

PRODUÇÃO EXCLUSIVA DE DYONS EM COLISÕES DE ALTAS ENERGIAS

LUIS FELIPE DA CONCEIÇÃO INÁCIO¹; ORIENTADOR: WERNER KRAMBECK SAUTER²

¹*Universidade Federal de Pelotas – lfcfisica@gmail.com*

² *Universidade Federal de Pelotas – werner.sauter@ufpel.edu.br*

1. INTRODUÇÃO

Uma das teorias mais sofisticadas da física de partículas é o Modelo Padrão, que descreve a estrutura da matéria em sua forma mais elementar e suas respectivas formas de interação. As partículas elementares e os bósons mediadores das interações fundamentais da natureza são descritos por esse modelo. No entanto, diversas teorias dentro da física de partícula prevem a existência de partículas que não se enquadram na lista de partículas do modelo padrão, são essas chamadas de partículas hipotéticas exóticas, que apontam para uma nova direção dentro da física de partículas além do modelo padrão. Nos últimos anos a comunidade da física de partículas tem renovado o interesse por essas partículas exóticas, principalmente com o início da operação do LHC no CERN. De fato, se essas partículas realmente existem elas podem ser formadas em colisões no LHC (MoEDAL-MAPP, 2021).

Na lista de partículas exóticas temos os dyons, partícula hipotética constituída de uma carga elétrica e uma carga magnética. Julian Schwinger levantou a primeira hipótese do dyon em 1969, no contexto de uma teoria unificada para a matéria (SCHWINGER, 1969). Ele a usou para construir o que chamou de modelo magnético da matéria. Muitas "grandes teorias unificadas" da física de partículas, que conectam forças fundamentais em altas energias em uma única força, preveem a existência de dyons (SHNIR, 2005). Para produção dessa partícula vamos utilizar o formalismo de aproximação de fôtons equivalentes, idealizada por E. Fermi e estendida por Weizsäcker e Williams (WEIZSACKER, 1934; WILLIAMS, 1934).

O LHC é constituído por vários experimentos, dentre esses o experimento MoEDAL (Monopole and Exotics Detector at the LHC) que procura por esses avatares altamente ionizantes (PINFOLD et al., 2009). Esta colaboração recentemente publicou uma estimativa para a detecção de dyons (ACHARYA et al., 2021) com o uso do mecanismo de produção Drell-Yan, em que os dyons são produzidos em pares por fóton emitido pela aniquilação de um quark e anti-quark. Nesta primeira busca, havia uma previsão para dyons com massa entre 830 e 3180 GeV, carga magnética de até seis unidades de uma carga magnética fundamental e uma carga elétrica de até 200 vezes a carga do elétron. Não obtiveram sucesso na primeira busca, e esse resultado negativo permitiu com que o detector a colaboração estreitasse a região de onde procurar o dyon.

Nosso objetivo é estudar a produção de dyons pelo mecanismo de fusão de fôtons, onde esses fôtons são gerados em colisões de altas energias para colisões de partículas carregadas, como elétrons, prótons ou íons pesados. Estimamos a produção de dyon de spin 0, $\frac{1}{2}$ e 1. Agora no Run-3, estima-se que o LHC esteja operando com uma energia de colisão de 14 TeV, é o limite a ser usado nessa proposta. Adotaremos apenas colisões periféricas de partículas carregadas (prótons, elétrons ou íons pesados), a razão disso é que teremos um sinal experimental muito limpo, as partículas não se dissociam e os fôtons emitidos interagem para produzir uma ressonância massiva. O fóton pode interagir de



variadas formas, mas, para o interesse deste trabalho, consideramos apenas o caso em que esses fótons somente irão interagir entre si por meio da fusão de fótons, por estarmos adotando apenas colisões periféricas a interação nuclear forte é desconsiderada e passamos a descrever a interação apenas no regime da eletrodinâmica quântica.

