

Raport științific sintetic final

privind implementarea proiectului PN II, IDEI 56/07.10.2011 cu titlul „Studies of flavor production mechanisms in the pp interaction”, în perioada ianuarie 2012 – noiembrie 2016

Etapa I (ianuarie 2012 – decembrie 2012)

Obiective: Studiul corelațiilor de particule cu stranie unitară, mezoni, barioni și antiparticulele asociate.

I.1 Rezumatul primei etapei a proiectului – pentru prezentarea extinsă, a se vedea raportul de fază

Faza din 2012 a fost făcută sub îndrumarea vechiului director de proiect (dr. Raluca Mureșan), iar actualul director de proiect (Dr. Florin MACIUC director al proiectului din Mai 2013) deține doar o parte a informațiilor din 2012, în plus modificările în interfața de control a proiectului la UEFISCDI pot să fi dus la pierderea unor date sau amestecarea acestora cu alte informații, astfel actualul director de proiect roagă cititorul să aibă înțelegere.

Odată cu atingerea în 2011 și 2012 a unor energii de coliziune fără precedent la acceleratorul de particule LHC Large Hadron Collider de la CERN, detectorul LHCb [1], a colectat 1 fb^{-1} și respectiv 2 fb^{-1} . Din păcate datele accesibile acestui studiu sunt date de tip No-Bias, pentru a nu introduce efecte de „trigger”. Aceste date sunt sumate la un eșantion corespunzând la o luminositate integrată de fascicol de protoni de 20 nb^{-1} în cel mai bun caz pentru ambele energii de coliziune. Construirea echipei în primul și al doilea semestru din 2012 a fost anevoioasă, iar din păcate majoritatea persoanelor angajate plecând din institut (IFIN-HH). Din echipa inițială, la finalul lui 2012 rămânând doar 3 membrii: 2 doctori și un doctorand, plus un administrator de rețea la suport tehnic. Din fericire echipa proiectului a fost parțial reconstruită în special cu persoane tinere, doctoranzi și masteranzi. Membrii noi, în special cei fără experiență anterioară în domeniu, au trebuit instruiți și încadrați în sistemele de lucru ale colaborării LHCb. O bună parte a activității membrilor cu oarecare vechime din proiect a fost de a pregăti și perfecționa noi doctoranzi și masteranzi în domeniul fizicii particulelor și fizicii energiilor înalte, domenii în care majoritatea absolută a studenților din România nu au o pregătire preliminară în facultățile din domeniu.

Activitatea principală în această etapă a fost direcționată în scopul modelării/simulării producției și detecției în detectorul LHCb a candidaților reconstruiți stranii (K^+, K^-) și a perechilor Lambda plus anti-Lambda ($\Lambda, \bar{\Lambda}$), sau combinații de Kaon și barioni Λ . Ambele semnale au eficiențe proaste de detecție în LHCb: 1. Kaonii au probleme de detecție datorită faptului că este necesară utilizarea informației date de subdetectorii LHCb de identificare a particulelor RICH (Ring Imaging Cherenkov) [7], iar în cazul Kaonilor separarea față de fondul de pioni încărcăți, fond ce domina în coliziuni proton-proton la LHC, este foarte proastă la nivel de $\sim 70\%$, în pofida unei metode performante de separare și calibrare [8]. În cazul barionilor Λ timpul de viață în LHCb este adeseori de 1metru/c (c fiind viteza luminii), astfel încât decât o fracție de 1-10 % din barionii emiși în acceptanța LHCb poate fi reconstruită. Semnalul reconstruit în detector pentru perechile anterioare a fost prelucrat și o prima estimare a fost prezentată colaborării LHCb și în special grupului de studiu QEE – „QCD/ElectroWeakExotica”. Dificultățile de estimare a eficienței de identificare a particulei Kaonice în RICH au făcut practic imposibilă folosirea datelor ce conțin candidați Kaonici încărcăți, dificultățile acestea fiind în principal generate de prioritățile colaborării LHCb, priorități ce implică optimizarea continuă a algoritmilor de PID („particle identification” -identificarea particulelor) și implicit a soft-ului LHCb. Optimizarea RICH este destinată exclusiv

semnalelor de dezintegrare ale hadonilor beauty și charm, astfel încât nu exista un efort echivalent în cazul studiilor de Minimum-Bias. Datele (Λ , anti- Λ) au fost estimate în evenimentele de tip „Minimum Bias”/No-Bias (evenimente în care trigger-ul este setat pe momentul ajungerii pachetului de protoni LHC în punctul de interacție LHCb. Primele estimări ale distribuției în spațiul fazelor au fost făcute împreună cu determinarea ratelor brute de producție a barionilor Λ și separat anti- Λ în LHCb. Aceste rezultate au fost comunicate colaborării LHCb împreună cu alte date privind producția de stranietate.

