

Studium substruktury jetů ve Au+Au srážkách v experimentu STAR

Autor: Monika Robotková

Vedoucí práce: RNDr. Jana Bielčíková, Ph.D.

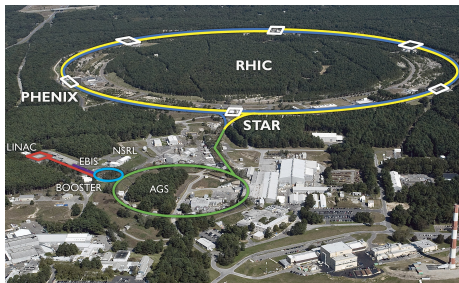
České vysoké učení technické
Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská

14. 1. 2020

- jety jsou dobrým nástrojem pro studium kvark-gluonového plazmatu (QGP)
- doposud bylo na jety nahlíženo především z hlediska inkluzivních vlastností
- v současné době se studium posunulo k diferenciálním vlastnostem, kdy zkoumáme především substrukturu jetu
- substrukturu je možné popsat kromě jiných například pozorovatelnou z_g (*jet splitting function*)
- modifikace z_g může vyjadřovat změny, které probíhají v substruktuře jetu během jeho potlačení v důsledku vzniku QGP
- při analýze srážek těžkých iontů je důležité zaměřit se také na odečet pozadí

Urychlovač RHIC a experiment STAR

- BNL - Brookhaven National Laboratory, Long Island, USA
- RHIC - Relativistic Heavy-Ion Collider
 - obvod: 3834 m
 - maximální těžišťová energie na nukleon-nukleonový pár při srážce Au+Au: 200 GeV
 - možnost provádění srážek A+A, p+p, d+A, polarizované p+p, pevný terčik
 - měření prováděno v širokém rozsahu energií
 - A+A: 7-200 GeV (pevný terčik od 3,5 GeV), p+p: do 500 GeV
- STAR - Solenoidal Tracker At RHIC
 - hmotnost: 1200 t
 - výška: 7 m



Experiment STAR

TPC - Time Projection Chamber

- rekonstrukce drah nabitých částic a jejich identifikace
- plná azimutální akceptance, $\eta \in \langle -1, 1 \rangle$

BEMC - Barrel Electromagnetic Calorimeter

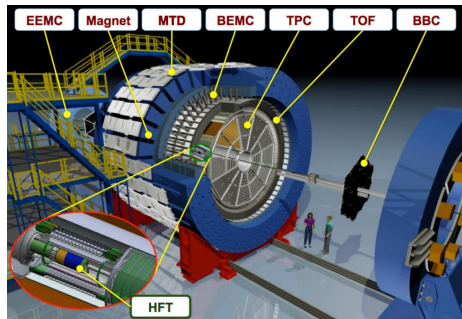
- měření deponované energie částic

HFT - Heavy Flavor Tracker

- rekonstrukce sekundárního vrcholu srážky, umožňuje rekonstrukci hadronů obsahujících těžký kvark (c nebo b)
- skládá se ze tří poddetektorů: SSD, IST a PXL

VPD - Vertex Position Detector

- slouží k určení místa srážky



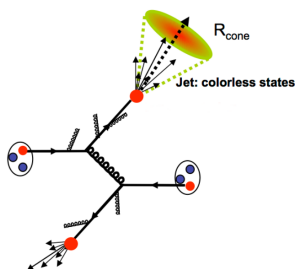
- kolimovaná sprška hadronů vznikající při hadronizaci kvarků nebo gluonů při tvrdém rozptylu
- jety definujeme pomocí algoritmů
- nejvíce používané sekvenčně rekombinační algoritmy
 - k_T algoritmus
 - anti- k_T algoritmus
 - Cambridge/Aachen (C/A) algoritmus

anti- k_T algoritmus

- $d_{ij} = \frac{\min(1/p_{Ti}^2, 1/p_{Tj}^2)\Delta R_{ij}^2}{R}$, $d_{iB} = 1/p_{Ti}^2$
- klastrování začíná od částic s nejvyšší příčnou hybností

C/A

- $d_{ij} = \Delta R_{ij}^2/R^2$, $d_{iB} = 1$
- vytvoří se struktura seřazená podle úhlů



d_{ij} - vzdálenost částic i a j
 d_{iB} - vzdálenost částice i od svazku
 p_T - příčná hybnost
 ΔR_{ij}^2 - vzdálenost částic
 R - rozlišovací parametr

