



Satz Lecture Notes

# Global Properties of A-A Collisions II

---

M. Kliemant, R. Sahoo, T. Schuster, R. Stock

18.10.2013 RQGP: Vojtěch Pacík & Olga Rusňáková

- Úvod
- Rozdělení příčné energie  $E_T$
- Prostorová hustota energie  $\epsilon$
- Produkce nabitých částic
- Rozdělení rapidity nabitých částic
- Modifikační faktor  $R^{AA}$



- Centrální A-A srážky o vysokých energiích  $E_{cm}^{tot}$
- Vysoká prostorová hustota produkováných částic
- Multiplicita částic
  - SPS (3.3 TeV)  $\approx 1\ 600$
  - RHIC (38 TeV)  $\approx 4\ 000$
- 95% pozorované multiplicity - „termální“ piony ( $p_T \approx 2\ \text{GeV}$ )
- Zkoumání rozložení energie a produkováných částic  $\Rightarrow$  složení hmoty

Faktory ovlivňující počet produkovaných částic v A-A srážkách

- Energie srážky  $\sqrt{s}$
- Centralita srážky

Zkoumání rozdělení produkovaných částic

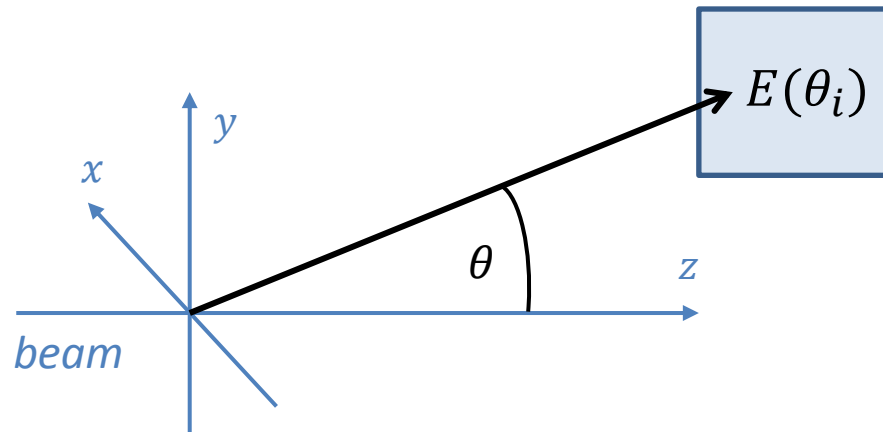
- Příčná hybnost  $p_T$
- Rapidita  $y$  / Pseudorapidita  $\eta$ 
  - ( $\eta$  při neznalosti hmotnosti částic)

$$y = \sinh^{-1} \left( \frac{p_L}{m_T} \right)$$

$$\eta = -\ln \left( \tan \frac{\theta}{2} \right)$$

- Celkové množství příčné energie  $E_T$ 
  - Měření toku energie v kalorimetrech
  - Odhad produkovaných částic ( $p_T, m_T$ )

