecida como *String* de Dirac. Figura extraída de [1].

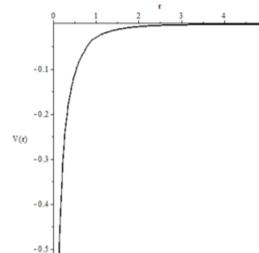
#### Proposta de Nambu

No seu trabalho de 1974, Y. Nambu faz uma modificação na descrição de monopólos magnéticos de Dirac, adaptando o modelo para descrever a interação (confinante) forte entre quark e antiquark nos mésons  $\pi$ :

$$V_N(r) = \frac{g^2 m_v^2}{8\pi} \ln \left( \frac{m_s^2}{m_v^2} + 1 \right) r - \frac{g^2 e^{-m_v r}}{4\pi r} \quad (2)$$

### O Átomo de Nambu

Com base no trabalho de Nambu, foi definido o que chamaremos de "Átomo de Nambu": duas partículas de cargas magnéticas opostas interagindo via o potencial (não confinante) da forma [2-4]:



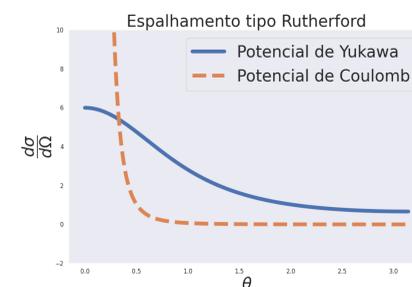
$$V_N(r) = \frac{g^2}{4\pi} \begin{cases} \mu^2(r-r_0) - \frac{e^{-\mu r}}{r}, & 0 \leq r \leq r_0 \\ -\frac{e^{-\mu r}}{r}, & r > r_0 \end{cases} \quad (3)$$

**Fig. 2:** Potencial tipo Nambu proposto. Figura extraída de [2]

### Resultados

#### Estados Espalhados

Usaremos o *Espalhamento de Rutherford* para estudar o estado espalhado do que definimos como "Átomo" de Nambu e estimar a seção de choque desse espalhamento, utilizando o potencial definido em (3). Com o objetivo de introdução dos cálculos, consideraremos aqui o potencial de Coulomb e o potencial de Yukawa como *toy model* para estudar o espalhamento e realizar os primeiros cálculos de seção de choque do potencial tipo Nambu (3).



**Fig. 3:** Relação entre a seção diferencial de choque e o ângulo de espalhamento  $\theta$  para o potencial de Yukawa e potencial de Coulomb, utilizando os parâmetros  $\beta = m = \mu = 1$  e  $E = 1/4$ .

### Conclusões

O desenvolvimento desse trabalho possibilitou um estudo sobre os monopólos magnéticos fundamentais e suas buscas, partindo da relação de dualidade eletromagnética até a proposta de monopólos de Dirac em 1931. Além de um estudo sobre estados espalhados e espalhamento de Rutherford, como motivação para o entendimento da interação entre partículas magnéticas e a busca por comprovação experimental da existência das mesmas através de experimentos de colisão. O cálculo da seção de choque para o potencial tipo Nambu proposto em (3) esta em fase de conclusão para publicação [5].

### Bibliografia

- [1] A. Rajantie. *The Search for Magnetic Monopoles*. Phys. Today, vol. 69, (2016).
- [2] M. L. Bispo. *O "Átomo" Magnético de Nambu*. Monografia, Universidade Federal de Viçosa; Viçosa, MG, Brasil; (2020)
- [3] D. O. R. Azevedo. *O monopólio de Nambu: uma proposta para átomos de monopólos magnéticos*; Tese de Mestrado, Universidade Federal de Viçosa; Viçosa, MG, Brasil; (2020).
- [4] D. O. R. Azevedo, M. L. Bispo, O. M. Del Cima, D. H. T. Franco, A. R. Pereira. *Is there any Nambu monopolum out there?*. Europhysics Letters, (2021).
- [5] V. R. Oliveira, D. O. R. Azevedo, M. L. Bispo, O. M. Del Cima. *Cross Section of Nambu monopolum*, em andamento.

### Apoio Financeiro

### Agradecimentos