

# PRODUÇÃO DE MÉSONS VETORIAIS NO FORMALISMO DA FATORIZAÇÃO COLINEAR<sup>1</sup>

Fulano de Tal<sup>2</sup>, Cicrano de Tal<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Vinculado ao projeto: Estudo da Cromodinâmica Quântica no Regime de Altas Energias

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

<sup>3</sup>Orientador, Departamento de Física – CCT – cicrano@cic.br

O Modelo Padrão da Física de Partículas (SM)<sup>\*</sup>, 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<sup>[1]</sup>. 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<sup>†</sup> carregam carga de cor e podem interagir com a força forte por meio da troca de glúons<sup>‡</sup>, 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<sup>[2]</sup>, 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<sup>[3]</sup>. Uma maneira de estudar a estrutura interna desses hádrons, vem sendo empregada em processos que envolvem a fotoprodução difrativa do méson vetorial  $J/\psi$ <sup>[4]</sup>, 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  $\gamma$  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  $J/\psi$ , comporte-se de forma proporcional ao quadrado da distribuição de glúons  $xg$  do próton alvo, tendo a sua forma predeterminada pela equação (1).

<sup>\*</sup>Neste trabalho optamos por manter todas as siglas em suas respectivas versões do inglês.

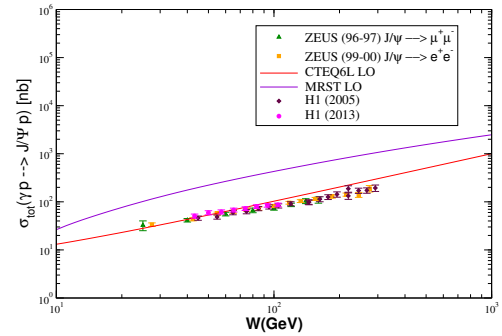
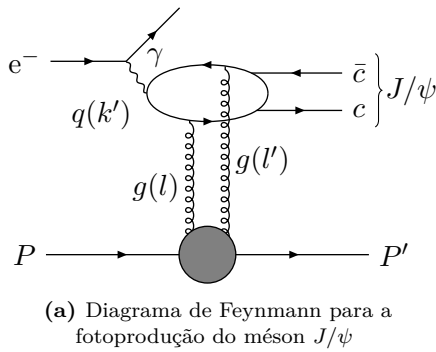
<sup>†</sup>Partículas elementares da família dos férmions, possuem spin  $S = 1/2$  e carga elétrica fracionária, combinam-se entre si para formar os hádrons como os bárions e mésons.

<sup>‡</sup>Partículas elementares da família dos bósons, possuem spin  $S = 1$ , não possuem massa nem carga elétrica.

$$\sigma^{\gamma p \rightarrow J/\psi p} = R_g^2 (1 + \beta^2) \frac{1}{b_v} \frac{\Gamma_{e^+e^-} M_{J/\psi}^3 \pi^3}{48 \alpha_{em}} \frac{\alpha_s^2(\bar{Q}^2)}{\bar{Q}^8} [xg(x, \bar{Q}^2)]^2 \quad (1)$$

Na eq (1),  $R_g$  é o fator *skeweness* referente a diferença das frações de momentum 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  $J/\psi$  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<sup>§</sup> (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<sup>[3]</sup> em colaboração com os grupos CETQ(cteq6l)<sup>||</sup> 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  $J/\psi$  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  $J/\psi$  via troca de dois glúons

**Palavras-chave:** Cromodinâmica Quântica. Fotoprodução do  $J/\psi$ . Fatorização Colinear.

<sup>§</sup>Distribuições de quarks e glúons

<sup>||</sup>The Coordinated Theoretical – Experimental Project on QCD

## Referências

- [1] ALTARELLI, G., AND 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., AND LEVIN, E. M. Diffractive  $J/\psi$  photoproduction as a probe of the gluon density, 1996.