$$E_T = \sum_i E(\theta_i) \sin(\theta)$$



# Rozdělení hustoty příčné energie



- Centrální srážka

$$E_T = 520 \text{ GeV}: b \rightarrow 0$$

- Parametry

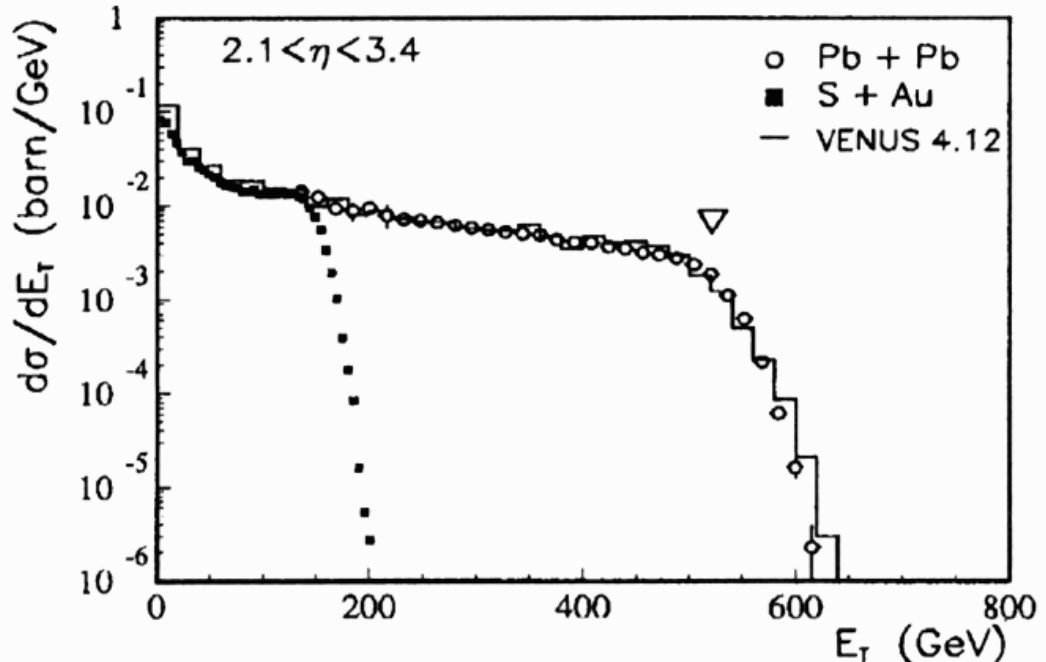
$$E_T = 1.2 \text{ TeV}$$

$$\langle N_{part} \rangle = 370$$

$$E_T^{NP} = \frac{E_T}{\langle 0.5 N_{part} \rangle} = 6.5 \text{ GeV}$$

$$E_T \approx 0.6 E_T^{max}$$

( $E_T^{max}$  energie „úplného zastavení“)



Minimum bias distribution of total transverse energy in Pb+Pb collisions at  $\sqrt{s}=17.3$  GeV, and S+Au collisions at  $\sqrt{s}=20$  GeV, in the rapidity interval  $2.1 < y < 3.4$ .

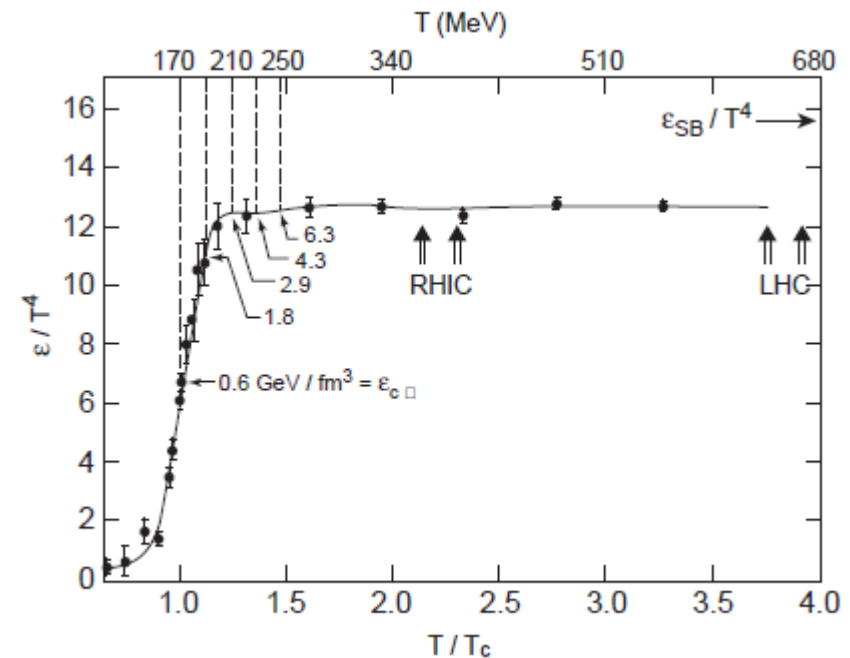
- Zbytek  $E_T^{max}$ : podélný pohyb (při SPS energiích)
  - Fireball  $\rightarrow$  „Fire-tube“: válcový objem prvotní hustoty energie

$$\epsilon(\tau_0) = \frac{1}{\pi R^2} \frac{1}{\tau_0} \frac{dE_T}{dy}$$

- Kritická hodnota (při  $\mu_B = 0$ )

$$\epsilon_0 \approx 1 \text{ GeV}/\text{fm}^3$$

- SPS  $\epsilon(\tau_0 = 1 \text{ fm}) \approx 3 \text{ GeV}/\text{fm}^3$
- RHIC  $\epsilon(\tau_0 = 1 \text{ fm}) \approx 6 \text{ GeV}/\text{fm}^3$
- Znalost zachycených částic (jejich energetických stavů)
  - „Teploměr“ srážky

