

## ESTUDO DA FOTOPRODUÇÃO DO MESON UPSILON NO CERN-LHC

RENATA BELMUDES SCHNEIDER<sup>1</sup>;  
GUSTAVO GIL DA SILVEIRA<sup>2</sup>;

<sup>1</sup>*Universidade Federal de Pelotas (UFPel) – schneiderrenata10@gmail.com*

<sup>2</sup>*Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) – gustavo.silveira@ufrgs.br*

### 1. INTRODUÇÃO

Tudo que há no Universo é constituído por átomos. Os átomos são formados por elétrons, que compõem as camadas eletrônicas, e um núcleo composto por prótons e nêutrons, os quais podem ser fragmentados em partículas conhecidas como quarks. Os quarks, por sua vez são integrados entre si por partículas chamadas de glúons. Quarks e glúons são, atualmente, considerados as menores partes da matéria. (ENDLER, 2010)

Em condições normais, essas partículas apresentam um comportamento bastante previsível, porém quando aceleradas até velocidades próximas à da luz e postas a colidir umas com as outras, produzindo sistemas em altas energias. Tão altas que, por uma fração mínima de segundo, são recriadas as condições extremas de temperatura e pressão do Universo instantes após o Big Bang. Isso é possível graças aos grandes colisores de partículas, como o LHC (Large Hadron Collider), localizado na fronteira da França com a Suíça.

Partículas que interagem via força forte são chamadas de hadrons. Há dois tipos de hadrons, aqueles constituídos por três quarks e chamados de bárions (da palavra grega *barys* que significa pesado), e os mésons (do grego *mesus*, que significa intermediário/médio) formados por um quark e um antiquark. Os bárions obedecem ao Princípio da Exclusão de Pauli, de acordo com esse princípio duas partículas da mesma espécie e com spins não inteiros não podem ocupar o mesmo estado quântico (WILLIAMS, 1991). O spin é uma propriedade fundamental das partículas elementares que descreve o momento angular intrínseco das partículas. Bárions possuem spin fracionário (1/2, 3/2, 5/2, ...) e os mésons, que não obedecem ao Princípio da Exclusão de Pauli, são os hadrons com spin inteiro (0, 1, 2, ...). (OSTERMANN, 2001).

O objetivo dessa investigação são os mésons, em particular, o méson Upsilon ( $\Upsilon$ ), descoberto pelo experimento E288 e liberado para estudo em 1977 (GRIFFITHS, 2004). Essa foi a primeira partícula a ser descoberta contendo um quark *bottom*, o qual interage por meio das quatro forças fundamentais e possui massa quatro vezes maior que a de um próton. Por sua vez, a massa do méson Upsilon é da ordem de 9,46 GeV/c<sup>2</sup> e seu tempo médio de vida é da ordem de  $1 \times 10^{-20}$ s, podendo decair em diferentes partículas.

O interesse nesse méson advém em compreender a região de baixa massa, onde há um maior número de eventos (colisões), devido a maior seção de choque, que nada mais é do que a área que mede a probabilidade de que uma interação entre um feixe de partículas com o outro. Para produção dos dados que serão apresentados a seguir, utilizamos o gerador de eventos SuperCHIC (HARLAND-LANG, 2016), no qual o méson Upsilon era representado pelo processo número 51 (cinquenta e um).

## 2. METODOLOGIA

De forma inicial, este estudo fez uso do gerador de eventos SuperCHIC para determinar o valor da seção de choque da fotoprodução do méson Upsilon em diferentes energias. Este resultado preliminar deve mostrar como se dá o comportamento da seção de choque com a energia, visto que aceleradores efetuam colisões em energias crescentes.

Posteriormente, aprofundamos a pesquisa na produção do méson Upsilon ( $\Upsilon$ ), executando simulações computacionais e efetuando leituras em materiais que tinham como foco essa partícula. Nestes estudos, buscou-se entender as distribuições que caracterizam tal processo e diferenciá-lo de outros. Em comparação com os resultados de demais integrantes do grupo, procurou-se avaliar como se procede a identificação das partículas dos diferentes processos e comprar seus comportamentos com a energia. Esses estudos focam no atual acelerador LHC, mas também avaliou energias até aceleradores que são propostos no futuro, como o *Future Circular Collider*.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A primeira atividade desenvolvida foi estudar a fórmula da seção de choque, em função da energia, para produção do méson  $J/\psi$ . O gerador SuperCHIC, versão 2.0, foi utilizado para calcular a seção de choque desse processo em várias energias diferentes. Observamos então, que a função cresce com a energia, o que deixa evidente a possibilidade de se produzir mais partículas conforme a energia aumenta. A dependência entre a seção de choque e a energia está relacionada com a teoria de interação entre partículas, mostrando, portanto, que com maiores energias torna-se mais provável esse tipo de interação.

Numa segunda fase, estudamos as variáveis relacionadas ao espalhamento das partículas, sendo que este ocorre de forma similar ao que estudamos em Física Básica e podemos usar a mesma ideia para colisões no LHC. Nessa etapa, utilizou-se um código computacional que produz os gráficos de várias variáveis cinemáticas relacionadas às partículas do decaimento do méson Upsilon, neste estudo, os múons. Conforme os diversos gráficos foram produzidos, pode-se evidenciar o comportamento de cada variável, que, de sobremaneira, mostram que a seção de choque em termos das variáveis possui um comportamento descrente, como mostra o Gráfico A, Figura 1.

