

EFEITOS DE SATURAÇÃO NO ESPALHAMENTO COMPTON NUCLEAR PROFUNDAMENTE VIRTUAL PARA ALTAS ENERGIAS

DIEGO SPIERING¹; VICTOR GONÇALVES²

¹Universidade Federal de Pelotas – diego.spiering@gmail.com

²Universidade Federal de Pelotas – barros@ufpel.edu.br

1. INTRODUÇÃO

Para altas energias a Cromodinâmica Quântica (QCD) prevê que o sistema hadrônico tenha uma alta densidade partônica, cuja presença deverá levar do regime linear a um regime não-linear (GRIBOV et al., 1983). Tal regime é descrito pela teoria efetiva da QCD em altas energias, denominada Condensado de Vidros Coloridos (CGC) (JALILIAN-MARIAN, 2004), que faz uso da equação de Balitsky-Kovchegov (BK) (BALITSKY, 1996; KOVCHegov, 1999) para descrever a dinâmica do sistema.

A existência do regime de saturação, bem como de uma escala de *momentum* na qual ele deve ocorrer, tem gerado uma extensa fenomenologia baseada na física de saturação nos últimos anos (GOLEC-BIERNAT e WÜSTHOFF, 1998; IANCU et al., 2004; SOYEZ, 2007; KOWALSKI et al. 2006; WATT e KOWALSKI, 2008). O tratamento fenomenológico se faz necessário, uma vez que a equação BK só possui solução conhecida em limites assintóticos. Modelos com solução numérica da equação BK também são amplamente utilizados para descrição de dados experimentais (ALBACETE et al., 2009; ALBACETE et al., 2011). Tais abordagens descrevem com sucesso os dados experimentais do colisor elétron-próton (*ep*) DESY-HERA. Dois importantes desafios teóricos presentes atualmente são a determinação da região cinemática de validade do regime de saturação e a aplicação deste para colisões elétron-núcleo (*eA*). Tendo em vista que em colisões *eA* a escala de saturação deve ser amplificada por um fator de $A^{1/3}$ (KUGERATSKI, 2006), onde A é o número de massa do núcleo, esperamos que seja mais simples discriminar a presença dos efeitos não-lineares associados a saturação partônica e vincular a dinâmica presente neste novo regime.

A fim de provar a dinâmica de interações fortes em altas energias, o espalhamento Compton profundamente virtual (DVCS) em colisões *ep* tem sido extensivamente estudado no HERA. Existe grande domínio teórico sobre esse processo, além de que ele possui clara assinatura experimental. Tal processo é determinado pelo conteúdo de glúons do alvo, o qual está fortemente sujeito a efeitos de saturação partônica (SCHOEFFEL, 2010). O DVCS deve ser estudado nos futuros colisores *eA*: LHeC (FERNANDEZ et al, 2012) e eRHIC (ACCARDI et al., 2012).

Utilizando diferentes modelos que incorporam saturação partônica, calculamos a seção de choque do DVCS nos casos de colisões *ep* e *eA*. No caso elétron-próton, nossos resultados descrevem os dados experimentais de HERA. Já para o caso elétron-núcleo, fazemos previsões para futuros experimentos.

2. METODOLOGIA

Calculamos a seção de choque DVCS no formalismo de dipolos de cor (NIKOLAEV e ZAKHAROV, 1991). Neste formalismo a interação é descrita da seguinte forma: o elétron incidente emite um fóton virtual, este flutua em um par quark-antiquark (dipolo de cor), o qual interage com o alvo, e após, aniquila-se produzindo um fóton real no estado final. Desta forma a seção de choque é fatorizada, com a interação forte contida apenas na amplitude de espalhamento de dipolo. Para descrever essa amplitude, utilizamos três modelos numéricos para a equação BK e dois fenomenológicos. Os modelos numéricos são o rcBK (ALBACETE et al., 2009), o AAMQS(L) e o AAMQS(H) (ALBACETE et al., 2011). Os modelos fenomenológicos são o GBW (GOLEC-BIERNAT e WÜSTHOFF, 1998) e o IIMS (IANCU et al., 2004; SOYEZ, 2007).

Para a descrição do caso nuclear, utilizamos expressões inspiradas no modelo de Glauber (GLAUBER, 1955), que permitem descrever o espalhamento eA em termos dos elementos utilizados no espalhamento ep .