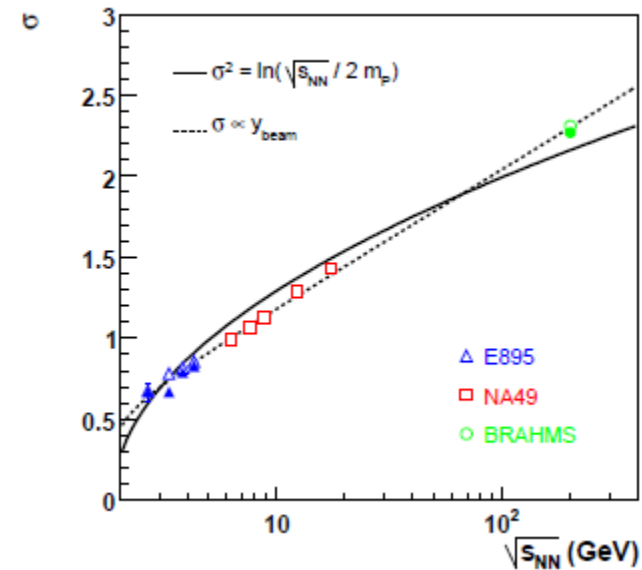
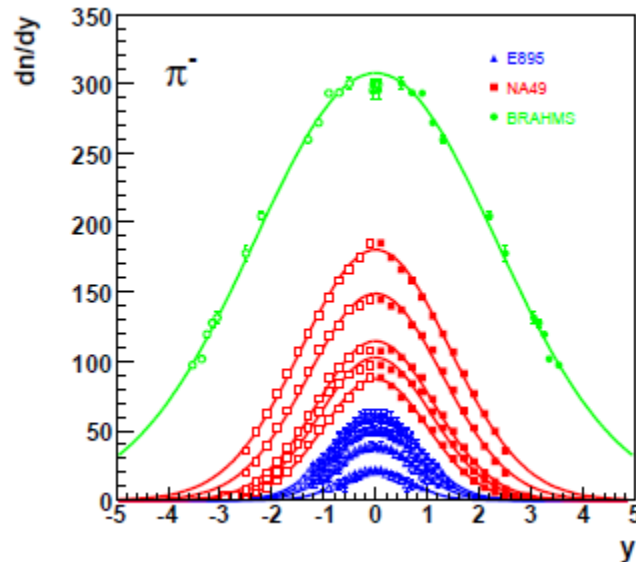


Lattice QCD results at zero baryon potential for energy density  $\epsilon/T^4$  versus  $T/T_C$  with three light quark flavors, compared to the Stefan-Boltzmann-limit  $\epsilon_{SB}$  of an ideal quark-gluon gas

# Rozdělení rapidity $\pi^-$



- Spektrum produkovaných nabitých hadronů
  - 85 % „soft“ piony ( $p_T \leq 1 \text{ GeV}/c$ )

