

# Modifikace spekter částic jadernou hmotou na experimentu ALICE v CERNu

M. Kočí<sup>1</sup>

M. Novotná<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Gymnázium, Strakonice, Máchova 174

<sup>2</sup>Gymnázium a hudební škola, ZUŠ, Praha 3, Komenského náměstí 9

<sup>1</sup>milan.koci5@seznam.cz

<sup>2</sup>novkacz@seznam.cz

## Abstrakt:

Naším cílem je analýza dat srážek dvou protonů (pp srážka) nebo dvou jader olova (PbPb srážka) z experimentu ALICE na urychlovači LHC v CERNu. Určíme modifikaci energetických spekter částic z obou typů srážek, abychom prokázali vznik kvark-gluonového plazmatu (QGP) při PbPb srážkách. Naše výsledky jsou zachyceny v grafech udávajících různé vlastnosti srážek a shodují se s teoretickými předpoklady.

## 1 Úvod

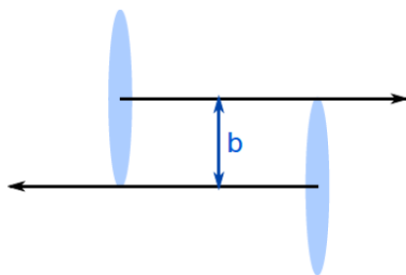
Kvark-gluonové plazma (QGP) je skupenství hmoty, které vzniká při extrémně vysoké hustotě energie. Předpokládá se, že existovalo asi 20–30  $\mu\text{s}$  po Velkém třesku. Stejně jako běžná hadronová hmota, QGP obsahuje kvarky a gluony, částice jsou však tak blízko u sebe, že nejsou vázané silnou jadernou interakcí a kvarky tak zůstávají uvolněné (nevznikají zde ani mezony – páry kvark-antikvark, ani baryony – trojice kvarků).

Úkolem experimentu ALICE (A Large Ion Collider Experiment) na urychlovači LHC (Large Hadron Collider) v CERNu je výzkum tohoto plazmatu, které může vznikat při PbPb srážkách.

## 2 Modifikace spekter částic

### Centralita

Oproti protonům jsou jádra olova mnohonásobně větší, a tak je potřeba uvažovat tzv. geometrii srážky. Parametr popisující tuto geometrii je parametr srážky  $b$ , což je příčná vzdálenost středů obou jader olova, která se srážky účastní.



Obrázek 1: Parametr srážky  $b$  je příčná vzdálenost středů obou jader olova. Převzaté z [1].

Podle hodnoty tohoto parametru lze srážky rozdělit na centrální (malá hodnota  $b$ ), semicentrální a periferní (vysoká hodnota  $b$ ).

Centralita srážky se udává v procentech, kde 100 % centralita znamená, že se jádra minula – ke srážce vůbec nedošlo.

U PbPb srážky rozdělujeme nukleony na účastníky srážky a „diváky“, tedy nukleony, které se srážky přímo neúčastní. Platí, že čím nižší je centralita, tím více nukleonů se účastní srážky.

## Příčná hybnost

Veličinou, která pomáhá k popisu srážek, je příčná hybnost  $p_t$  částic, která je složkou hybnosti částice v rovině kolmou k ose svazku (směr pohybu srážených částic).

## Jaderný modifikační faktor $R_{AA}$

Jaderný modifikační faktor  $R_{AA}$  je veličina, která popisuje rozdíl mezi produkcí částic vzniklých při pp srážkách a srážkách olověných jader. Definice  $R_{AA}$  je

$$R_{AA} = \frac{Y(PbPb)}{\langle N_{coll} \rangle Y(pp)},$$

kde  $Y(PbPb)$  je počet částic vzniklých při PbPb srážkách a  $Y(pp)$  označuje počet částic vzniklých při pp srážkách.  $\langle N_{coll} \rangle$  je střední počet srážek nukleon-nukleon, protože olovo má 208 nukleonů. Je-li hodnota  $R_{AA} < 1$ , pak je vznik některých částic potlačen QGP.

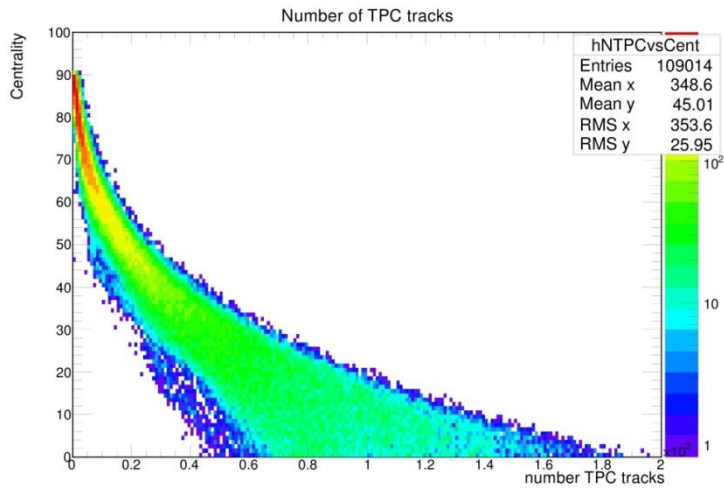
## $R_{CP}$ faktor

Namísto dat z pp srážek můžeme při výpočtu jaderného modifikačního faktoru také použít data z periferních PbPb srážek (tedy srážek s centralitou 70-80 %). Takové veličině se pak říká  $R_{CP}$  faktor.