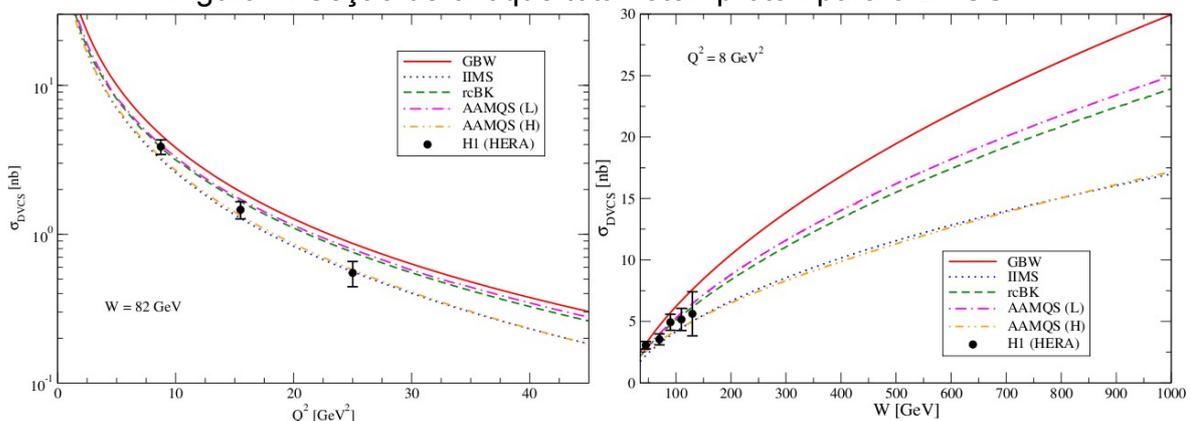
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Obtivemos resultados para a seção de choque DVCS elétron-próton compatíveis com os dados experimentais do HERA (AARON et al. 2009), sugerindo que a saturação partônica, que leva à dinâmica não-linear, deve ser considerada no regime de altas energias. Tal resultado está contido na Figura 1.

No painel esquerdo da Figura 1 temos a seção de choque em função da virtualidade, onde observamos que na região de baixa virtualidade, onde espera-se que os efeitos de saturação estejam mais presentes, todos os modelos levam a resultados similares. Nesta região a melhor descrição dos dados é obtida pelos modelos rcBK e AAMQS(L). Conforme aumentamos a virtualidade, indo para a região de transição entre as dinâmicas linear e não-linear, os modelos divergem. Os melhores resultados nessa região são obtidos com os modelos AAMQS(H) e IIMS.

No painel direito da Figura 1 temos a seção de choque em função da massa invariante do sistema fóton-próton. Observamos que para a região cinemática do HERA, não é possível distinguir entre os diferentes modelos. Para uma distinção entre eles, é necessário expandir o regime cinemático para energias da ordem de 1 TeV, regime que será explorado em futuros colisores.

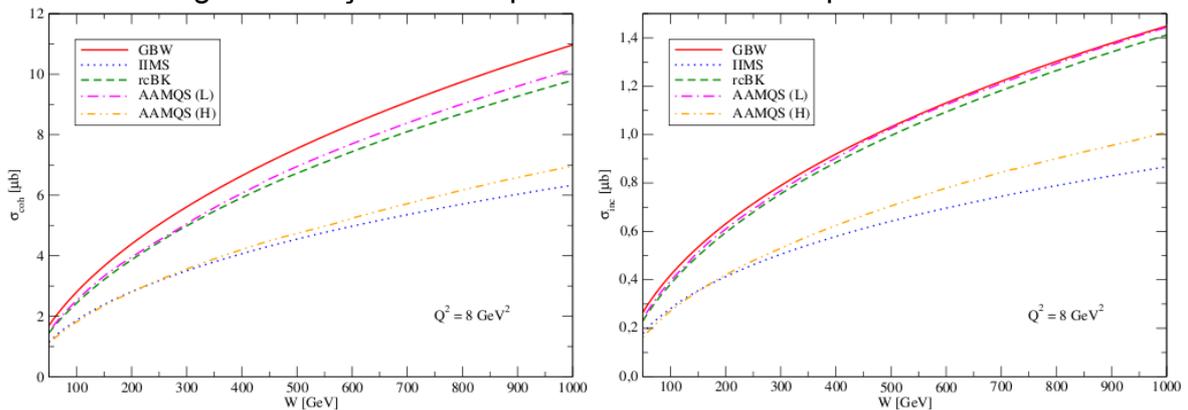
Figura 1: Seção de choque total fóton-próton para o DVCS



Para o caso nuclear existem duas possibilidades. A coerente, quando o núcleo permanece intacto, e a incoerente, quando há dissociação do núcleo.

Na Figura 2 apresentamos nossos resultados para as seções de choque DVCS coerente e incoerente. Como no caso ep , todos os modelos levam a resultados próximos em energias mais baixas, divergindo com o aumento da energia. Encontramos que a razão das seções de choque incoerente por coerente é de aproximadamente 15%.

