

Raport stiintific

privind implementarea proiectului PN II, IDEI 56/07.10.2011 cu titlul „Studies of flavor production mechanisms in the pp interaction”, in perioada ianuarie 2012 – noiembrie 2015

1. Producerea particulelor “beauty” si studiile de corelatie utilizind date Monte Carlo – studiu de fezabilitate a masurarii productiei corelate de hadroni “beauty”

1.1 Introducere

Productia de cuarci cu aroma “beauty”/frumoasa are loc in ciocnirile LHC de proton proton la energii de coliziune in centrul de masa comun al celor doua particule LHC de 0.9, 2.76, 7, 8 si respectiv 13 TeV in 2015. Protonii incidenti pot fi priviti ca un set de partoni ale caror distributii cinematice exprimate de exemplu in variabile de Bjorken- x [1] si patratul cvadri-impulsul transferat Q^2 . De obicei in cazul partonilor sau cuarcilor beauty ciocnirea are loc intre gluoni apartinand celor doi cuarci astfel incat la valori mai mari de $||Q|| > 10$ GeV/c, sa fie posibila productia particulei beauty (b) si anti-particula “beauty-bar” (b-bar) fiecare de mase apropiate de valoarea de 4.5 GeV [2]. Ultimul numar depinde de metoda de renormalizare sau aproximare (cuarci sau in general cuarci nu sunt observati direct, ci indirect prin particulele hadronice rezultate in urma proceselor de “shower” si hadronizare/fragmentare). In zona valorilor de $||Q||$ in intervalul de [10 GeV,100 GeV], distributia partonilor in proton se poate aproxima printr-o distributie de gluoni la valori observabile-LHCb de x intre $[10^{-6},1]$.

Energiile de coliziune prezente in coliziunea primara parton-parton sunt suficiente sa asigure o sectiune-eficace de productie pentru procesul de $g+g \rightarrow b + b\text{-bar}$ de aproximativ 180 microbarni [3]. Multi hadroni beauty sunt insa produsii in ciocniri secundare, in mare parte tot parton-parton sau prin conversie din ISR - “initial state radiation”, de fapt la energii de coliziune in Centru de Masa proton-proton egale sau superioare 2.76 TeV. Coliziunile multi-parton in ciocnirile proton-proton incep sa aiba un rol important si multe din particulele beauty sunt rezultatul ciocnirilor secundare sau combinatiilor ulterioare din “shower”. Cu toate acestea putem presupune ca procesul/faza de hadronizare sau fragmentare partonilor din shower sau a stringurilor asociate [4] acestei faze nu contribuie la productia de beauty quarks datorita faptului ca oscilatia stringurilor in modelul Lund nu permite acest lucru. Hadronizarea fiind in general un proces QCD de scala mica a impulsului transversal sau “soft-QCD”, productia de cuarci beauty sau “charm” este inhibata cu cel putin 12 ordine de marime relativ la productia de arome de masa joasa “up/down/strange” - sus/jos/straniu.

In productia de stranietate in evenimente LHCb de tip Minimum Bias s-a dovedit calitativ o masura de corelatie intre hadroni strainii de stranietate opusa care indica originea comuna si locala intr-un proces de hadronizare dat. In productia de hadroni beauty acest lucru nu mai este valid, iar in loc de corelatie ne putem astepta la o anti-corelatie cel putin relativ fata de axa fascicolului de protoni LHC. In fapt ne putem astepta a priori la doua jeturi de particule rezultate in urma productiei perechi (b,b-bar), jeturi care contin hadroni b cu valoare de impuls transversal p_T dominant fata de jetul de care apartin si in plus jeturile sunt anticorelate in impuls transversal.

1.2 Studii pe date Monte Carlo

Un calcul rapid demonstreaza ca ne putem astepta la 7 TeV la 10^9 - 10^{10} particule beauty in starea finala si detectabila a evenimentului de coliziune. Dintre acestia datorita structurii de spectrometru cu un singur brat a detectorului LHCb in acceptata geometrica se regasesc 20 % din perechi (b,b-bar) si hadroni asociati. Se va neglija contributia altor procese de interactie dura QCD - “hard-QCD” - cu exceptia coliziunilor primare gluon-gluon la valoare ridicata de $||Q||$ din distributiile

partonice ale protonilor LHC primari. Aceasta aproximare nu modifica calitativ rezultatele analizei de fezabilitate a corelatiilor si productiei hadronilor beauty. Astfel putem presupune ca singurul proces care contribuie la productia de aroma beauty este cel de interactie gluon-gluon la nivel primar. Se va neglija daca nu este explicit specificat contrariul, productia multi perechi (b,b-bar) in cadrul aceluasi eveniment, la 7 TeV oricum acest efect contand pentru 1 % din total. Sectiunile eficace din PYTHIA 8.2 [3] in configuratia de baza, au fost gasite ca fiind in acord cu sectiunile eficace de productie de hadroni beauty masurate de LHCb [5-6] , atat sectiunile eficace constranse de acceptanta LHCb cat si valorile extrapolate. Ramane de vazut in viitor care este acordul la energii de coliziune de 13 TeV. Pe moment se vor folosi orientativ valoarea setata din PYTHIA de 350 microbarni, aproape dublul valorii setate anterior la 7 TeV. In Figurile (1) si (2), studiile Monte Carlo arata diferente minore intre hadronii beauty produsi in coliziuni de 13 TeV si respectiv 7 TeV, cel putin in spectrele impulsului tridimensional si cel transversal. La afirmatia precedenta nu s-a luat in calcul scala implicit diferita din histogramele din Fig 1 si Fig 2 pentru 13 TeV rata de productie pentru hadroni-b fiind de doua ori aproape mai mare decat pentru coliziunile la 7 TeV.

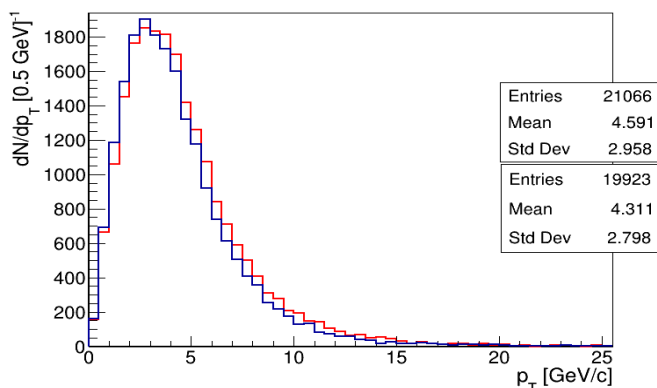


Fig. 1: Impulsul transversal p_T al hadronilor beauty in starea finala (B^0 , B^+ , B_s , B_c si Λ -b plus starile C-conjugatele de sarcina sau numar de beauty opus), distributiile sunt produse cu PYTHIA 8.2 [3] in setare "default" pentru coliziuni cu 13 TeV si 7 TeV, scala in cele doua histogramme a fost ajustata pentru comparatie