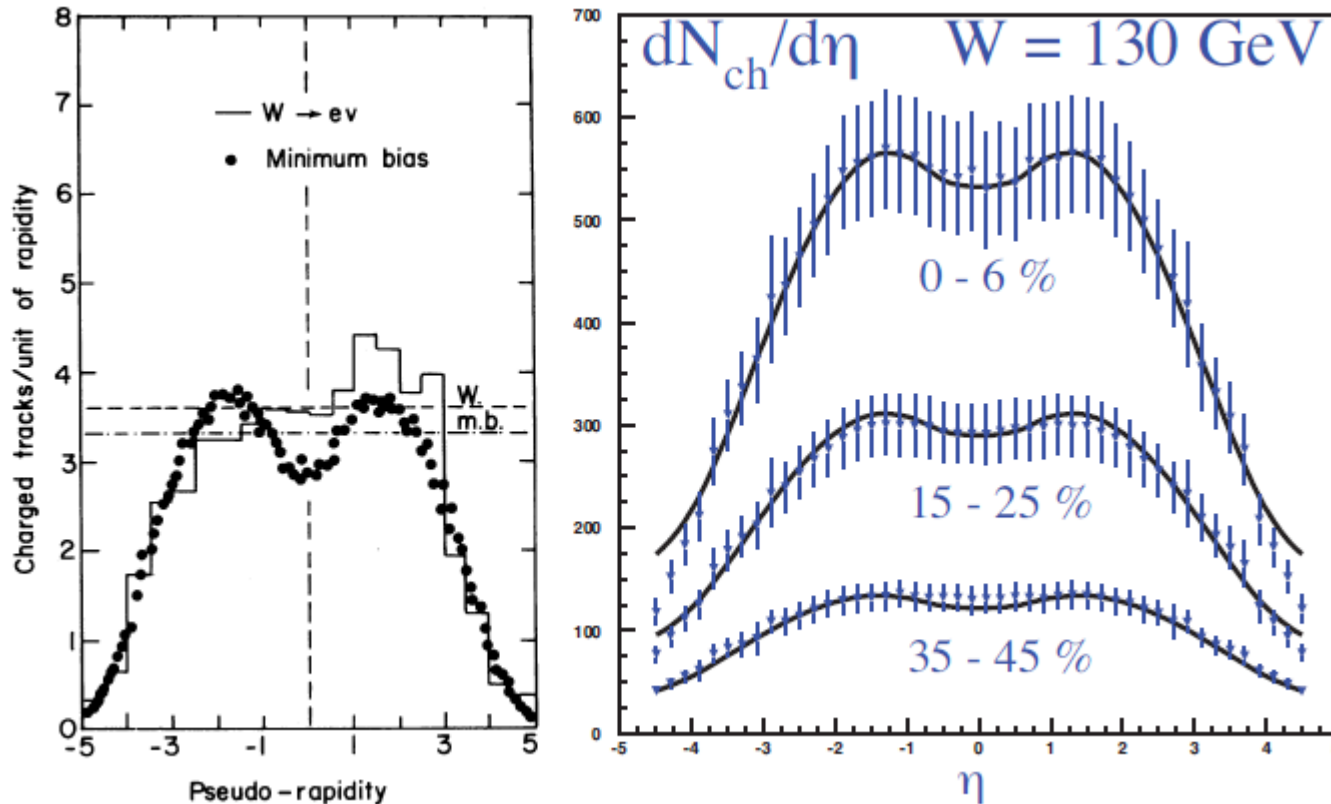


**Left panel:** negative pion rapidity distributions in central Au+Au and Pb+Pb collisions from AGS via SPS to RHIC energies.

**Right panel:** the Gaussian rapidity width of pions versus  $\sqrt{s}$ , confronted by Landau model predictions (solid line).



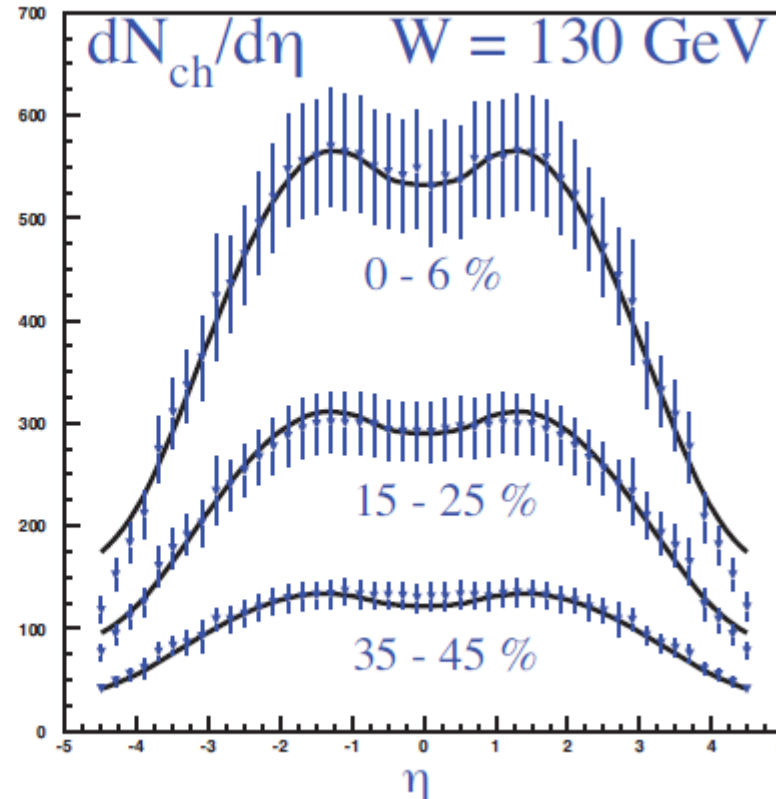
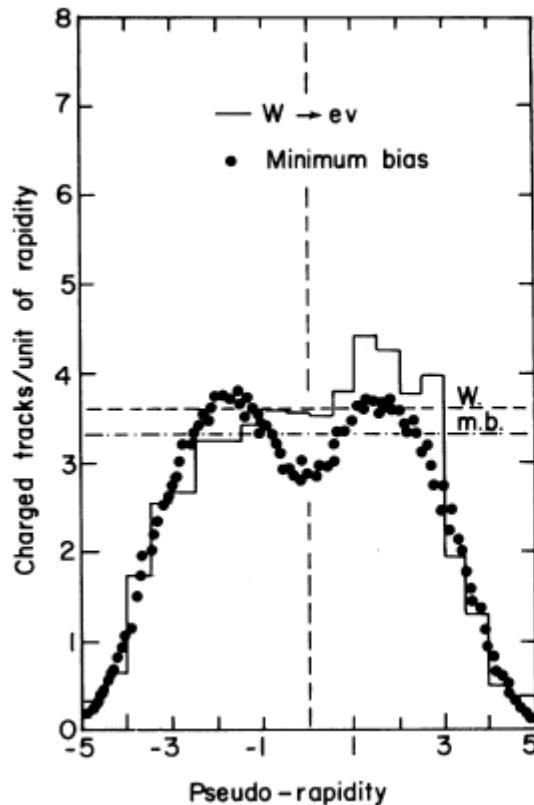
# Rapidita nabitých částic