2. METODOLOGIA

Estimamos a produção desta partícula exótica altamente ionizante pelo mecanismo de produção de fusão de fótons, que é uma excelente ferramenta para muitos aspectos da espectroscopia de mésons e testes de QED, para esse mecanismo que estamos adotando recorremos a aproximação de fótons equivalentes, que permite que uma partícula altamente relativística seja vista como uma fonte de fótons, sendo estes fótons que numa colisão periférica interagem entre si e produzem uma ressonância massiva, mediante esta aproximação faremos o cálculo das seções de choque para produção de par de dyons. Para a produção do par dyon/anti-dyon faremos estudos de diferentes cenários de colisões periféricas de partículas carregadas como prótons, elétrons e íons pesados. Consideraremos dyons com spin 0, $\frac{1}{2}$ e 1, para cada caso será calculado as seções de choque total de produção de pares. Após obtermos as seções de choque total de produção elaboraremos programa em código em linguagem estruturada para análise das seções de choque em cada processo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Já realizamos estudos teóricos do mecanismo de produção central com aproximação de fótons equivalentes para produção dessa partícula exótica. Como estamos estimando a produção de dyon pela fusão de fótons gerados em colisões de altas energias, foi necessário obtermos uma constante de estrutura fina para o acoplamento do dyon ao fóton. Obtivemos o cálculo das seções de choque total para dyons com spin 0, $\frac{1}{2}$ e 1. No momento estamos elaborando programa em código em linguagem estruturada para cálculo dessas seções de choque. E logo após será feito análise das seções de choque em função da massa do dyon, isso nos fornecerá uma estimativa para produção dessa partícula exótica.

4. CONCLUSÕES

A existência da fonte do campo magnético é uma das grandes discussões dentro da física, pode-se ver que as equações de Maxwell formulada pela eletrodinâmica clássica elimina a possibilidade da existência do monopolo magnético, logo, essas equações não apresentam um padrão de simetria. Por outro lado, a mecânica quântica não elimina a possibilidade de sua existência. Dirac mostrou que a existência de monopolos no universo pode oferecer uma explicação para a natureza discreta da carga elétrica. O dyon é considerado ser um monopolo magnético carregado elétricamente, e também sua existência acarreta a quantização da carga elétrica. Desde o trabalho de Schwinger sobre a existência dessa partícula exótica, foi demonstrado que os dyons aparecem genericamente em teorias com monopolos, especificamente em muitas teorias de física de

partículas, incluindo teoria de grande unificação, teoria de Einstein-Yang-Mills, teoria de Kaluza-Klein, teoria das cordas e teoria M. A produção do dyon comprovaria experimentalmente diversos trabalhos teóricos dentro da física de partícula. Além do mais, é uma das partículas que aponta para uma nova direção além do modelo padrão da física de partículas. Os resultados obtidos nesta proposta serão comparados com os resultados estimados pelo MoEDAL.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Livro

THOMSON, M. **Modern Particle Physics**. University of Cambridge: MPG Printgroup Ltd, Cambridge, 2013.

Artigo

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.

SHNIR, Y. M. Magnetic Monopoles. [S.I.]: Springer, 2005. ISBN 978-3-540-25277-1

WEIZSACKER, 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.

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.

PINFOLD, J. et al. Technical design report of the MoEDAL experiment. [S.I.], 2009.

SAUTER, W. K. Production of exotic particles in electron-positron collisions. **Brazilian Journal of Physics**, Springer, v. 53, n. 1, p. 18, 2023.

REIS, J. T.; SAUTER, W. K. Production of magnetic monopoles and monopolium in peripheral collisions. **Phys. Rev.**, D96, n. 7, p. 075031, 2017.

GONCALVES, V. P.; SAUTER, W. K. Probing the dilaton in central exclusive processes at the LHC. **Phys. Rev.**, D91, p. 035004, 2015.

GONCALVES, V.; SAUTER, W. Radion production in exclusive processes at CERN LHC. **Phys.Rev.**, D82, p. 056009, 2010.

Tese/Dissertação/Monografia

REIS, J. T.; **Fotoprodução de monopólos magnéticos e monopolium em colisões de altas energias**. 2016. Dissertação (Mestrado em Física) - Curso de Pós-graduação em Física, Universidade Federal de Pelotas.

SILVA, J. V. B.; **Estados ligados de monopólos magnéticos em colisões de alta energia**. 2023. Dissertação (Mestrado em Física) - Curso de Pós-graduação em Física, Universidade Federal de Pelotas.

Documentos eletrônicos

MoEDAL. **MoEDAL hunts for dyons.** CERN. Acessado em 11 de setembro de 2023. Disponível em: <https://www.cern/news/news/physics/moedal-hunts-dyons>.

MoEDAL. **MoEDAL-MAPP.** CERN. Acessado em 11 de setembro de 2023. Disponível em: <https://www.cern/science/experiments/moedal-mapp>.