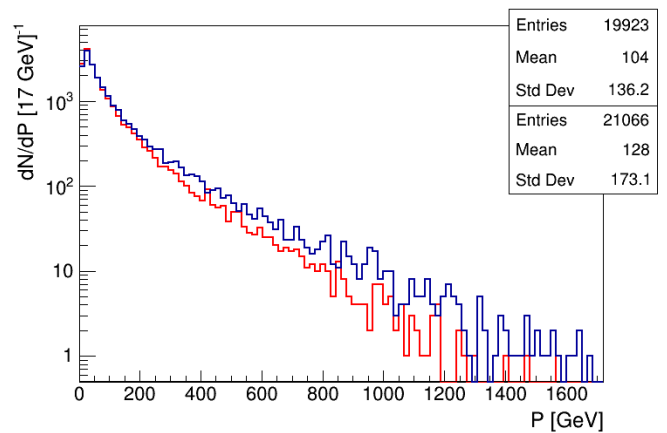


Fig 2: Impulsul tridimensional P al hadronilor din starea finala, distributie produsa cu PYTHIA 8.2 [3] setare "default", pentru coliziuni cu 13 TeV si 7 TeV, scala in cele doua histogramme a fost ajustata pentru comparatie

Studiile de Monte Carlo au aratat de asemenea prezenta unei componente foarte dure in spectru de impuls transversal, astfel media celor doua distributii in Fig.1 este de aproximativ 4.5 GeV fata de o medie de aproape 1 GeV in productia de stranie (Lambda, Lambda-bar). In plus impulsul tridimensional are si el o valoare foarte mare, cu o medie superioara la 100 GeV, in concluzie avand factori de dilatare relativisti de "gama" cu valoare apropiata valorii de 20 pentru hadronul beauty si implicit valori medii semnificativ mai mari pentru "gama" in cazul particulelor fiice. Pentru cazul de fata putem presupune ca orice stare finala cu un Kaon neutru sau un Lambda straniu va fi aproape imposibil de masurat tinand cont de timpul de viata lung al acestor particule si de structura detectorului LHCb de spectrometru cu un singur brat pe directia inainte.

Analiza rezultatelor productiei de particule beauty in acceptanta LHCb, rezultate prezentate in Figurile 3 – 6, arata originea si caracteristicile similare ale productiei de perechi (b, b-bar) in procese tari QCD "Hard-QCD" comparativ cu productia cand in Monte Carlo este activat numai un proces tare QCD: coliziune gluon-gluon la un $||Q||$ de valoare mare. Valorile calitativ si cantitativ similare arata echivalenta celor doua esantioane Monte Carlo si se demonstreaza presupunerea anterioara ca restul proceselor tari se pot in prima aproximatie neglija in productia de hadroni B.

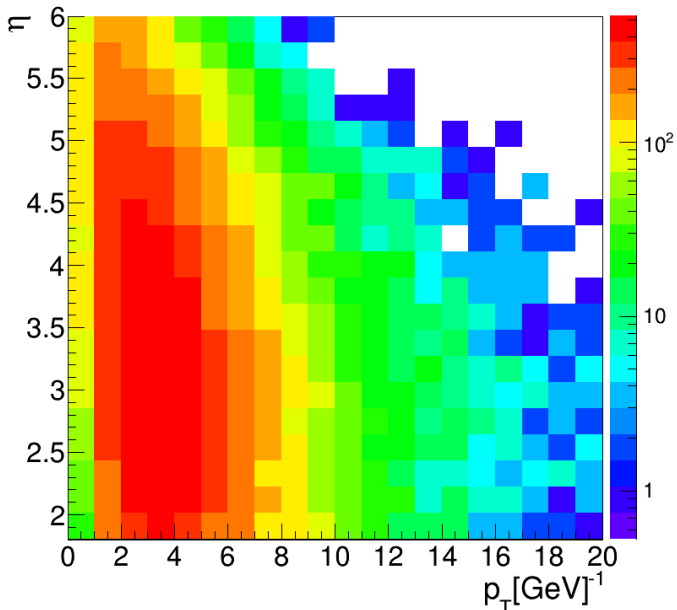


Fig 3: Distribuțiile bidimensionale de pseudo-rapiditate și impuls transversal pentru producții finale ai coliziunii, particule cu număr de beauty în acceptanță extinsă LHCb. Histogramele au fost produse cu PYTHIA 8.2 [3], 100 k evenimente produse de PYTHIA cu restricția ulterioară ca cel puțin doi hadroni beauty sunt generați în acceptanță LHCb extinsă în fiecare eveniment acceptat. Coliziune Proton-Proton la 7 TeV, iar generarea de particule (b,b-bar) se face practic cu o singură coliziune gluon-gluon tare pe eveniment.

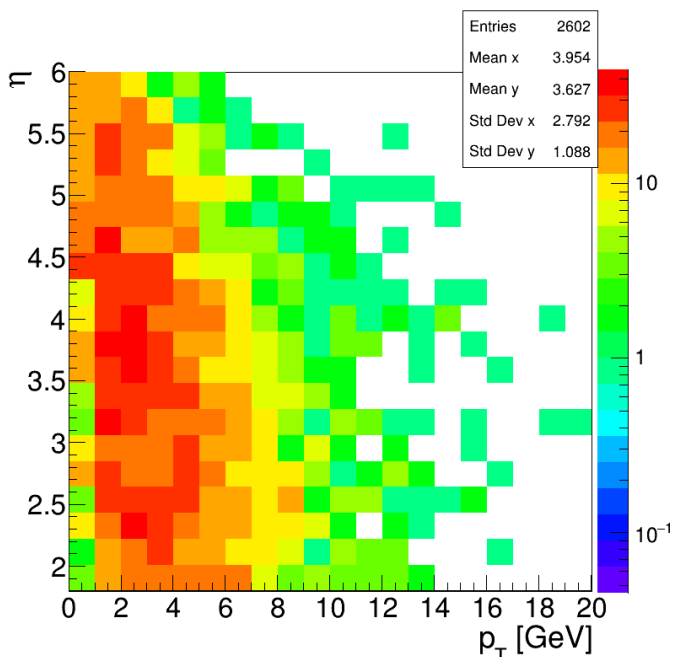


Fig 5: O distribuție obținută asemănător distribuției din Fig 3, cu diferența faptului că toate procesele tari Hard-QCD au fost activate în generatorul de coliziuni PYTHIA 8.2, 10 milioane de evenimente au fost generate însă doar 2.6 K evenimente contin doi hadroni beauty în acceptanță LHCb extinsă.

