

NEFOTONICKÉ ELEKTRÓNY NA EXPERIMENTE STAR

Katarína Gajdošová¹

¹*Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, České vysoké učení technické v Praze, Břehová 7,
115 19 Praha 1, +420721511505, gajdokat@fifi.cvut.cz*

Abstrakt

Kvarkovo-gluónová plazma (QGP) je husté a horúce médium, kde sa kvarky a gluóny voľne pohybujú. V laboratóriu sme schopní tieto podmienky vytvoriť v ultrarelativistických jadro-jadrových zrážkach na urýchľovačoch RHIC a LHC. QGP nemôžeme pozorovať priamo, len pomocou vlastností častíc, ktoré z nej vyletujú. Jednou z metód je štúdium nefotonických elektrónov (NPE), ktoré pochádzajú zo semileptonických rozpadov mezónov otvorených vôní obsahujúce ťažké kvarky c a b . V tomto príspevku diskutujeme meranie nefotonických elektrónov v experimente STAR v p+p a Au+Au zrážkach pri energii 200 GeV. Invariantné spektrum NPE z pp zrážok je konzistentné s hornou hranicou výpočtov z pQCD. V Au+Au zrážkach pozorujeme, pôvodne neočakávané, potlačenie produkcie nefotonických elektrónov s vysokou hustotou rovnakej veľkosti ako u hadrónov, ktoré vznikajú z ľahkých kvarkov.

KLúčové slová: kvarkovo-gluónová plazma; STAR; jadrový modifikačný faktor; nefotonické elektróny.

Úvod

Jedným z hlavných predmetov výskumu súčasnej časticovej fyziky je hustá a horúca jadrová hmota zložená z voľných kvarkov a gluónov nazývaná kvarkovo-gluónová plazma (QGP). Predpokladá sa, že toto médium vzniklo pri Veľkom Tresku, kedy prevládali vysoké teploty a hustoty. Aby sme kvarkovo-gluónovú plazmu mohli pozorovať v laboratóriu, je potrebné zraziť ťažké častice pri vysokej energii, čo je možné na urýchľovačoch ako napríklad Relativistický urýchľovač ťažkých jadier RHIC v BNL.

Vlastnosti jadrovej hmoty za týchto podmienok ale nie sme schopní skúmať priamo, pretože trvá len veľmi krátku dobu (rádovo fs). Keď teplota média klesne pod kritickú hodnotu $T=175$ MeV [1], nastáva fázový prechod medzi QGP a plynom z hadrónov, kedy sa voľné kvarky a gluóny zviažu do hadrónových stavov. Vzniknuté častice vyletujú z miesta zrážky, a vďaka ich interakcii s materiálmi detektoru ich dokážeme identifikovať a na základe ich vlastností späť zistiť, čo sa s kvarkami a gluónmi v QGP dialo.

Dôležitou časťou výskumu je štúdium ťažkých vôní, teda mezónov obsahujúcich jeden alebo dva ťažké c a b kvarky. Ťažké vône sú vhodnými sondami na skúmanie QGP, pretože vznikajú, pri dostatočnej energii, v ťažkých procesoch počas prvých fáz zrážky. Tým pádom sú prítomné vo všetkých nasledujúcich fázach. Vďaka tomu je ich konečný výťažok, ktorý meriame, ovplyvnený interakciami s QGP. Aby sme zistili vplyv QGP na produkciu častíc otvorených vôní, je potreba ich výťažok z jadro-jadrových zrážok, kde QGP vzniká, porovnať s výťažkom z protón-protónových zrážok, kde sa QGP nevyskytuje. Veličina používaná na určenie efektov QGP na produkciu častíc je jadrový modifikačný faktor R_{AA} , čo je podiel produkcie častíc v jadro-jadrových zrážkach k produkcii v protón-protónových zrážkach. Celý podiel je škálovaný prelínacou funkciou z Glauberovho modelu, ktorá vyjadruje počet nukleón-nukleónových zrážok pri danom zrážkovom parametri b . Zrážkový parameter vyjadruje vzdialenosť stredu dvoch zrážajúcich sa jadier [1].

