

# Nukleáris effektusok tesztje a CERN LHC tervezett 4.4 ATeV *pPb* ütközésekben

(PRC80 014903 2009; PRC85 024903 2012)

Barnaföldi Gergely Gábor

MTA Wigner FK RMI

társszerzők

A. Adeluyi, J. Barrette, Gyulassy M., Lévai P, Papp G., V. Topor Pop

MTA Wigner FK RMI Szeminárium, Budapest, 2012. április 20.

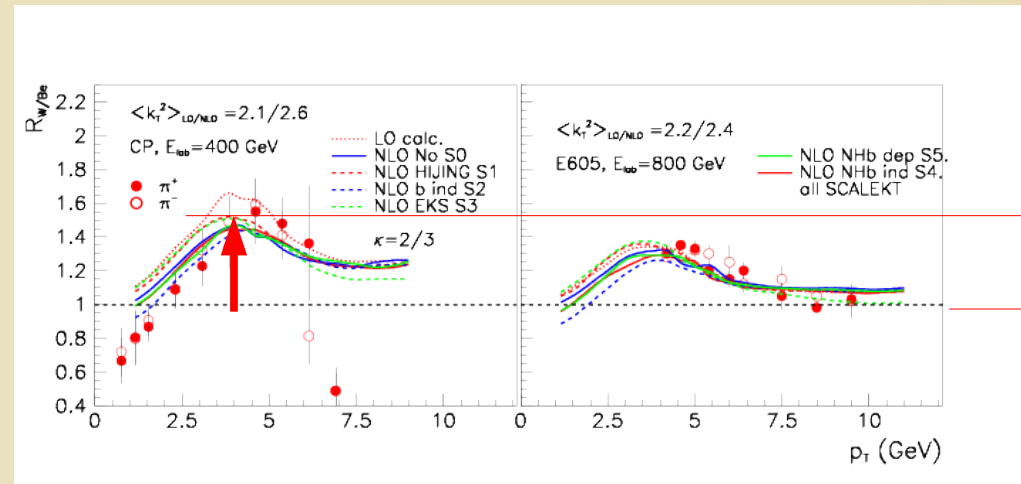
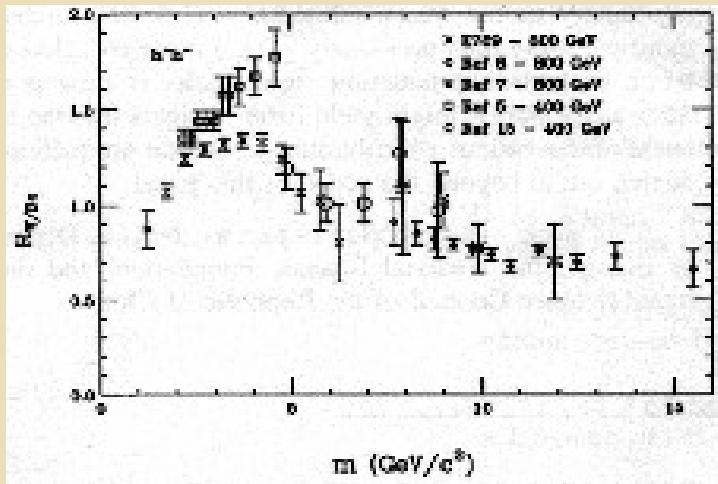
# K I V O N A T

- Motiváció: Miért fontos a  $pA$  az LHC-nál?
  - Tervben van  $pA$  ütközés 2012-ben (2011-ben elmaradt)
  - Nagy- & kis- $p_T$  hadron spektrumok, nukl. effektusok
  - Kezdő/végállapotú effektusok szétválaszthatósága
- Nukleáris Módosítási Faktor,  $R_{pA}(p_T)$ 
  - Nagy- $p_T$  nukleáris effektusok @ midrapiditású & nagy  $y$
  - Kis- $x$  és nagy- $x$  tesztek?
  - SPS, RHIC, & LHC energiákon: keressük a skálázást
- Rapidity függés, aszimmetria,  $Y(\eta)$ 
  - Puzzle: nukleáris effektusok összjátéka

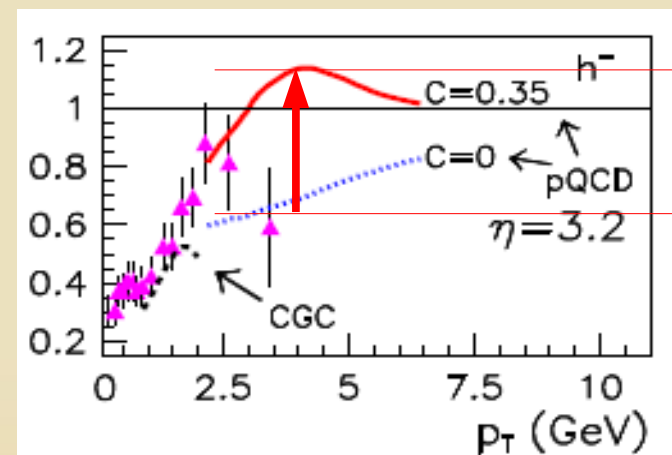
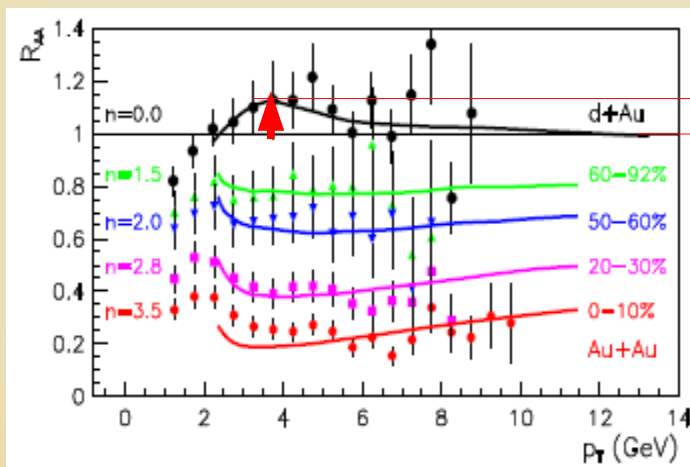
# MOTIVÁCIÓ

- Cronin effektus SPS energián

Brown et al: PRD11 (1975) 3105, Ric.Sci.Edu.Perm Suppl. 122 (2003) 541

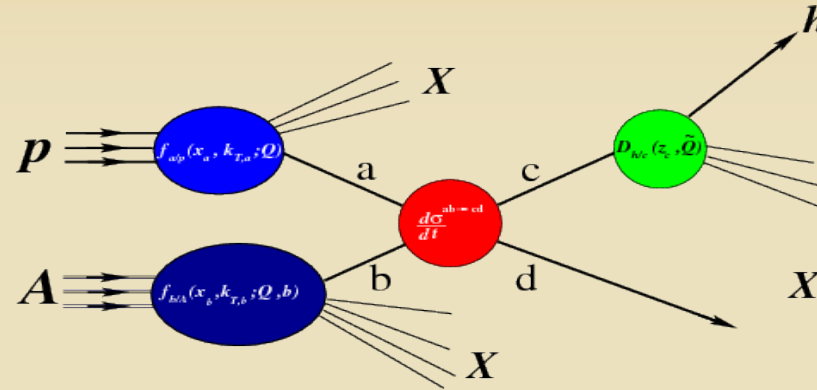


- RHIC analízis dAu és AuAu ütközésekben



Barnaföldi GG: Nukleáris effektusok tesztje az LHC 4.4 ATeV pPb ütközésekben

# Modellek & paraméterek...



HIJING B/B2.0

PRC83 024902, PRC84 022002 (2010)

A HIJING 2.0 módosítva

Minijet levágás:  $p_0 = 3.1 \text{ GeV}/c$

$$p_0(s, A) = 0.416 \sqrt{s}^{0.191} A^{0.128} \text{ GeV}/c$$

Húrállandó:  $\kappa_0 = 2.9 \text{ GeV}/\text{fm}$

$$\kappa(s, A) = \kappa_0 (s/s_0)^{0.06} A^{0.167} \text{ GeV}/\text{fm}.$$

PDF: GRV+ HIJING árnyékolás

FF: PYTHIA + minijet

kTpQCD

PRC65 (2002)034903

NLO pQCD alapú parton  
modell belső- $k_T$ ,  $k_T$ -  
kiszélesedés és több  
árnyékolási parametrizáció.

$$E_\pi \frac{d\sigma_\pi^{dAu}}{d^3p_\pi} = f_{a/d}(x_a, Q^2; \mathbf{k}_{T,a}) \otimes f_{b/Au}(x_b, Q^2; \mathbf{k}_{T,b}) \otimes \frac{d\sigma^{ab \rightarrow cd}}{d\hat{t}} \otimes \frac{D_{\pi/c}(z_c, \hat{Q}^2)}{\pi z_c^2}, \quad (1)$$