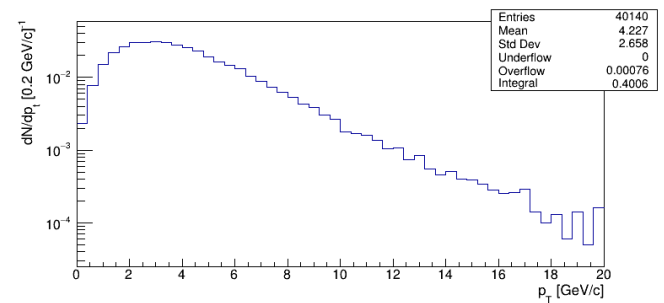
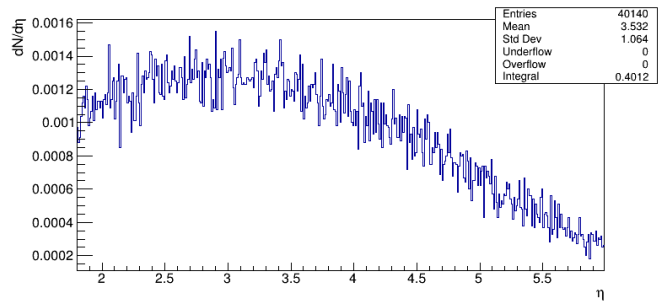


Fig 4: Distribuțiile uniparticulare corespunzătoare histogramelor bidimensionale din Fig 3, se poate observa spectru tare în impuls transversal și distribuția aproape uniformă în pseudorapiditate.

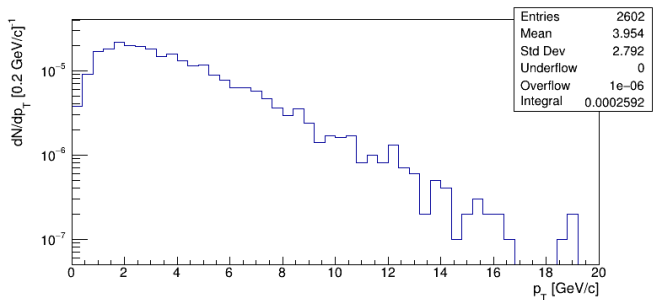
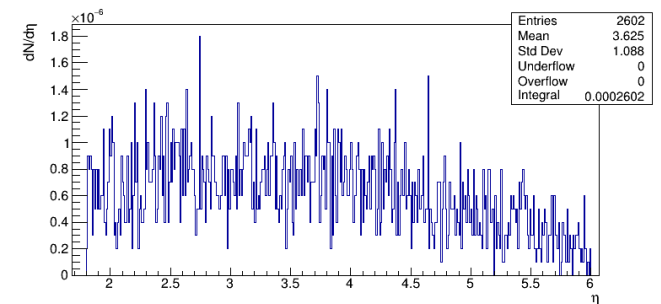


Fig 6: Distribuțiile uniparticulare și unidimensionale corespunzătoare histogramelor din Fig 5. Valorile medii și de RMS arată similar cu cele din distribuțiile din Fig 4, lucru ce validează implicit afirmația făcută în text conform căreia oprirea unora din mecanismelor Hard-QCD în PYTHIA 8.2 nu modifică calitativ rezultatele studiului de față.

1.3 Corelatiile spatiale si cinematice intre hadronii beauty in datele Monte Carlo la generare

In acest subcapitol se folosesc aceleasi tip de date Monte Carlo ca cele precedente produse de generatorul PYTHIA in acceptanta geometrica LHCb extinsa, cu setari “default” pentru generatorul folosit. Corelatiile sau mai bine zis anticorelatiile dintre hadronii beauty se vor investiga in Figurile

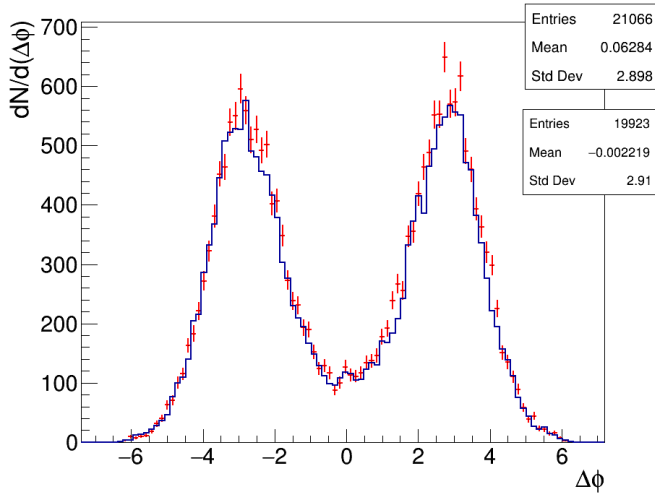


Fig 7: Anticorelatia in unghi azimutal, relativ la axa Z a fascicolului LHC, intre doi hadroni beauty pentru cazul coliziunilor proton-proton la 7 si respectiv 13 TeV, Particule/evenimente generate cu PYTHIA 8.2 [3], distributiile au maxime aproape de -180 si 180 grade, sau $[-\pi, \pi]$ in radiani.

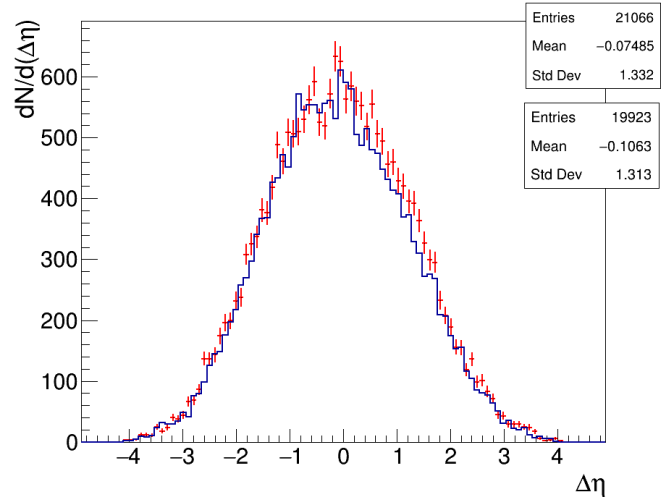


Fig 8: Pentru pseudo-rapidity se observa o usoara corelatie intre hadroni beauty in acceptanta LHCb extinsa pentru esantione Monte Carlo generate de PYTHIA 8.2 cu 7 TeV si 13 TeV pe coliziune proton-proton.

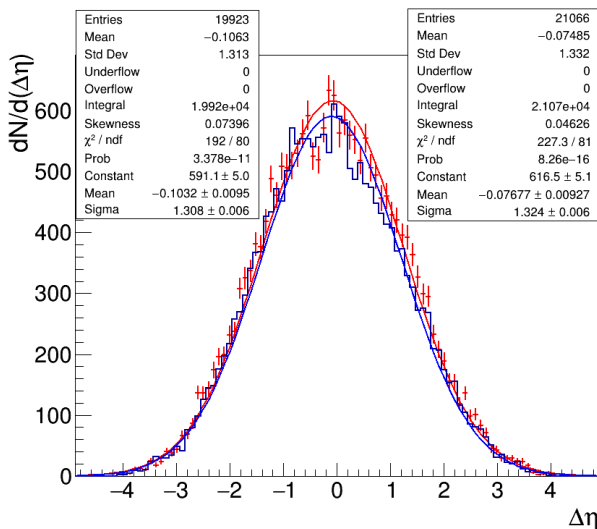


Fig 9: Aceleasi distributii ca in Figura 8, dar analizate prin prisma unor fitari cu functii de probabilitate si densitate Gauss. Se remarca acordul cu distributia Gaussiana a celor doua histograme, cu exceptia unui factor de “skewness” diferent semnificativ de 0, distributiile sunt aproape Gaussiene. Distributia gaussiana confirma ipoteza de suma a proceselor aleatorii care modifica propagarea partonilor beauty in “shower” cat si in hadronizare unde oscilatia stingurilor actioneaza ca un efect perturbator aleatoriu. In plus se poate presupune ca distributia finala pastreaza cat de cat “memoria” distributiilor gluonilor primari din fascicol.

