

O modelo AGBS em colisões de íons pesados

Eduardo André Flach Basso

andre.basso@ufrgs.br

Grupo de Fenomenologia de Partículas de Altas Energias

Instituto de Física

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Porto Alegre, Brasil



Sumário

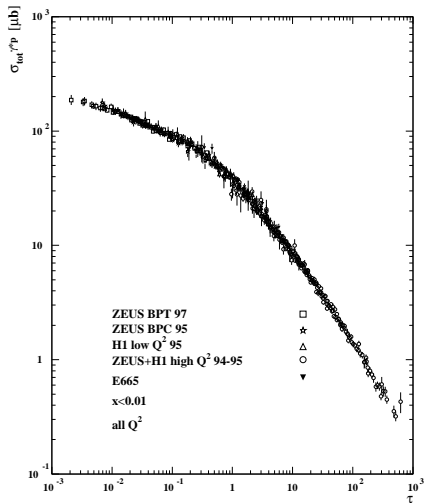
- ▶ Motivação
- ▶ Escalamento geométrico
- ▶ Produção de hádron em HIC
- ▶ Modelo DHJ
- ▶ Modelo BUW
- ▶ Modelo AGBS
- ▶ Resultados
- ▶ Conclusões e perspectivas

Motivação

- ▶ Estudar a possibilidade de escalamento geométrico em colisões de íons pesados
 - ▶ Produção de hádrons em HIC
- ▶ Verificar concordâncias e discrepâncias entre os modelos DHJ e BUW
 - ▶ Violações de escalamento geométrico são necessárias?
- ▶ Usar o modelo AGBS para descrever produção de hádrons em HIC

Escalamento geométrico em HERA

Stasto, Golec-Biernat and Kwiecinski, 2001

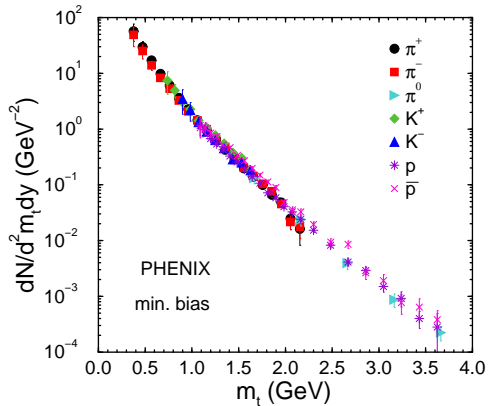


- ▶ $\tau = Q^2/Q_s^2(x)$
- ▶ Independente de modelo
- ▶ Vale também fora da região de saturação
- ▶ Forte indício da existência de fenômenos de saturação partônica

É válido também em colisões
hádron-hádron ?

Escalamento “geométrico” em RHIC

Schaffner-Bielich, McLerran, Venugopalan,
Kharzeev (2001)



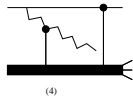
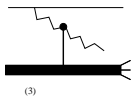
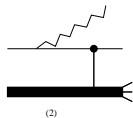
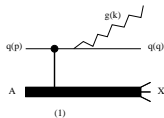
- ▶ Escalamento em massa transversa
- ▶ Correções:
 - ▶ Próton $\times 1/2$
 - ▶ Káon/antikáon $\times 2$
- ▶ Escalamento geométrico (do DIS) descreve bem a produção hadrônica em HIC?

Produção de hádrons em colisões de íons pesados

- ▶ **pA**: Campo clássico (Kovchegov e Mueller 98)
- ▶ modelo MV: ressonância potencias de $\alpha_s A_{\text{eff}}^{1/3}$
- ▶ Inclusão de efeitos quânticos

$$\frac{d\sigma_G^{dA}}{d^2k dy} = \frac{C_F S_A S_d}{\alpha_s \pi (2\pi)^3} \frac{1}{k^2} \int d^2z \nabla_z^2 n_G(\underline{z}, Y - y) e^{-ik \cdot z} \nabla_z^2 N_G(\underline{z}, y)$$

- ▶ **CGC** - LO com inclusão de recuo (Dumitru, Hayashigaki e Jalilian-Marian 06)



- ▶ Cone de luz:

