

PRODUÇÃO DE MÉSONS VETORIAIS NO FORMALISMO DA FATORIZAÇÃO COLINEAR¹

Rodrigo Ribamar Silva do Nascimento², Bruno Duarte da Silva Moreira³

¹Vinculado ao projeto: Estudo da Cromodinâmica Quântica no Regime de Altas Energias

²Acadêmico do Curso de Licenciatura em Física – CCT – Bolsista PROBIC/UDESC

³Orientador, Departamento de Física – CCT – bruno.moreira@udesc.br

O Modelo Padrão da Física de Partículas (SM)^{*}, é atualmente a teoria amplamente aceita para a descrição adequada dos constituintes basilares da matéria ordinária e suas interações. Segundo o modelo, a matéria a nível microscópico pode ser entendida em termos de três classes de interações fundamentais: *interações fortes*, *interações eletromagnética* e *interações fracas*; cada interação é descrita por uma Teoria Quântica de Campo localmente relativística^[1]. Neste contexto, a Cromodinâmica Quântica (QCD) emerge como a Teoria Quântica responsável por descrever as interações fortes, em resumo, dentre todos os constituintes da matéria, somente os quarks[†] carregam carga de cor e podem interagir com a força forte por meio da troca de glúons[‡], diferentemente dos fótons que não carregam a sua carga de interação, os glúons são objetos bicolores portadores da carga cor e uma anticor, portanto, podem interagir entre si. Quarks e glúons jamais foram observados diretamente, somente em estados ligados (*sem cor*), isto sugere que só podem existir em estados confinados formando os hádrons, esta propriedade é conhecida na QCD por *confinamento*, por outro lado, a força de interação torna-se assintoticamente fraca com o aumento da energia e o decréscimo da distância entre estes constituintes, propriedade da QCD conhecida como *liberdade assintótica*.

Ao longo dos últimos anos, o SM vem sendo testado e corroborado por diversos experimentos elevando-o ao *approach* mais bem sucedido da Física até o momento^[2], no entanto, o modelo encontra-se incompleto. As pesquisas dirigidas durante a atuação do colisor HERA obtiveram detalhes importantes acerca da estrutura dos prótons no regime de altas energias, possibilitando vincular satisfatoriamente o conteúdo de quarks de mar, todavia, ainda há elevada incerteza em relação ao conteúdo de glúons^[3]. Uma maneira de estudar a estrutura interna desses hádrons, vem sendo empregada em processos que envolvem a fotoprodução difrativa do méson vetorial J/ψ ^[4], dado que sua massa fornece naturalmente uma escala dura de energia capaz de viabilizar o uso de métodos perturbativos da Cromodinâmica Quântica (pQCD). Segundo a QCD, no referido processo, um fóton γ pode flutuar num par quark-antiquark pesado como, por exemplo, o charmonium $c\bar{c}$, dessa forma, interagem na troca de dois glúons g produzidos no interior do hádron, cada qual portando diferentes frações de momento l e l' . O diagrama da [Figura 1a](#) é usado no cálculo da seção de choque do processo $\gamma p \rightarrow p J/\psi$ em função da energia do centro de massa W do sistema, é esperado que para valores pequenos da variável x de Bjorken, a seção de choque da fotoprodução difrativa do méson vetorial J/ψ , comporte-se de forma proporcional ao quadrado da distribuição de glúons xg do próton alvo, tendo a sua forma predeterminada pela equação (1).

^{*}Neste trabalho optamos por manter todas as siglas em suas respectivas versões do inglês.

[†]Partículas elementares da família dos férmions, possuem spin $S = 1/2$ e carga elétrica fracionária, combinam-se entre si para formar os hádrons como os bárions e mésons.

[‡]Partículas elementares da família dos bósons, possuem spin $S = 1$, não possuem massa nem carga elétrica.

$$\sigma^{\gamma p \rightarrow J/\psi p} = R_g^2 (1 + \beta^2) \frac{1}{b_v} \frac{\Gamma_{e^+e^-} M_{J/\psi}^3 \pi^3 \alpha_s^2(\bar{Q}^2)}{48\alpha_{em}} \left[xg(x, \bar{Q}^2) \right]^2 \quad (1)$$

Na eq (1), R_g é o fator *skeweness* referente a diferença das frações de momento trocados pelos dois glúons durante a interação; o termo de correção da parte real do processo é determinado pela expressão $(1 + \beta^2)$; o parâmetro de inclinação $b_v = 4,5 \text{ GeV}^2$ é obtido por parametrização de ajustes experimentais; a amplitude de decaimento é indicada por $\Gamma_{e^+e^-}$; o valor da massa do méson J/ψ é dado por $M_{J/\psi} = 3,097 \text{ GeV}$; a constante de estrutura fina é conhecida e vale $\alpha_{em} = 1/137$; já para a constante de acoplamento da QCD usamos $\alpha_s = 0,2$; a escala de energia está relacionada à massa do méson da seguinte forma $\bar{Q}^2 = M_{J/\psi}^2/4$; a razão entre a variável de Bjorken e a energia do centro de massa fica designada por $x = M_{J/\psi}^2/W^2$, por fim, a distribuição de glúons do alvo é calculada por $xg(x, \bar{Q}^2)$.

