

Modifikace spekter částic jadernou hmotou na experimentu ALICE

O. Kubů¹, G. Ponimatkin², J. Sláma³

¹Gymnázium Pelhřimov, Jirsíkova 244, Pelhřimov

²SPŠ Ostrov, Klínovecká 1197, Ostrov

³Gymnázium Opatov, Kontantinova 1500, Praha 11

kubka.slamak@seznam.cz

Supervizor: L. Kramárik

Abstrakt

Cílem naší práce je analýza dat srážek protonů nebo jader těžkých atomů z experimentu ALICE, naměřených na urychlovači LHC. Určíme modifikaci energetických spekter pro různé typy srážek, která slouží jako signál vzniku kvark-gluonového plazmatu. Výsledkem naší práce jsou data popisující jednotlivé typy srážek a jejich vlastnosti v přehledné grafické formě a důkaz vzniku kvark-gluonového plazmatu v určitých typech srážek. Naše výsledky se shodují s intuitivními odhady i se závěry částicových fyziků z CERNu.

1 Úvod

Na urychlovači LHC v CERNu dochází ke srážkám protonů a/nebo jader těžkých atomů, při nichž vzniká velmi hustá a horká hmota (tzv. kvark-gluonové plazma), která byla ve vesmíru velmi krátce po jeho vzniku. Na urychlovači LHC je mimo jiné i experiment ALICE, jehož cílem je studium právě této hmoty. K popisu vlastností této hmoty a srážek, díky nimž vzniká, slouží různé veličiny, které se budeme snažit získat analýzou dat z experimentu ALICE.

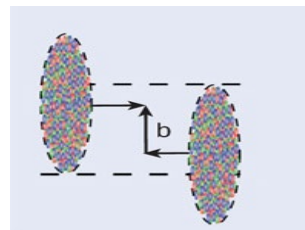
2 Modifikace energetických spekter

Teorie jaderných kolizí

Vznik produktů kolize nukleonů je silně ovlivněn energií srážky a množstvím nukleonů, které se srazí. Kolize dvou protonů (tzv. pp kolize) není ovlivněna kvark-gluonovým plazmatem, neboť tato srážka není dostatečně energetická, aby mohlo dojít k jeho vzniku. Při kolizi dvou jader olova (tzv. PbPb kolize) může docházet ke vzniku kvark-gluonového plazmatu a vzniklé produkty srážek jsou tím ovlivněny. Vlastnosti vzniklého kvark-gluonového plazmatu závisí na množství nukleonů, které kolidují. To je, logicky, závislé na tom, jak moc se jádra „překrývají“. Tuto vlastnost popisuje *centralita*. Udává se v procentech, kde 0% *centralita* znamená, že se jádra plně překrývají a 100% *centralita* znamená, že se jádra

minou. Na základě centrality můžeme kolize těžkých jader rozdělit do několika kategorií - centrální, semicentrální, semiperiferální a periferální. Na Obr. 1 můžeme vidět schéma PbPb kolize. Vidíme srážkový parametr b , jenž je přímo úměrný centralitě. Všimněme si, že v důsledku rychlosti jader blízké rychlosti světla dochází ke kontrakci délek, v tomto případě se jádra kontrahují na velmi tenký elipsoid ve směru pohybu.

Čím menší je centralita, tím více nukleonů koliduje a tím více kvark-gluonového plazmatu může vzniknout. To má tlumivé účinky - jelikož se jedná o velmi hustou hmotu, ne všechny vzniklé částice z kolize se dostanou do detektorů (jsou pohlceny kvark-gluonovým plazmatem). Tedy, dojde-li ke kolizi např. 100 nukleonů, nezískáme 100krát více vzniklých částic než při pp kolizi. Tuto vlastnost popisuje jaderný modifikační faktor R_{AA} .



Obrázek 1: PbPb kolize.

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

kde $Y(PbPb)$ a $Y(pp)$ jsou počty vzniklých částic PbPb kolizí, respektive pp kolizí, $\langle N_{coll} \rangle$ je počet kolidujících nukleonů.

Princip měření a zpracování dat

Využitím výukového programu ALICE MasterClasses jsme získali vstupní data pro naši analýzu. Vstupní data jsme rozdělili na 10 tříd centrality a pro každou třídu jsme vyhodnotovali několik věcí - jaderný modifikační faktor R_{AA} , počet detekovaných vzniklých částic, rozdělení příčné hybnosti vzniklých částic a další. Nakonec jsme všechny data spojili do společných grafů, abychom mohli vlastnosti kolizí porovnat mezi sebou v závislosti na třídě centrality.

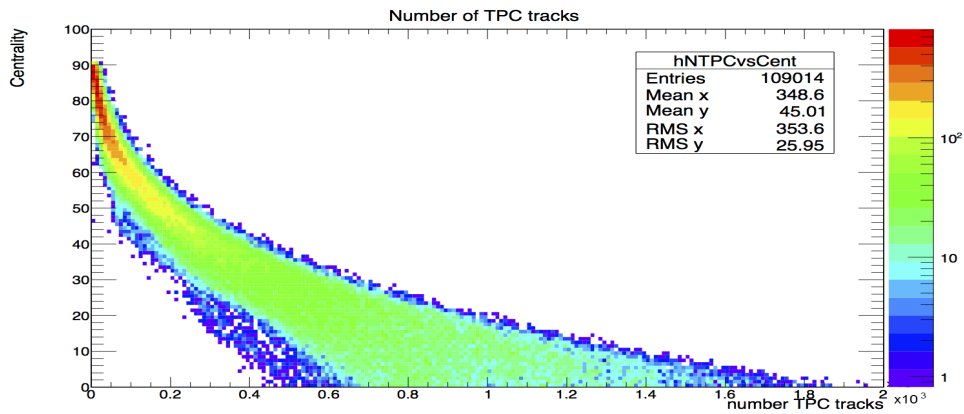
Výsledky analýzy dat

Výsledkem naší práce je charakteristika vlastností jednotlivých energetických spekter. Jednotlivé vlastnosti si můžeme prohlédnout na následujících grafech.