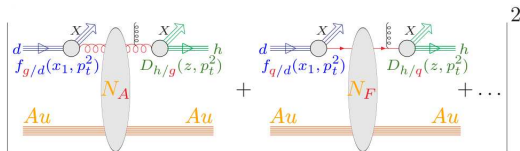
$$z = q^- / p^- \text{ (quark)}, \quad \xi \equiv 1 - z = k^- / p^- \text{ (glúon)}$$

$$\xi \frac{d\sigma^{qA \rightarrow gX}}{d\xi d^2k_t d^2b} = \frac{1}{(2\pi)^2} \xi P_{g/q}(\xi) \frac{\alpha_s}{2\pi} \log \frac{Q^2}{\Lambda^2} \left[\frac{1}{\xi^2} N_F(k_t/\xi, b) + N_A(k_t, b) \right]$$

$$\begin{aligned} & \dots + qA \rightarrow qX, \quad gA \rightarrow qX, \quad gA \rightarrow qX \\ & \propto (\text{DGLAP dist. func.}) (N_{A,F}) (\text{DGLAP frag. func.}) \end{aligned}$$

Produção de hádrons em colisões de íons pesados

- ▶ Espalhamento d-Au, no formalismo de dipolos



- ▶ Seção de choque para produção inclusiva de hádrons: **Dumitru, Hayashigaki e Jalilian-Marian 2006**

$$\frac{dN_h(d Au \rightarrow h(p_t, y_h) X)}{dy_h d^2 p_t} = \frac{K(y_h)}{(2\pi)^2} \int_{x_F}^1 dx_1 \frac{x_1}{x_F} \left[f_{q/p}(x_1, p_t^2) N_F(q_t, x_2) D_{h/q}(x_F/x_1, p_t^2) + f_{g/p}(x_1, p_t^2) N_A(q_t, x_2) D_{h/g}(x_F/x_1, p_t^2) \right]$$

- ▶ $x_F = \frac{p_t}{\sqrt{s}} \exp(y_h)$
- ▶ $q_t = \frac{x_1}{x_F} p_t$ provando o alvo (CGC)
- ▶ $x_2 = x_1 \exp(-2y_h)$: pártons do alvo
- ▶ $K(y_h)$: Absorve incertezas de correções em NLO

Modelo DHJ

Espaço de coordenadas

- ▶ Amplitude de dipolos semelhante a do modelo **GBW** (rep. adjunta para glúons)

$$N_A(r_t, x_2) = 1 - \exp \left[-\frac{1}{4} (r_t^2 Q_s^2(x_2))^{\gamma(y_h, r_t)} \right] \quad (1)$$

- ▶ Escala de saturação:

$$Q_s^2(x_2) = Q_0^2 A_{\text{eff}}^{1/3} (x_0/x_2)^\lambda, \quad \lambda = 0.3, \quad x_0 = 3 \cdot 10^{-4} \quad (2)$$

- ▶ Para colisões d-Au : $A_{\text{eff}} = 18.5$
- ▶ N_F (rep. fundamental para quarks): $Q_s^2 \rightarrow Q_s^2 C_F/C_A = \frac{4}{9} Q_s^2$.
- ▶ Transformada de Fourier

$$N_{A,F}(q_t) = \int d^2 r_t e^{i\vec{q}_t \cdot \vec{r}_t} N_{A,F}(r_t) = 2\pi \int_0^\infty dr_t r_t J_0(r_t q_t) N_{A,F}(r_t) . \quad (3)$$

- ▶ $\gamma(r, x) \xrightarrow{r \sim 1/q_t} \gamma(q_t, x)$: simplifica **TF**.

