

Global Properties of Nucleus-Nucleus Collisions

Michael Kliemant
Raghunath Sahoo
Tim Schuster
Reinhard Stock

Obsah

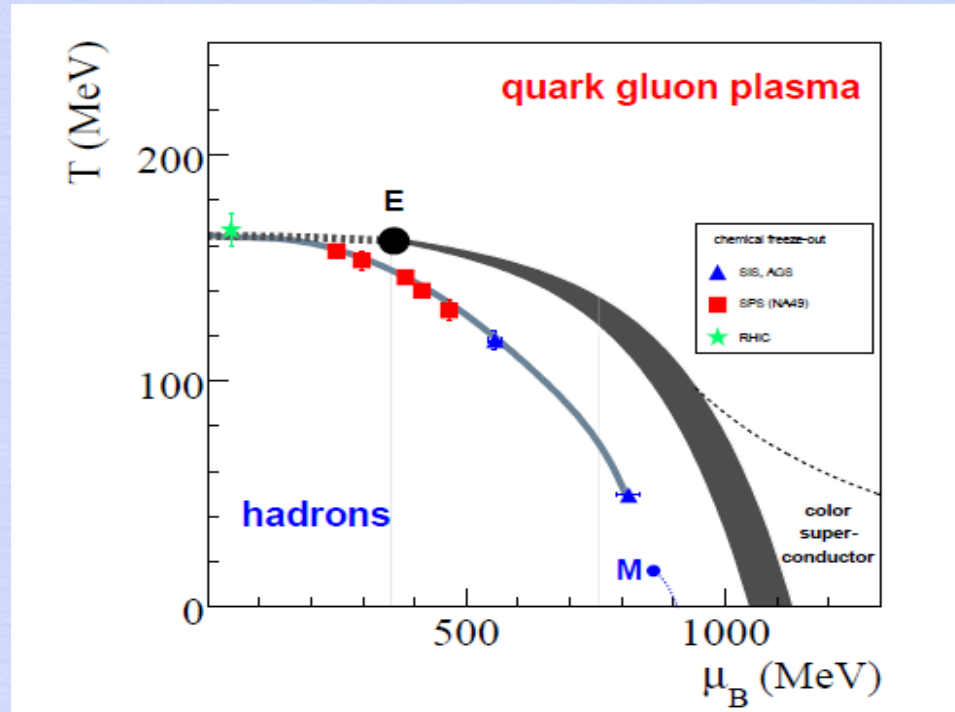
- fázový diagram hmoty
- rozvoj relativistickej kolízie
- meranie vlastností QGP

- premenné sv. kužel'a
- hybnosť
- rapidita
- pseudorapidita
- luminosita
- centralita

1 Úvod

- vytvorenie QGP zrážkami ťažkých jadier ultrarel. energií
- fázový prechod medzi confined q. a deconfined h.
- pre baryonovú hustotu ≈ 0 (podmienky V. tresku):
 - $\epsilon \approx 1 \text{ GeV}/\text{fm}^3$, $T_{\text{crit}} \approx 170 \text{ MeV}$
- Potrebná energia zrážky $\sqrt{s} \geq 10 \text{ GeV}$
 - CERN SPS: 20 GeV
 - BNL RHIC: 200 GeV
 - CERN LHC: 5.5 TeV
- baryo-chemický potenciál μ_B : energia potrebná na pridanie baryónu do systému
 - $\mu_B \rightarrow 0$: malý nadbytok baryónov nad antibaryónmi

1 Fázový diagram



QCD fázový diagram hmoty, v $[T, \mu_B]$ rovine

- kritický bod E
 - pri malom μ_B : cross-over prechod
 - body hadro-chemického freeze-out
- prevláda ohrievanie hmoty vs. kompresia hmoty

1 Fázový diagram

- limity existencie hadrónovej fázy
 - zvýšenie teploty (pre $\mu_B \rightarrow 0$: T_c)
 - zvýšenie hustoty: $\rho > 0.16 \text{ B}/\text{fm}^3$ (cold compression)
- kritický bod $200 < \mu_B < 500 \text{ MeV}$
 - prechod prvého druhu
 - rýchly cross-over prechod (podmienky prvotnej fázy expanzie vesmíru)
- poloha kritického bodu: výskum
- pre nízke μ_B : tvorba hadrónov splýva s hadrónovým freeze-out