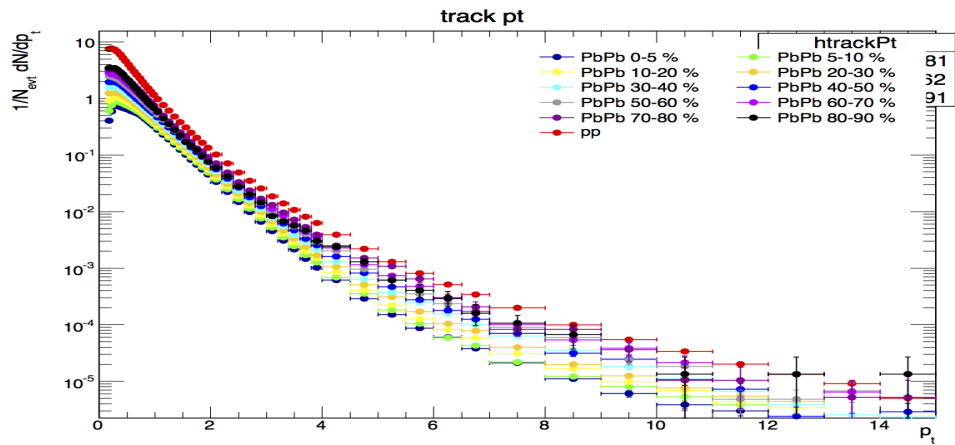
Na Obr. 2 vidíme počet srážek v závislosti na centralitě a na počtu vzniklých částic. Všimněme si, že se vzrůstajícím počtem detekovaných drah klesá počet eventů, které tento počet drah měly.

Na Obr. 3 vidíme, kolik vzniklo průměrně částic na jeden event s danou příčnou hybností, rozděleno podle centralit. Všimněme si, že s nižší centralitou (tj. větším překryvem jader) klesá průměrný počet částic na event, které dosáhly dané příčné hybnosti. To je důsledek potlačení způsobeného převážně vzniklým kvark-gluonovým plazmatem. Jak jsme zmiňovali výše, kvantitativně je potlačení popsáno jaderným modifikačním faktorem R_{AA} .

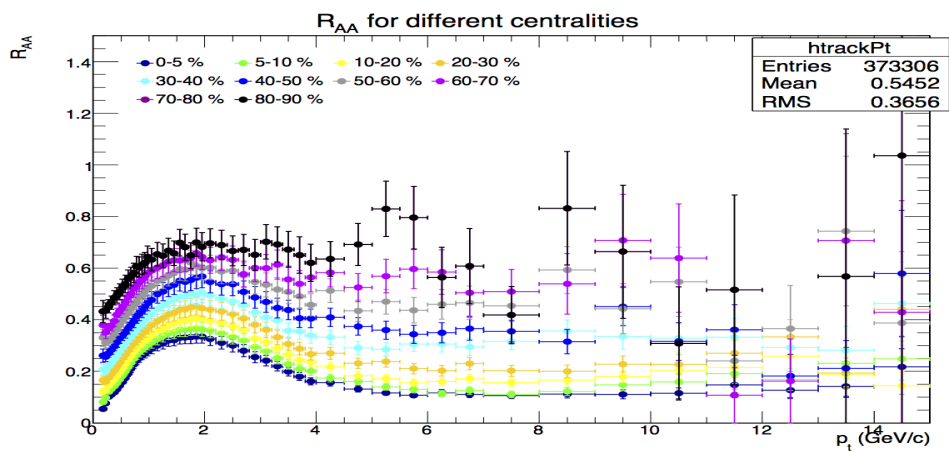
Závislost hodnoty jaderného modifikačního faktoru R_{AA} na hybnosti p_t pro různé centralitní třídy si můžeme prohlédnout na Obr. 4. Všimněme si, že nejnižších hodnot dosahuje pro malé centrality, takže potlačující účinky kvark-gluonového plazmatu jsou při nich nejvýraznější.



Obrázek 2: Počet srážek v závislosti na centralitě a počtu detekovaných drah.



Obrázek 3: Rozdělení příčné hybnosti p_t ($[GeV]$) pro různé centrality.



Obrázek 4: Závislost hodnoty jaderného modifikačního faktoru R_{AA} na příčné hybnosti p_t vzniklých částic pro různé centrality.

3 Shrnutí

Při kolizích dochází k potlačení vznikajících částic, které může být zapříčiněné vznikem kvark-gluonového plazmatu. Vzhledem k výstupům analýzy dat je vznik a výskyt kvark-gluonového plazmatu v těchto srážkách vysoce pravděpodobný. Výsledky naší analýzy se shodují s rozsáhlejšími analýzami dat z CERNu.

Poděkování

Závěrem bychom rádi poděkovali našemu supervizorovi za teoretický úvod do problému, odpovědi na naše otázky, ale hlavně za pomoc při zpracování a analýze dat.

Reference

- [1] R. Averbeck et al., *Measurement of the nuclear modification factor R_{AA} with ALICE*
Dostupné z: <http://www-alice.gsi.de/masterclass/>. Citované 19.5.2014.