Modelo DHJ

Dimensão anômala para pequeno x

- ▶ Evolução não linear, ou BFKL com cond. cont. de saturação \Rightarrow
 $\gamma(q_t = Q_s) \approx 0.628 = \gamma_s(\gamma_c)$
- ▶ $\gamma \rightarrow 1$ para x fixo e $r \rightarrow 0$
- ▶ γ cresce logarithmicamente: $1 - \gamma \approx \frac{1}{y \log q_t/Q_s} \Rightarrow$ violação do escalamento
- ▶ No modelo DHJ a dimensão anômala é parametrizada por

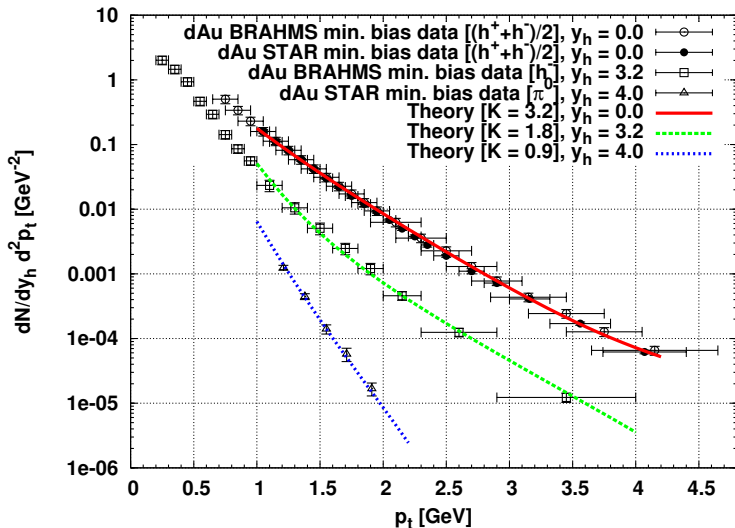
$$\gamma(q_t, x_2) = \gamma_s + (1 - \gamma_s) \frac{\log(q_t^2/Q_s^2(x_2))}{\lambda y + d\sqrt{y} + \log(q_t^2/Q_s^2(x_2))} \quad y = \log 1/x(x_2)$$

- ▶ Termos que violam escalamento geométrico
- ▶ $f_{q,g/p}(x_1, p_t^2)$: CTEQ5 LO; $D_{h/q,g}(x_F/x_1, p_t^2)$: KKP LO
- ▶ Boa descrição dos dados, mesmo para rapidez central

Modelo DHJ

Resultados para colisões *d-Au*

Nucl. Phys. A 770, (2006) 57



Modelo BUW

- ▶ Problema numérico no modelo DHJ (Trans. Fourier??)
- ▶ Rapidez central não é bem descrita

Questões impostas por BUW

- ▶ Os dados de rapidez central também podem ser descritos?
- ▶ Violações de escalamento geométrico são necessárias?
- ▶ **BUW**: nova dimensão anômala ($w = q_t/Q_s(x_2)$)

$$\gamma(w) = \gamma_1 + (1 - \gamma_1) \frac{(w^a - 1)}{(w^a - 1) + b} \quad (4)$$

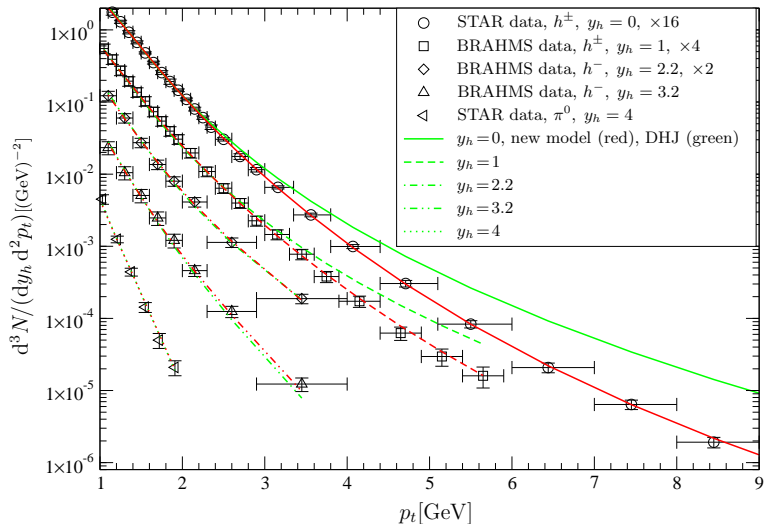
- ▶ **Preserva escalamento geométrico**
- ▶ Escala de saturação tomada do modelo DHJ
- ▶ $f_{q,g/p}(x_1, p_t^2)$: CTEQ5 LO; $D_{h/q,g}(x_F/x_1, p_t^2)$: KKP LO
- ▶ Boa descrição dos dados, mesmo em rapidez central:

$$a = 2.82 \quad b = 168$$

Modelo BUW

Resultados para colisões *d-Au*

Phys. Rev. D 77, 054014 (2008)