1 Rozvoj relativistickej kolízie

- ťažké jadrá $A \approx 200$
- transversálny rozmer prvotného interakčného objemu nepresiahne 8 fm
- koniec silne interakcie po $20 \text{ fm}/c$

1. fáza

- prelínanie urýchlených jadier
- rozbitie baryónov na partóny (nadobúdajú virtuálnu hmotnosť)

2. fáza

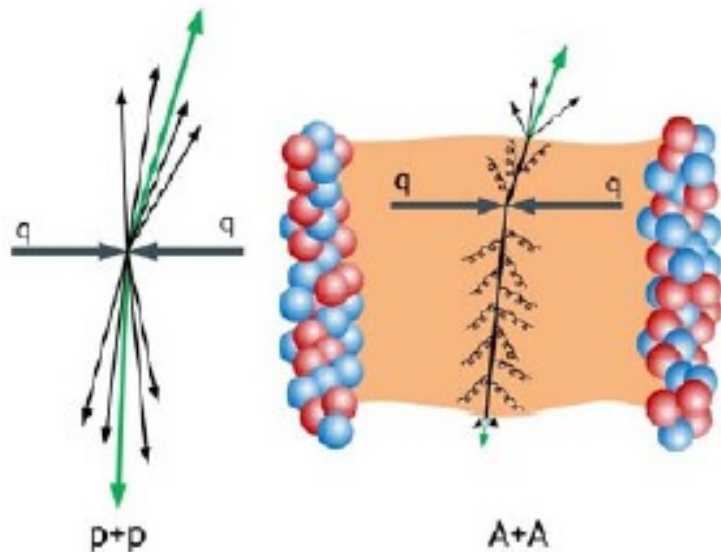
- priblíženie k rovnováhe: QGP

3. fáza

- expanzia systému a jeho rozpadu
- formovanie hadrónov a ich rezonancií, freeze-out
- konečná expanzia, ukončenie silných interakcií

1 Možnosti skúmania QGP

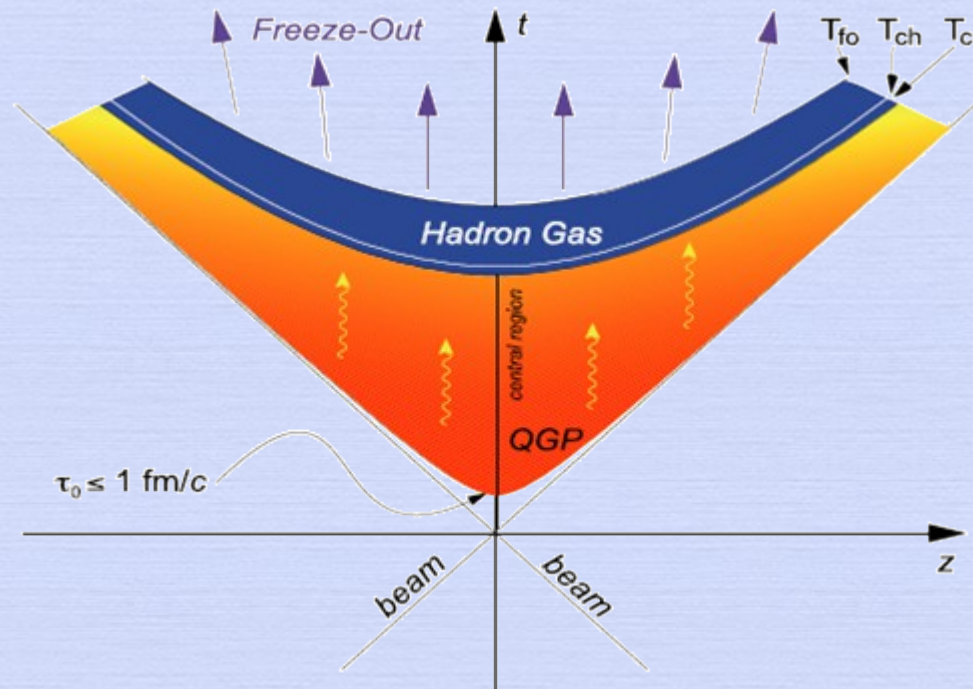
1. pozorovanie J/Ψ , Υ
 - tieto mezóny pochádzajú z prvotnej produkcie charmonií a bottomonií
 - zanikajú pri určitých teplotných podmienkach v deconfined QGP
2. pozorovanie jetov vzniknutých zo zrážky vysokonergetických partónov
3. produkcia termálnej emisie častíc
4. vyvážená distribúcia častíc (hadronový freeze-out)
 - zvýšená produkcia podivných kvarkov