- technika používaná k deklasterizaci jetu
 - ① reklasterizace složek jetu C/A algoritmem
 - ② rozdělení jetu na dva subjety zpětným provedením posledního kroku C/A algoritmu
 - ③ postupná deklasterizace větvící historie jetu a "zbavování" se subjety do chvíle, než splňují podmínku

$$\frac{\min(p_{T,1}, p_{T,2})}{p_{T,1} + p_{T,2}} > z_{cut} \theta^\beta,$$

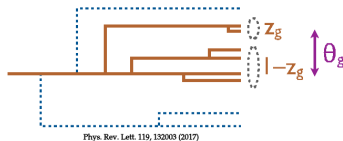
$$\text{kde } \theta = \frac{\Delta R_{12}}{R}$$

p_{T1}, p_{T2} - příčné hybnosti příslušných subjety

z_{cut} - "threshold"

β - úhlový exponent

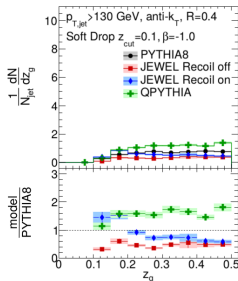
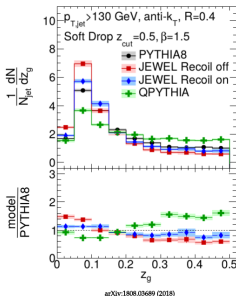
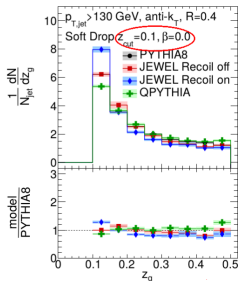
ΔR_{12} - vzdálenost mezi příslušnými subjety



Pozorovatelná z_g

- "shared momentum fraction" nebo také "jet splitting function"

$$\frac{\min(p_{T,1}, p_{T,2})}{p_{T,1} + p_{T,2}} \equiv z_g$$



- grafy pro různé volby β a z_{cut} , kde $R = 0,4$

Metody odečtu pozadí

- ve srážkách těžkých iontů tvoří velkou část nasbíraných dat nechtěné pozadí
- existuje několik metod, z nichž každá má různé chování a využití
- některé metody odečítají částice na úrovni celé události, jiné na úrovni jetu
- metody se liší také v tom, zda ovlivňují vnitřní struktury jetu, či nikoliv
- *Area-based subtraction, Constituent background subtraction, Soft Killer, ...*

Area-based subtraction

- korekce na střední hodnotu hustoty pozadí pro příčnou hybnost jetu $p_{T,jet}^{raw,ch}$

$$p_{T,jet}^{corr,ch} = p_{T,jet}^{raw,ch} - A \cdot \rho$$

A - plocha jetu

ρ - střední hustota pozadí definovaná pro každý event

$$\rho = \text{med} \left\{ \frac{p_{T,jet}^i}{A_i} \right\}$$

i - index, který jde přes všechny jety v eventu

- po aplikování této metody můžeme také dostat jety se zápornou příčnou hybností

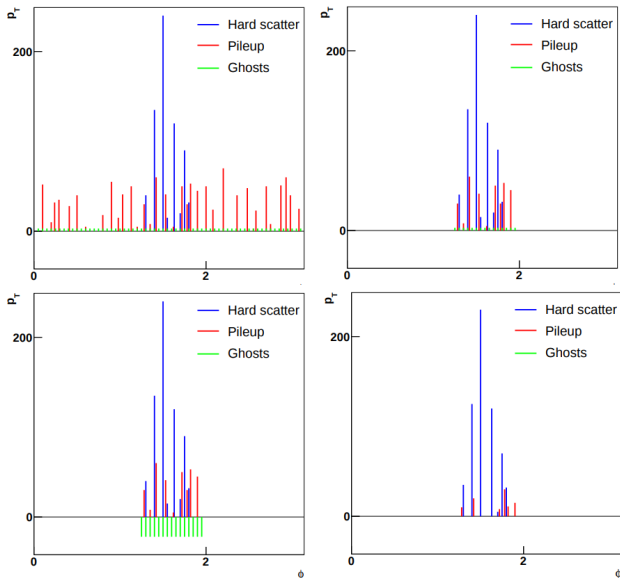
Constituent background subtraction

- nejprve je v celém eventu opět určena hodnota ρ
- do eventu jsou poté rovnoměrně přidány tzv. "ghost particles"
- následně proběhne klasterizace jetu a nastavení p_T zbylých "ghost particles" na negativní hodnotu, která koresponduje s ρ
- fáze párování "ghost particles" s naměřenými částicemi podle následujícího vzorce

$$\Delta R_{i,k} = p_{T,i}^{\alpha} \cdot \sqrt{(y_i - y_k^g)^2 + (\psi_i - \psi_k^g)^2}$$