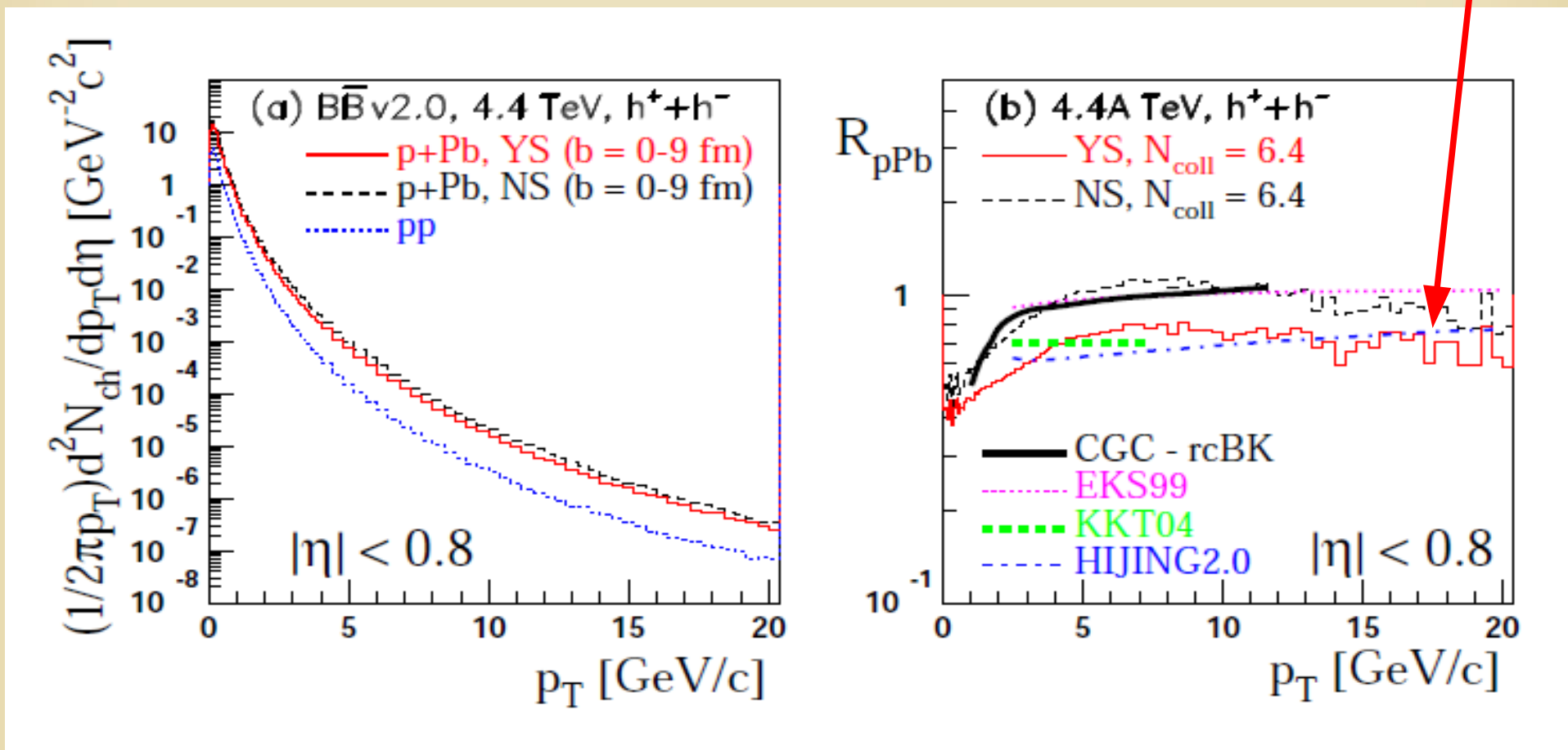
PDF:GRV/MRST+ nPDF, FF:KKP

Barnaföldi GG: Nukleáris effektusok tesztje az LHC 4.4 ATeV pPb ütközésekben

# Spektrumok és $R_{pPb}(p_T)$ az $|\eta| < 0.8$ esetre

Töltött hadronprodukción HIJING 2.0 @ 4.4 ATeV

$R_{pA} \sim 0.7$



GGB, J. Barrette, M. Gyulassy, P. Lévai, V. Topor Pop PRC85 024903 (2012)

# Spektrumok és $R_{pPb}(p_T)$ az $|\eta| < 0.35$ & $0.8$ esetre

Hadron produkciók HIJING2.0 @ 0.2 AGeV & 4.4 ATeV

Árnyékolás:

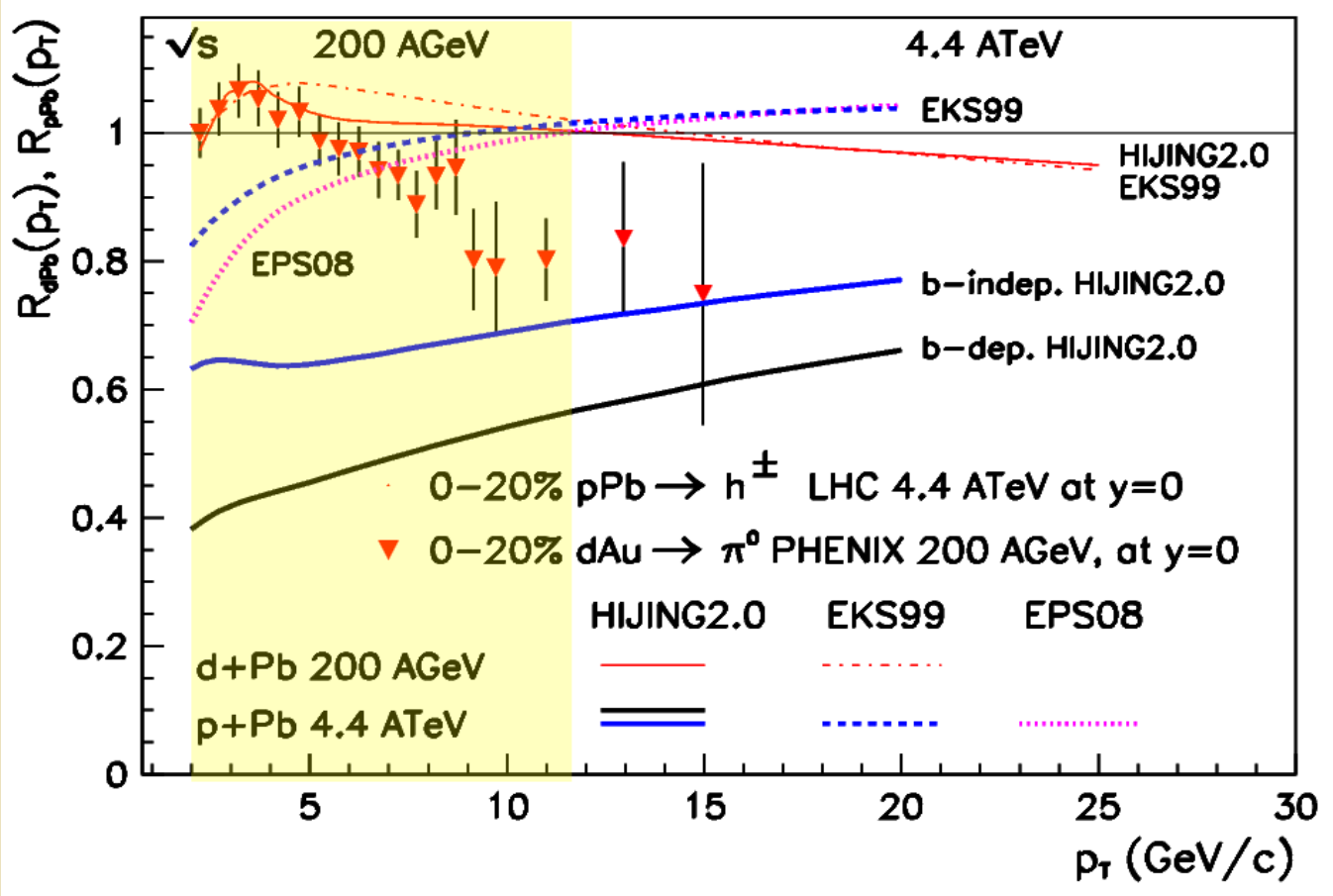
$$f_{a/A}(x, Q^2) = S_{a/A}(x, Q^2) f_{a/N}(x, Q^2)$$

b-függés bevezetése

$$s_a(b) = s_a \frac{5}{3} \left( 1 - \frac{b^2}{R_A^2} \right)$$

ahol

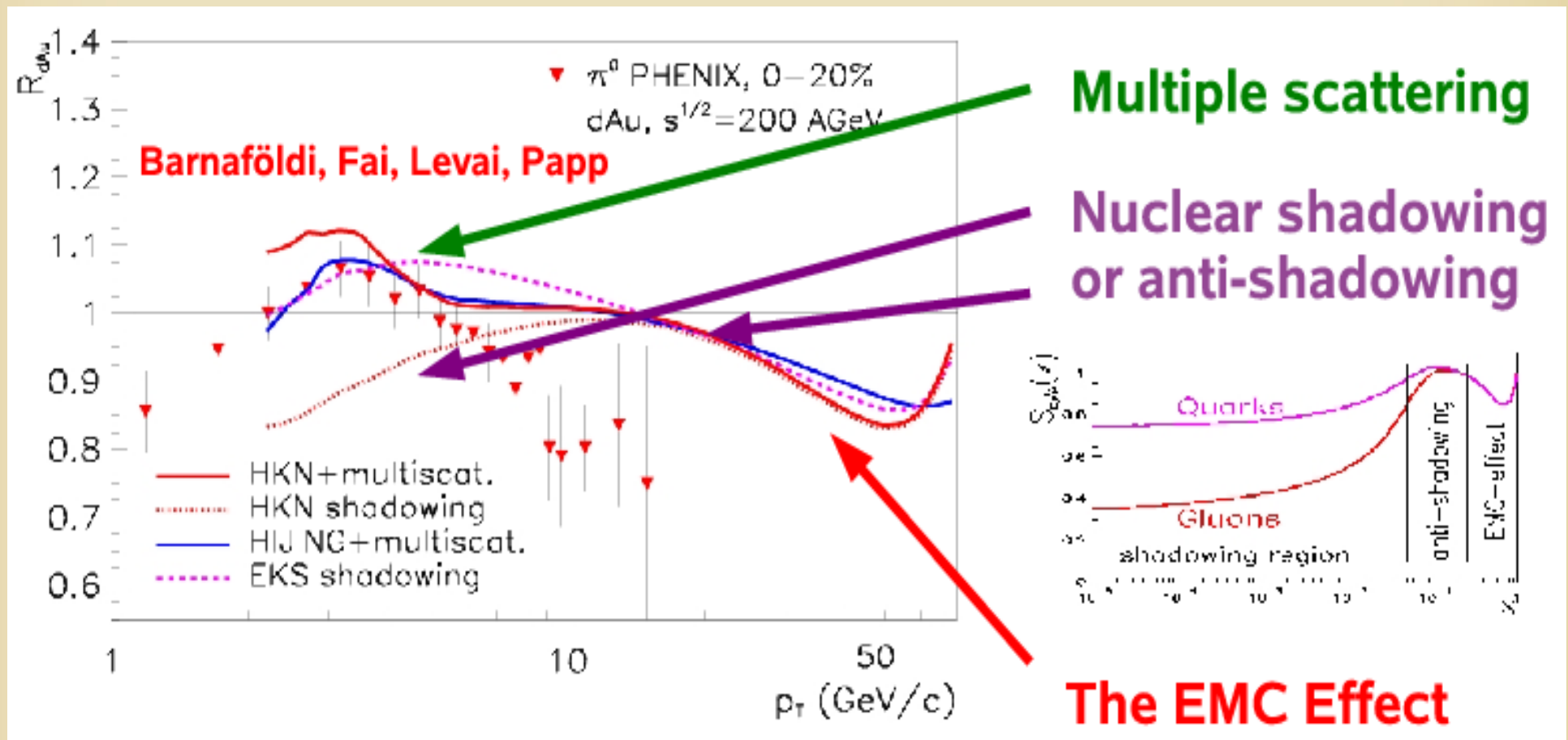
$$R_A = 1.12A^{1/3}$$



GGB, J. Barrette, M. Gyulassy, P. Lévai, V. Topor Pop PRC85 024903 (2012)

# Árnyékolás a magban: $R_{dAu}(p_T)$ és $|\eta| < 0.35$

Pion produkció extrém nagy- $p_T$  impulzusokra kTpQCD @ 200 AGeV



BA Cole, GGB, G. Fai, P. Lévai, G. Papp, arXiv:08073384 (2007)