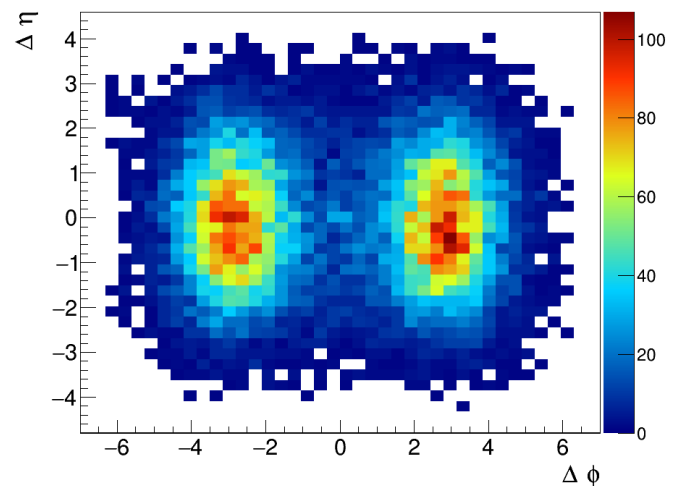


Fig 10: Distributia bidimensionala in diferente de pseudorapidity si unghi azimutal pentru cazul ciocnirii proton-proton la 7 TeV. Se poate observa o structura asemanatoare jeturilor opuse in impuls transversal si o usoara corelatie tot similara jeturilor pe coordonata diferenta de pseudo-rapidity. Distributia aceasta este fundamental diferita de cea data pentru productia de stranietate unde de exemplu particulele Lambda si Lambda-bar erau corelate si pe axa de diferenta in unghiuri azimutale.

Figurile 7-10 redau rezultatele obtinute din generarea cu PYTHIA 8 a coliziunilor protonilor-LHC la 7 si 13 TeV in centrul de masa. Formele functiilor ce genereaza distributiile din 7-10 sunt consistente cu productia de partoni beauty in ciocnirea primara parton-parton (in cazul de fata redusa la mecanismul de ciocnire gluon-gluon). In plus se poate observa direct efectele de corelatie si anti-corelatie dintre particulele dominate- p_T din jeturile de fragmentare a partonilor beauty.

1.4 Observabile considerate, canalele principale de dezintegrare, analogia cu diluarea informatiei de etichetare a componentei beauty opuse/“OS-tagging”

In acesta analiza putem sa ne punem intrebarea fundamentala “ce vrem exact sa masuram”. Daca urmarim sa masuram sectiunile eficace diferentiale de productie a perechii de hadroni beauty atunci distributiile de tipul celei din Figura 10 sunt relevante sau cele de uni-variabila din Figurile 7-8. Intrebarea este atunci cat de precis trebuie determinate valorile sectiunii diferentiale. Sunt indeajuns reconstructia a 1 % sau 1 ppm din esantioanele de perechi de hadroni beauty? Este necesar o reconstructie cat mai inclusiv a dezintegrarii mezonilor si barionilor beauty care sa aiba si o eficienta mare de reconstructie? Daca din contra se prefera un anumit mod de dezintegrare pentru ambii hadroni din perechea de beauty atunci corelatiile pot fi partial estompate dar puritatea semnalului de hadron beauty poate fi maximizata. Ultima alegere are asociata si o eficienta redusa de reconstructie a hadronilor B/Lambda-B din starea finala datorita factorilor de ramificare pe canalele alese mult sub-unitar la valori de 10^{-3} - 10^{-4} daca nu mai mici chiar.

In ipoteza ca orice canal exclusiv de dezintegrare poate fi ales in reconstructie atunci ce se urmareste este un canal de dezintegrare care are o influenta datorata fondului redusa in reconstructia semnalului. Astfel de canale sunt in LHCb canale ce implica stare de charmonium J/Psi plus un mezon sau barion ce face o dezintegrare ulterioara rapida, sau este stabil prin prisma timpului de viata si de propagare in detector [6]. Pentru mezoni alegerile canalelor de dezintegrare pentru varianta exclusiva pe ambii parteneri din perechea de hadroni beauty este destul de evidenta fiind posibile doua variante: dezintegrare hadronica mentionata anterior cu stare de charmonium si alt hadron sau o dezintegrare semileptonica cu un hadron D0 lepton plus neutrino [5]. Ultima solutie presupune eficiente de 10^{-8} (valoarea include factorii de ramificare corespunzatori celor doua dezintegrari semileptonice) pentru reconstructia perechei de hadroni-B – ambii mezoni, si valori comparabile in cazul barionilor. Pentru luminozitati integrate de 1-2 fb⁻¹ unde se produc decat cateva miliarde de hadroni b in acceptanta, este imposibila obinerea unei functii de corelatie sau a sectiunii eficace diferentiale in spariul diferentelor de unghi si rapiditate/pseudo-rapiditate. Pentru luminozitati de 10-20 fb⁻¹ asociate detectorului Upgradat dupa 2020 incepe sa devina fezabila o masurare pentru solutia pur semi-leptonica dar este de presupus ca nu vor fi usor de identificat posibilele componente de fond pentru acesta masurare. In ce priveste solutia ce implica charmonium in starea finala plus o rezonanta sau particule stabile, aici eficientele in acceptanta LHCb (cu factorii de ramificare asociati celor doua dezintegrari) sunt chiar mai mici 10^{-10} – 10^{-8} chiar [6]. O solutie bazata numai pe aceste doua modalitati de reconstructie a dezintegrarii hadronilor B este ineficienta chiar in conditiile unui detector LHCb Upgradat.

1.5 Dezintegrarile Hadronilor in acceptanta LHCb, metodele LHCb de reconstructie a hadronului beauty si selectii in trigger si in selectia finala.

O analiza bazata pe trei moduri de identificare a dezintegrarilor hadronilor B a fost implementata pentru metoda de “Opposite Side Tagging” folosita in studiul oscilatiilor quarkului b in b-bar pentru sistemul oscilant (B^0 , B^0 -bar), astfel incat aroma initiala dinaintea oscilatiei hadronului-B este estimata din informatia de aroma a componentei asociate din perechea beauty, componenta care nu este vector propriu CP [7]. Rezultatele acestor analize de oscilatii de arome se pot aplica direct in problema actuala unde se urmareste tot detectia alternativa a 3 structuri ale starii finale in urma dezintegrarilor, astfel aroma este etichetata pe baza:

1. Sarcina leptonului din dezintegrarea semileptonica a hadronilor LHCb;

2. Sarcina kaonului din lantul transformarilor aromelor $b \rightarrow c \rightarrow s$;
3. Sarcina asociata vertexului secundar reconstruit pe baza produsilor de dezintegrare a hadronului B.

