

# PRODUÇÃO EXCLUSIVA DE DÍONS VIA FUSÃO DE FÓTONS EM COLISÕES DE PRÓTONS A 14 TeV NO LHC.

LUIS FELIPE DA CONCEIÇÃO INÁCIO<sup>1</sup>; WERNER KRAMBECK SAUTER<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Pelotas 1 – [lfci.fisica@gmail.com](mailto:lfci.fisica@gmail.com) 1

<sup>2</sup> Universidade Federal de Pelotas – [werner.sauter@ufpel.edu.br](mailto:werner.sauter@ufpel.edu.br)

## 1. INTRODUÇÃO

A busca por partículas hipotéticas exóticas tem se intensificado, impulsionada pela possibilidade de estudá-las em colisões de altíssimas energias no Grande Colisor de Hádrons (LHC). Entre essas partículas, os díons, que possuem cargas elétrica e magnética simultaneamente, são de particular interesse, pois sua existência está prevista em diversos modelos além do Modelo Padrão (BSM) da física de partículas. Embora ainda não tenham sido detectados experimentalmente, os díons são postulados com base em teorias avançadas que buscam explicar fenômenos que desafiam nosso entendimento atual.

Os díons foram propostos pela primeira vez por Julian Schwinger em 1969, no contexto de sua teoria unificada da matéria, onde ele desenvolveu o chamado "modelo magnético da matéria" (SCHWINGER, 1969). Esse modelo conseguiu prever a existência de uma partícula com características semelhantes ao méson  $J/\psi$ , detectado experimentalmente alguns anos depois. Além disso, a existência de partículas magnéticas, como monopolos magnéticos, tem sido amplamente discutida desde os trabalhos de Dirac (DIRAC, 1931), que mostrou que a existência de monopolos leva à quantização da carga elétrica. Desde o trabalho original de Schwinger, foi demonstrado que os díons aparecem genericamente em teorias com monopolos, especificamente em muitas teorias de física de partículas como a Teoria da Grande Unificação (GUT) (LY, et al., 1982; MA, 1984), Teoria de Einstein-Yang-Mills (BJORAKER, et al., 2000; NOLAN, et al. 2012), Teoria de Kaluza-Klein (SEM, 1997), Teoria de Cordas (DABHOLKAR, et al. 2011) e a Teoria M (GOMEZ, et al., 2001). Os díons podem ser considerados uma extensão natural do conceito de monopolos magnéticos. A ideia de monopolos é discutida em detalhes por (BAINES, S. et al., 2018) e (ACHARYA, B. et al., 2019).

Neste trabalho, analisamos a produção central exclusiva de díons via fusão de fótons em colisões ultraperiféricas de prótons no LHC, um processo que oferece uma assinatura experimental clara e limpa. A produção central exclusiva é uma ferramenta valiosa para estudar partículas exóticas, pois os projéteis permanecem intactos e a partícula é gerada na região central de rapidez do detector. Esse estudo pode fornecer novas pistas sobre a existência de díons e suas propriedades, contribuindo significativamente para o avanço das teorias que buscam expandir os limites do Modelo Padrão.

## 2. METODOLOGIA

Estimamos a produção de díons, uma partícula exótica altamente ionizante, por meio do mecanismo de fusão de fótons, um método eficaz tanto para a espectroscopia de mésons quanto para testes de QED. Para descrever esse

processo, utilizamos a aproximação de fótons equivalentes, que permite tratar partículas carregadas altamente relativísticas como fontes de fótons, como pode ser visto em (WEIZSACKER, 1934; WILLIAMS, 1934). Em colisões ultraperiféricas, esses fótons interagem entre si, resultando na produção de uma ressonância massiva. Com base nessa aproximação, calculamos as seções de choque para a produção de pares de díons.

Estudamos a produção de pares dion-antidion em diferentes cenários de colisões ultraperiféricas de prótons, considerando díons com spin 0,  $\frac{1}{2}$  e 1, e com massas variando de 1000 GeV a 3000 GeV, em colisões com energia de centro de massa de 14 TeV. As simulações foram realizadas na linguagem de programação Fortran, utilizando uma análise baseada na constante de estrutura fina dependente da velocidade dos díons. Para calcular o número esperado de eventos de produção de díons, utilizamos os dados de luminosidade integrada, correspondentes a  $160,4 \text{ fb}^{-1}$ .