Pentru procesarea datelor LHCb s-a inclus în soft-ul LHCb oficial linile de reconstrucție de hiperoni Xi și Omega, în vederea obținerii de la colaborare de pre-candidați Xi și Omega pentru analiza ulterioară în etapele următoare.

În contextul teoretic al programului proiectului s-a păstrat o conexiune strânsă cu grupul de teoreticieni de la CERN, în special cei ce dezvoltă programul de generare de coliziuni PYTHIA. S-au propus din partea acestora diverse observabile de interes teoretic, iar grupul și-a propus să testeze fezabilitatea măsurării acestor cantități în acceptanța LHCb pe direcția înainte. Unele din acestea au fost determinarea stucturilor de jet [5] din evenimentele ce conțin candidați stranii Kaon, Λ , Ξ , sau Ω . O importantă concluzie în urma discuțiilor a fost că și determinarea secțiunilor-eficace de producție pentru stranietate la nivel uni-particula este esențială. Alcătuirea unui set de măsuratori LHCb pentru generatorul LHCb este esențială pentru a putea optimiza/tune generatorii PYTHIA pe direcția înainte. Un tune LHCb pentru PYTHIA fiind esențial atât pentru colaborare cât și pentru comunitatea teoretică din domeniu pentru a putea testa modele de producție de particule în ciocniri proton-proton la energii LHC pe direcția înainte în acceptanța LHCb.

Este important de asemenea de discriminat între corelații de aroma/stranietate ale kaonilor proveniți din același string (Modelul Lund al fragmentarilor hadronice [2-4]) și alte corelații de timp cinematic sau dinamic, e.g.: conservare a impulsului, jeturi, etc. Aceasta discriminare poate fi făcută inițial decât în datele simulate, unde informația exactă privind natura și istoria de producție a particulei este disponibilă. O mare problemă este aici necesarul de date simulate în cantități mari. Deși necesarul de date Minimum Bias pentru studii mult mai simple este în general estimat la 100 de milioane de evenimente, eșantioanele efectiv disponibile pe care colaborarea acceptă să le producă sunt mult mai mici, acestea conținând 1-10 milioane de evenimente Minimum-Bias, tipic.

Pentru aceasta, modelele propuse spre a fi confruntate cu rezultatele obținute trebuie să fie implementate în software-ul de simulare folosit de colaborare (GAUSS [10]). Prelucrarea datelor experimentale ca și producerea și prelucrarea datelor simulate nu poate fi făcută folosind resursele unui singur institut, calculatoare din institute și universități din diverse colțuri ale lumii încadrate într-o super-rețea numită WLCG – worldwide LHC Computing Grid, fiind folosite pentru aceasta. Accesul la aceste resurse globale care permit prelucrarea în paralel a datelor este absolut esențială. Din păcate date fiind resursele limitate și necesarul de calcul și date imens, acest acces este în general limitat prin constrângeri impuse utilizatorilor atât de centrele de GRID cât și de colaborările LHC. Producția de eșantioane simulate pentru analiza semnalului Ξ , sau Ω sau a perechilor de hiperoni Lambda este prohibitivă din punct de vedere computațional și a necesitat diverse metode ingenioase de îmbogățire a semnalului în eșantioane Monte Carlo de tip Minimum Bias simulate.

După cum am menționat deja scopul declarat al acestor măsuratori este de a furniza material pentru optimizarea modelelor de hadronizare deja existente și implicit a generatorilor în care acestea sunt implementate și pentru crearea de modele și generatori noi. Un prim pas este confruntarea modelelor și optimizărilor existente cu măsurătorile de producere uniparticulă efectuate de experimentele LHC. S-a încercat identificarea unei optimizări de referință definită ca cea optimizare care descrie cel mai bine nu numai distribuțiile uniparticulă de hadroni stranii măsurate folosind datele LHCb, dar în același timp și rezultatele celorlalte experimente de la LHC. Pentru