Presupunem ca unul din componentii perechii de hadroni beauty din acceptanta LHCb este determinat pe baza dezintegrarii hadronice mentionate in randurile precedente, dezintegrare ce are in starea finala o stare charmonium J/Ψ . Conform rezultatelor din [7] ar trebui sa avem o putere de studiu a corelatiei de aproximativ 2 % si in plus ar trebui sa avem o eficienta de $10^{-4} - 10^{-5}$ conform eficientelor pentru o dezintegrare hadronica- J/Ψ unica in pereche. In concluzie ne putem astepta la esantioane de cateva mii de perechi hadronice in datele actuale si cateva zeci de mii de barioni in datele LHCb dupa Upgrade. Cum aceste estimari sunt facute la coliziuni de 7 TeV iar sectiunile eficace la 13 TeV sunt de asteptat sa fie de doua ori mai mari avem potential sute de mii de perechi de hadroni beauty pentru studiul si obtinerea sectiunilor eficace diferentiale in spatiul fazelor celor doi hadroni. Deja studiile Monte Carlo de generator cu o cincime din sumele asteptate pentru detectorul Upgradat dau functii de corelatie si anticorelatie clare, ce-i drept pentru cazuri idelale unde perturbatia generata de procesul si precizia de reconstructie a hadronilor nu a fost luata in calcul cum nu au fost luate in calcul nici sursele de fond.

Un studiu asemanator a fost facut in [8] unde ambii hadroni B sunt reconstruiti intr-un vertex detasat de vertexul de coliziune primara si un algoritm statistic asociaza ambilor vertex-uri probabilitati mari de a fi vertex-uri de dezintegrare a unor hadroni beauty. In acest caz conform regulilor de selectie si reconstructie a evenimentului $(b, b\text{-bar})$ ar trebui sa avem valori de eficienta mai mari, insa acest lucru va fi contrabalansat de efectul fondului crescut.

Estimarile anterioare ale eficientelor includ si eficienta de trigger. In general pentru cele 3 cazuri avem urmatoarele metode de trigger:

1. Trigger pe miuonul si in general pe leptonul din dezintegrarea semileptonica;
2. Trigger pe cei doi miuoni din dezintegrarea hadronica a hadronului B si dezintegrarea ulterioara a strarii de charmonium J/Ψ .
3. Un trigger topologic ce sumeaza contributi inclusive la dezintegrarea hadronilor beauty.

Bibliografia capitolului:

- [1] F. Halzen si A.D. Martin; **Quarks and Leptons - An Introductory Course in Modern Particle Physics**; 1984, John Wiley & Sons; New York.
- [2] **The Review of Particle Physics (2015)**; K.A. Olive *et al.* (Particle Data Group), *Chin. Phys. C*, 38, 090001 (2014) and 2015 update.
- [3] T. Sjöstrand *et al.*; **An Introduction to PYTHIA 8.2**; *Comput.Phys.Commun.* 191 (2015) 159-177; arXiv:1410.3012; LU TP 14-36; MCNET-14-22; CERN-PH-TH-2014-190; FERMILAB-PUB-14-316-CD; DESY 14-178; SLAC-PUB-16122; <http://home.thep.lu.se/~torbjorn/Pythia.html>.
- [4] B. Andersson *et al.*, "Parton Fragmentation and String Dynamics", *Phys. Rep.* 97(2 & 3), 31-145 (1983).
- [5] Aaij, R *et al.*; **Measurement of $\sigma(pp \rightarrow bb\text{-}X)$ at $\sqrt{s}=7$ TeV in the forward region**; *Phys. Lett.* B694 (2010) 209-216.
- [6] Aaij, R *et al.*; **Measurement of B meson production cross-sections in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=7$ TeV** ; *JHEP* 08 (2013) 117.
- [7] Aaij, R *et al.*; **Opposite-side flavour tagging of B mesons at the LHCb experiment**; *Eur. Phys. J.* C72 (2012) 2022.
- [8] Aaij, R *et al.*; **Measurement of $\sigma(bb\text{-bar})$ with inclusive final states**; LHCb-CONF-2013-002 ; CERN-LHCb-CONF-2013-002; 2013 Aspen Winter Conference on particle physics: Higgs Quo Vadis, Aspen, CO, USA, 10 - 16 Mar 2013;

2. Investigarea corelatiilor bi-particula in evenimente Monte Carlo produse cu setarile LHCb pentru PYTHIA 8.1

In continuarea studiilor din 2014 legate de folosirea generatorului de evenimente PYTHIA si a pachetului software de analiza RIVET, in etapa prezenta ne-am concentrat si asupra a doua aspecte tehnice importante: (1) transformarea software-ului scris pentru versiunea 1 a pachetului RIVET si utilizat in studiul evenimentelor produse de PYTHIA 6.428 astfel incat sa devina compatibil cu versiunea 2 a pachetului RIVET si PYTHIA 8, generatorul principal de evenimente MC folosit de colaborarile LHC. In particular rezultatele de mai jos au fost produse independent de pachetele software ale colaborarii LHCb intr-o configuratie totusi similara cu cea folosita de aceasta colaborare pentru generarea de evenimente MC folosind PYTHIA 8.186; (2) optimizarea partiala a generatorului PYTHIA 8.186 folosind masuratori ale colaborarilor de la LHC si pachetul de optimizare Professor [1] in combinatie cu pachetul RIVET si o suita de componente software dezvoltate de membrii echipei de cercetare si alti cercetatori implicati in colaborarile de la LHC.

In programul de optimizare a generatorului MC PYTHIA8 folosind si masuratori experimentale publicate de colaborarea LHCb corespunzand energiei de interactie pp de 7 TeV, s-a dorit in prima faza imbunatatirea descrierii proceselor QCD neperturbative si a productiei de hadroni usori (formati din cuarcii u , d , s). Acest program va fi continuat prin optimizarea parametrilor ce controleaza productia de hadroni grei formati preponderent din combinatii ale cuarcilor c si b cu cuarcii mai usori, urmand ca in final sectorul productiei de hadroni usori sa fie reoptimizat tinand cont de influenta datorata hadronilor proveniti din dezintegrarea hadronilor grei si a starilor excitate ale acestora.