**Left panel:** charged particle pseudo-rapidity distribution in  $pp$  collisions at  $\sqrt{s} = 540$  GeV.

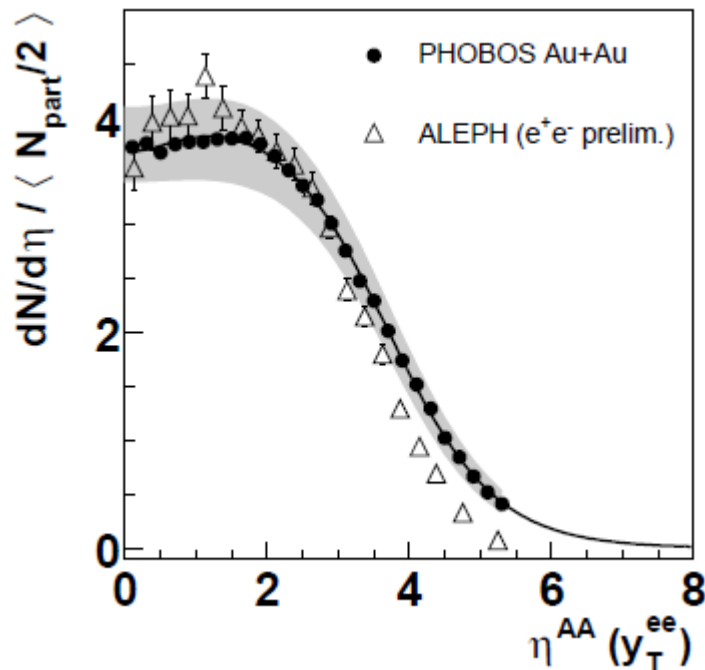
**Right panel:** same in RHIC **Au+Au** collisions at  $\sqrt{s} = 130$  GeV at different centralities. Closed lines represent fits with the color glass condensate model.

# Rapidita nabitých částic



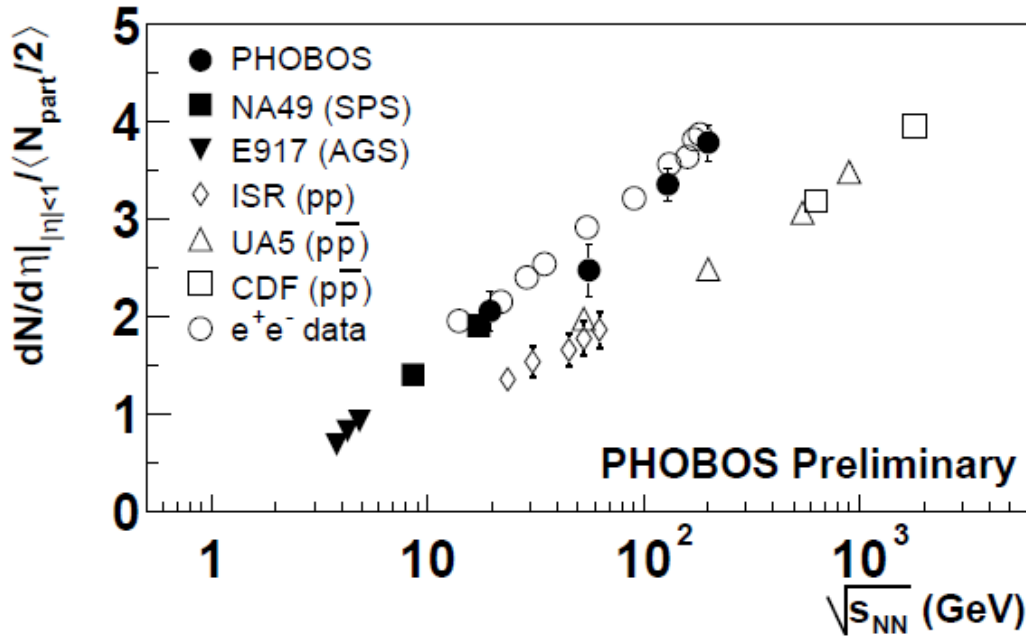
- $W$  produkce
  - Vyšší  $N_{ch}$
  - Asymetrie kolem  $\eta = 0$
- Mírný pokles (plošina) kolem  $\eta = 0$
- Typický tvar pro  $p\bar{p}$  a Au+Au
- Počet produkováných částic roste s centralitou

