



Introdução ao monopolo magnético

Rubens Raimundo de Sousa Oliveira

Universidade Federal do Ceará – rubensrso@fisica.ufc.br.

Francisco José de Araujo Filho

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí – franciscolealraujofilho@hotmail.com.

Resumo: Um monopolo magnético é uma partícula elementar hipotética prevista pela física de partículas que possui apenas um polo magnético. Desde que o físico P. A. M. Dirac publicou um artigo em 1931 sobre a existência de monopolos magnéticos na natureza, várias pesquisas sistemáticas foram realizadas para provar a sua existência, contudo, sem terem resultados significativos até hoje. Portanto, permanece uma questão em aberto se realmente existem. Este trabalho teve como objetivo apresentar as modificações nas equações de Maxwell do eletromagnetismo clássico na forma diferencial que incluem a carga magnética do monopolo magnético em consideração. Quanto aos procedimentos metodológicos, utilizamos uma pesquisa bibliográfica de natureza qualitativa. Com o trabalho elaborado, foi possível analisar como as quatro equações de Maxwell são modificadas devido à carga magnética. Além disso, vimos que se tal monopolo existisse, implicaria numa simetria mais geral nas equações de Maxwell, no qual colocaria os campos elétrico E e magnético B em pé de igualdade.

Palavras chave: Monopolo magnético, Carga magnética, P. A. M. Dirac, Equações de Maxwell.

1. Introdução

Um monopolo magnético é uma partícula elementar hipotética prevista pela física de partículas, de forma simplificada, se comporta como um ímã isolado com apenas um polo magnético (um polo norte sem um pólo sul ou vice-versa) (WIKIPEDIA, 2018; HOOPER, 2007). Na literatura, o conceito de carga magnética às vezes é usado como sinônimo de monopolo magnético, entretanto, usaremos monopolo magnético para designar uma partícula e carga magnética como uma propriedade física intrínseca do monopolo. O primeiro cientista a prever teoricamente a existência do monopolo magnético foi o físico teórico P. A. M. Dirac em um artigo publicado em 1931, no qual mostrou que a existência do monopolo no universo explicaria por que a carga elétrica é quantizada (DIRAC, 1931; GRIFFITHS, 2011).

De acordo com a física, o magnetismo em ímãs de barras, eletroímãs, aparelhos de ressonância magnética nuclear, etc, não é causado por monopolos magnéticos e, de fato, não há evidência experimental ou observacional ainda de que monopolos magnéticos existam. Desde o artigo de Dirac, várias pesquisas sistemáticas foram realizadas para provar a existência dos monopolos magnéticos. Experimentos em 1975 e 1982 produziram eventuais candidatos que foram inicialmente interpretados como monopolos magnéticos, mas agora são considerados inconclusivos (PRICE; SHIRK; OSBBOME; PINSKY, 1975; CABRERA, 1982). Portanto, permanece uma questão em aberto se realmente existem.

A presente pesquisa foi realizada com o apoio do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, e teve como objetivo apresentar as modificações nas equações de Maxwell do eletromagnetismo clássico na forma diferencial que incluem a carga magnética do monopolo magnético em consideração.



2. Procedimentos Metodológicos

Este trabalho constituiu-se de uma pesquisa bibliográfica de natureza qualitativa. Focamos numa abordagem tanto conceitual quanto no formalismo matemático por trás da presente temática. Quanto às referências usadas, trabalhamos exclusivamente com livros texto da licenciatura em física e através do site da wikipédia versão inglês. Embora a wikipédia versão português também tenha tópicos mais rápido e direto de serem pesquisados, preferimos a versão inglês por além de ser mais confiável quanto as referências usadas, trás mais informações detalhadas.