Astfel in aceasta prima parte s-au optimizat parametrii ce controleaza suprimarea productiei de cuarci s in raport cu cea de cuarci u si d , rata de productie a mesonilor fata de cea a barionilor, raportul relativ de aparitie a unui meson vectorial fata de unul pseudoscalar si parametrii ce controleaza radiatia partonica initiala si interactiile parton-parton prin limitarea valorii sectiunilor eficace ale proceselor QCD in domeniul de impuls transversal mic. In figurile 1-3 sunt date cateva distributii pentru coliziuni pp la 13 TeV ce permit o comparatie intre predictiile PYTHIA 8 obtinute cu setarile vechi folosite de LHCb (de fapt setari utilizate pentru PYTHIA 6.428 ce au fost transformate in valorile corespunzatoare ale noilor parametrii de control) si cele optimizate in urma campaniei din acest an. Evenimentele studiate sunt produse cu configuratia asa-numita “minimum bias” pentru care diversele procese QCD apar in generare cu ratele relative naturale, evitandu-se astfel orice influentare a generatorului. Bineinteles in aceasta configuratie procesele predominante sunt cele de ciocnire elastica pp si mai ales procese QCD la transfer mic de impuls a caror abordare teoretica este neperturbativa, modelele fiind de natura empirica. Sunt prezente si procese cu transfer mare de impuls in interactiile parton-parton ale caror sectiuni eficace se pot determina prin calcul perturbativ bazat pe cromodinamica cuantica (QCD) dar acestea au rate cu multe ordine de marime sub cele ale proceselor mentionate anterior.

In figura 1 se poate vedea ca optimizarea parametrilor generatorului nu afecteaza distributiile globale la nivel de eveniment, insa productia de stranietate este evident afectata (in

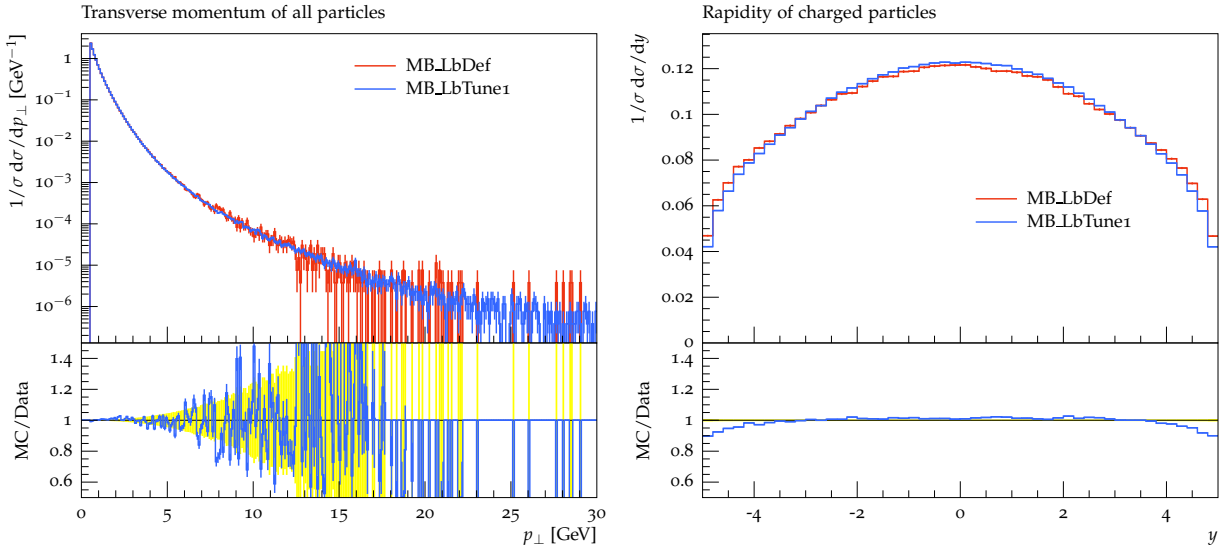


Figura 1: Comparatia între optiunile implicite LHCb (rosu) și cele optimizate (albastru) pentru PYTHIA 8.186 în distribuțiile de moment transversal ale tuturor particulelor (stanga) și cea de rapiditate a particulelor încarcate electric (dreapta).

ciuda numărului de evenimente diferit folosit în comparație) chiar la nivel global având în vedere multiplicitățile mezonilor și barionilor străni din figura 2. Acest fapt se regăsește și în distribuțiile bi-particula pentru hadronii străni din figura 3. În figura 3 regăsim corelația în unghiul azimutal pentru perechile de hadroni străni ce conțin cuarci s și \bar{s} ce sunt produși predominant pe aceeași direcție în raport cu axa fascicolului de protoni incidenti (Oz).

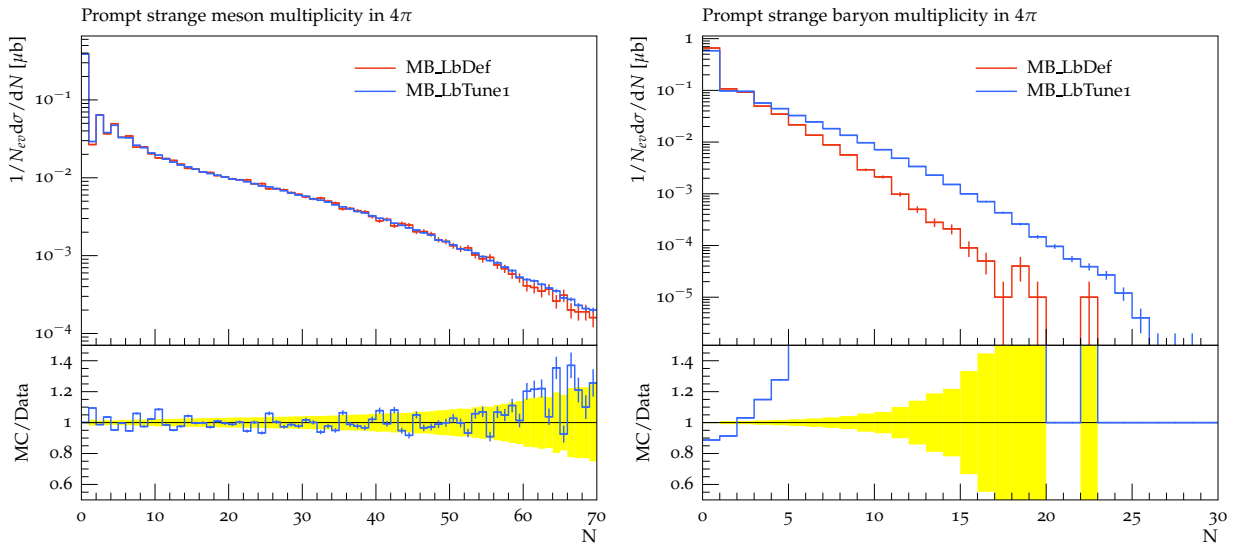


Figura 2: Productia de hadroni străni, mezoni (stanga) și barioni (dreapta), în întreg spațiul fazelor disponibil pentru opțiunile implicite și cele optimizate ale PYTHIA 8.186.