# Midrapiditásra: $R_{dA}(x_T)$ , ahol $|\eta| < 0.35$

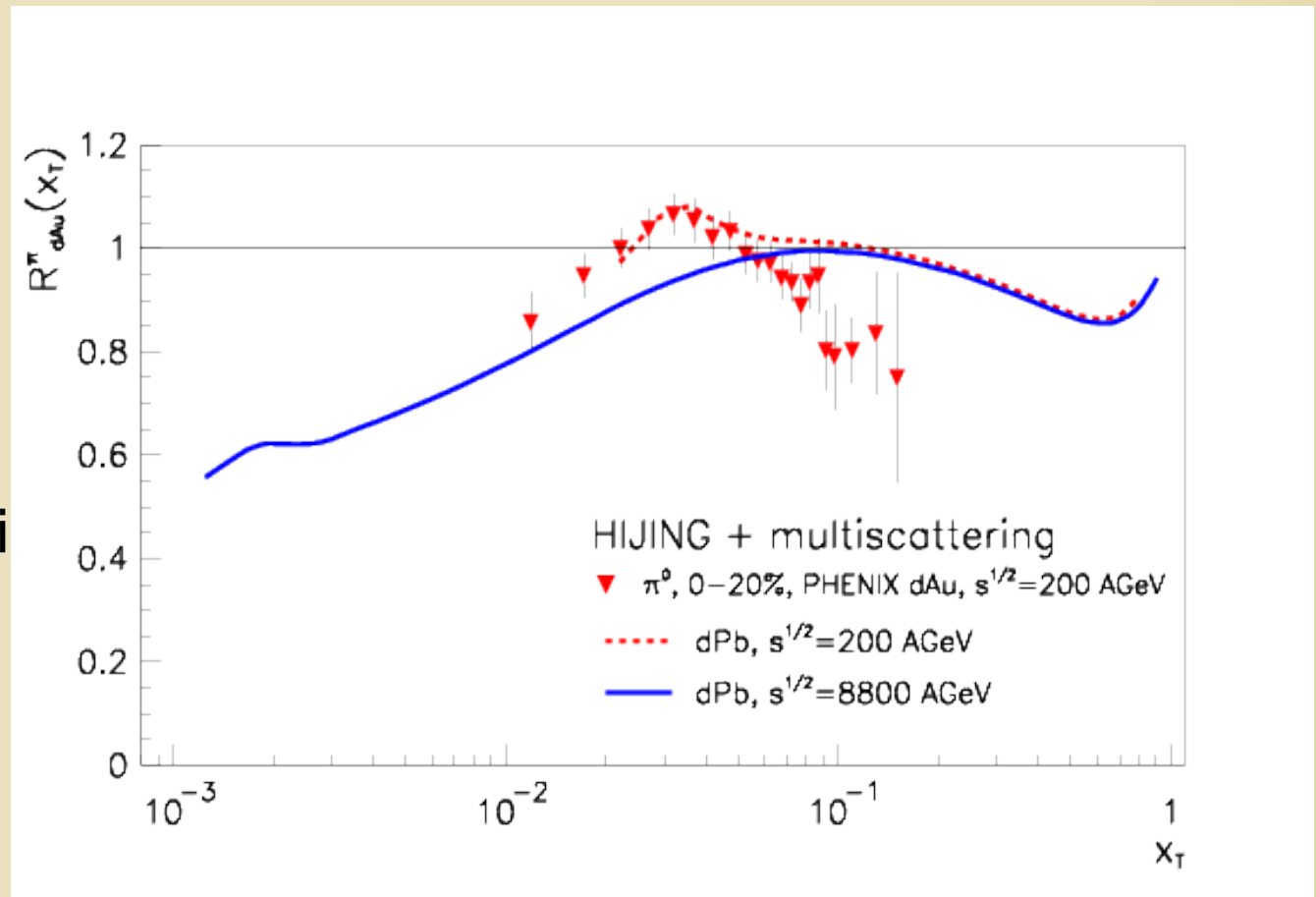
Pion produkció HIJING árnyékolással kTpQCD @ 0.2 & 8.8 ATeV

HIJING árnyékolás

x-skálázás

DGLAP fejlődés

Szükséges bevezetni  
a többszörös szórást



GGB, G. Fai, P. Lévai, BA Cole, G. Papp, Indian J.Phys. 84 (2010) 1721-1725



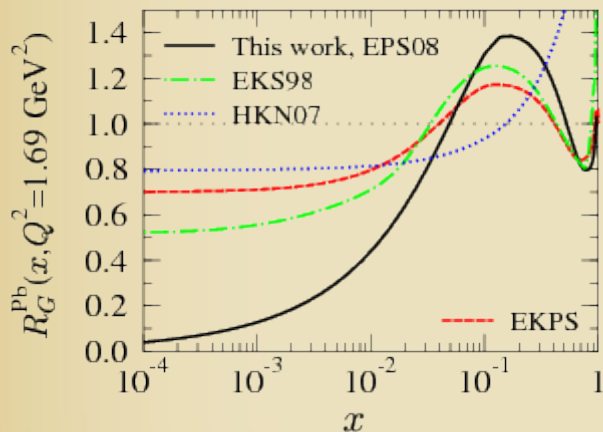
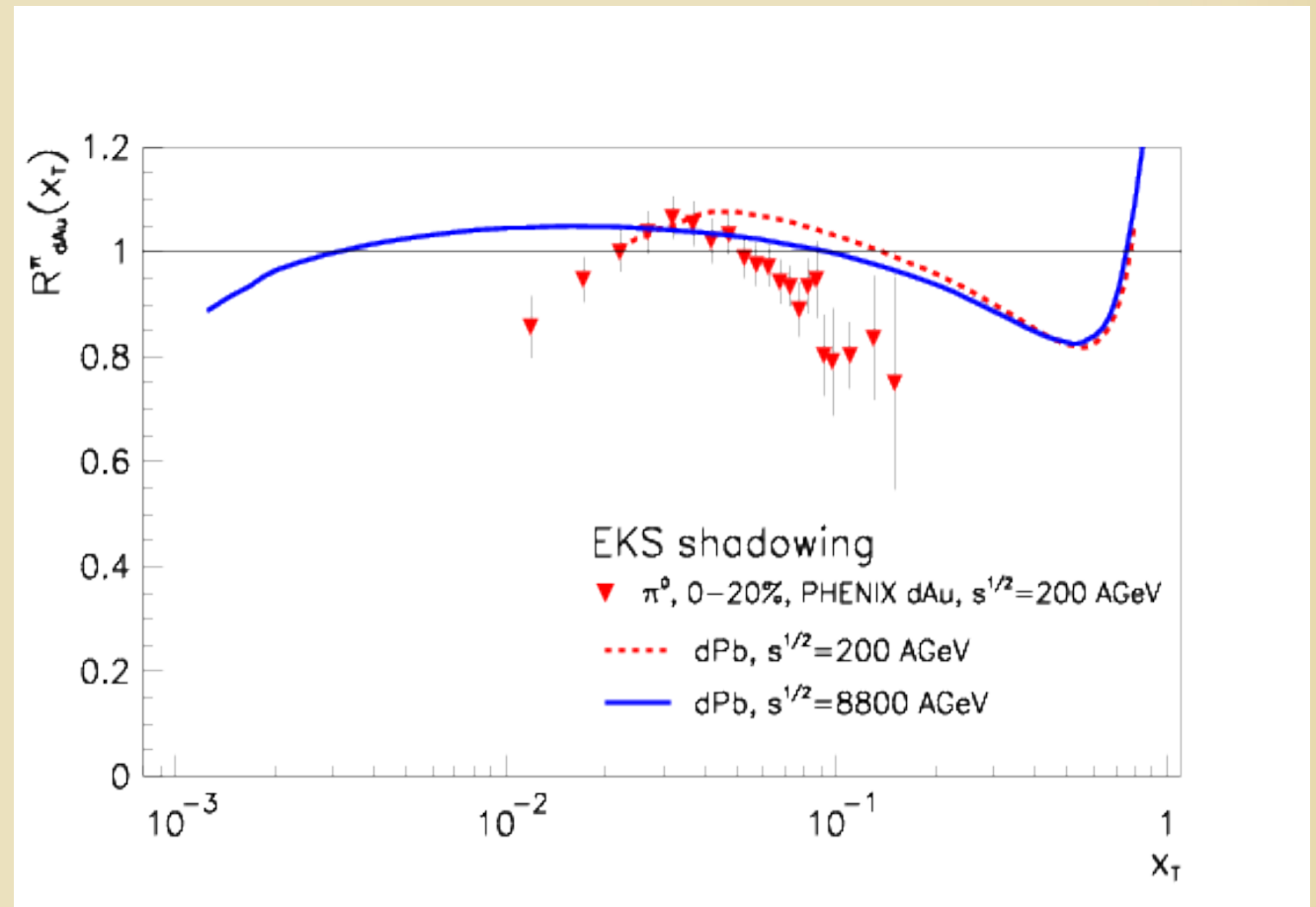
# Midrapiditásra: $R_{dA}(x_T)$ , ahol $|\eta| < 0.35$