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apresentamos os cálculos de produção do par díons-antidion considerando interações fóton-fóton em colisões de prótons com energia de centro de massa de 14 TeV no LHC. Para isso, analisamos díons com diferentes valores de cargas elétricas e magnéticas, e comparamos as seções de choque resultantes para díons de spin 0,  $\frac{1}{2}$  e 1. Na figura 1, mostramos o comportamento da seção de choque para produção do par dion-antidion via fusão de fótons para spin-0,  $\frac{1}{2}$  e 1, com carga com carga magnética  $1g_D$  e carga elétrica variando de  $1e$  até  $200e$ , em colisões de próton-próton com energia de centro de massa de 14. Na figura 2 mostramos o comportamento da seção de choque para díons com carga magnética  $5g_D$  e carga elétrica variando de  $1e$  até  $200e$ , em colisões de próton-próton com energia de centro de massa de 14 TeV.

Fig. 1: Comportamento da seção de choque para produção do par dion-antidion via fusão de fótons para spin-0 (esquerda), spin-1/2 (centro) e 1 (direita), com carga magnética  $1g_D$  e carga elétrica variando de  $1e$  até  $200e$ , em colisões de próton-próton com energia de centro de massa de 14 TeV.

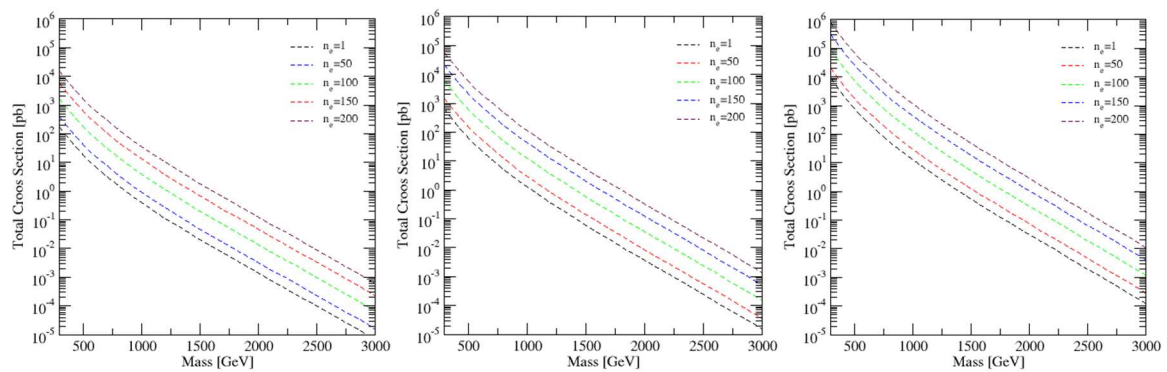
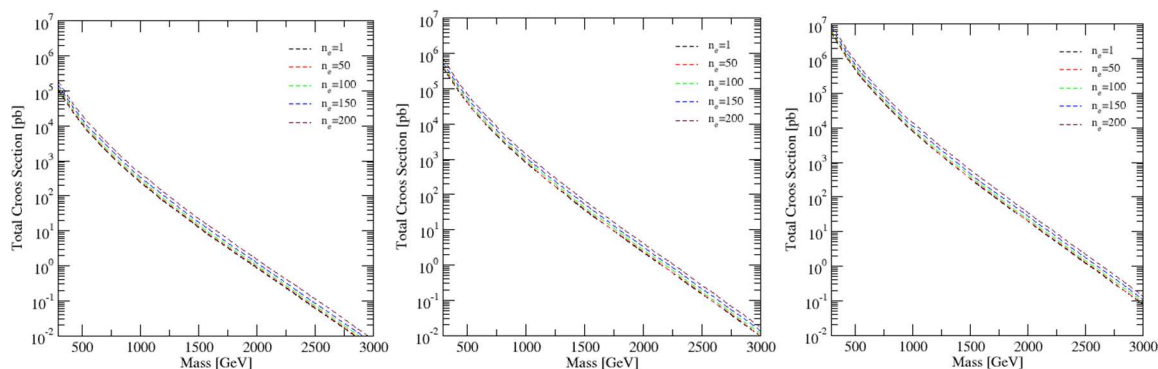


Fig. 2: Comportamento da seção de choque para produção do par dion-antidion via fusão de fótons para spin-0 (esquerda), spin-1/2 (centro) e 1 (direita), com carga magnética  $5g_D$  e carga elétrica variando de  $1e$  até  $200e$ , em colisões de próton-próton com energia de centro de massa de 14 TeV.



Em todos os casos mencionados, a produção de díons é significativa em colisões próton-próton dentro do limite de energia estimado. Observamos que a seção de choque total aumenta à medida que o spin da partícula produzida cresce, o que indica que a probabilidade de interação entre as partículas incidentes e a partícula gerada é maior para partículas com spin mais elevado. Em outras palavras, díons com spin mais alto têm uma probabilidade maior de interagir com outras partículas durante uma colisão, em comparação com díons de spin mais baixo. Além disso, verificamos que a seção de choque total também aumenta com o aumento da carga elétrica.