- párování probíhá od nejnižší hodnoty $\Delta R_{i,k}$, po spárování jsou částice s negativní příčnou hybností z eventu vyloučeny
- procedura končí při dosažení $\Delta R_{i,k} > \Delta R_{max}$
- dva parametry α a ΔR_{max}
- tato metoda může probíhat na úrovni celého eventu nebo na úrovni jetů

Constituent background subtraction



- metoda spočívá v odečítání částic s nízkým p_T
- nejprve je rovina y - φ rozdělena na mřížku o hraně a
- opět definujeme střední hustotu pozadí

$$\rho = \text{med} \left\{ \frac{p_T^i}{A_i} \right\}$$

i - index přes všechny prvky mřížky

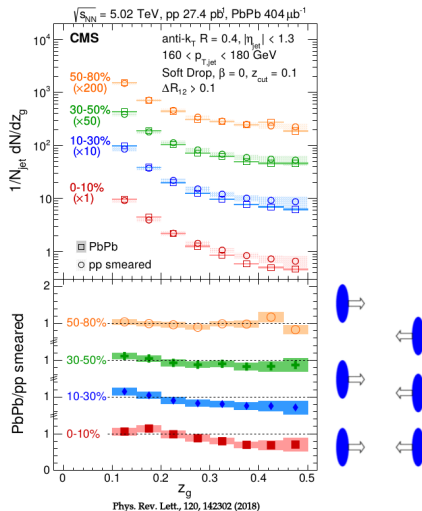
- v každém prvku mřížky je určena částice s nejvyšší příčnou hybností - $p_{T,i}^{max}$
- tzv. "threshold" p_T^{cut} je určen následujícím způsobem

$$p_T^{cut} = \text{med}\{p_{T,i}^{max}\}$$

- z eventů jsou vyloučeny všechny částice s $p_T < p_T^{cut}$, takže polovina prvků mřížky zůstane prázdná a výsledné ρ bude rovno nule

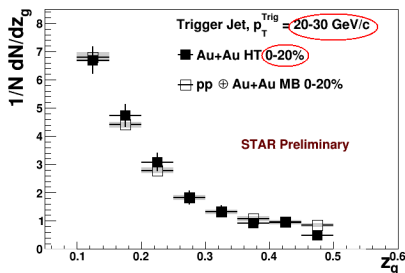
První měření z_g v Pb+Pb srážkách na CMS

- nekorigovaná spektra
- měření pro vyšší příčné hybnosti a různé centrality
- v centrálních srážkách pozorována modifikace z_g

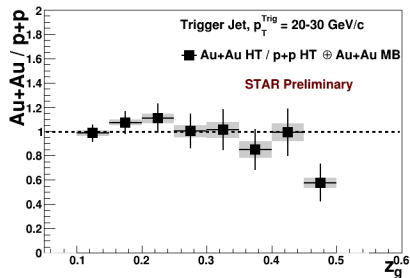


První měření z_g v Au+Au srážkách na STAR

- data z roku 2007
- nekorigovaná spektra



K. Kauder - Quark Matter (2017)



- není pozorována žádná signifikantní modifikace z_g
 - místo, kde je měřeno z_g se možná nachází mimo médium
 - pozorovatelná z_g možná vůbec není ovlivněna médiem

Kritéria výběru událostí a drah částic

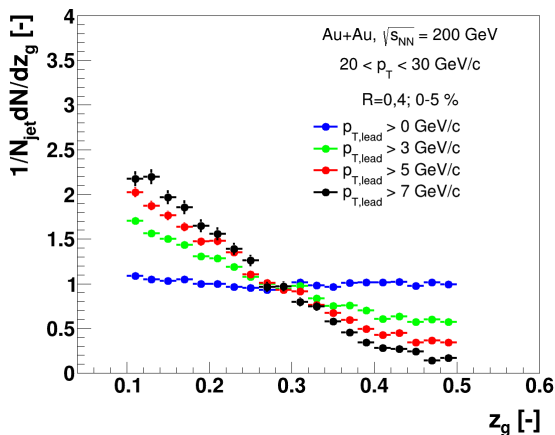
- VPD Minimum bias trigger
- pozice primárního vertexu: $|z_{vertex}| < 30$ cm
- počet bodů pro fitování dráhy částice: > 14
- vzdálenost nejmenšího přiblížení dráhy k primárnímu vertexu: < 1 cm
- příčná hybnost drah: $0,2 \text{ GeV}/c < p_T < 30 \text{ GeV}/c$

