

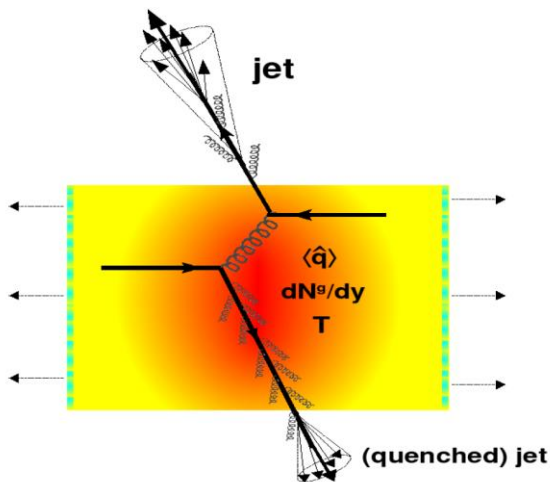
# STUDIUM VLASTNOSTÍ KVARK-GLUONOVÉHO PLAZMATU V JÁDRO-JADERNÝCH SRÁŽKÁCH

**Vojtěch Pacík<sup>1</sup>**

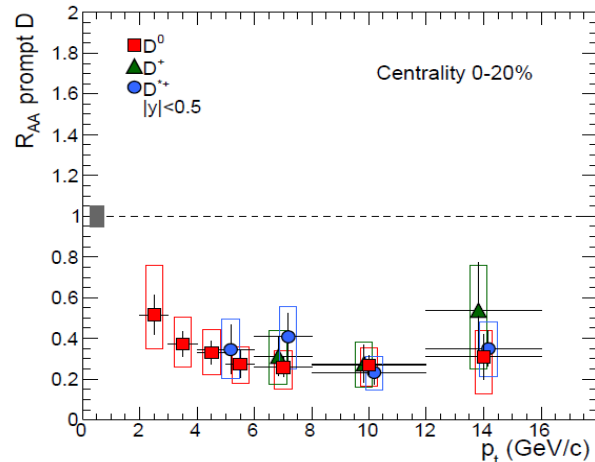
<sup>1</sup>Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, České vysoké učení technické v Praze, Břehová 7,  
115 19 Praha 1, pacikvoj@fffi.cvut.cz

## Abstrakt

Opěrným bodem moderní částicové fyziky je tzv. Standardní model, dle kterého jsou všechny známé částice kombinací omezeného počtu elementárních složek, kvarků, které mezi sebou interagují výměnou intermediálních bosonů, částic zprostředkující fundamentální interakce: elektromagnetickou, slabou a silnou jadernou. Cílem částicové fyziky je studium těchto elementárních částic a jejich interakcí, které vede k prohloubení současných znalostí o struktuře a chování světa kolem nás.



**Obrázek 1.** Schématické znázornění jevu zhášení jetů při jádro-jaderných srážkách v důsledku energetických ztrát způsobených průchodem jetu jaderným médiem [2].



**Obrázek 2.** Závislost jaderného modifikačního faktoru  $R_{AA}$  na příčné hybnosti  $p_T$  zachycující potlačení produkce částic  $D^0$ ,  $D^+$  a  $D^{*+}$  při srážkách Pb-Pb [3].

Vhodným nástrojem pro studium těchto částic jsou srážky protonů, či těžších jader, kdy pomocí výkonných urychlovačů, jakými jsou například synchrotronové urychlovače Large Hadron Collider (LHC) v CERN nebo Relativistic Heavy Ion Collider (RHIC) v BNL, urychlíme dva protichůdné svazky částic na rychlost blízkou rychlosti světla. Takto urychlené svazky s vysokou kinetickou energií dosahující řádu TeV se poté společně srazí uvnitř speciálně navržených detektorů, které měří fyzikální vlastnosti částic vzniklých rozpadem původních urychlených částic v důsledku srážky.

