

# ŠTÚDIUM JETOV ŤAŽKÝCH KVARKOV NA URÝCHĽOVAČI LHC

**Lukáš Kramárik<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, České vysoké učení technické v Praze, Břehová 7, 115 19 Praha 1, +420-22435-8350, kramaluk@fffi.cvut.cz

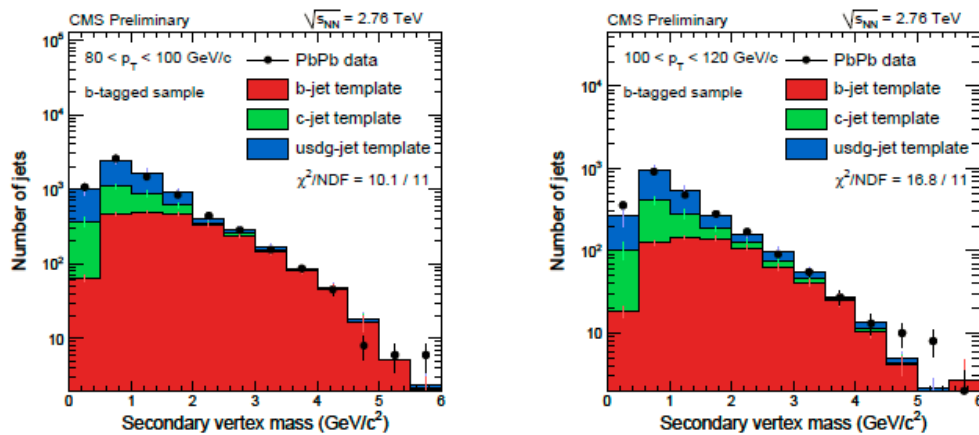
## Abstrakt

Veľký hadrónový urýchľovač (Large Hadron Collider, LHC), je jedným z najväčších zariadení v oblasti jadrovej a časticovej fyziky. Sú v ňom urýchľované a následne v detektoroch zrážané protóny alebo jadrá olova. Pri energetických zrážkach jadier ťažkých atómov vzniká veľmi horúca a hustá jadrová hmota, nazývaná kvarkovo-gluónová plazma (QGP). Jej vlastnosti, ako i vlastnosti častíc, ktoré v nej vznikajú a prechádzajú, sú cieľom výskumov na experimentoch ALICE, ATLAS a CMS na LHC v CERN.

Základnou informáciou, ktorú po zrážke jadier chceme zmerať, je druh, energia a hybnosť vzniknutých častíc. Experiment ALICE je detektor častíc, ktorý ponúka veľmi dobré rozlíšenie energie ako i jednotlivých druhov častíc. V porovnaní s experimentmi CMS a ATLAS umožňuje merať i malé hybnosti vzniknutých častíc.

Kvarky a gluóny, z ktorých sa hmota skladá na úrovni mikrosveta, nie je možné pozorovať voľne. Na ich štúdium sa používajú jety, kolimované spršky častíc, vznikajúce z jednej „materskej“ častice, kvarku. Meraním vlastností jetov môžeme rozlíšiť, či išlo o jet z ľahkého či ťažkého kvarku a skúmať interakciu kvarku a okolitej jadrovej hmoty. Kvarky vytvárajúce bežnú hmotu (tzv. ľahké kvarky) sú  $u$  (up, s hmotnosťou  $2.3 \text{ MeV}/c^2$ ),  $d$  (down,  $4.8 \text{ MeV}/c^2$ ),  $s$  (strange,  $95 \text{ MeV}/c^2$ ), ťažšie kvarky, pozorované najmä pri zrážkach v urýchľovači sú  $c$  (charm,  $1.28 \text{ GeV}/c^2$ ),  $b$  (bottom,  $4.18 \text{ GeV}/c^2$ ) a nakoniec najťažší, najmenej pozorovaný  $t$  (top,  $173.07 \text{ GeV}/c^2$ ) kvark. Hadróny vytvorené z ťažkých kvarkov sa kvôli ich krátkej dobe života rozpadajú už vo vnútri detektoru, avšak niekoľko desiatok až stoviek mikrometrov mimo vrchol zrážky. Vďaka tomu sledujeme tzv. sekundárne vrcholy rozpadov. Hmotnosť vrcholu je definovaná ako suma hmotností častíc vychádzajúcich z daného vrcholu. Ťažké hadróny sú vzácne, čím je častica ťažšia, tým je menšia pravdepodobnosť jej vzniku.

Na Obr. 1 vidíme meranie z experimentu CMS [1], sú tu zobrazené počty jetov z rôznych častíc pri jednej zrážke v závislosti na hmotnosti sekundárneho vrcholu. Vidíme, že b-jetov je najmenej, no ich najväčší podiel je pri vyšších hmotnostiach sekundárnych vrcholov, čo poukazuje práve na ich pôvod z ťažšieho  $b$  kvarku. Tým, že ich je najmenej, sa prirodzene sťažuje ich vyhľadávanie v dátach. Naším cieľom je študovať vlastnosti b-jetov i v experimente ALICE.