Rekonstrukce jetů

- použít anti- k_T algoritmus
- příčná hybnost jetů: $p_T > 10 \text{ GeV}/c$
- rozlišovací parametr: $R \in \{0,2; 0,3; 0,4; 0,5\}$
- minimální hodnota příčné hybnosti nejenergetičtějšího konstituentu jetu:
 $p_{T,lead} > \{0,3,5,7\} \text{ GeV}/c$
 - toto kritérium slouží k omezení vlivu pozadí
- parametry procedury Soft Drop: $z_{cut} = 0,1, \beta = 0$

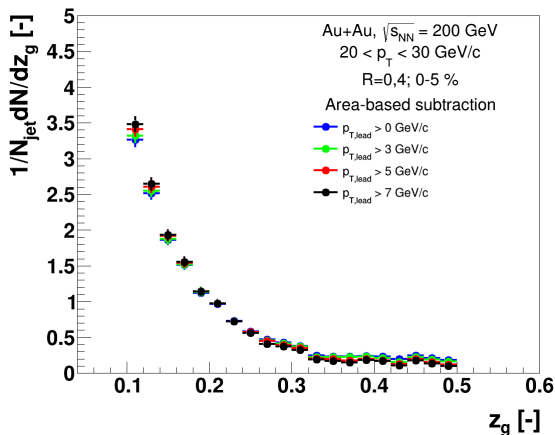
z_g spektrum v Au+Au srážkách

- $R = 0,4$
- $20 \text{ GeV}/c < p_T < 30 \text{ GeV}/c$
- centralita 0-5 %
- spektrum bez odečtu pozadí



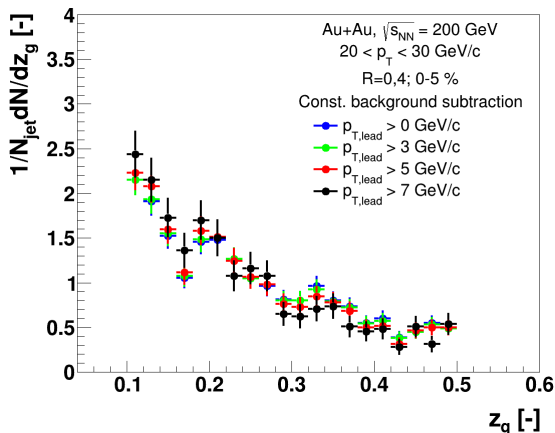
z_g spektrum v Au+Au srážkách s odečtem pozadí

- $R = 0,4$
- $20 \text{ GeV}/c < p_T < 30 \text{ GeV}/c$
- centralita 0-5 %
- použitá metoda odečtu pozadí je *Area-based subtraction*



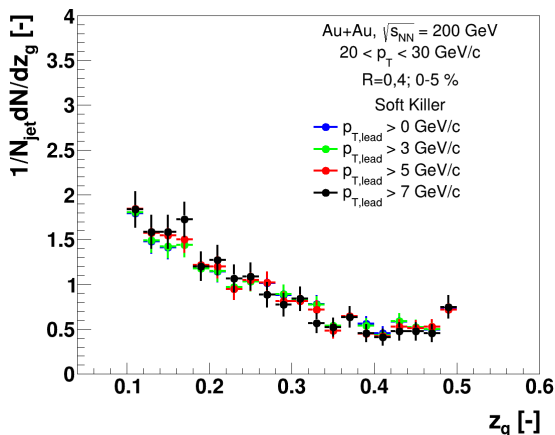
z_g spektrum v Au+Au srážkách s odečtem pozadí

- $R = 0,4$
- $20 \text{ GeV}/c < p_T < 30 \text{ GeV}/c$
- centralita 0-5 %
- použitá metoda odečtu pozadí je *Constituent background subtraction* ($\alpha = 2, \Delta R_{max} = 0,5$)



z_g spektrum v Au+Au srážkách s odečtem pozadí

- $R = 0,4$
- $20 \text{ GeV}/c < p_T < 30 \text{ GeV}/c$
- centralita 0-5 %
- použitá metoda odečtu pozadí je *Soft Killer* ($a = 0,4$)



Doposud provedeno

- provedena rekonstrukce jetů v datech z Run 14, použití techniky Soft Drop a vytvoření nekorigovaných spekter pozorovatelné z_g
- použity různé metody odečtu pozadí

Další postup

- aplikování dalších metod odečtu pozadí a jejich kvalitativní porovnání (vytvoření tzv. *response matrices*)
- dvourozměrná dekonvoluce v p_T a z_g

Děkuji za pozornost!



Young Minds



WE WANT YOU!