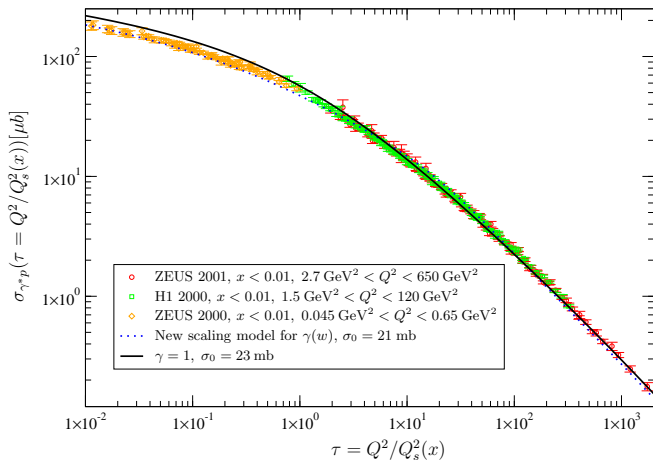


Modelo BUW

Resultados para DIS

Phys. Rev. D 77, 054014 (2008)

$$N_\gamma(r_t, Q, x) = 1 - \exp\left(-\frac{1}{4}(r_t^2 Q_s^2(x))^\gamma (w = \sqrt{Q^2/Q_s^2(x)})\right)$$



Modelo AGBS

Espaço de momentum

- ▶ O modelo AGBS para a seção de choque de dipolos foi proposto em: J. T. de Santana Amaral, M. B. Gay Ducati, M. A. Betemps and G. Soyez, *Phys. Rev. D* 76, 094018 (2007).
- ▶ O modelo interpola o regime saturado:

$$\tilde{T}(k, Y)(k) \stackrel{k \ll Q_s}{\approx} c - \log\left(\frac{k}{Q_s(Y)}\right)$$

- ▶ O modelo também interpola o regime diluído, proveniente da solução da equação BK:

$$\tilde{T}(k, Y) \stackrel{k \gg Q_s}{\approx} \left(\frac{k^2}{Q_s^2(Y)}\right)^{-\gamma_c} \log\left(\frac{k^2}{Q_s^2(Y)}\right) \exp\left[-\frac{\log^2(k^2/Q_s^2(Y))}{2\bar{\alpha}\chi''(\gamma_c)Y}\right]$$

em que

$$\lambda = \min_{\gamma} \bar{\alpha} \frac{\chi(\gamma)}{\gamma} = \bar{\alpha} \frac{\chi(\gamma_c)}{\gamma_c} = \bar{\alpha} \chi'(\gamma_c), \quad \bar{\alpha} \equiv \frac{\alpha_s N_c}{\pi}.$$

Modelo AGBS

- ▶ A interpolação é feita por meio de ($\rho \equiv \ln(k^2/k_0^2)$):

$$\tilde{T}^{\text{AGBS}}(\rho, Y) = L_F \left(1 - e^{-T_{\text{dil}}} \right),$$

em que

$$T_{\text{dil}} = \exp \left[-\gamma_c (\rho - \rho_s) - \frac{\mathcal{L}^2 - \log^2(2)}{2\bar{\alpha}\chi''(\gamma_c)Y} \right],$$

$$\mathcal{L} = \ln \left[1 + e^{(\rho - \rho_s)} \right] \quad \text{com} \quad Q_s^2(Y) = k_0^2 e^{\lambda Y},$$

e

$$L_F = 1 + \ln \left[e^{\frac{1}{2}(\rho - \rho_s)} + e^{-\frac{1}{2}(\rho - \rho_s)} \right].$$

- ▶ Parâmetros extraídos do ajuste de **DIS**

$$\lambda = 0.161, \quad \chi''(\gamma_c) = 2.96, \quad k_0^2 = 0.003917$$

- ▶ Não necessita Transformada de Fourier/Hankel !!