# Rapidita nabitých částic



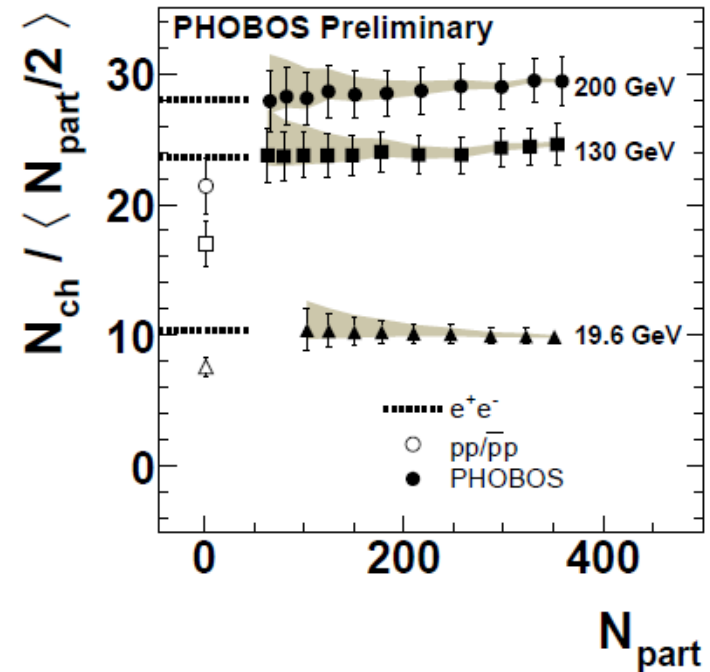
Pseudo-rapidity distribution of charged hadrons produced in central **Au+Au** collisions at  $\sqrt{s}=200$  GeV compared with  $e^+e^-$  data at similar energy. The former data normalized by  $N_{part}/2$ .

# Produkce nabitých částic



Charged hadron rapidity density at mid-rapidity vs.  $\sqrt{s}$ , compiled from  $e^+e^-$ , pp,  $p\bar{p}$  and A+A collisions.

- Shoda  $N_{ch}$  v A+A a  $e^+e^-$  srážek
- 40% potlačení v  $p\bar{p}$



The total number of charged hadrons per participant pair shown as a function of  $N_{part}$  in Au+Au collisions at three RHIC energies.



$pp, p\bar{p}, e^+e^-$  reakce

X

Centrální / semi-periferální  
A-A srážky ( $A \approx 200$ )

$$N_{part} = 2$$

$$N_{part} \leq 2A$$

- Kvalitativně podobné tvary rozdělení rapidity
- Shodný vývoj s rostoucí  $\sqrt{s}$

Jak efektivně srovnat A-A a pp srážky?

- (při stejných  $\sqrt{s}$ )



$$R_y^{AA} \equiv \frac{1}{0.5 N_{part}} \frac{dN_{AA}^{ch}/dy}{dN_{pp}^{ch}/dy}$$

$R_y^{AA} < 1$  : Suppresion / Potlačení produkce

$R_y^{AA} > 1$  : Enhancement / Navýšení produkce

- pp srážky – „referenční hodnota“

Proč srovnávat A-A a pp srážky?

- Potlačení produkce  $J/\Psi$  v A-A srážkách  $\Rightarrow$  přítomnost QGP



$$R_y^{AA} \equiv \frac{1}{0.5 N_{part}} \frac{dN_{AA}^{ch}/dy}{dN_{pp}^{ch}/dy}$$