3. Resultados e discussões

Existe uma simetria elegante e agradável nas equações de Maxwell do eletromagnetismo clássico na forma diferencial. Essa simetria se destaca particularmente no espaço vazio (vácuo) onde a densidade de carga elétrica e o vetor densidade de corrente elétrica são nulas ($\rho_e=0$ e $J_e=0$). Explicitamente, tal simetria é dada como segue (Sistema Internacional) (GRIFFITHS, 2011):

$$\boxed{\nabla \cdot \mathbf{E} = 0} \quad \boxed{\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}} \quad (1)$$

$$\boxed{\nabla \cdot \mathbf{B} = 0} \quad \boxed{\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}} \quad (2)$$

Vale ressaltar que se trocarmos \mathbf{E} por \mathbf{B} e \mathbf{B} por $-\mu_0 \epsilon_0 \mathbf{E}$, o primeiro par de equações transforma-se no segundo, e vice-versa. Entretanto, a simetria entre \mathbf{E} e \mathbf{B} é estragada pelo termo da densidade de carga na lei de Gauss e pelo termo do vetor de corrente na lei de Ampere quando não estamos no espaço vazio, onde $\rho_e \neq 0$ e $J_e \neq 0$. Segundo Griffiths (2011), e se tivéssemos as seguintes equações de Maxwell modificadas devido à existência do monopolo magnético:

$$\boxed{\nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{\rho_e}{\epsilon_0}} \quad \boxed{\nabla \times \mathbf{E} = -\mu_0 \mathbf{J}_m - \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}} \quad (3)$$

$$\boxed{\nabla \cdot \mathbf{B} = \mu_0 \rho_m} \quad \boxed{\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{J}_e + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}} \quad (4)$$

onde ρ_m representaria a densidade de carga magnética e \mathbf{J}_m seria o vetor densidade corrente magnética, respectivamente. Além do mais, ambas as cargas seriam conservadas através das seguintes equações de continuidades:

$$\boxed{\nabla \cdot \mathbf{J}_m + \frac{\partial \rho_m}{\partial t} = 0, \quad \nabla \cdot \mathbf{J}_e + \frac{\partial \rho_e}{\partial t} = 0} \quad (5)$$



Ainda de acordo com Griffiths (2011), as equações de Maxwell imploram pela existência do monopolo magnético – ele se encaixaria tão bem no formalismo das equações, em outras palavras, teríamos uma simetria mais geral entre os campos elétrico E e magnético B , que estejamos no espaço vazio ou não. Contudo, até hoje tal monopolo magnético ainda não foi encontrado na natureza, consequentemente, ρ_m é zero em toda parte, como também J_m . Diante disto, observa-se que E e B não estão em pé de igualdade: existem fontes estacionárias para E (cargas elétricas), mas não para B (GRIFFITHS, 2011).

4. Considerações finais

Com o trabalho elaborado, foi possível analisar como as quatro equações de Maxwell do eletromagnetismo clássico na forma diferencial são modificadas devido à carga magnética do monopolo magnético. Além disso, vimos que se tal monopolo existisse, implicaria numa simetria mais geral nas equações de Maxwell, no qual colocaria os campos elétrico E e magnético B em pé de igualdade. Em pesquisas futuras, analisaremos como ocorre a quantização da carga elétrica devido à carga magnética.

5. Referências

- CABRERA, B. First Results from a Superconductive Detector for Moving Magnetic Monopoles. Phys. Rev. Lett., American Physical Society, v. 48, n. 20, p. 1378, 1982. Disponível em: < <https://dx.doi.org/10.1103/PhysRevLett.48.1378>>. Acesso em: 10 jul 2018.
- DIRAC, P. A. M.. Quantised singularities in the electromagnetic field. Proc. Roy. Soc. Lond. A, v. 133, n. 821, p. 60-72, 1931. Disponível em: < <https://dx.doi.org/10.1098/rspa.1931.0130>>. Acesso em: 10 jul 2018.
- GRIFFITHS, D. J. **Eletrodinâmica**. 3ª ed. São Paulo, Pearson Addison Wesley, 2011. 404p.
- HOOPER, D. **Dark cosmos**: in search of our universe's missing mass and energy. Smithsonian Books/Collins, 2007.
- MAGNETIC MONOPOLE. In: Wikipedia, the free encyclopedia. Disponível em: < https://en.wikipedia.org/wiki/Magnetic_monopole>. Acesso em: 10 jul 2018.
- PRICE, P. B.; SHIRK, E. K.; OSBOME, W. Z.; PINSKY, L. S. Evidence for detection of a moving magnetic monopole. Phys. Rev. Lett., v. 35, n. 8, p. 487, 1975. Disponível em: < <https://dx.doi.org/10.1103/PhysRevLett.35.487>>. Acesso em: 10 jul 2018.