Modelo AGBS em HIC

- ▶ Inclusão de reespalhamentos de pártons no núcleo
Ver **Kharzeev, Kovchegov, Tuchin - Phys. Lett. B 599 (2004) 23**

- ▶ Escala não perturbativa κ

$$Q_s^2 \rightarrow Q_s^2 + \kappa^2 A_{\text{eff}}^{1/3}$$

- ▶ KKT: κ não pode ser negligenciado em rapidez central

- ▶ $\kappa = 1$ descreve bem os dados
- ▶ $\kappa = 0$ descreve bem os dados

- ▶ AGBS: necessita κ mesmo em rapidezzes maiores ($k_0^2 \ll 1$)

- ▶ $\kappa = 1$ superestima os dados
- ▶ $\kappa = 0$ subestima os dados

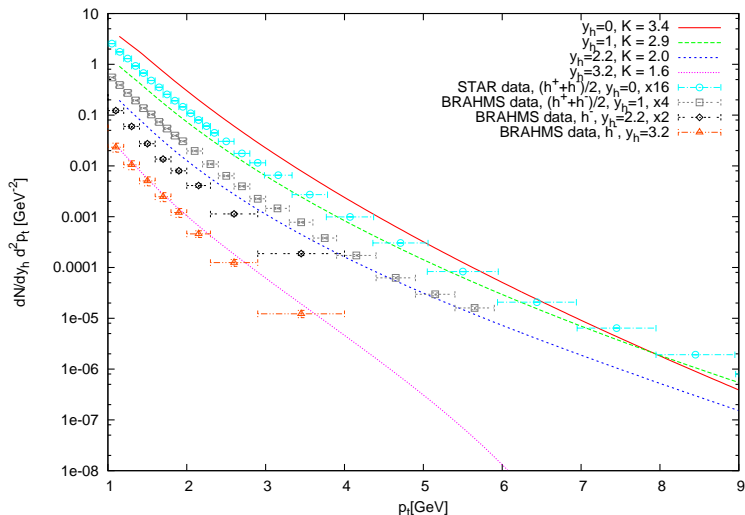
- ▶ Descrição dos dados: **AGBS** com $Q_s^2 \rightarrow Q_s^2 + \kappa^2 A_{\text{eff}}^{1/3}$ $\kappa = 0.2$