Para utilizar os métodos da pQCD, é necessário o conhecimento preciso das distribuições partônicas[§] (PDFs), essas distribuições são obtidas pela solução das Equações DGLAP com os parâmetros vinculados experimentalmente por meio de análises globais, diferentes grupos de pesquisas produzem essas PDFs. Neste trabalho, utilizou-se especificamente os resultados da pesquisa conduzida^[3] em colaboração com os grupos CETQ(cteq6l)^{||} e MRST, de posse destes dados implementou-se uma rotina em FORTRAN o que possibilitou a análise da seção de choque $\sigma^{\gamma p \rightarrow J/\psi p}$ em função da energia do centro de massa estabelecida pela expressão (1) e para a escala de energia indicada, obteve-se como resultados o gráfico da Figura 1b. A partir do gráfico observa-se o aumento da seção de choque com a energia do centro de massa, o que está de acordo com os resultados da pesquisa utilizada como base, dessa forma, pode-se estudar o comportamento da distribuição de glúons na fotoprodução do méson vetorial J/ψ em regime de altas energias. No gráfico também fica claro a discrepância dos valores esperados para seção de choque do méson entre os grupos CTEQ e MRST, indicando incertezas relacionadas à estrutura interna do hádron. Em pesquisas futuras, esta análise pode ser estendida adicionando-se novas PDFs produzidas por outros grupos e a partir dos resultados, enriquecer nosso entendimento sobre a estrutura interna dos hádrons bem como as previsões da QCD.

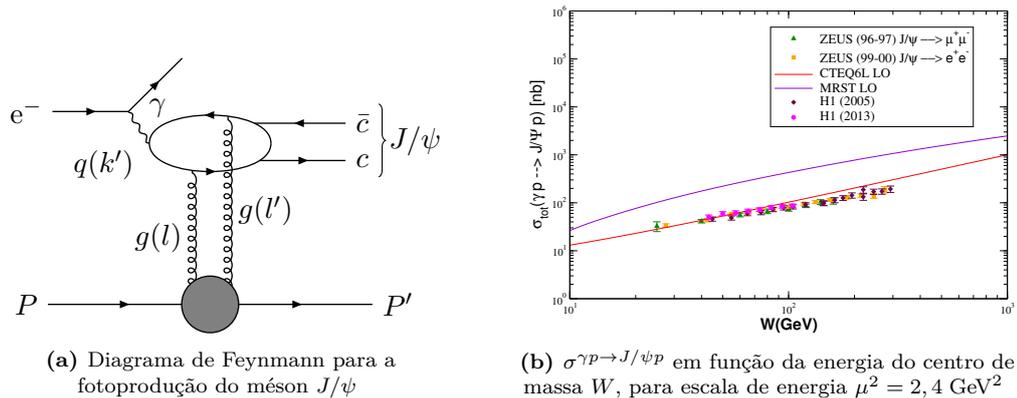


Figura 1: Fotoprodução do méson J/ψ via troca de dois glúons

Palavras-chave: Cromodinâmica Quântica. Fotoprodução do J/ψ . Fatorização Colinear.

[§]Distribuições de quarks e glúons

^{||}The Coordinated Theoretical – Experimental Project on QCD

Referências

- [1] ALTARELLI, G., E FORTE, S. Gauge theories and the standard model. In *Particle Physics Reference Library*. Springer International Publishing, Cham, 2020, pp. 7–32.
- [2] GRIFFITHS, D. *Introduction to Elementary Particles*, Second, Revised Edition ed. Physics Textbook. WILEY-VCH, 2008.
- [3] MARTINS, L. A. S. Determinação da distribuição de glúons do próton na fotoprodução de mésons vetoriais no grande colisor de hádrons. Mestrado em física, UFPEL–IFM(PPGF), Universidade Federal de Pelotas, 2014.
- [4] RYSKIN, M. G., ROBERTS, R. G., MARTIN, A. D., E LEVIN, E. M. Diffractive J/ψ photoproduction as a probe of the gluon density, 1996.