Zhášanie jetov – porovnanie $p+p$ a $A+A$ zrážok, potlačanie produkcie častíc s vysokým p_T

2 Premenné svetelného kužela

- Lorentzove transformácie
- častica je charakterizovaná 4-hybnosťou: $p_\mu = (E, \mathbf{p})$
- svetelný kužel ($\tau^2 = t^2 - z^2 = 0$): x_+, x_-, y, η
- time-like, space-like oblasť
- „light-like“ častica



2 Hybnosť

- častica (p_0, \mathbf{p}_T, p_z)
- forward light cone momentum:

$$p_+ = p_0 + p_z$$

- backward light cone momentum:

$$p_- = p_0 - p_z$$

- výhody:

- p_+ sa transformuje konšt. faktorom
- „dcérska“ častica c z b :

$$x_+ = \frac{c_+}{b_+}$$

- vždy pozitívny, Lorentzov invariant
- meranie hybností porovnávaním ref. častíc

2 Rapidity

$$y = \frac{1}{2} \ln\left(\frac{E + p_z}{E - p_z}\right)$$

- pri transformácií sa mení pozitívnu aditívnu konš.
- č. „on the mass shell“ $E^2 = p^2 + m^2$:

$$E = m_t \cosh(y)$$

$$p_z = m_t \sinh(y)$$

$$\text{kde } m_t^2 = m^2 + \mathbf{p}_t^2$$

- rapidita CMS v LS:

$$y_{cm} = \frac{1}{2} \ln\left(\frac{1 + \beta_{cm}}{1 - \beta_{cm}}\right)$$

- konšt. pre L. transf.
- vzťah rapidity v LS a v CMS:

$$y = y^* + y_{cm}$$

2 Rapidita

Vzt'ah rapidity a r'ychlosti

Energia: $E = \gamma m$

Pozd'izna hybnost': $p_z = \gamma \beta m$

$$y_\beta = \frac{1}{2} \ln\left(\frac{1+\beta}{1-\beta}\right) = \beta + O(\beta^2)$$

Rapidita zv'azku

Energie zv'azku: $E = \frac{\sqrt{s_{NN}}}{2}$

$$y_b = \cosh^{-1}\left(\frac{\sqrt{s_{NN}}}{2m_N}\right)$$

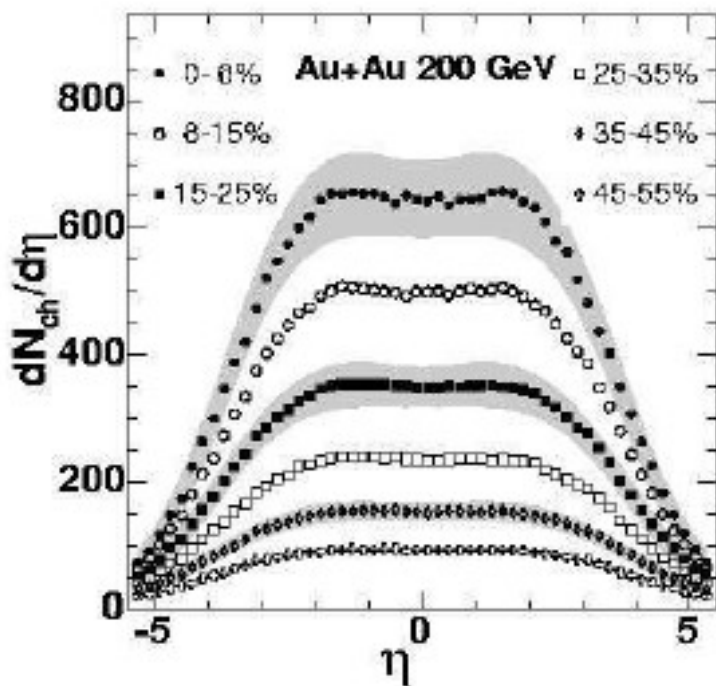
Rapidita CMS v z'av. na y projektilu b a cie'la a

$$y_{cm} = \frac{1}{2}(y_a + y_b) + \frac{1}{2} \ln\left(\frac{m_a e^{y_a} + m_b e^{y_b}}{m_a e^{y_b} + m_b e^{y_a}}\right)$$