Pion produkció EKS árnyékolással kTpQCD @ 0.2 & 8.8 ATeV

EKS árnyékolás

x-skálázás

DGLAP fejlődés



GGB, G. Fai, P. Lévai, BA Cole, G. Papp, Indian J.Phys. 84 (2010) 1721-1725

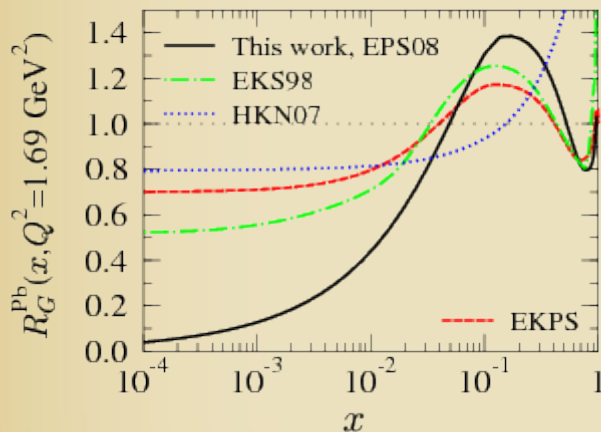
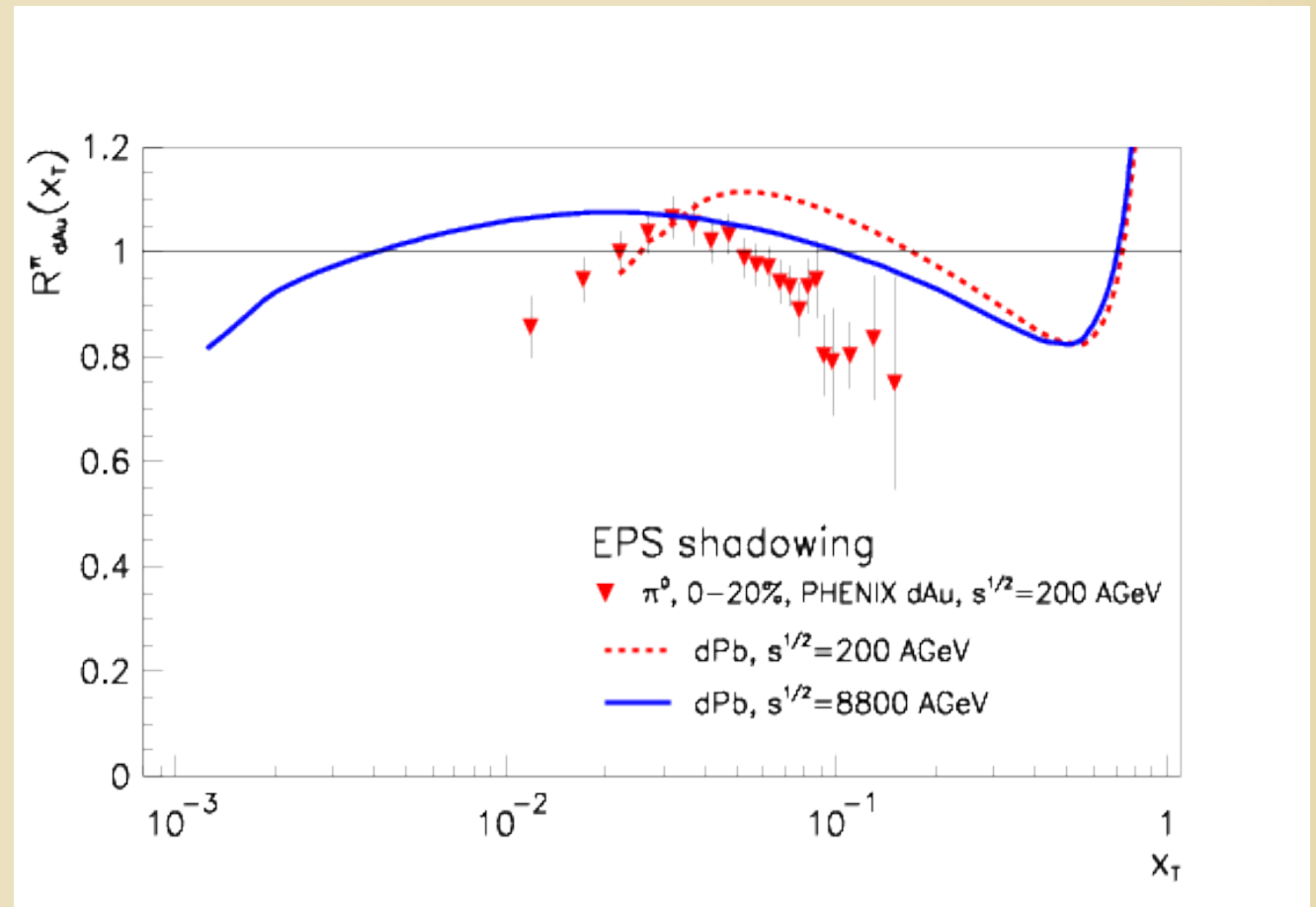
# Midrapiditásra: $R_{dA}(x_T)$ , ahol $|\eta| < 0.35$

Pion produkció EPS08 árnyékolással kTpQCD @ 0.2 & 8.8 ATeV

EPS08 árnyékolás

x-skálázás

DGLAP fejlődés



GGB, G. Fai, P. Lévai, BA Cole, G. Papp, Indian J.Phys. 84 (2010) 1721-1725

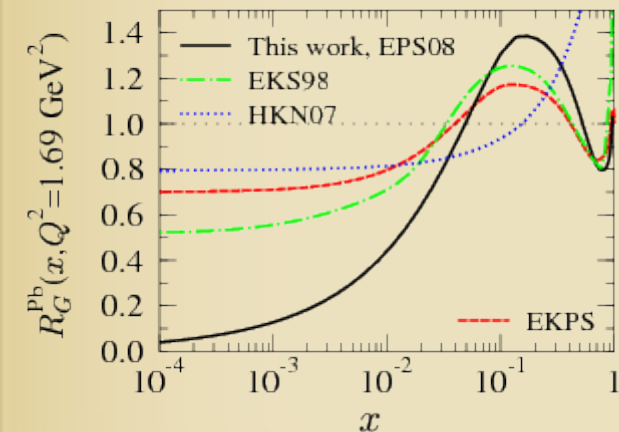
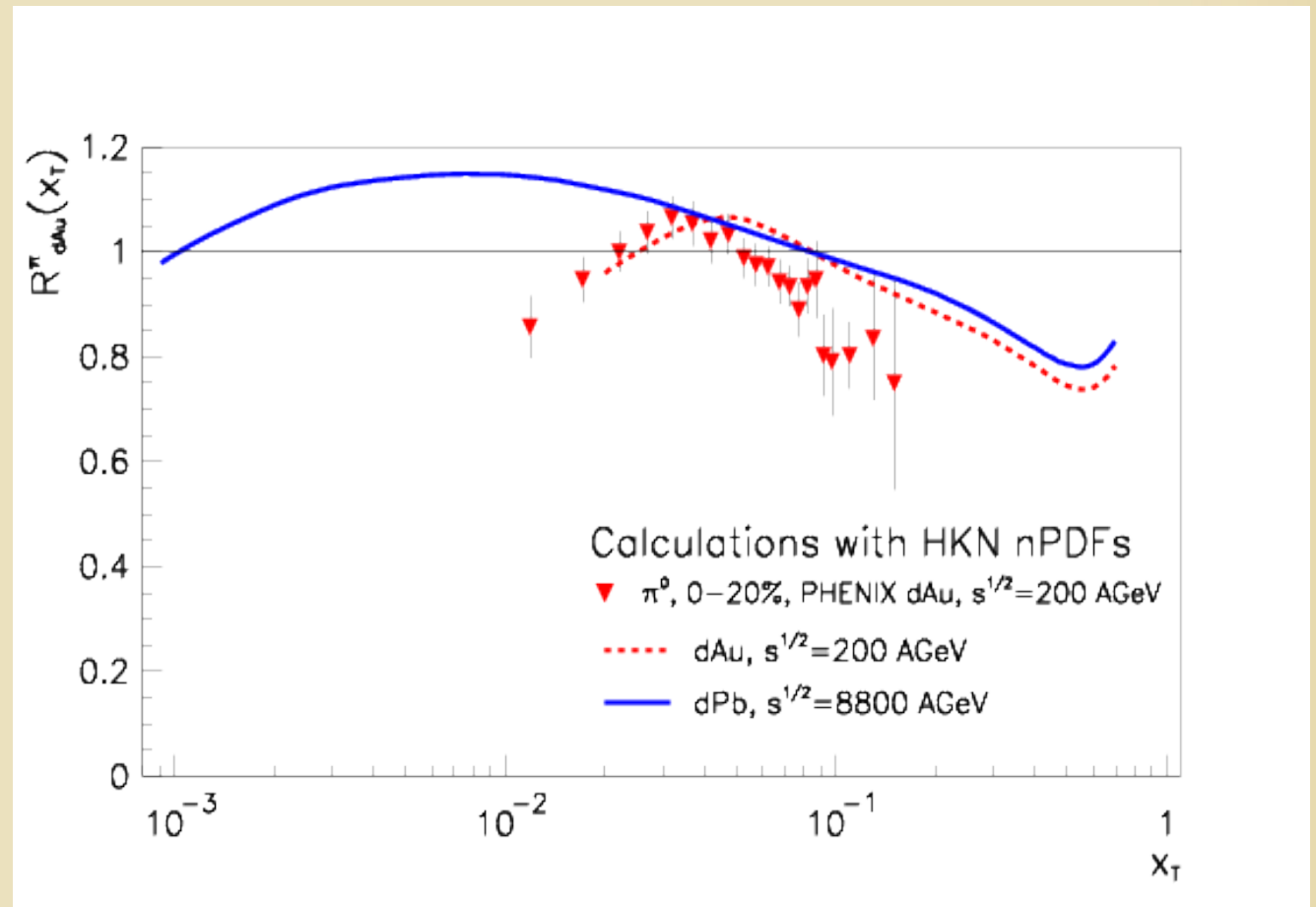
# Midrapiditásra: $R_{dA}(x_T)$ , ahol $|\eta| < 0.35$

Pion produkció HKN árnyékolással kTpQCD @ 0.2 & 8.8 ATeV

HKN árnyékolás

x-skálázás

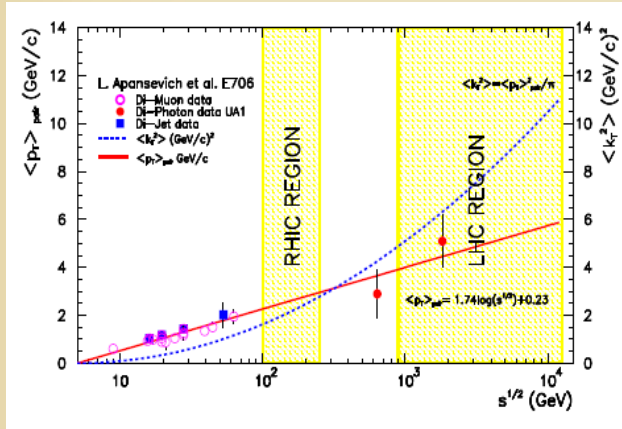
DGLAP fejlődés



BA Cole, GGB, G. Fai, P. Lévai, G. Papp, arXiv:08073384 (2007)