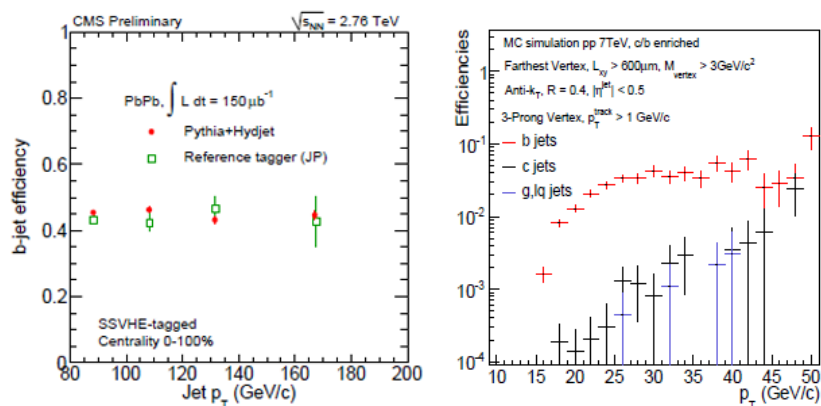


**Obrázok 1.** Počet jetov z  $b$  kvarkov (b-jety),  $c$  kvarkov (c-jety) a z iných častíc (usdg-jety) v závislosti na hmotnosti sekundárneho vrcholu, pre dva rôzne intervaly priečnej (kolmej na smer pohybu zrážajúcich sa častíc) hybnosti jetov  $p_T$  pre dáta zo zrážok jadier olova [1].

Algoritmy vyhľadávajúce b-jety pracujú najmä s vysokou hmotnosťou a oproti ostatným kvarkom veľkou vzdialenosťou sekundárneho vrcholu od miesta zrážky. *Simply Secondary Vertex*

(SSVHE) algoritmus vyhľadáva práve takéto vrcholy a podľa zadaných parametrov označuje jety v nich vytvorené ako b-jety. Iným algoritmom vytvoreným na označovanie b-jetov je *Jet Probability* (JP) algoritmus. Pre každú časticu zachytenú detektorom vypočíta pravdepodobnosť, či pochádza zo sekundárneho vrcholu alebo priamo zo zrážky. Následne spracuje takéto pravdepodobnosti pre všetky častice jedného jetu, a tým určí pravdepodobnosť, že tento jet pochádza zo sekundárneho vrcholu. Ak je táto pravdepodobnosť dostatočne veľká, označí tento jet ako b-jet. Spomínané dva algoritmy spracovávajú data z detektoru rozdielnym spôsobom, a tak je relevantné porovnanie ich efektivity pri hľadaní b-jetov. Takáto efektivita je zisťovaná pomocou simulácií zrážok, u ktorých vieme skutočný počet vzniknutých b-jetov.

Efektivita hľadania b-jetov na experimente CMS dosahuje hodnoty okolo 40% [1] pre rôzne energie jetov. Je to najmä vďaka kombinácii rôznych algoritmov a vstupných hodnôt. Aktuálnym cieľom je zvýšenie efektivity hľadania b-jetov na experimente ALICE. Energie jetov sú tu nižšie, čoho dôsledkom je ešte menší počet jetov z ťažších kvarkov. Na ich označovanie sú používané algoritmy podobné ako na experimente CMS. V súčasnosti optimalizujeme ich použitie pre experiment ALICE, pri nízkych priečných hybnostiach je ich efektivita zatiaľ veľmi nízka, pre b-jety len okolo 3% [2]. Porovnanie efektivity pre oba experimenty je na Obr. 2.



**Obrázok 2.** Vľavo: Efektivita nájdenia b-jetu pre JP a SSVHE algoritmy v závislosti na priečnej hybnosti jetu  $p_T$  pre simuláciu zrážok jadier olova na experimente CMS [1]. Vpravo: Efektivita nájdenia b-jetu, c-jetu a jetov z ostatných častíc v závislosti na  $p_T$  pre simuláciu zrážok protónov na experimente ALICE [2].

Algoritmy pre vyhľadávanie b-jetov sú modifikované alebo vytvárané nové. Príkladom nového algoritmu je *Electron Identification* (Elektrónová Identifikácia), ktorý bude pracovať so spektrom zachytených elektrónov, keďže väčšina elektrónov s hybnosťou väčšou ako  $5 \text{ GeV}/c$  pochádza z rozpadu  $b$  kvarku, a tak patrí do b-jetu.

Úspešné nájdenie b-jetov a tým pádom  $b$  kvarkov nám otvorí ďalšie možnosti na skúmanie nielen vlastností QGP, ale aj mechanizmu produkcie ťažkých kvarkov a interakcie týchto kvarkov s QGP.

**Kľúčové slová:** ALICE; kvark; jet; algoritmus

## Pod'akovanie

Chcem poďakovať Mgr. Jaroslavovi Bielčíkovi, Ph.D. za čas, odborné rady a pomoc pri príprave abstraktu a prezentácie na konferenciu. Táto práca bola podporená grantom Studentské grantové súťaže ČVUT č. SGS13/215/OHK4/3T/14.

## Literatúra

[1.] CMS Collaboration, *Measurement of the b-jet to inclusive jet ratio in PbPb and pp collisions at sqrt(s)=2.76 TeV with the CMS detector*, CMS Physics Analysis Summary, CMS PAS HIN-12-003 (2012).

[2.] FELDKAMP, L *Study of b-jet tagging performance in ALICE*, The 14th International Conference on SQM (2013), posterová prezentácia.