## 3 Analýza dat z experimentu ALICE

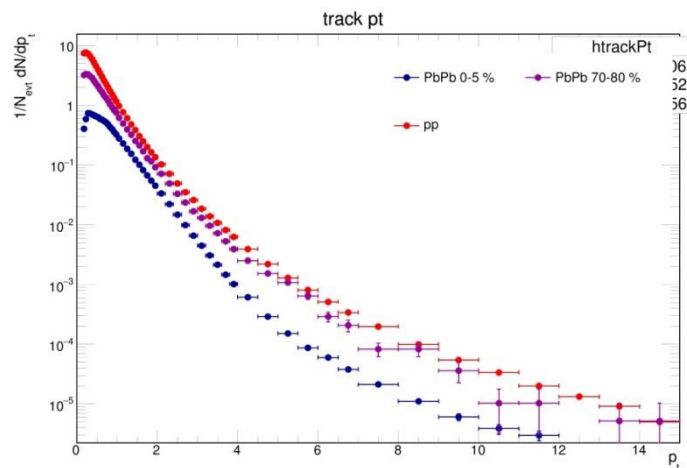
Data, se kterými jsme pracovali, byla naměřena na experimentu ALICE na urychlovači LHC v CERNu. Analýza dat byla provedena pomocí softwaru ROOT, který je běžně používán vědci v CERNu.

Na Obr. 2 vidíme závislost počtu drah TPC na centralitě pro PbPb srážky. Z grafu je patrné, že při nižší centralitě vzniká méně částic než při centralitě vyšší.



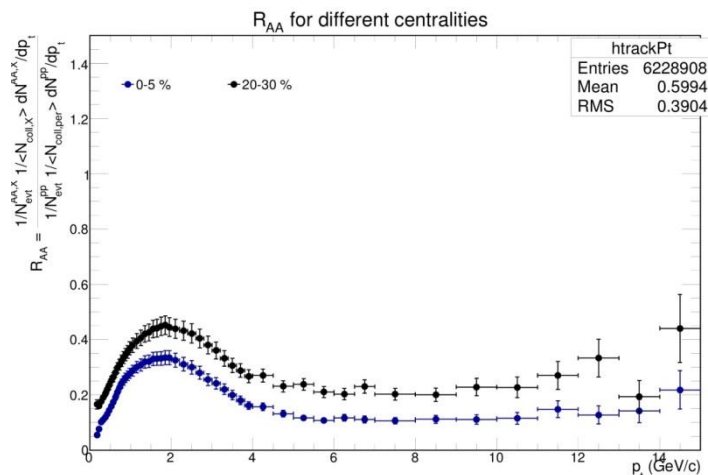
Obrázek 2: Závislost počtu drah na centralitě srážky.

Obrázek 3 zobrazuje průměrný počet vzniklých částic na jednu srážku s konkrétní příčnou hybností. S centralitou klesá počet vzniklých částic s danou hybností, což je zřejmě způsobeno potlačením těchto částic kvark-gluonovým plazmatem.



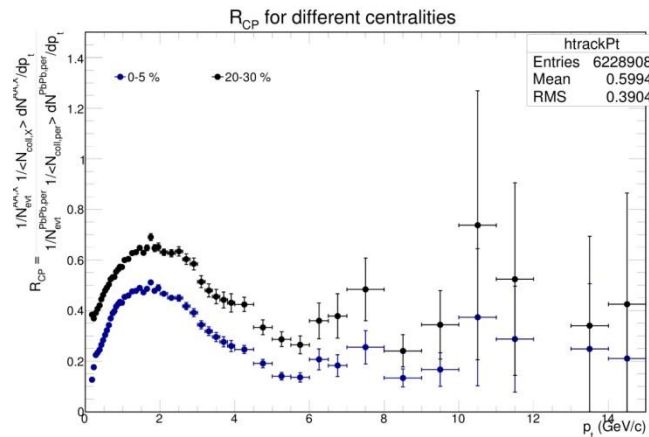
Obrázek 3: Distribuce příčné hybnosti částic  $p_t$  pro různé druhy srážek.

Obrázek 4 znázorňuje závislost jaderného modifikačního faktoru  $R_{AA}$  na příčné hybnosti. Nejvyšších hodnot dosahuje při hybnosti kolem 2 GeV/c a to u obou centralit. Nikdy však nedosahuje hodnoty 1 či vyšší, což dokazuje vznik QGP při těchto srážkách.



Obrázek 4: Závislost  $R_{AA}$  faktoru na příčné hybnosti částic  $p_t$ .

Na Obr. 5 je závislost jaderného modifikačního faktoru  $R_{CP}$  na příčné hybnosti.  $R_{CP}$  faktor opět dosahuje nejvyšších hodnot při hybnosti kolem 2 GeV/c a nikdy nedosahuje hodnoty 1 či vyšší, jeho hodnota je však pro obě centrality o něco vyšší než hodnota  $R_{AA}$  faktoru. Hodnota  $R_{CP}$  i  $R_{AA}$  je při centrálnějších srážkách nižší než při srážkách s centralitou 20-30%.



Obrázek 5: Závislost faktoru  $R_{CP}$  na příčné hybnosti částic  $p_T$ .

## 4 Shrnutí

Provedli jsme analýzu různých vlastností srážek na experimentu ALICE na LHC v CERNu. Změřili jsme počet a vlastnosti částic v pp a PbPb srážkách. Výsledný jaderný modifikační faktor vycházel vždy nižší než 1 (nejnižší hodnoty nabýval pro nejnižší centralitu), čímž jsme prokázali vznik kvark-gluonového plazmatu při centrálních PbPb srážkách.

## Poděkování

Speciální poděkování patří našemu mentorovi Ing. Lukáši Kramárikovi za pomoc při řešení fyzikálních problémů a problémů při programování.

## Reference:

- [1] Averbeck, R. et al., Measurement of the nuclear modification factor  $R_{AA}$  with ALICE, dostupné z: <http://www-alice.gsi.de/masterclass/>, citováno: 21.6.2016.