# Összegzés: midrapiditásra $R_{dA}(p_T)$ LHC energián

Pion produkció extrém nagy- $p_T$ -n, kTpQCD @ 0.2, 0.9, & 8.8 ATeV

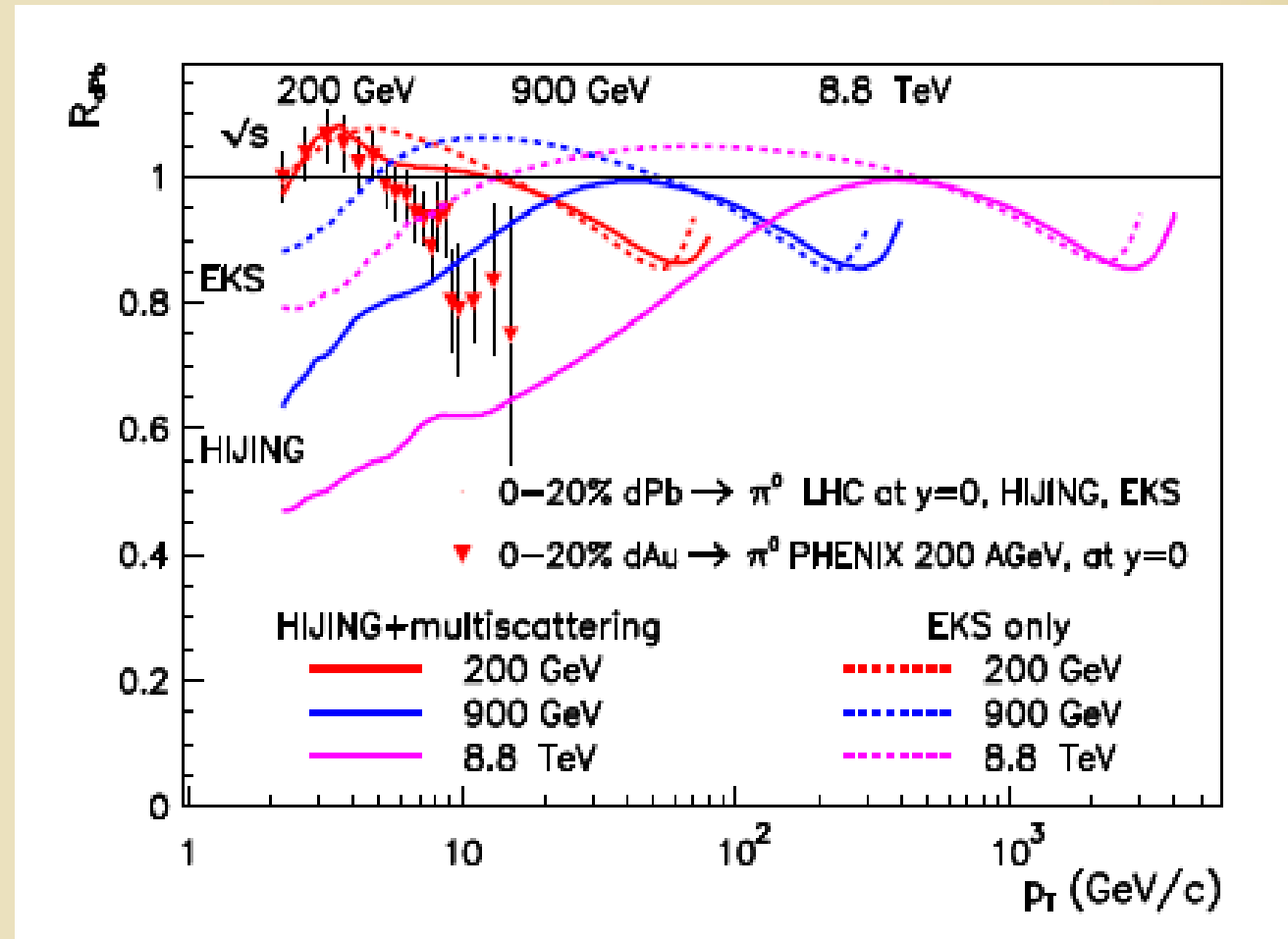


$k_T$ -kiszélesedés:

$$f_{a/p}(x_a, k_{Ta}, Q^2) = f_{a/p}(x_a, Q^2) \cdot g_{a/p}(k_{Ta})$$

$$\langle k_T^2 \rangle_{pA} = \langle k_T^2 \rangle_{pp} + C \cdot h_{pA}(b)$$

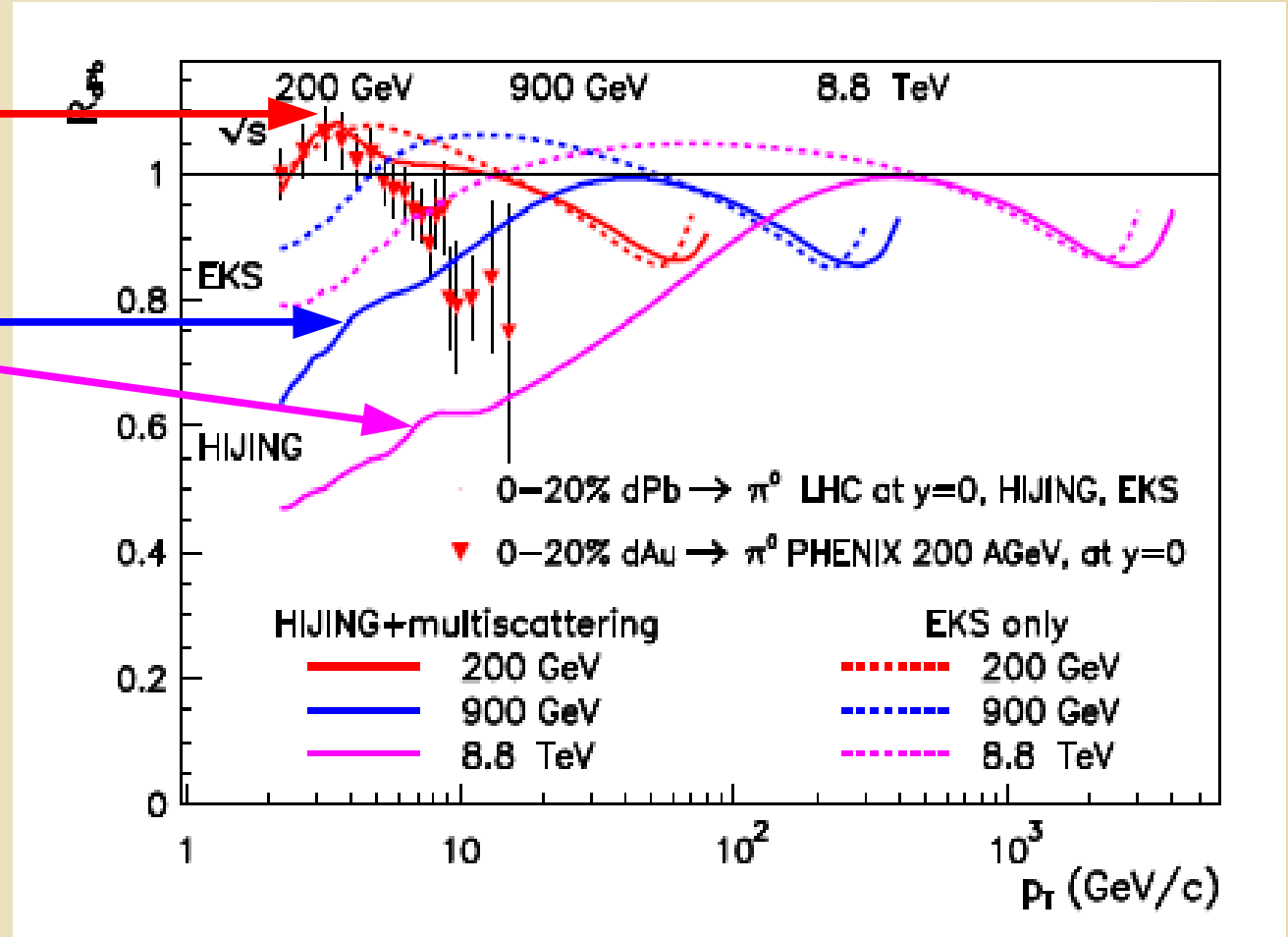
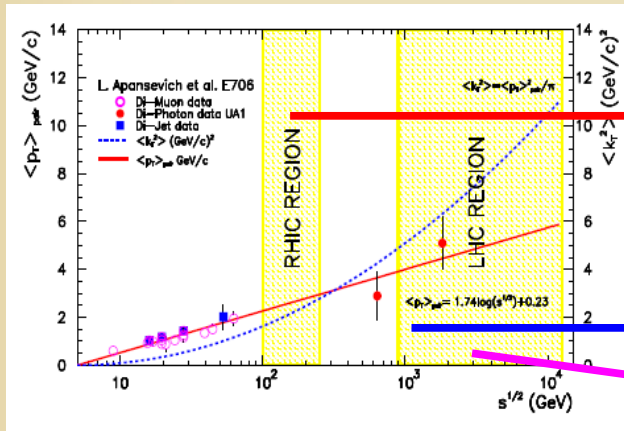
$$\langle k_T^2 \rangle_{pp} = \langle p_T \rangle_{pair}^2 / \pi$$



BA Cole, GGB, G. Fai, P. Lévai, G. Papp, arXiv:08073384 (2007)

# Összegzés: midrapiditásra $R_{dA}(p_T)$ LHC energián

Pion produkció extrém nagy- $p_T$ -n, kTpQCD @ 0.2, 0.9, & 8.8 ATeV



$k_T$ -kiszélesedés:

$$f_{a/p}(x_a, k_{Ta}, Q^2) = f_{a/p}(x_a, Q^2) \cdot g_{a/p}(k_{Ta})$$

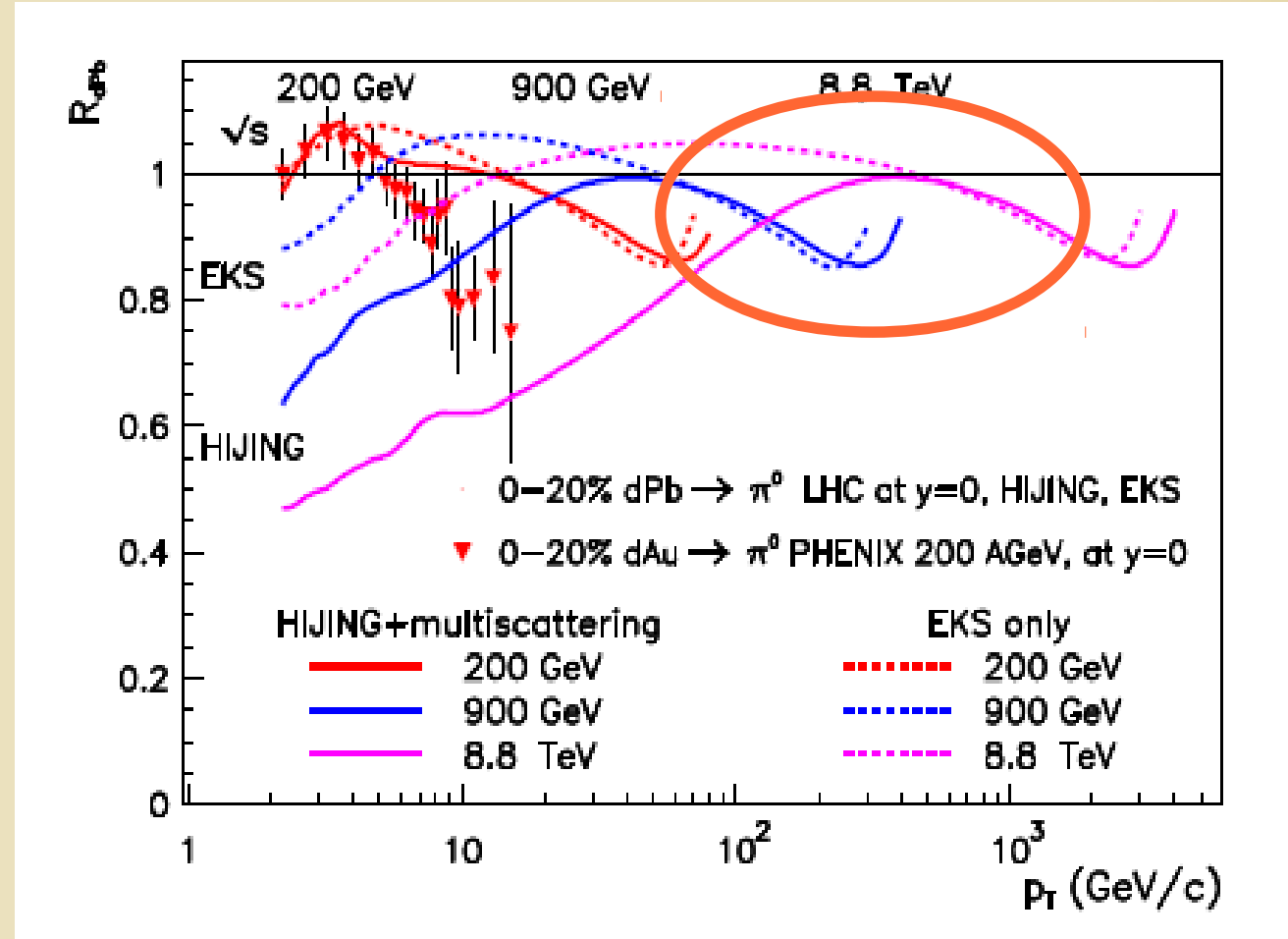
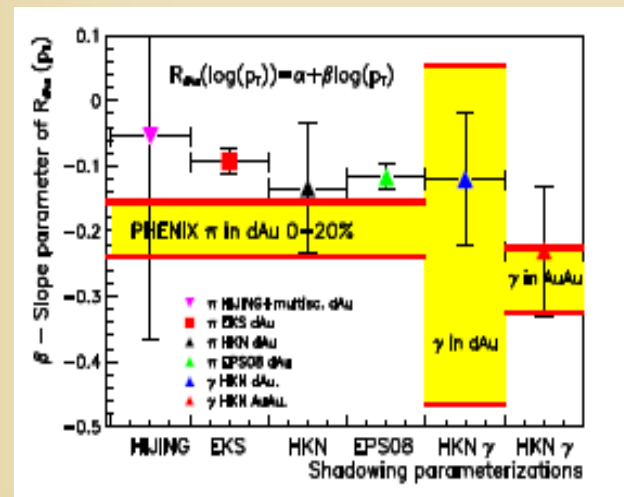
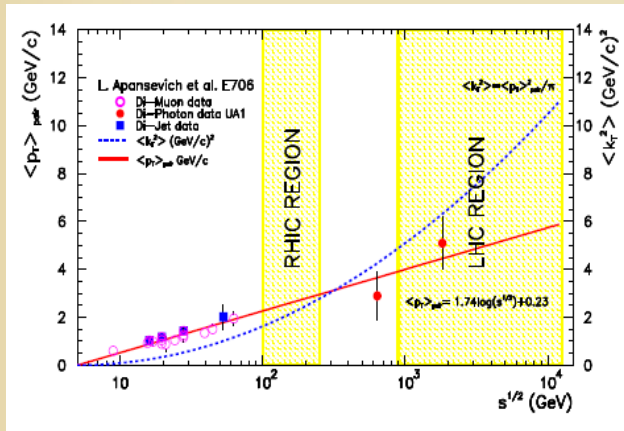
$$\langle k_T^2 \rangle_{pA} = \langle k_T^2 \rangle_{pp} + C \cdot h_{pA}(b)$$

$$\langle k_T^2 \rangle_{pp} = \langle p_T \rangle_{pair}^2 / \pi$$

BA Cole, GGB, G. Fai, P. Lévai, G. Papp, arXiv:08073384 (2007)

# Összegzés: midrapiditásra $R_{dA}(p_T)$ LHC energián

Pion produkció extrém nagy- $p_T$ -n, kTpQCD @ 0.2, 0.9, & 8.8 ATeV

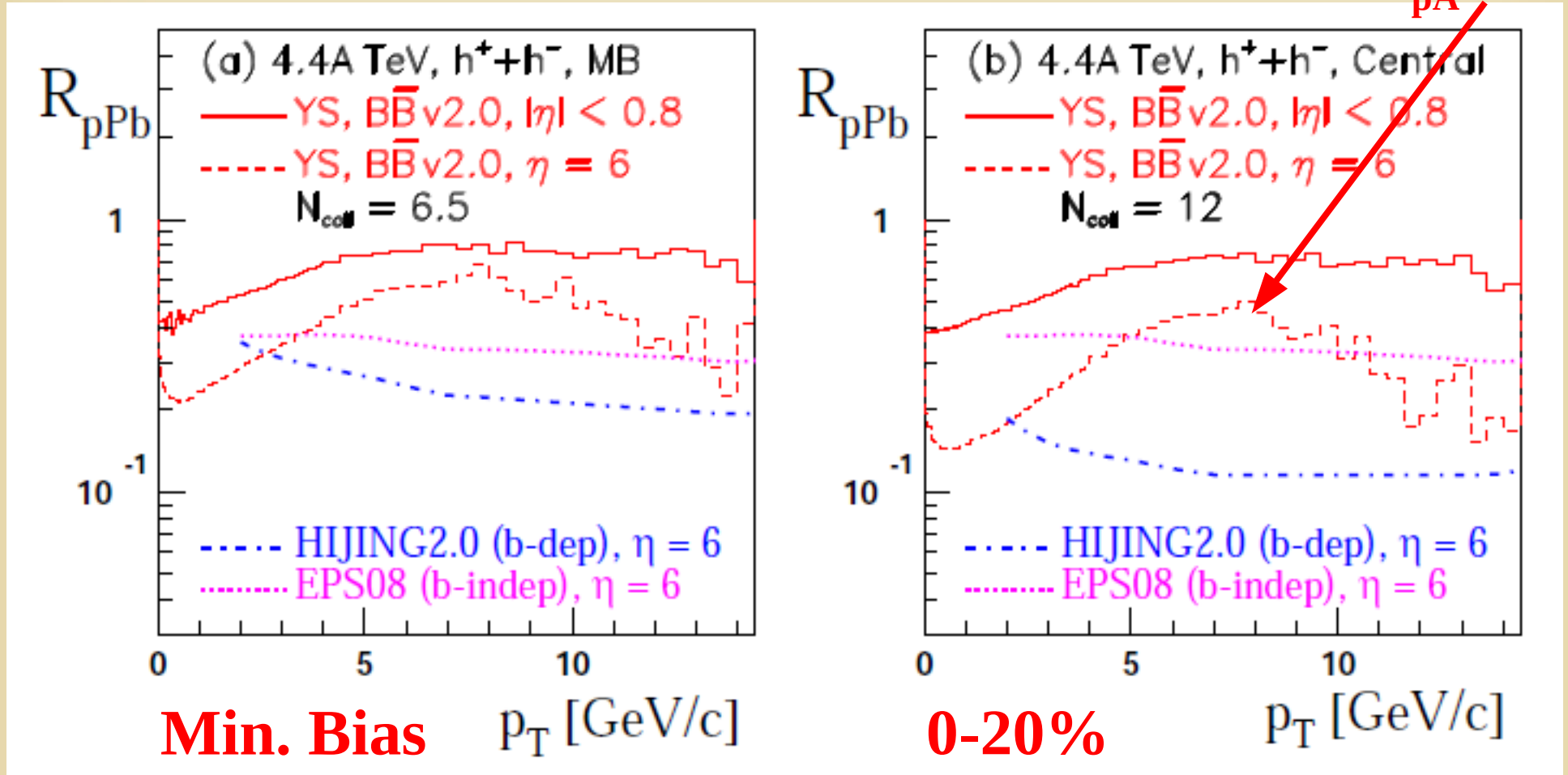


BA Cole, GGB, G. Fai, P. Lévai, G. Papp, arXiv:08073384 (2007)

# Előreszórt $R_{pPb}(p_T)$ , $|\eta| < 0.8$ & $\eta = 6.0$

Töltött hadron produkció, HIJING 2.0 @ 4.4 ATeV

$R_{pA} \sim 0.35$



GGB, J. Barrette, M. Gyulassy, P. Lévai, V. Topor Pop PRC85 024903 (2012)

# Rapiditás aszimmetria $dAu$ esetre a RHIC-nél

Pion produkció , kTpQCD @ 200 AGeV

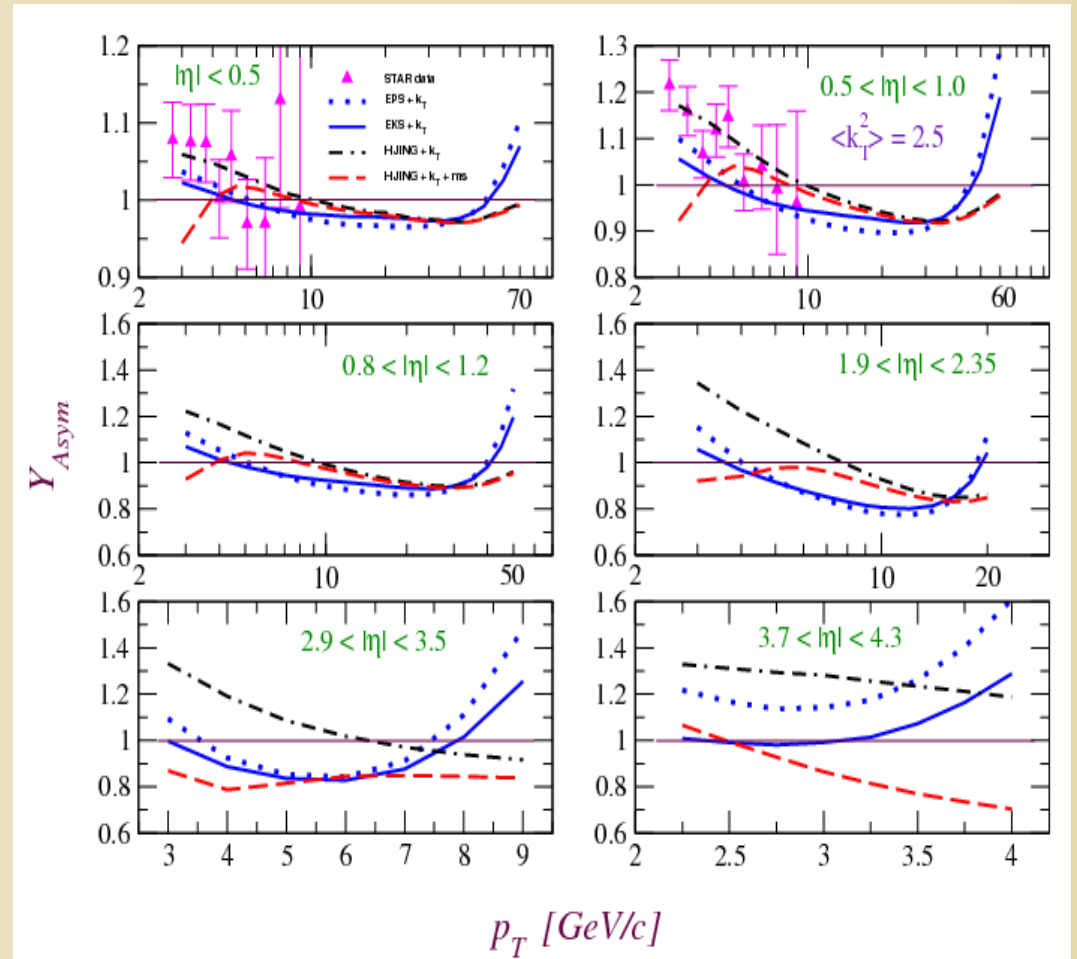
Rapiditás aszimmetria

$$Y_{Asym}^h(p_T) = E_h \frac{d^3\sigma_{AB}^h}{d^3p_T} \Big|_{\eta < 0} / E_h \frac{d^3\sigma_{AB}^h}{d^3p_T} \Big|_{\eta > 0}$$