$$R_{AA} = \frac{d^2 N_{AA} / dy dp_T}{\langle T_{AA} \rangle (b) d^2 \sigma_{pp} / dy dp_T}$$

Ak sa jadrový modifikačný faktor pohybuje okolo 1, znamená to, že nepozorujeme rozdiel v produkcii častíc v pp a AA zrážkach. Vtedy sa nepredpokladá, že by v počiatočnej fáze vývoja jadrovej hmoty po zrážke existovala QGP. Ak je R_{AA} nad 1, nazývame to navýšenie. Ak je R_{AA} naopak pod 1, je to potlačenie. Ak výsledný jadrový modifikačný faktor vykazuje potlačenie, znamená to možnú existenciu QGP.

Vďaka javu v literatúre nazývanom jav mŕtveho kužeľu (dead-cone efekt) predpokladáme, že potlačenie produkcie otvorených vôní v jadro-jadrových zrážkach bude menšie ako potlačenie hadrónov pozostávajúcich z ľahkých kvarkov. Podľa tohto efektu ťažké kvarky strácajú menej energie v QGP vďaka potlačeniu emisie gluónov v uhloch menších ako je pomer ich energie a hmotnosti. Mali by sme teda pozorovať $R_{AA}^{ch} < R_{AA}^c < R_{AA}^b$ [2].

Detektor STAR

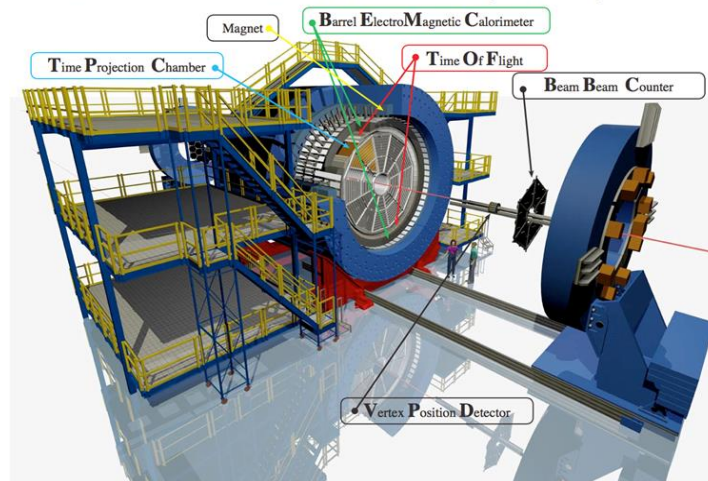
Detektor STAR, anglicky Solenoidal Tracker at RHIC, je jeden z dvoch detektorov fungujúcich na RHIC-u, ktorý je určený na skúmanie QGP. Pokrýva celý azimutálny uhol okolo zrážacej trubice. Skladá sa z viacerých podsystemov, z ktorých dôležité pre skúmanie ťažkých vôní sú Časovo projekčná komora TPC, Detektor doby letu TOF, Valcový elektromagnetický kalorimeter BEMC a novo pridané detektory Sledovač ťažkých vôní HFT a Miónový teleskopický detektor MTD. Celý detektor ešte obkolesuje magnet so silou 0,5 T, ktorý slúži na ohnutie trajektórií nabitých častíc. Na Obrázku 1 je znázornený detektor STAR spolu s označením jeho základných častí.