Outro ponto relevante é que, quanto maior a massa do díon, menor é a probabilidade de produzi-lo, devido à supressão na seção de choque para massas elevadas. Esses resultados referem-se à produção de díons com spin 0, 1/2 e 1, via fusão de fótons, considerando cargas magnéticas de 1gD a 5gD e cargas elétricas variando de 1e a 200e.

#### 4. CONCLUSÕES

Em resumo, este trabalho explora o intrigante mundo das partículas hipotéticas exóticas, com foco nos díons, que apresentam uma natureza simultaneamente elétrica e magnética. A descoberta dessas partículas poderia trazer avanços significativos na física de partículas, oferecendo insights sobre a unificação das forças fundamentais e ajudando a explicar a quantização da carga elétrica. Além disso, a conexão dos díons com os monopolos magnéticos sugere que sua observação também poderia revelar novos detalhes sobre a origem e a natureza dessas partículas ainda não detectadas.

Embora os resultados experimentais até o momento não tenham identificado a presença de díons, os esforços contínuos na busca por essas partículas exóticas representam um passo essencial na exploração de teorias que vão além do Modelo Padrão. A possibilidade de descobrir díons em futuros experimentos de alta energia, como no LHC, continua a ser um objetivo crucial. O estudo dessas partículas não só desafia os limites do conhecimento atual, mas também oferece uma janela para o desenvolvimento de uma nova física, capaz de explicar fenômenos até então inexplorados.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Artigos

ACHARYA, B. et al. **First search for dyons with the full MoEDAL trapping detector in 13 TeV pp collisions.** Phys. Rev. Lett., v. 126, n. 7, p. 071801, 2021.

ACHARYA, B. et al. **Magnetic monopole search with the full MoEDAL trapping detector in 13 TeV pp collisions interpreted in photon-fusion and Drell-Yan production.** Phys. Rev. Lett., v. 123, n. 2, p. 021802, 2019.

BAINES, S. et al. **Monopole production via photon fusion and Drell-Yan processes: MadGraph implementation and perturbativity via velocity-dependent coupling and magnetic moment as novel features.** Eur. Phys. J., C78, n. 11, p. 966, 2018.

BJORAKER, Jefferson; HOSOTANI, Yutaka. **Stable monopole and dyon solutions in the Einstein-Yang-Mills theory in asymptotically anti-de Sitter space.** Physical Review Letters, v. 84, n. 9, p. 1853, 2000.

DABHOLKAR, Atish; GOMES, Joao; MURTHY, Sameer. **Counting all dyons in  $N=4$  string theory.** Journal of High Energy Physics, v. 2011, n. 5, p. 1-28, 2011.

DIRAC, Paul Adrien Maurice. **Quantised singularities in the electromagnetic field.** Proceedings of The Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, v. 133, p. 60-70, 1931.

GOMEZ, César; MANJARIN, Juan Jose. **Dyons, K-theory and M-theory.** ArXiv preprint hep-th/0111169, 2001.

L'YI, W. S.; PARK, Y. J.; KOH, I. G.; KIM, Y. D. **Analytic dyon solution in  $SU(N)$  grand unified theories.** Physical Review Letters, v. 49, n. 17, p. 1229-1231, out. 1982. DOI: 10.1103/PhysRevLett.49.1229.

MA, Zhong-Qi. **Monopole and dyon solutions in  $SU(5)$  grand unified theory.** Nuclear Physics B, v. 231, n. 1, p. 172-188, 1984. DOI: 10.1016/0550-3213(84)90312-2.

NOLAN, Brien C.; WINSTANLEY, Elizabeth. **On the existence of dyons and dyonic black holes in Einstein-Yang-Mills theory.** Classical and Quantum Gravity, v. 29, n. 23, p. 235024, 2012.

SCHWINGER, J. **A magnetic model of matter: A speculation probes deep within the structure of nuclear particles and predicts a new form of matter.** Science, American Association for the Advancement of Science, v. 165, n. 3895, p. 757-761, 1969.

SEN, Ashoke. **Kaluza-Klein dyons in string theory.** Physical Review Letters, v. 79, n. 9, p. 1619, 1997.

WEIZSÄCKER, C. von. **Radiation emitted in collisions of very fast electrons.** Z.Phys., v. 88, p. 612-625, 1934.

WILLIAMS, E. **Nature of the high-energy particles of penetrating radiation and status of ionization and radiation formulae.** Phys.Rev., v. 45, p. 729-730, 1934.