Început am folosit diferite optimizări ale parametrilor generatorului PYTHIA alese după consultarea literaturii de specialitate și discuții cu autorii acestui generator. Două generații diferite ale PYTHIA au fost folosite, varianta veche PYTHIA 6 scrisă în limbajul de programare FORTRAN și varianta nouă aflată în stadiul de dezvoltare PYTHIA 8 scrisă în C++. O serie de optimizări ale generatorului PYTHIA 6 indicate de către autori sau de către persoane care lucrează pentru diferite experimente au fost luate în considerare: Perugia 0 – optimizare de referință folosind rezultatele experimentelor pre-LHC, AMBT1 – prima optimizare propusă de colaborarea ATLAS în 2010 care folosește datele înregistrate la LHC la 7 TeV și LO PDF, CMS Z1 – o optimizare a AMBT1 propusă de membrii ai experimentului CMS folosind PDF-uri (Parton Distribution Function) de tip CTEQ5L, Perugia 2011 – ultima optimizare de referință a generatorului PYTHIA 6 propusă în anul 2011 ce îmbunătățește optimizarea Perugia 2010 bazată pe PDF-uri CTEQ5L[9] precum și optimizarea de referință (pentru energiile de la LHC) a generatorului PYTHIA 8. Comparația dintre rezultatele obținute cu optimizările acestor generatori și măsurătorile LHCb a fost raportată și la datele generate cu optimizarea propusă de experimentul LHCb[10]. Rezultatele experimentale produse de LHCb[11], ALICE[12] și CMS[13] la diferite energii de interacție implementate în subrutine RIVET, au fost confruntate cu distribuțiile obținute folosind aceste optimizări. Din păcate nici una dintre optimizările testate nu s-a dovedit a descrie în mod satisfăcător toate distribuțiile experimentale propuse. În perioada imediat următoare ne propunem o analiză a distribuțiilor asociate diferitelor optimizări care va lua în considerare comparația valorilor parametrilor folosiți pentru a interpreta măsurătorile deja efectuate și discrepanțele dintre acestea. Acest studiu bazat pe rezultatele măsurătorilor producției de stranietate la nivel uniparticulă va contribui la interpretarea rezultatelor măsurătorilor de producție corelată a particulelor propuse în acest proiect odată ce sunt analizate. Un studiu al literaturii de specialitate în scopul identificării modelelor de interes pentru studiul producerii corelate de hadroni care conțin un cuarc b a fost de asemenea demarat, urmărind și posibilitățile de implementare ale acestora în software-ul de simulare folosit la LHCb.

Un workshop a fost organizat în cadrul acestei etape la București la IFIN-HH între 22-23 noiembrie 2012, cu participarea partenerilor din colaborarea LHCb cât și a experților ce dezvoltă generatorii PYTHIA[2], SHERPA[14], HERWIG[15], EVTGEN[16]. La acest workshop au fost 3 prezentări din partea membrilor grupului.

I.2 Bibliografie

- [1] LHCb collab., A. A. Alves Jr. et al., The LHCb detector, JINST 3 (2008) S08005.
- [2] T. Sjostrand, S. Mrenna, and P. Skands, PYTHIA 6.4 physics and manual, JHEP 05442 (2006) 026, arXiv:hep-ph/0603175. T. Sjostrand, S. Mrenna, P. Z. Skands, A brief introduction to PYTHIA 8.1, Comput. Phys. Commun. 178 (2008) 852-867, [arXiv:0710.3820].
- [3] B. Andersson et al., Parton Fragmentation and String Dynamics, Phys. Rep. 97(2-3) (1983) 31-145.
- [4] P. Skands, Introduction to QCD, CERN-PH-TH-2012-196, arXiv:1207.2389[hep-ph].
- [5] A. Bursche, Jet reconstruction with LHCb, "20th International Workshop on Deep-Inelastic Scattering and Related Subjects", Bonn, Germany, 26-30 Mar 2012, LHCb-TALK-2012-051, <http://cdsweb.cern.ch/record/1435149>.
- [6] D. B. Lichtenberg, W. Namgung, E. Predazzi, J. G. Will, Baryon Masses In A Relativistic Quark-Diquark Model. Phys. Rev. Lett. 48 (1982) 24.
- [7] M. Adinolfi et al., Performance of the LHCb RICH detector at the LHC, arXiv:1211.6759.
- [8] M. Pivk and F.R. Le Diberder, sPlot: a statistical tool to unfold data distributions, Nucl. Instrum. Meth. A 555 (2005) 356-369, arXiv:physics/0402083[physics.data-an].
- [9] P. Z. Skands, Tuning Monte Carlo generators: The Perugia Tunes, Phys. Rev. D 82 (2010) 074018, and updates in [arXiv:1005.3457].
https://pythia6.hepforge.org/trac/browser/trunk/update_notes.txt.