Časová projekčná komora je hlavný detektor STAR, ktorý slúži hlavne na zaznamenanie trajektórií nabitých častíc a na indentifikáciu častíc. Pomocou detektoru TOF môžeme rozlíšiť častice vo väčších intervaloch hybnosti. Na ich indentifikáciu použijeme dobu letu častice v detektore. Valcový elektromagnetický kalorimeter BEMC je potrebný pre zistenie energie častíc. Novo pridané detektory predstavujú významný krok pre fyziku ťažkých vôní. HFT bude schopný rozoznať rozpady ťažkých mezónov. Kvôli ich krátkej dobe života, a teda ich krátkej dráhe, sa rozpadajú ešte skôr ako stihnú vniknúť do TPC, a teda sme ich doteraz nemohli priamo indentifikovať. Detektor MTD je umiestnený za magnetom na olovených nohách, čo vedie k oddeleniu hadronického pozadia od miónov. Analýzou miónového rozpadového kanálu by sme mali byť schopní dostať signály s oveľa väčším rozlíšením.

Výsledky analýzy nefotonických elektrónov a diskusia

Otvorené ťažké vône sú mezóny skladajúce sa z jedného ťažkého c a b kvarku a jedného ľahkého kvarku. Medzi otvorené ťažké vône patria D a B mezóny. D a B mezóny sa môžu rozpadáť hadrónovým alebo leptónovým kanálom. V tomto príspevku sa zaoberám leptónovými kanálmi rozpadu ($D, B \rightarrow X l \nu_l$), hlavne rozpadmi na hadrón, elektrón (pozitron) a príslušné antineutrino (neutrino). Elektróny pochádzajúce prevažne z rozpadov otvorených ťažkých vôní sa nazývajú nefotonické elektróny. Túto analýzu sprevádza pozadie pochádzajúce z konverzií fotónov na elektron-pozitronový pár a Dalitzových rozpadov π_0 a η mezónov, hromadne nazvané fotonické elektróny [4].

Solenoidal Tracker At RHIC : $-1 < \eta < 1, 0 < \phi < 2\pi$



Obrázok 1. Detektor STAR [3].

Analýza na experimente STAR prebieha tak, že najprv sa zo všetkých vyprodukovaných častíc pri zrážke vyberú elektróny (tzv. inclusive yield), a následne sa podľa vzťahu

$$N(npe) = N(inc) / \varepsilon_{purity} - N(pho) \cdot \varepsilon_{pho}$$

od nich odčítajú fotonické elektróny. $N(npe)$ je nefotonický výtťažok, $N(inc)$ celkový výtťažok elektrónov, $N(pho)$ sú fotonické elektróny, ε_{pho} je efektivita rekonštrukcie fotonických elektrónov a ε_{purity} je čistota, ktorá udáva kontamináciu vzorky elektrónov hadrónmi [4].

Analýzou nefotonických elektrónov v pp zrážkach testujeme teoretické výpočty Fixed Order Next to Leading Log poruchovej QCD. Invariantné spektrum, ktoré dostaneme z analýzy NPE, porovnáваме s predpoveďami tejto teórie. Dáta sa zhodujú s hornou hranicou výpočtov [4].

Spektrum získané z AuAu zrážok pri energii 200 GeV bolo porovnané so spektrom z pp zrážok pri rovnakej energii pomocou jadrového modifikačného faktoru. Ukážka je na Obrázku 2. Dáta sú porovnané s rôznymi teoretickými výpočtami straty energie ťažkých kvarkov v prostredí QGP. Teoretické predpovede založené na strate energie emisiou gluónov nedokážu popísať veľké potlačenie NPE, aj keď potlačenie ľahkých hadrónov popisujú dobre. Aby sme mohli rozhodnúť o platnosti iných teoretických modelov, potrebujeme dáta s väčšou presnosťou a merania iných citlivých veličín [5].