Kapcsolat a NMF-fel

$$Y_{Asym}^h(p_T) = R_{\eta}^h(p_T) = \frac{R_{dAu}^h(p_T, \eta < 0)}{R_{dAu}^h(p_T, \eta > 0)}$$

x-skálázás OK,  
a többszörös szórás hatása  
Módosítja az  $Y(\eta)$ -t.



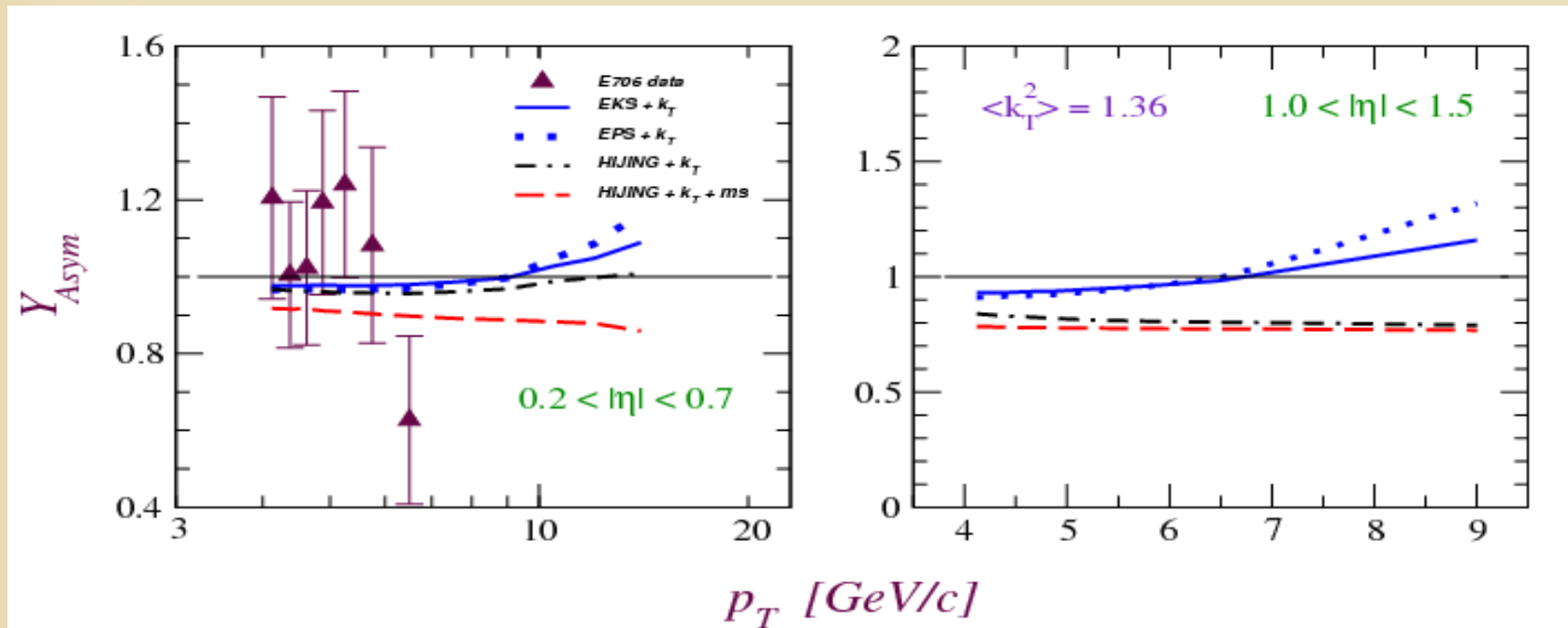
A. Adeluy, GGB, G. Fai, P. Lévai, PRC80 (2009) 014903



# Rapiditás aszimmetria $pBe$ esetre az FNAL-nél

Pion produkció, kTpQCD @ 30.7 GeV

$$Y_{Asym}^h(p_T) = E_h \frac{d^3\sigma_{AB}^h}{d^3p_T} \Big|_{\eta < 0} / E_h \frac{d^3\sigma_{AB}^h}{d^3p_T} \Big|_{\eta > 0}$$