Datorită procesului de actualizare a componentelor software folosite în pachetul RIVET și schimbărilor de reprezentare internă a evenimentelor produse de PYTHIA 8, în studiile de față am adoptat o selecție simplificată a candidaților hadroni străni. Astfel condițiile minime ca acestea să fie detectabile în spațiul fazelor accesibil cu detectorul LHCb sunt $p > 4$ GeV/ c și $1.8 < \eta < 6.0$, unde p este modulul impulsului particulei iar η este pseudo-rapiditatea ei. Prin condiția pe mărimea impulsului se îndeplinește cerința minimă pentru

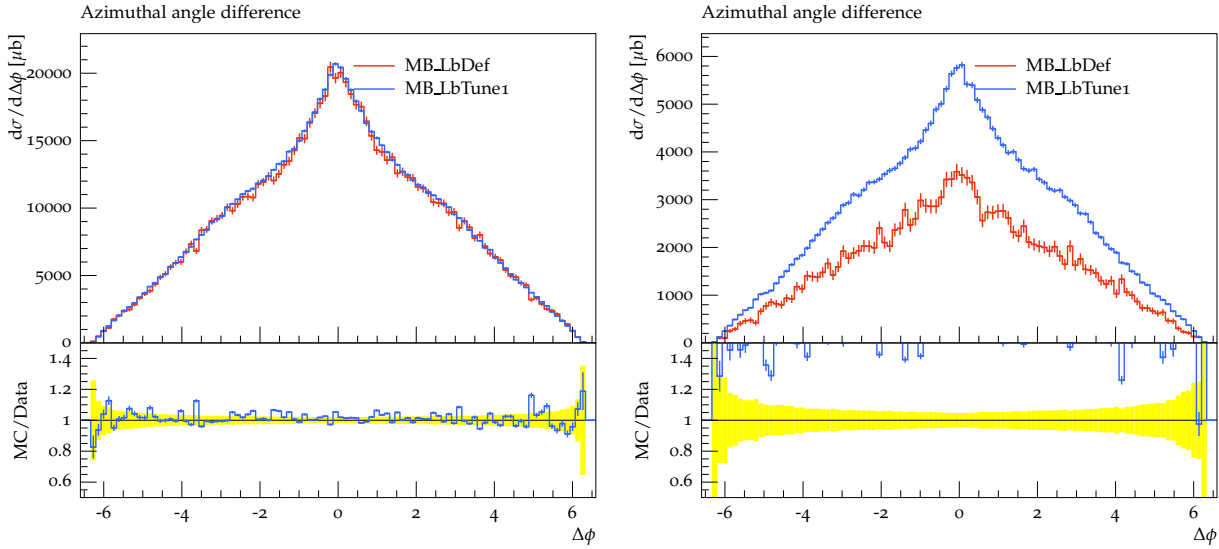


Figura 3: Distribuția diferenței de unghi azimutal în perechile de hadroni stranii, $K_s^0 - K^-$ (stanga) și $K_s^0 - \bar{K}^0$ (dreapta) produse în acceptanța LHCb, pentru cele două configurații ale PYTHIA 8.

ca cel puțin 2 trase provenite din dezintegrarea hadronilor în particule încărcate electric să fie detectate de LHCb în timp ce condiția pe pseudorapiditatea particulei asigură faptul că particula mamă se află în acceptanța geometrică a detectorului ceea ce determină particulele fiice să rămână în această acceptanță cu o eficiență apropiată de unitate [2]. În plus în cazul hadronilor stranii sunt eliminate acele particule ce fac parte din lanțuri de dezintegrare pentru care suma timpilor de viață al particulelor mamă depășește un anumit prag (o anumită distanță de zbor, ~ 10 ps) corespunzător dimensiunii sensibile a sub-detectorului primar folosit în determinare traselor [3]. Cu aceste restricții se selectează doar particule stranii prompte (în definiția LHCb care include și produsele dezintegrării hadronilor b sau c) în acceptanța LHCb. Acești candidați sunt ulterior combinați doi câte doi pentru a forma perechi de hadroni continuând fie cuarci s fie cuarci \bar{s} . Din studiul distribuțiilor diferitelor observabile derivate din proprietățile particulelor din pereche se pot obține informații cu privire la procesul de hadronizare a perechii $s\bar{s}$ prin mecanismul bazat pe stringuri Lund sau alte procese implementate în generatorul de evenimente [4]. Candidații hadroni stranii selectați astfel reproduc distribuțiile diferențiale ($\Delta\eta$, Δy , Δp_T , $\Delta\phi$, $\Delta R = \sqrt{(\Delta\eta)^2 + (\Delta\phi)^2}$ diferența dintre pseudorapiditățile, rapiditățile, impulsurile transversale, unghiurile azimutale ale particulelor din pereche, respectiv apertura conului determinat de traiectoriile celor două particule) prezentate în raportul anterior ducând la aceleași concluzii indicând o sursă comună a perechii $s\bar{s}$ ce hadronizează în cele două particule stranii.

O caracterizare completă a dinamicii stranieității în procesul de hadronizare trebuie să cuprindă și efectul proceselor QCD cu transfer mare de impuls între partoni (“hard-QCD”). Pentru aceste studii putem profita, într-o primă aproximație, de particularitățile producției de hadroni beauty din perechi de cuarci $b\bar{b}$ datorită scării de energie la care aceasta are loc. La energiile de interacție pp de ordinul TeV, procesele inter-partonice cu pătratul cuadri-impulsului transferat, Q^2 , mare (hard-QCD) produc perechi $b\bar{b}$ la rapidități mari (pe direcția apropiată fasciculelor de protoni incidenti) datorită formei funcțiilor de distribuție partonice (PDF) din protonii incidenti. Acest efect se poate observa în hadronii beauty produși în urma hadronizării (vezi fig. 4 sus). Întrucât producția de cuarci beauty este rară în aceste studii am folosit un esanțon MC de interacții pp la 13 TeV pentru care procesele inter-partonice hard-QCD sunt forțate să producă în principal perechi $b\bar{b}$ pentru fiecare coliziune, i.e. $g g \rightarrow b\bar{b}$,

$q\bar{q} \rightarrow b\bar{b}$. In distributiile pentru perechi de hadroni beauty din figura 4 (jos) se observa ca perechea de cuarci $b\bar{b}$ produsa in procese hard-QCD prezinta anti-corelatie spatiala. Hadronii stranii prezenti in acest esantion provin din dezintegrarile hadronilor beauty, spectrul lor de impuls transversal fiind limitat intr-un domeniu de valori mici asemanator celor produsti in minimum bias.