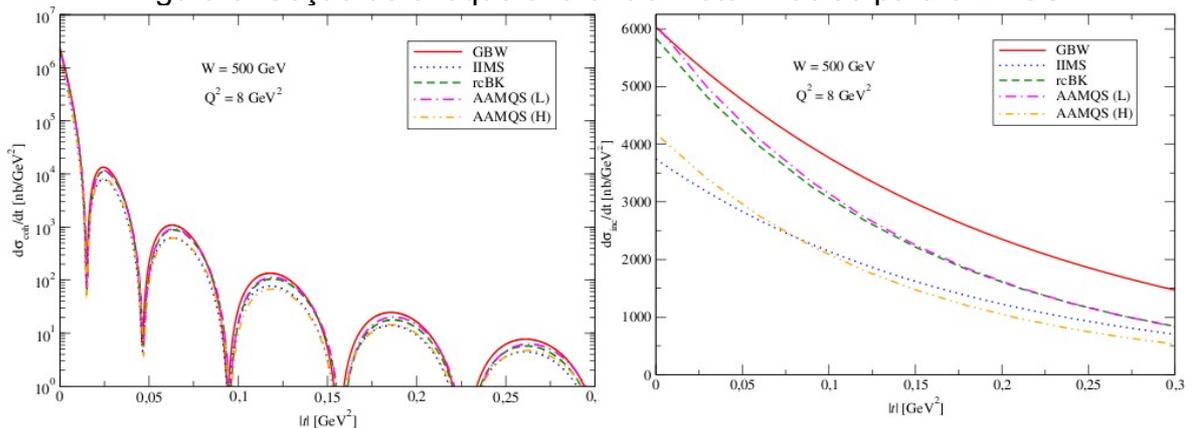
Figura 2: Seção de choque total fóton-núcleo para o DVCS



Além da seção de choque total, também calculamos a seção de choque diferencial em t , sendo este o *momentum* transferido no vértice hadrônico.

Na Figura 3 apresentamos nossos resultados para as seções de choque DVCS coerente e incoerente. Observamos o domínio do processo coerente em baixo *momentum* transferido, sendo este processo suprimido quando aumentamos o *momentum* transferido. Fisicamente temos a seguinte interpretação: o núcleo interage como um todo (coerentemente) quando a troca de *momentum* com o projétil é baixa, mas seus nucleons interagem de forma independente (incoerentemente) quando há alta troca de *momentum*.

Figura 3: Seção de choque diferencial fóton-núcleo para o DVCS



4. CONCLUSÕES

Neste trabalho utilizamos o DVCS para provar a dinâmica de interações fortes no regime de saturação. No caso ep usando os modelos GBW e rcBK reproduzimos resultados já presentes na literatura. Já para os modelos IIMS e AAMQS, a seção de choque DVCS ainda não havia sido calculada. Para o caso eA nenhuma previsão havia sido feita para os observáveis aqui calculados.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- GRIBOV, L.; LEVIN, E.; RYSKIN, M. Semihard Processes in QCD. **Phys.Rept.**, 100, 1432-1436, 1963.
- JALILIAN-MARIAN, J. The Color glass condensate at RHIC. **J.Phys.** d G30 751–758, 2004.
- BALITSKY, I. Operator expansion for high-energy scattering. **Nucl.Phys.** B463, 99–160, 1996.
- KOVCHEGOV, Y. Small x $F(2)$ structure function of a nucleus including multiple pomeron exchanges. **Phys.Rev.**, D60, 034008, 1999.
- GOLEC-BIERNAT, K.; WÜSTHOFF, M Saturation effects in deep inelastic scattering at Low Q^2 and its implications on diffraction. **Phys. Rev. D**, 59 014017, 1998.
- IANCU, E; ITAKURA, K; MUNIER, S Saturation and BFKL dynamics in the HERA data at small x . **Phys.Lett.**, B590, 199–208, 2004.
- SOYEZ, G. Saturation QCD predictions with heavy quarks at HERA. **Phys.Lett.**, B655, 32–38, 2007.
- KOWALSKI, H; MOTYKA, L.; WATT, G. Exclusive diffractive processes at HERA within the dipole picture, **Phys.Lett.**, D74, 074016, 2006.
- WATT, G.; KOWALSKI, H. Impact parameter dependent color glass condensate dipole model. **Phys.Rev.**, D78, 0140016, 2008.
- ALBACETI, J. et al. Non-linear QCD meets data: A Global analysis of lepton-proton scattering with running coupling BK evolution. **Phys.Rev.**, D80, 034031, 2009.
- ALBACETE, J. et al. AAMQS: A non-linear QCD analysis of new HERA data at small- x including heavy quarks. **Eur.Phys.J.**, C71, 1705, 2011.
- KUGERATSKI S. et al. Probing the color glass condensate in an electron-ion collider. **Eur.Phys.J.**, C46, 465–473, 2006.
- SCHOEFFEL, L. Advances in diffraction of subnuclear waves. **Prog.Part.Nucl.Phys.**, 65, 9–49, 2010.
- FERNANDEZ J. et al. A Large Hadron Electron Collider at CERN: Report on the Physics and Design Concepts for Machine and Detector. **J.Phys.**, G39, 075001, 2012.
- ACCARDI A. et al. Electron Ion Collider: The Next QCD Frontier – Understanding the glue that binds us all. **BNL-98815-2012-JA**, 2012.
- NIKOLAEV, N.; ZAKHAROV, B. Color transparency and scaling properties of nuclear shadowing in deep inelastic scattering. **Z.Phys.**, C49, 607–618, 1991.
- GLAUBER, R. Cross-sections in deuterium at high-energies. **Phys.Rev.**, 100, 242–248, 1955.
- AARON, F. et al. Deeply Virtual Compton Scattering and its Beam Charge Asymmetry in e^+ - Collisions at HERA. **Phys.Lett.**, B681, 391–399, 2009.