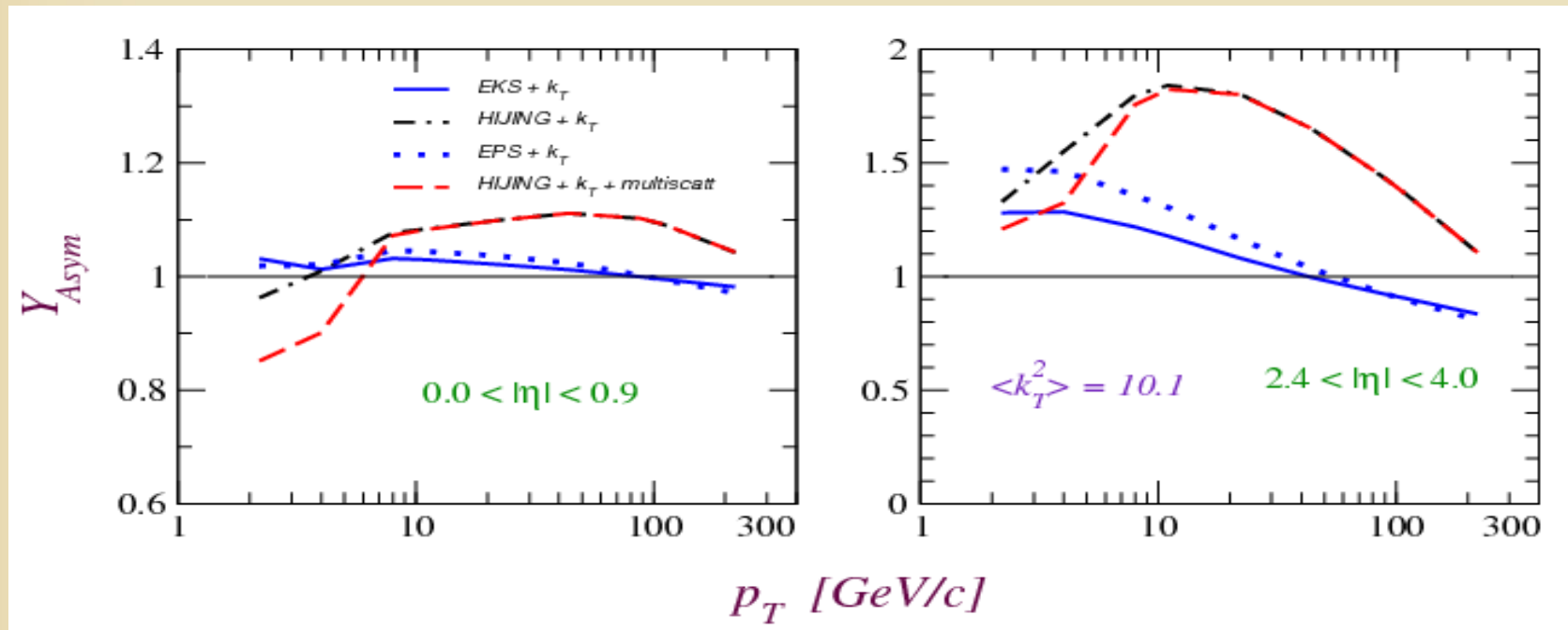


A. Adeluy, GGB, G. Fai, P. Lévai, PRC80 (2009) 014903

# Rapiditás aszimmetria $pPb$ esetre az LHC-nál

Pion produkció, kTpQCD @ 8.8 ATeV

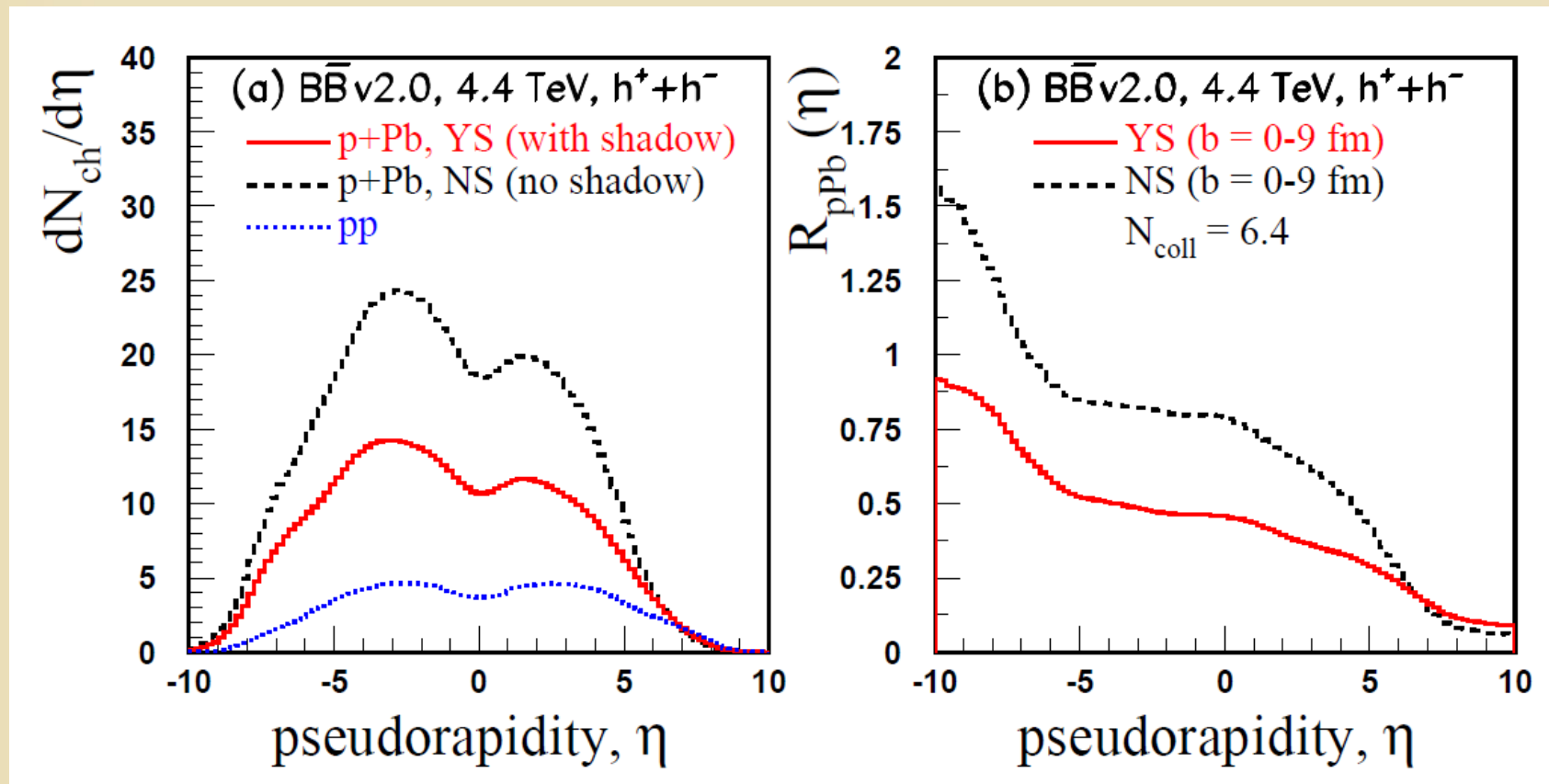
$$Y_{Asym}^h(p_T) = E_h \frac{d^3\sigma_{AB}^h}{d^3p_T} \Big|_{\eta < 0} / E_h \frac{d^3\sigma_{AB}^h}{d^3p_T} \Big|_{\eta > 0}$$



A. Adeluy, GGB, G. Fai, P. Lévai, PRC80 (2009) 014903

# HIJINGB/B 2.0: Rapidityeloszlás (pp & pPb)

Töltött hadron produkció, HIJING 2.0 @ 4.4 ATeV



GGB, J. Barret, M. Gyulassy, P. Lévai, V. Topor Pop PRC85 024903 (2012)

# ÖSSZEKÉPZÉS

Válasszunk a menüből...

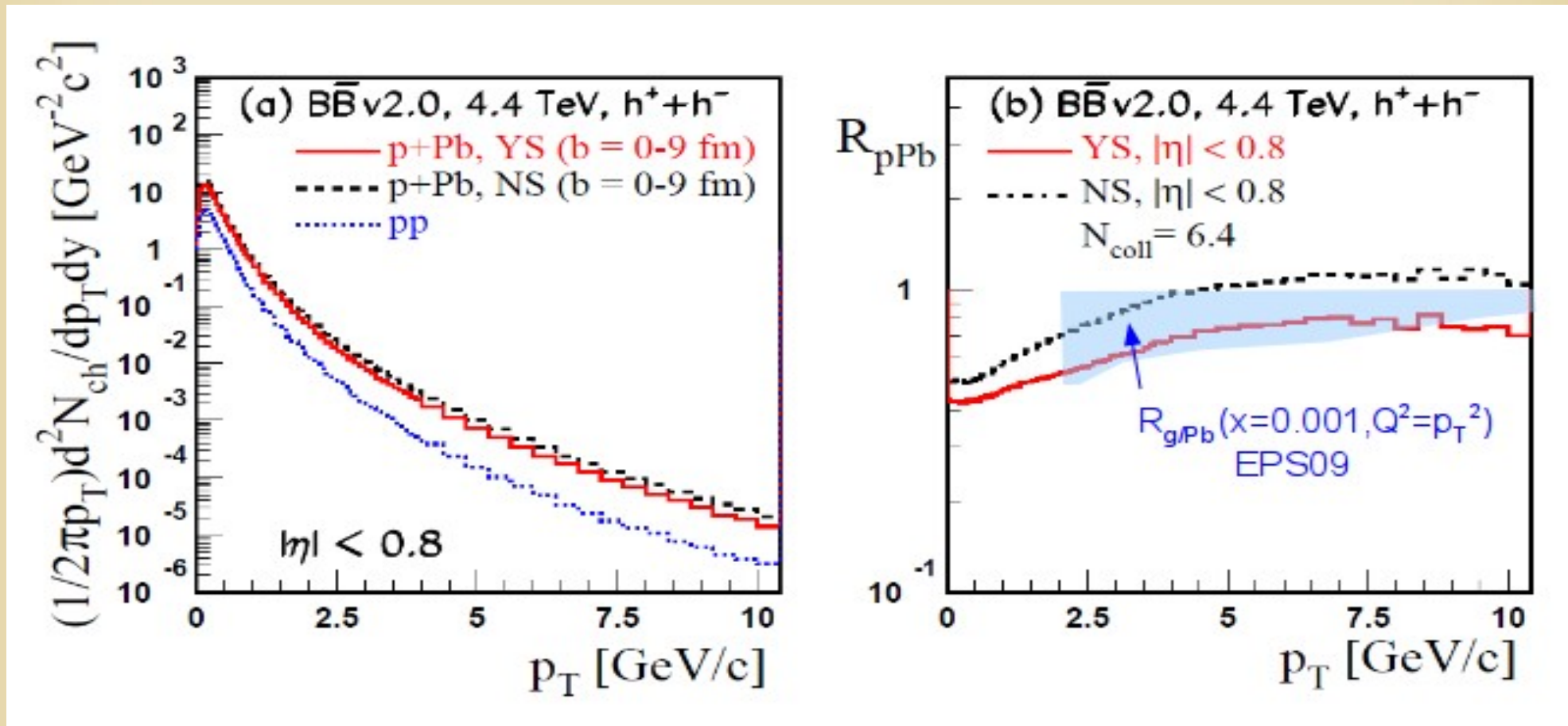
...konzisztens képet kellene 10 AGeV-től 10 ATeV-ig

- Cronin-effektus tesztje pA ütközésekben
  - Mekkora az effektus LHC energiákon?
  - Van-e/Működik-e az  $x_T$ ,  $p_T$ , stb skálázás?
- Árnyékolási modellek tesztje
  - Jól tesztelhetőek a jelenlegi modellek kis-x-nél
- Rapiditás aszimmetria tesztje

**B A C K U P**

# The Spectra and RpPb(pT) for $|\eta| < 0.8$

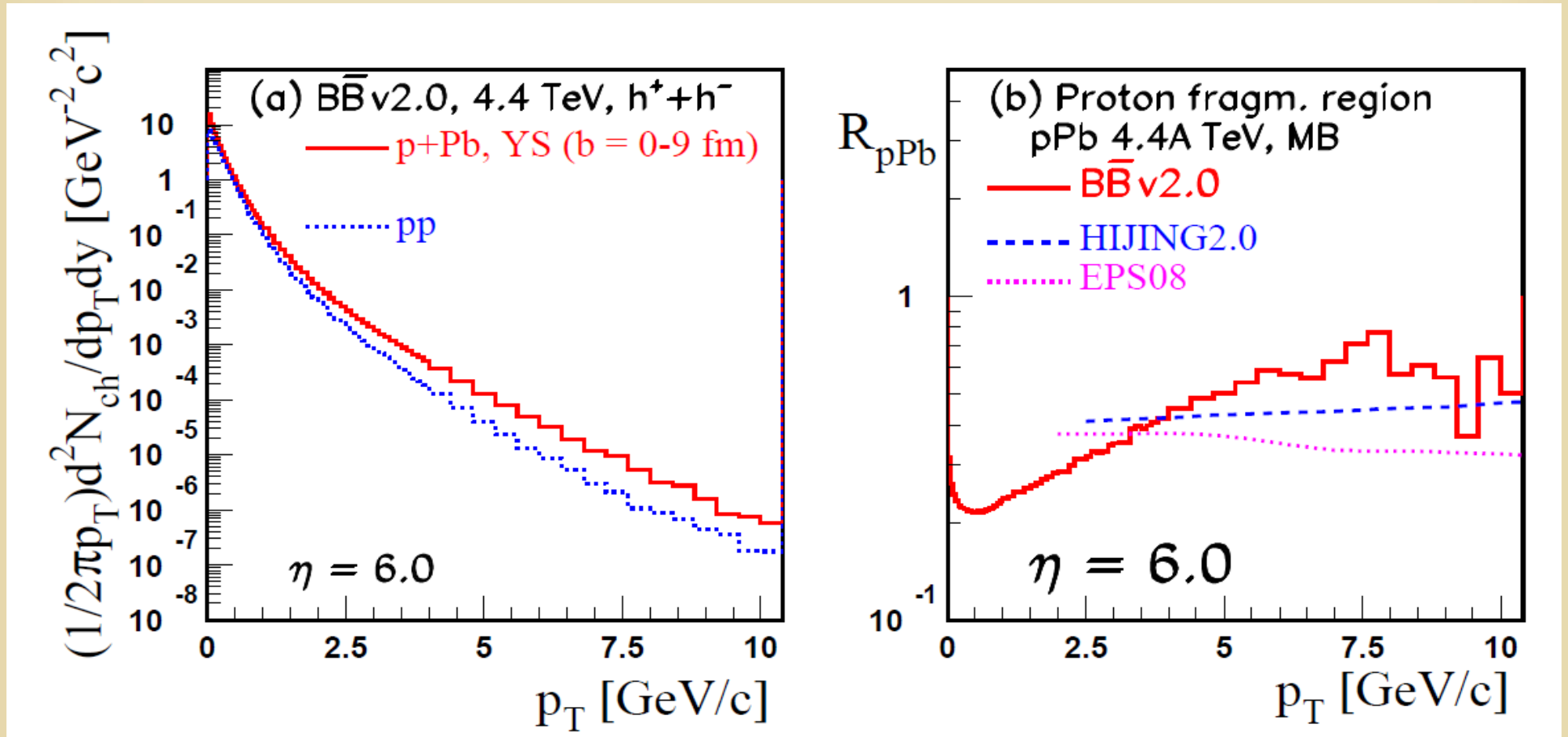
Charged hadron production with HIJING 2.0 @ 4.4 ATeV



GGB, J. Barrette, M. Gyulassy, P. Lévai, V. Topor Pop PRC85 024903 (2012)

# Forward Spectra & $R_{pPb}(p_T)$ at $\eta=6.0$

Charged hadron production with HIJING 2.0 @ 4.4 ATeV



GGB, J. Barrette, M. Gyulassy, P. Lévai, V. Topor Pop PRC85 024903 (2012)