Jedním z hlavních směrů výzkumu dnešní částicové fyziky je studium ultra-relativistických jádro-jaderných srážek, kdy urychlujeme nabitá jádra prvků s vysokým počtem nukleonů (např. olovo či zlato). Tímto se zabývají například experimenty ALICE (LHC) či STAR (RHIC). Počet detekovaných částic produkovaných při jádro-jaderných (AA) srážkách je mnohonásobně vyšší, než v případě proton-protonových (pp) srážek, a je-li energie srážených jader dostatečně vysoká, může na krátkou dobu dojít k uvolnění kvarků, které jsou jinak pevně vázané uvnitř nukleonů prostřednictvím silné interakce zprostředkované gluony, což má za následek zformování velmi horké a husté hmoty označované jako

kvark-gluonová plazma (dále QGP). Tento nový stav hmoty existuje pouze po velmi krátký časový interval, během kterého vlivem rozpínání chladne. Sníží-li se jeho teplota na kritickou hodnotu, dojde k tzv. hadronizaci, což je proces, během kterého dochází k opětovnému svázání kvarků a jejich rekombinaci na částice, které můžeme následně detekovat. Při AA srážkách sledujeme, zdali se vlastnosti produkovaných částic liší od vlastností pozorovaných při pp srážkách.

Jedním z dramatických pozorovaných jevů při AA srážkách je tzv. zhašení jetů (anglicky „jet quenching“). Pojmeme „jet“ můžeme označit kolimovaný svazek letících částic. Zjednodušeně můžeme tento jev, zachycený na Obr. 1, popsat následovně: částice produkované na počátku srážky prolétají skrze QGP, během čehož ztrácejí energii kvůli pružným srážkám a vyzařování gluonů, což je způsobeno interakcí s jaderným médiem. Energetické ztráty jsou závislé na vlastnostech samotného média (např. hustota a teplota) a také na délce dráhy, kterou prolétají uvnitř QGP.

Jedním z nástrojů vhodných pro zkoumání chování QGP je srovnání vlastností částic produkovaných při jádro-jaderných srážkách s částicemi produkovanými při pp srážkách, při kterých neočekáváme formování kvark-gluonové plasmy kvůli relativně malé hustotě v interakční oblasti. Pro kvantitativní popis takového srovnání zavádíme tzv. jaderný modifikační faktor  $R_{AA}$ , který je definován jako poměr produkce částic při AA srážkách a produkce částic při pp srážkách [1]. Z důvodu, že při proton-protonových srážkách dochází k elementární srážce dvou částic, zatímco při srážce dvou těžkých jader dochází k relativně velkému množství binárních nukleon-nukleonových srážek, je výše uvedený poměr normován střední hodnotou jejich počtu. Takto definovaná veličina v podstatě poskytuje referenční údaje o srážce. Je-li  $R_{AA}$  roven jedné, pak můžeme srážku těžkých jader prohlásit z fyzikálního hlediska za ekvivalentní, je-li menší než jedna, pak mluvíme o potlačení produkce částic při AA srážce, je-li větší než jedna, v takovém případě pozorujeme zvýšení produkce vzhledem k pp srážkám.

V centrálních AA srážkách je pozorováno potlačení produkce hadronu pocházejícího z lehkých kvarků. Podobné potlačení můžeme vidět také na Obr. 2 zachycujícím závislost  $R_{AA}$  na hybnosti produkovaných částic  $D$ ,  $D^+$  a  $D^{*+}$  detekovaných při Pb-Pb srážkách prováděných na experimentu ALICE.  $D$  mezony jsou částice obsahující půvabný  $c$  kvark. Vzhledem k tomu, že pozorujeme obdobné potlačení produkce  $D$  mezonů jako v případě částic, které se skládají z lehčích kvarků  $u$  a  $d$ , zdá se, že energetické ztráty kvarků  $u, d$  a  $c$  jsou podobné. Chystaná inovace detektoru ALICE umožní studování produkce  $D$  mezonů s podstatně vyšší přesností.

***Klíčová slova:*** částicová fyzika; kvark-gluonová plazma; těžké ionty; jaderný modifikační faktor

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval vedoucímu své bakalářské práce panu Mgr. Jaroslavu Bielčíkovi, Ph.D. za jeho odborné rady, připomínky a čas, který mi věnoval. Tato práce byla podpořena grantem Studentské grantové soutěže ČVUT č. SGS13/215/OHK4/3T/14.

## **Literatura**

- [1.] SARKAR, S., SATZ, H., SINHA, B. *The physics of the Quark-Gluon plasma: Introductory Lectures*. New York: Springer, 2010, 369 s. Lecture notes in physics, 785. ISBN 35-407-6967-6.
- [2.] D'ENTERRIA, D. *Jet quenching*. Landolt-Boernstein Vol. 1-23A, Springer Verlag, 2010.
- [3.] ABELEV B. et al. [ALICE Collaboration]. *Suppression of high transverse momentum  $D$  mesons in central Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$  TeV*, JHEP 09 (2012) 112.