- [10] I. Belyaev et al., Handling of the generation of primary events in , the LHCb simulation framework, Nuclear Science Symposium Conference Record (NSS/MIC) IEEE (2010) 1155.
- [11] LHCb collaboration, R.Aaij et al., Prompt K⁰S production in pp collisions at sqrt(s) = 0.9 TeV, Phys. Lett. B 693 (2010) 69, arXiv:1008.3105. LHCb collaboration, R. Aaij et al., Measurement of V⁰ production ratios in pp collisions at sqrt(s) = 0.9 and 7 TeV, JHEP 1108 (2011) 034, arXiv:1107.0882. LHCb collaboration, R.Aaij et al., Measurement of the inclusive cross-section in pp collisions at sqrt s = 7 TeV, Phys. Lett. B 703 (2011) 267, arXiv:1107.3935.
- [12] Strange particle production in proton-proton collisions at sqrt(s) = 0.9 TeV with ALICE at the LHC, Eur. Phys. J. C 71 (2011) 1594.
- [13] Kshort, Lambda, and Cascade- transverse momentum and rapidity spectra from proton-proton collisions at 900 and 7000 GeV, JHEP 1105 (2011) 064, doi:10.1007/JHEP05(2011)064, arXiv:1102.4282[hep-ex].
- [14] T. Gleisberg et. al Event generation with SHERPA 1.1. JHEP 0902 (2009) 007. <https://sherpa.hepforge.org/trac/wiki>
- [15] M. Bahr et al. Herwig++ Physics and Manual. Eur.Phys.J. C58 (2008) 639-707, e-Print: arXiv:0803.0883 [hep-ph]. <http://herwig.hepforge.org/>, arXiv:0803.0883.
- [16] D. J. Lange, The EvtGen particle decay simulation package, Nucl. Instrum. Meth. A 462 (2001) 152, <http://www.slac.stanford.edu/~lange/EvtGen/>;
<http://lhcb-release-area.web.cern.ch/LHCb-release-area/DOC/gauss/generator/evtgen.php>.

I.3 Rezultate adiționale raportului de fază

1. "*LHCb Generators Tuning mini-Workshop in Bucharest (LHCb-MC)*" – principalii organizatori **Raluca Mureșan** din cadrul IFIN-HH (directorul de proiect precedent) și Gloria Corti de la CERN.

Pentru detalii a se consulta pagina web a proiectului: <http://www.nipne.ro/dpp/Collab/LHCb/idei>

Workshop web page: "[LHCb-MC Workshop in Bucharest](https://indico.cern.ch/conferenceTimeTable.py?confId=214491#all)"
<https://indico.cern.ch/conferenceTimeTable.py?confId=214491#all> sau alternativ "[LHCb-MC Meeting in Bucharest](#)"

Două contribuții din partea membrilor grupului în cadrul workshopului:

A. "Rivet in LHCb" prezentare Dr. Alexandru T. Grecu.

B. "Welcome & interest for MC generators in Bucharest group" ([link](#) on web) introducere de organizator Dr. Raluca Mureșan.

În cadrul agendei de lucru de la workshop, doua sesiuni au fost coordonate de cei doi colegi ai noștri care au funcționat pe post de „session convener”

A. Monte Carlo generators session on "Pythia8" - convener Dr. Raluca Mureșan;

B. Monte Carlo generators session on "Sherpa" - convener Dr. Alexandru T. Grecu.

2. Doi studenți doctoranzi au fost incluși în această etapă în program și un masterand.

3. 3 prezentări în grupurile de lucru LHCb, organizate la CERN, făcute în persoana sau prin sistemul de videoconferință al CERN.

Etapa II (ianuarie 2013- decembrie 2013)

Obiectiv: Continuarea studiului corelațiilor între particule de stranieitate unitară, mezoni, barioni și antiparticule asociate acestora

Pentru rezumatul extins al fazei a se vedea raportul de fază

II.1 Rezumat al activităților de fază

Prima sarcină în această etapă a fost determinarea luminozității efective pentru evenimentele LHCb No-Bias, evenimente ce permit studiul producției de particule stranii. În contextul limitării în rată la 100 Hz dintr-un total de 10-13 MHz de coliziuni în punctul de interacție al LHCb, avem un factor de scară între luminozitatea dată de LHCb și cea efectivă de 10^5 . Astfel din 3 fb^{-1} luminozitate integrată pentru RUN 1 al LHC, avem luminozități efective de ordinul zecilor de nb^{-1} pentru evenimentele No-Bias utilizabile în analiza producției de stranieitate în acest context.