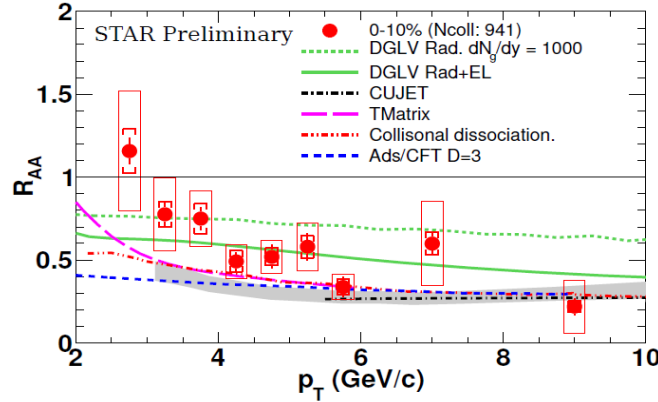
Záver

Nefotonické elektróny pochádzajúce zo semileptonických rozpadov otvorených vôní sú vhodnými sondami, pomocou ktorých môžeme spätne zistiť, ako husté a horúce médium zvané kvarkovo-gluónová plazma vplýva na ťažké kvarky. Dáta z pp zrážok používame na otestovanie FONLL poruchovej QCD. Dáta sa zhodujú s hornou hranicou predpovede. Porovnaním jadrového modifikačného faktoru z dát z AuAu zrážok s teoretickými výpočtami môžeme usudzovať, ktorý teoretický model popisuje správne straty energie ťažkých kvarkov v QGP. Kvôli veľkým štatistickým a systematickým chybám zatiaľ nie je možné presne určiť ktorý model vyhovuje dátam, no je už jasné, že modely založené len na strate energie radiačnou

emisiou gluónov dáta nepopisujú dostatočne dobre. Pre ďalšie závery potrebujeme dáta s väčšou štatistikou a ďalšie podobné merania vlastností častíc.

Pod'akovanie

Táto práca bola podporovaná grantom 13-02841S Grantovou agenturou Českej republiky a grantom Studentské grantové súťaže ČVUT č. SGS13/215/OHK4/3T/14.



Obrázok 2. Jadrový modifikačný faktor NPE v závislosti na priemernej hybnosti pre Au+Au zrážky pri energii 200 GeV. Farebné čiary znázorňujú rôzne teoretické modely energetických strát kvarkov [5].

Literatúra

- [1.] STOCK, R. *Relativistic Nucleus-Nucleus Collisions and the QCD Matter Phase Diagram*, arXiv: 0807.1610v1 (2008).
- [2.] DOKSHITZER, Y.L. and KHARZEEV, D.E., *Phys. Lett.* **B 519**, 199 294 (2001).
- [3.] BIELČÍK, J. for STAR Collaboration, *Quarkonium measurements in the STAR experiment*, prezentácia na 6th International Conference on Hard and Electromagnetic Probes of High-Energy Nuclear Collisions, Cape Town (2013).
- [4.] STAR Collaboration, *High pT non-photonic electron production in p+p collisions at $\sqrt{s}=200$ GeV*, *Phys. Rev.* **D83**, 052006 (2011).
- [5.] MUSTAFA, M. for STAR Collaboration, *Measurements of Non-photonic Electron Production and Azimuthal Anisotropy in $\sqrt{s}=39,62.4$ and 200 GeV in Au+Au Collisions from STAR at RHIC*, arXiv: 1210.5199v2 (2012).

Abstract

Quark-gluon plasma (QGP) is a hot and dense medium in which quarks and gluons move freely. In laboratory we are able to create this medium in ultrarelativistic heavy-ion collisions on accelerators RHIC and LHC. We cannot observe QGP directly, just through properties of particles that come out from the medium. One of the methods is study of non-photonic electrons (NPE), which come from semileptonic decays of open flavors containing heavy c and b quarks. In this letter we discuss the measurement of non-photonic electrons in STAR experiment in p+p and Au+Au collisions at energy 200 GeV. Invariant spectrum of NPE in pp collisions is consistent with the upper limit of pQCD calculations. In heavy-ion collisions we observe the same suppression of NPE production at high momenta as suppression of hadrons created from light quarks, which was not expected.