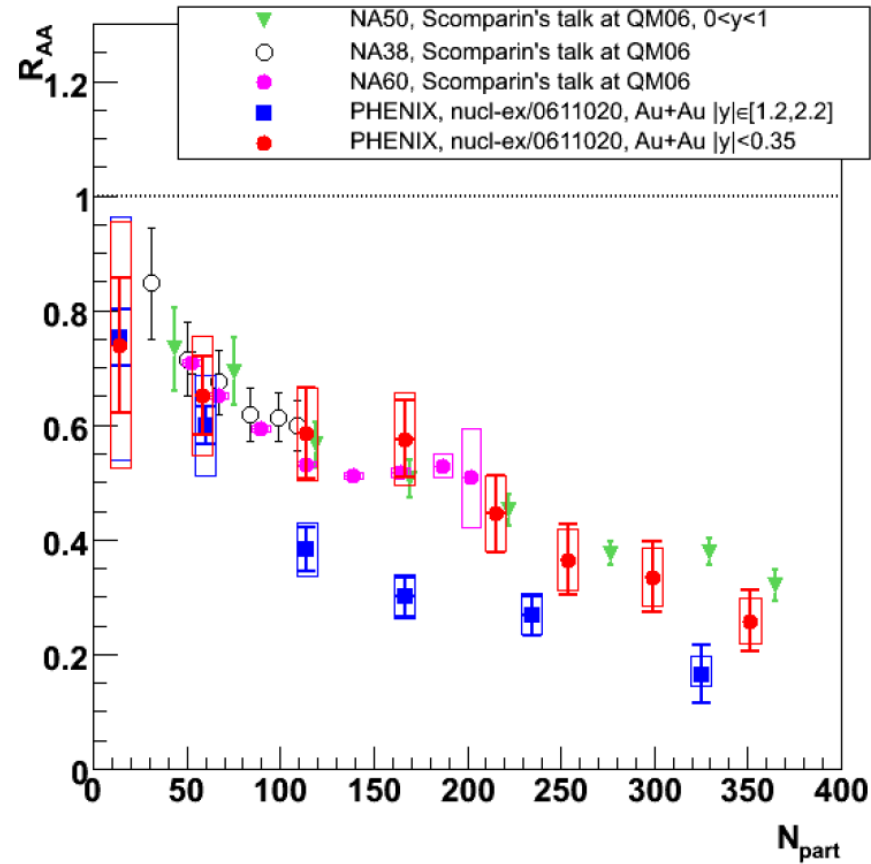
$R_y^{AA} < 1$  : Suppresion / Potlačení produkce

$R_y^{AA} > 1$  : Enhancement / Navýšení produkce

- pp srážky – „referenční hodnota“

Proč srovnávat A-A a pp srážky?

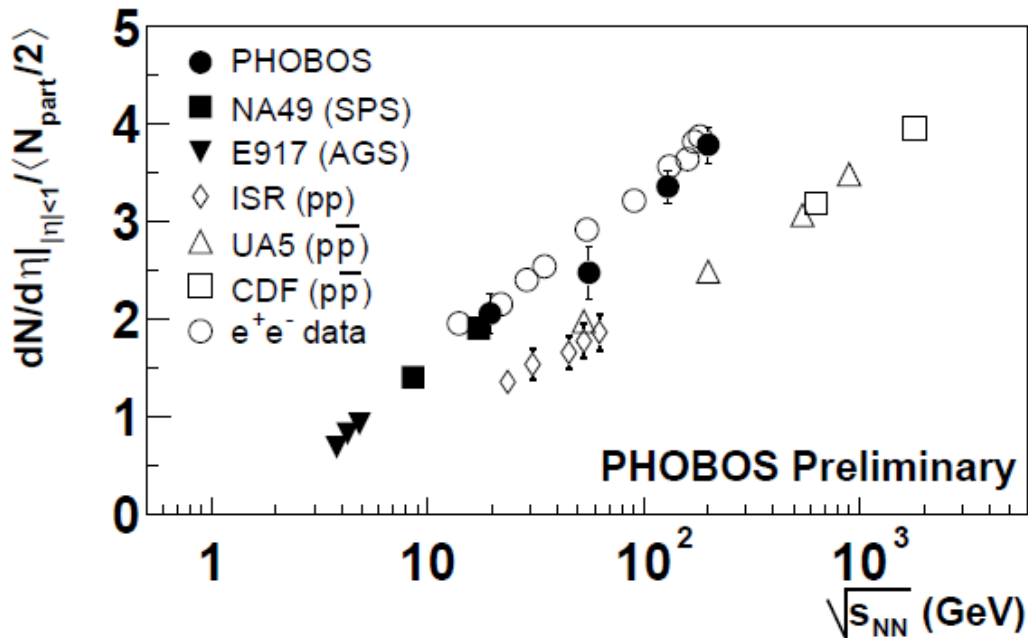
- Potlačení produkce  $J/\Psi$  v A-A srážkách  $\Rightarrow$  přítomnost QGP



Centrality ( $N_{part}$ ) dependence of  $J/\Psi$  production  $R^{AA}$  at SPS compared to RHIC. [3]