Pentru datele LHCb ce sunt interesante pentru studiul de fază s-au făcut calcule de probabilitate și eficiență de reconstrucție în detector a candidaților perechi stranii. Pentru datele LHCb din 2010 s-au găsit imprecizii de reconstrucție a identității particulei PID și pentru datele din 2011 la energie de coliziune de 2.76 TeV în centru de masă a celor doi protoni LHC, s-au constatat imprecizii de reconstrucție a traiectoriilor în detectori. Această imprecizie este explicată de reconstrucția timpurie a datelor din aprilie 2011 la 2.76 TeV, această imprecizie fiind generată de lipsa unei reconstrucții a datelor ulterioară pentru eșantionul de Minimum Bias. Aceste reprocesări a datelor cu algoritmi de reconstrucție mai performanți a fost făcută pentru datele din vara și toamna lui 2011, dar în general aceste date sunt limitate la frecvența de 100 Hz pentru linia de No-Bias.

Cu toate problemele întâmpinate s-a ajuns totuși la concluzia că datele LHCb No-Bias necesare studiului sunt datele din vara-toamana 2011 la 7 TeV și datele din 2012 la 8 TeV energie de coliziune pe proton-proton. Acest lucru fiind datorat preciziei bune de reconstrucție a traiectoriilor de particulă în detector și cunoașterii incertitudinii de reconstrucție și identificare de particule. Studiul acestor date fiind limitat numai în ce privește cunoașterea exactă a luminozității LHC. Pentru studiile de corelații între barioni Lambda plus anti-Lambda, numărul mai mare de evenimente din 2011 și 2012 (20 nb^{-1}) este de asemenea esențial în realizarea măsurătorilor propuse în celule ale spațiului de fază (p_T , eta, phi) unde p_T reprezintă impulsul transversal față de fasciculele LHC, eta – pseudorapiditatea particulelor și phi unghiul de azimutal în planul transversal a particulelor.

În afara liniilor de preselecție¹ a candidaților hiperoni Xi și Omega, au fost dezvoltate și integrate utilitare soft în soft-ul LHCb oficial pentru pre-selecția candidaților pereche de particule stranii Lambda sau Kaoni încărcăți plus anti-particulele corespunzătoare.

Liniile de preselecție sau stripping sunt date într-un cadru din paginile oficiale ale colaborării LHCb în „Illustration 1”[1]. Pentru fiecare combinație sunt date (K^+ , K^-), (Lambda, Lambda-bar), (Lambda, K^+), (Lambda-bar, K^-). Deși perechile exclusiv Kaon-ice sunt foarte abundente, separarea particulelor Kaonice încărcate de fondul de pioni încărcăți rămâne problematică chiar și pentru datele 2011-2012 în care procesul de identificare a particulelor mult mai performant relativ la datele timpurii din 2010 și 2011 (primăvara). Deci, orice structură în funcția de corelație a acestor

¹ Colaborarea nu dă accesul la toate datele LHCb, acest lucru fiind imposibil chiar utilizând infrastructura de GRID, astfel fizicienii ce fac analiza datelor sunt obligați să dezvolte și să integreze în soft-ul LHCb oficial, utilitare ce sunt rulate în campaniile periodice de reprocesare a datelor LHCb. Aceste utilitare soft sunt făcute să pre-seleceze candidați de semnal, iar în plus aceste linii de preselecție sau „stripping” trebuie să îndeplinescă criterii drastice de eficiență de procesare și stocare, în general fiind rulate simultan pe GRID mii de astfel de linii de stripping, în cadrul campaniilor de procesare.