- ▶ $f_{q,g/p}(x_1, p_t^2)$: CTEQ6 LO; $D_{h/q,g}(x_F/x_1, p_t^2)$: KKP LO

Modelo AGBS em HIC

Resultados para colisões *d-Au*

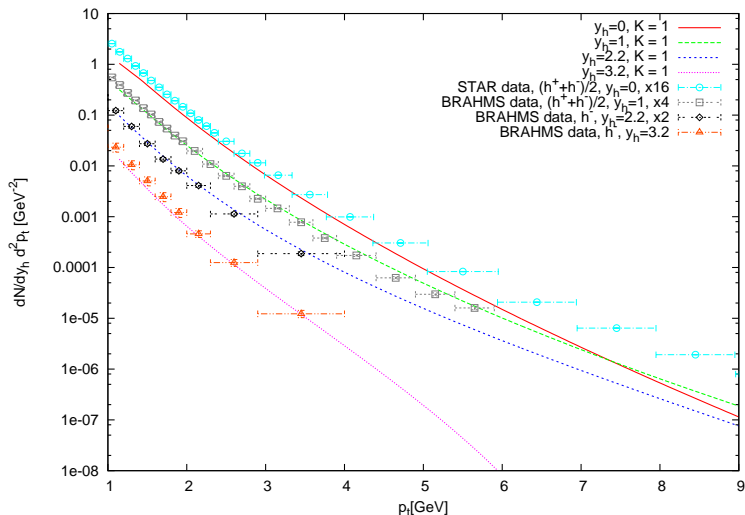
fator *K* de BUW



Modelo AGBS em HIC

Resultados para colisões *d-Au*

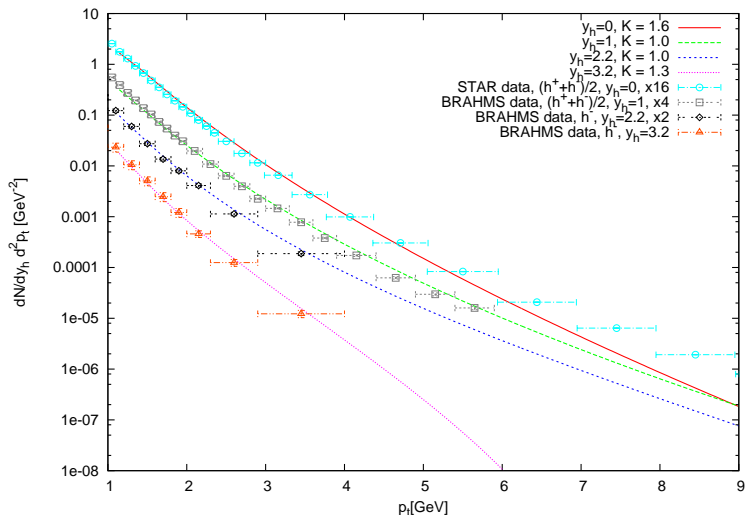
fator $K = 1$



Modelo AGBS em HIC

Resultados para colisões *d-Au*

fator *K* para AGBS



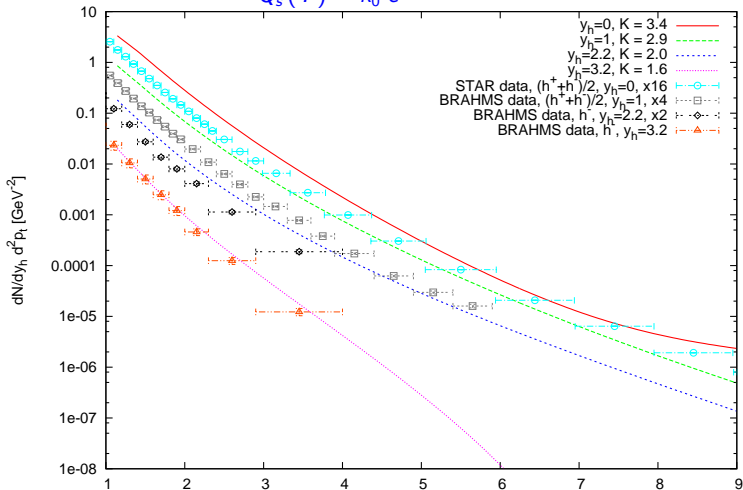
Modelo AGBS em HIC

Resultados para colisões *d-Au*

fator *K* de BUW

- ▶ Incluindo correções subdominantes na escala de saturação:

$$Q_s^2(Y) = k_0^2 e^{(\lambda Y - \frac{3}{2\gamma_c} \log Y)}$$



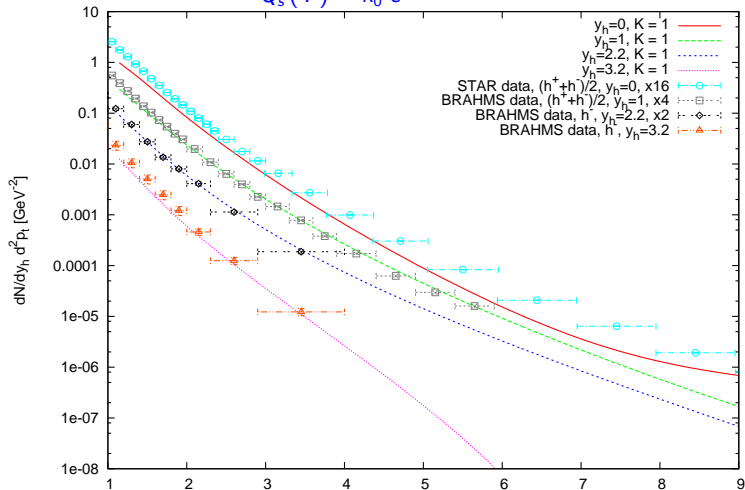
Modelo AGBS em HIC

Resultados para colisões $d\text{-Au}$

fator $K = 1$

- ▶ Incluindo correções subdominantes na escala de saturação:

$$Q_s^2(Y) = k_0^2 e^{(\lambda Y - \frac{3}{2\gamma_c} \log Y)}$$



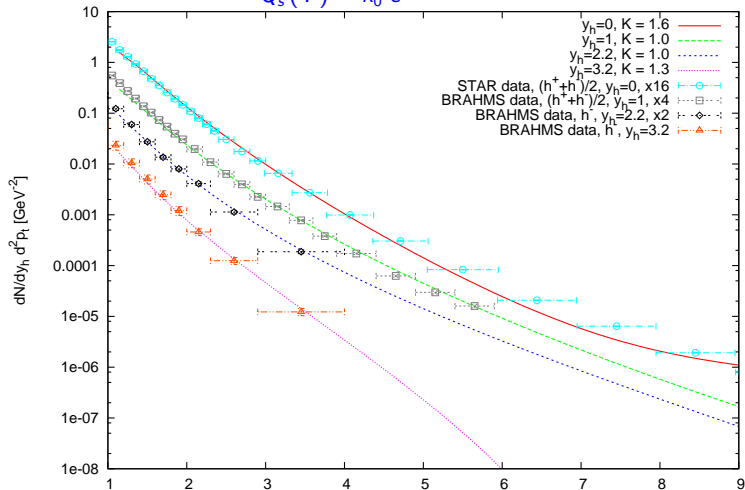
Modelo AGBS em HIC

Resultados para colisões $d\text{-Au}$

fator K para AGBS

- ▶ Incluindo correções subdominantes na escala de saturação:

$$Q_s^2(Y) = k_0^2 e^{(\lambda Y - \frac{3}{2\gamma_c} \log Y)}$$



Modelo AGBS em HIC

Conclusões

- ▶ Boa descrição dos dados de STAR e BRAHMS
 - ▶ Exceto em rapidez central
- ▶ **AGBS**
 - ▶ Parece menos sensível ao fator K :
 - ▶ Forte dependência na escala não perturbativa κ para \mathbf{k}_0^2 do DIS
 - ▶ Novo ajuste com $\mathbf{k}_0^2 \sim \Lambda_{QCD}^2$ pode diminuir esta dependência
- ▶ Correções subdominantes em Q_s , advindas de $BK \Leftrightarrow FKPP$, melhoram a descrição para rapidez central
- ▶ Correções subdominantes em $\tilde{T}^{AGBS}(\rho, Y)$ melhorariam a descrição?
- ▶ Ajuste é necessário para determinar os parâmetros
 - ▶ Ajuste simultâneo aos dados de HIC e DIS?

Modelo AGBS em HIC

Perspectivas

- ▶ Realizar o ajuste
- ▶ Aplicar o modelo para $R_{dAu}(q_t, y)$
- ▶ Maiores energias:
 - ▶ TEVATRON
 - ▶ LHC
- ▶ Produção de fótons diretos (ver seminário Magno)

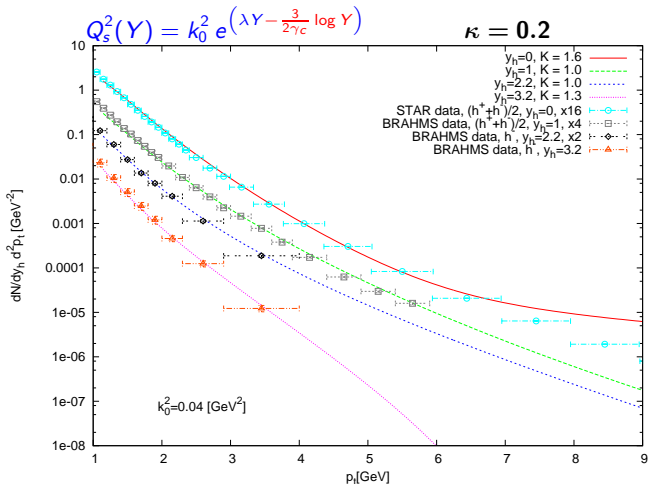
Lâminas extras

Modelo AGBS em HIC

“Brincando” com k_0^2 em colisões $d\text{-Au}$ ¹

fator K para AGBS

► Incluindo correções subdominantes na escala de saturação:



¹ Isso não deve funcionar para DIS!