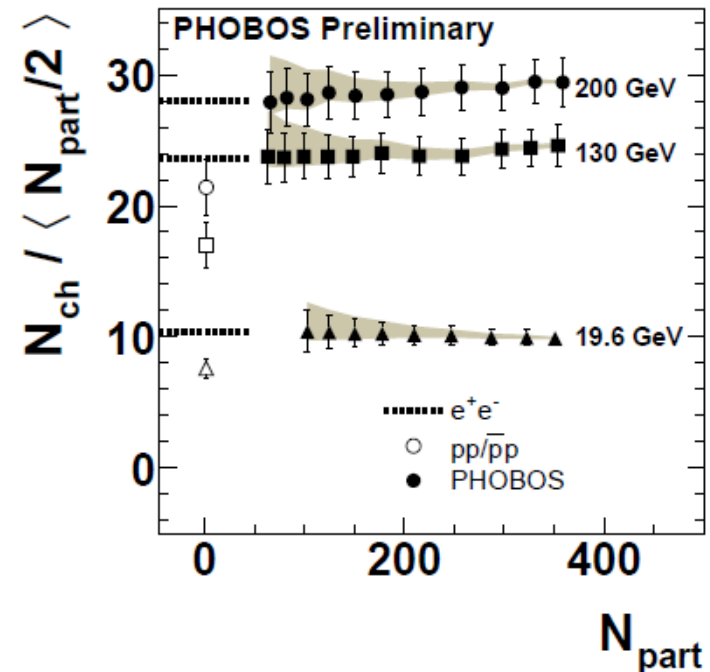


$$R^{AA} = 1.5 \text{ (RHIC)}$$



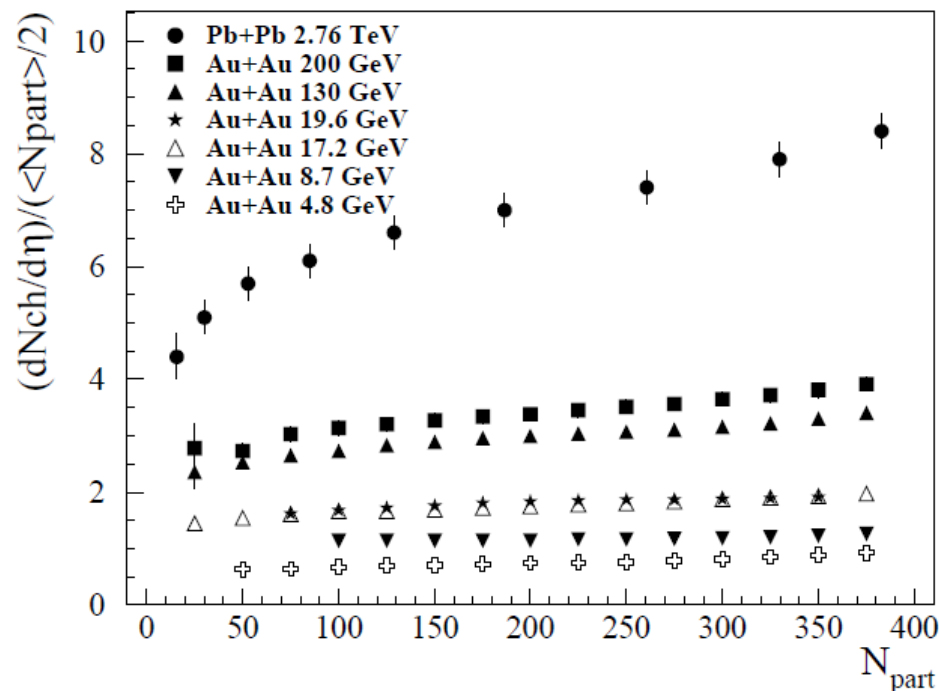
Charged hadron rapidity density at mid-rapidity vs.  $\sqrt{s}$ , compiled from  $e^+e^-$ ,  $pp$ ,  $p\bar{p}$  and A+A collisions.

$$R^{AA} = 1.36$$



The total number of charged hadrons per participant pair shown as a function of  $N_{part}$  in Au+Au collisions at three RHIC energies.

- Rostoucí  $N^{ch}$  s narůstající centralitou A-A srážek



Charged particle density at midrapidity in A+A collisions at AGS, SPS, and RHIC energies [2]

# Děkuji za pozornost !

## Reference

- M. KLIEMANT, R. SAHOO, T. SCHUSTER a R. STOCK: Global Properties of Nucleus-Nucleus Collisions. 2008.
- [2] M. PETROVICI, I. BERCEANU, A. POP, C. ANDREI, A. HERGHELEGIU: Centrality dependence of mid-rapidity charged particles density in relativistic heavy ion collisions - energy scaling. 2013
- [3] E. T. ATOMSSA (PHENIX Collaboration), arXiv:0805.4562v1 [nucl-ex]. 2008