Em comparação com outras partículas, pode-se ver como os gráficos de uma mesma partícula mudam para cada variável em questão. Ademais, também nota-se que, para cada partícula estudada, a sua distribuição de massa apresenta um pico, chamado de ressonância. No gráfico A, vemos como identificar o méson Upsilon na distribuição de massa, devido ao seu pico, que ocorre em torno da massa de  $9,46 \text{ GeV}/c^2$ . Esta técnica é geralmente usada nas análises dos dados do LHC.

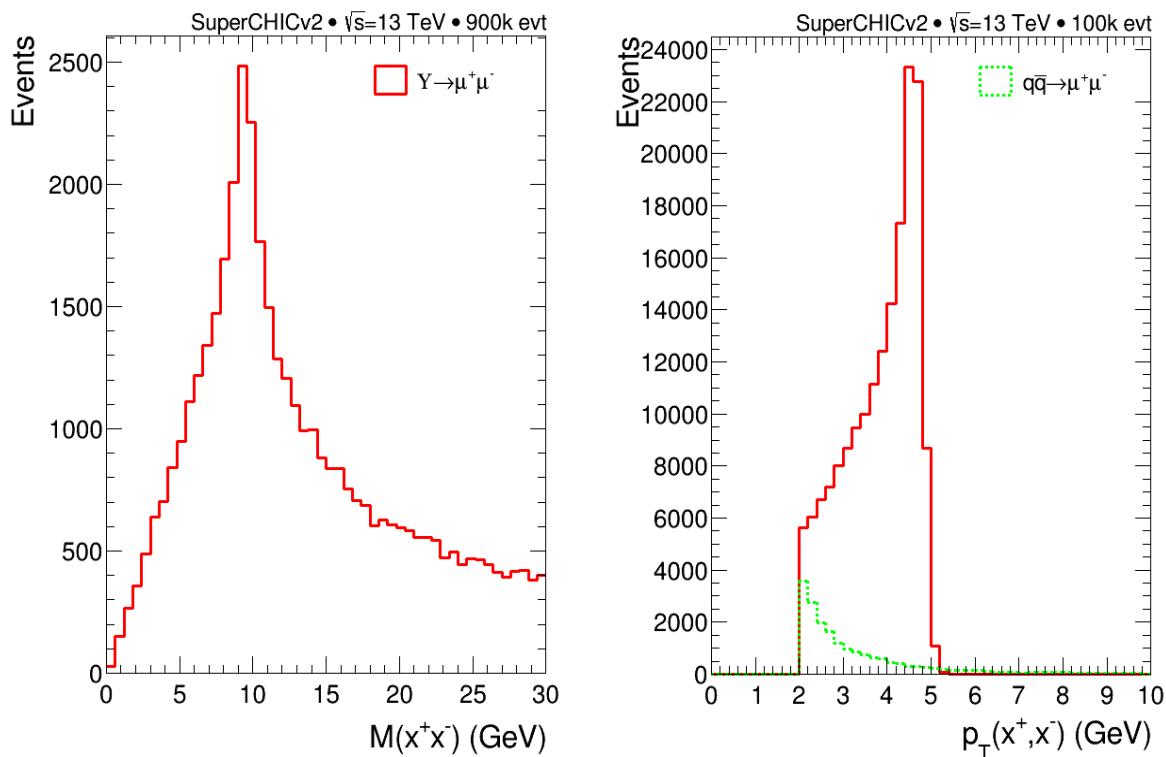


Figura 1 – Gráficos A e B, respectivamente.

Na última etapa, empregou-se o código para restringir os valores das variáveis. Nesse caso, podemos excluir partes que não interessam e deixar somente a parte do méson Upsilon evidente. Este método é usado para investigar processos no LHC, pois é preciso eliminar outras contribuições e analisar o processo de interesse, visto que existem vários mecanismos que produzem o mesmo decaimento do méson Upsilon, especialmente mûons.. No gráfico B, o processo que predomina, em vermelho, representa o decaimento do méson Upsilon, originando o par de mûons, cada um com carga oposta, altamente energético. O processo em verde, também conhecido como Drell-Yan, é um processo simples de ser entendido: durante uma colisão entre hâdrons com alta energia, um quark de um próton se aniquila com um anti-quark de outro próton, produzindo um fóton virtual que se desdobra em um par de mûons. Ao aplicarmos um corte no momento transverso  $p_T$ , é possível eliminar o processo em verde e ressaltar o processo em vermelho, de interesse.

#### 4. CONCLUSÕES

Essa análise simplificada demonstra a forma de estudar as distribuições cinemáticas das partículas em colisões de altas energias. Pode-se empregar o método de corte nas variáveis com sucesso, comparando o sinal de interesse com possíveis sinais competitivos, como o processo Drell-Yan. Portanto, este estudo permite preparar o código computacional para o uso de forma plena em análises de dados, demonstrando que todos os aspectos relevantes são entendidos e poderão ser utilizados para outros mecanismos de produção.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ENDLER, A. M. F. **Introdução à Física de Partículas**. São Paulo: Livraria da Física, 2010. 1v.

WILLIAMS, W. S. C. **Nuclear and Particule Physics**. Oxford: Department of Physics, University of Oxford, 1991.

OSTERMANN, F. **Partículas elementares e interações fundamentais**. Porte Alegre: UFRGS, Instituto de Física UFRGS, 2001. 1v.

GRIFFITHS, D. **Introduction to Elementary Particles**. Alemanhã: Wilwy-VCH, 1987.

HARLAND-LANG, L.A., KHOZE, V.A., RYSKIN, M.G., **Exclusive physics at the LHC with SuperChic 2**. European Physical Journal C, volume 76, número 1, página 9, ano 2016.

CLOSE, F. **The Cosmic Onion: Quarks and the Nature of the Universe**. American Institute of Physics, USA, 1983.