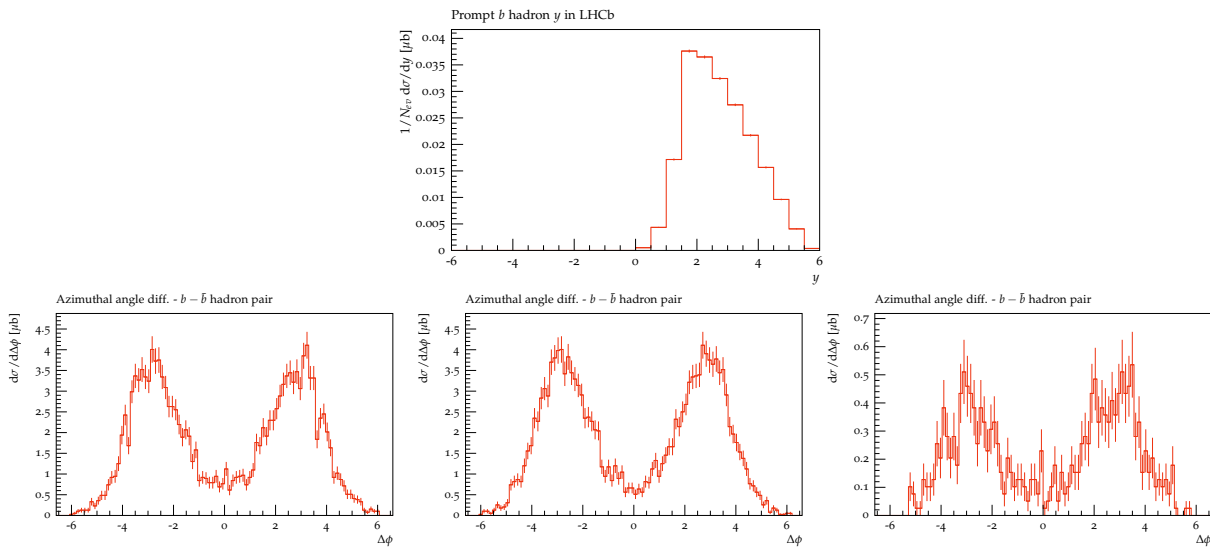


Figura 4: (sus) Productia de hadroni beauty in acceptanta geometrica a LHCb. (jos) Diferenta de unghi azimutal in perechi de hadroni beauty, $B^0 - \bar{B}^0$ (stanga), $\bar{B}^0 - B^+$ (mijloc), $B^- - \bar{\Lambda}_b^0$ (dreapta), produsti in acceptanta LHCb folosind generatorul PYTHIA 8.186.

Zona de impuls transversal mare din spectrul hadronilor stranii este deci accesibila doar daca se considera o plaja larga de procese partonice din categoria hard QCD. Studiile de fezabilitate au aratat ca statistica hadronilor stranii de impuls transversal mare in acceptanta LHCb este mult prea mica pentru a limita erorile statistice. Perechile $s\bar{s}$ care prin hadronizare produc astfel de hadroni pot fi produse fie direct in interactia parton-parton fie prin dezintegrari hadronice ale bozonilor interactiei electroslabе. Unul din obiectivele acestui proiect este stabilirea unei metode de generare de esantioane Monte Carlo pentru productia de stranietate in procese hard-QCD, nu doar in procese de hadronizare la valori mici ale impulsului transversal. Acest lucru ar permite studiul productiei de stranietate in interactiile tari parton-parton si evolutia jeturilor produse de cuarci stranii rezultati. In plus s-ar putea face o paralela intre productia de stranietate si beauty in evenimente in care produsii unei interactii hard-QCD duc la fragmentarea in jeturi reconstruite in LHCb. Odata cu dublarea energiei de coliziune pe fascicul LHC, se estimeaza o crestere aproape dubla in probabilitatile de productie a fragmentelor unei interactii hard-QCD.

Referințe

- [1] Andy Buckley, Hendrik Hoeth, Heiko Lacker, Holger Schulz, Jan Eike von Seggern, "Systematic event generator tuning for the LHC", Eur. Phys. J. C 65 (2010) 331-357; DOI: 10.1140/epjc/s10052-009-1196-7
- [2] Aaij, R. *et al.* (LHCb Collab.), "Measurement of the track reconstruction efficiency at LHCb", J. Instrum. 10 (2015) P02007; DOI: 10.1088/1748-0221/10/02/P02007

- [3] Aaij, R. *et al.* (LHCb VELO Group), “Performance of the LHCb Vertex Locator”, *J. Instrum.* 9 (2014) P09007; DOI: 10.1088/1748-0221/9/09/P09007
- [4] B. Andersson, G. Gustafson, G. Ingelman and T. Sjöstrand, *Phys. Rep.* 97 (1983) 31.
T. Sjöstrand, *Nucl. Phys.* B248 (1984) 469.

3. Publicatii si alte date asociate proiectului

Doa articole de tip proceeding care au fost publicate la finalul anului trecut si nu a fost incluse in raportul precedent:

1. F. Maciuc, (on behalf of the LHCb Collab.), "QCD and Electroweak Boson Production in the Forward Region in LHCb", Proceedings of International Workshop on LowX Physics, Rehovot and Eilat, Israel, 30 May - 4 Jun 2013; Open Physics Journal, (2014), [1: 36-42](#).
2. A.T. Greco (on behalf of the LHCb collaboration), "Soft QCD Measurements at LHCb", in Proceedings of 20th Particles & Nuclei International Conference, 25-29 August 2014, Hamburg, Germany, p. 137, DOI:10.3204/DESY-PROC-2014-04/249; , acest articol a fost publicat in cartea editata de catre Editura Verlag Deutsches Elektronen-Synchrotron si disponibila online la: <http://www-library.desy.de/preparch/desy/proc/proc14-04.pdf> ; pentru detaliile de publicare a se vedea versiunea online pagina 2 in documentul pdf.

4. Concluzii

Un studiu complet al productiei de stranietate si a cuarcilor beauty ar implica si masurarea sectiunilor eficace diferentiale pentru productia de particule in perechi. O mare parte din particulele observate in LHCb sunt produse in momentul hadronizarii dar informatia anterioara hadronizarii supravietuieste in unele cazuri extreme ca de exemplu productia de mezoni si barioni beauty. In cazul LHCb productia corelata de particule poate fi studiată:

- 1) in cazul stranietatii din hadronizare in evenimente LHCb de tip Minimum Bias si
- 2) in cazul productiei corelate de hadroni beauty in datele reconstruite si special selectate de trigger-ul de semnale B, in care al doilea hadron B din pereche este reconstruit prin metode inclusive care incerca sa selecteze o gama cat mai larga a posibilelor canale de dezintegrare.

Ultimul punct presupune colectia de sute de mii de perechi de hadroni beauty pentru deteminarea setiunilor eficace diferentiale, iar ca obiectiv colateral poate permite studiul fractiilor sau rapoartelor de hadronizare pentru cuarci beauty: f_d , f_u , f_s , ot f_{Λ} .

Director proiect,
Dr. Florin MACIUC
4.12.2015

Materialul din prezentul document corespunde situatiei curente a analizei aflate in desfasurare. Grafice, numere si alte rezultate concrete care au fost obtinute pe baza datelor LHCb sau softului colaborarii LHCb nu pot fi distribuite public in acest moment. Acestea pot fi furnizate doar comisiei evaluatoare. Desi date si metode specifice analizelor LHCb au fost folosite, concluziile prezentate sunt pe moment sustinute numai de autorii studiului nu si de restul colaborarii. Graficele si valorile prezentate sunt or date publice LHC (publicate in jurnale de prestigiu sau incluse in baze de date publice ale colaborarilor HEP – High Energy Particles) sau obtinute pe baza simularilor Monte Carlo cu ajutorul generatorilor desponibili in domeniul public sub licenta GNU: e.g. generatorul „PYTHIA 8 is licensed under the GNU General Public Licence version 2”.