2 Pseudorapidita

- častica emitovaná pod uhlom θ voči osi zväzku
- pri vysokých energiách:

$$y = \frac{1}{2} \ln \frac{p + p \cos(\theta)}{p - p \cos(\theta)} = -\ln \left(\tan \frac{\theta}{2} \right) \equiv \eta$$



Stredná rapidita pre Au+Au pri

$$\sqrt{s_{NN}} = 200 \text{ GeV}$$

2 Premenné energie

Feynman scaling variable

$$x_F = \frac{p_L^*}{p_L^*(\max)} = \frac{2 p_L^*}{\sqrt{s}}$$

- pozdĺžna zložka účinného prierezu v CMS zrážky
- meriame $(d\sigma/dx_F)$ nezávislé na energií zrážky

Celková energia v CMS

$$\sqrt{s} = E_{cm} = \frac{E_{lab}}{\gamma_{cm}}$$

Energia v collider exp.

$$E_{cm} \simeq 2 E$$

Energia vo fixed-targeted exp.

$$E_{cm} \simeq \sqrt{2 m_{target} E_{projectile}}$$

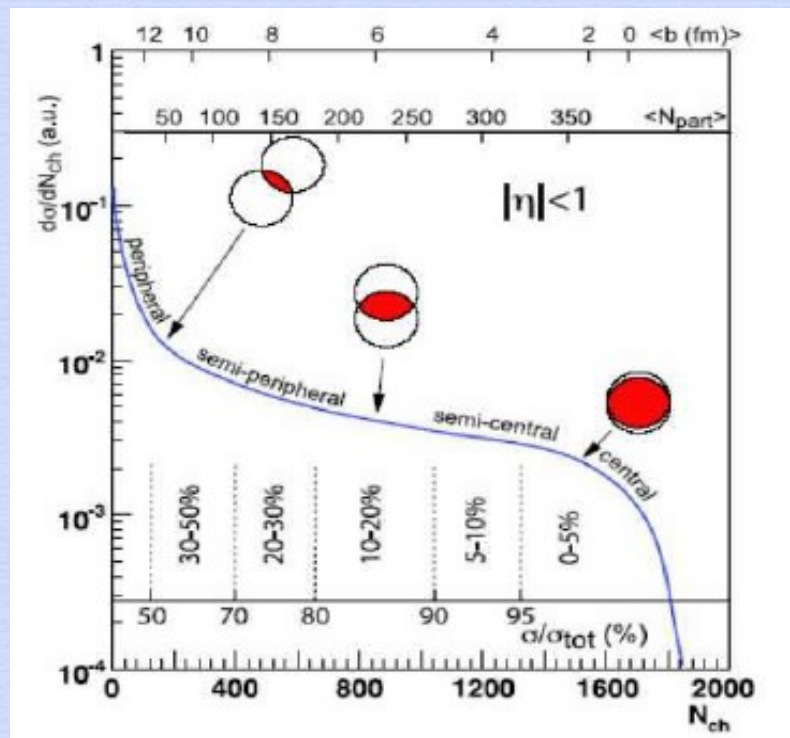
2 Luminosity

- reaction rate R
- revolution frequency f
- účinný prierez σ
- luminosity $L [cm^{-2}s^{-1}]$
- počet častíc v jednotlivých zväzkoch N_1, N_2
- počet zväzkov v jednom beame n
- plocha účinného prierezu A

$$R = \sigma L$$

$$L = fn \frac{N_1 N_2}{A}$$

2 Centralita zrážky



- impact parameter b (od 0 do $R_1 + R_2$)
 - $b=0$: head-on zrážka
 - uvoľnená energia je úmerná N_{part}
- particle multiplicity je úmerná zúčastneným nukleómom

2 Počet zúčastnených častíc

- nedá sa priamo zistiť

Glauberov model

- J-J zrážky sú superpozícia mnohých nezávislých N-N zrážok
- závislosť na „hustote jadra“ (Woods-Saxon)

Soft procesy

- prenos malej hybnosti, produkcia častíc s malou hybnosťou

Hard procesy

- vysoké hybnosti - jety, charmonia

ĎAKUJEM
ZA
POZORNOST

...a Katke Gajdošovej za rady a čas.