StrippingLowMultCEP_ChiC2PiPiPiWS_line	189	0.0027	0.040
StrippingWMuJetsLine	2893	0.0411	9.209
StrippingSbarSCorrelationsPhiLine	1052	0.0149	0.048
StrippingSbarSCorrelationsF2Line	26	0.0004	0.105
StrippingSbarSCorrelationsLambdaCplusLine	618	0.0088	0.056
StrippingSbarSCorrelationsLambdaCminusLine	612	0.0087	0.059
StrippingWeJetsLine	4138	0.0588	9.454

RD

BhadronCompleteEvent

Line name	N evnts	Rate, %	ms/evt
StrippingB2XTau_DPi_TOSLine	1931	0.0274	0.708

*Illustration 1: List of stripping lines with preselection algorithms included into LHCb software by our group: dummy particles phi, f_2, charmed Lambda hadrons, included as decaying to the (K+ ,K-), (Lambda, Lambda-bar), (Lambda, K+), (Lambda-bar, K-)
 StrippingSbarSCorrelationsPhiLine with 1052 found (K+, K-) candidates in the Stripping tests
 StrippingSbarSCorrelationsF2Line (Lambda, Lambda-bar),
 StrippingSbarSCorrelationsLambdaCplusLine (Lambda, K+)
 StrippingSbarSCorrelationsLambdaCminusLine (Lambda-bar, K-)*

perechi poate fi generată nu de procesul de fragmentare ci de structuri în distribuția fondului. Acest lucru a fost pus în discuție pe larg în faza din anul 2014. La perechile (Λ , anti- Λ), problema este timpul lung de viața în detector, acesta putând ajunge la mai mulți metri per viteza luminii din cauza factorilor Lorentz gama în excedent față de valoarea de 30.

Datele de simulare Monte Carlo sunt necesare în determinarea eficiențelor și acceptanței cinematice pentru aceste semnale acestor particule pereche. În prima instanță a acestui studiu au fost folosite date generate în PYTHIA [2] independent de colaborare și s-au utilizat apoi date generate local sau pe Grid de către membrii grupului folosind pachetul Gauss [3] oficial, generarea fiind implementată tot de membrii grupului. Procedura de publicare a datelor LHCb însă presupune în final utilizarea eșantioanelor produse central de către colaborare la cererea grupurilor de lucru LHCb. Astfel s-au organizat 2-3 prezentări în grupurile de lucru LHCb pentru a pune în evidență necesitatea generării unor eșantioane, fiecare de cel puțin 10 Milioane de evenimente de tip Minimum Bias, pentru 2 polarități distincte ale câmpului magnetic în detector și pentru 2 valori de energie de coliziune 7 și respectiv 8 TeV. În urma negocierilor la diverse nivele din cadrul colaborării, au fost produse în total 40 Milioane de evenimente de tip Minimum Bias, 4 milioane de evenimente simulate cu îmbogățire a semnalului Xi și Omega negativ sau pozitiv încărcat. S-au mai cerut dar nu s-au aprobat 40 milioane de evenimente cu producție de stranietate inclusiv pe hadronii stranii.

În ce privește studiile de model s-au continuat studiile de tune a generatorilor folosind programul specializat „RIVET” [5] prin includerea de noi „tunes” ca bază de plecare în particular optimizări/tune de generatori asociați detectorilor centrali în rapiditate : CMS sau ATLAS. În

paralel a fost început procesul anevoios de colectare și formatare a măsurătorilor LHCb pe direcția înainte, pentru a fi utilizabile în RIVET și pentru a populariza măsurătorile LHCb în comunicatele teoreticienilor fenomenologiști, în special pentru regiunea de acceptanță (direcția înainte) unde LHCb nu are competiție. RIVET permite testarea de optimizare de generator prin compararea directă cu datele măsurătorilor LHC din baze de date gen HepDATA [4]. Unul din membrii grupului a avut un rol determinant în integrarea măsurătorilor LHCb în programul RIVET și în baza de date HepDATA.

Un al doilea obiectiv al unui studiu de sinteză ar fi punct de plecare pentru explorarea mecanismului de fragmentare sau hadronizare și valorificarea măsurărilor LHCb ale observabilelor ss-bar în acest context [6-8]. Se folosește și se va folosi intens modelele existente de hadronizare și de producere de cuarci sau partoni în general. Aceasta implică o muncă de achiziție de referințe bibliografice și material pentru această sinteză și în paralel este folosit „Rivet” și o sumă de „plug-in's” de la LHCb și alte colaborări LHC, pentru a înțelege și a modela caracteristicile globale ale producției ss-bar. i.e., spectrele hadonilor stranii sau cei care conțin cuarci stranii de valență ca mezonul „phi”. Rezultatele la o simulare preliminară sunt date în graficele 1a-1d pentru o sumă de modele Monte Carlo de generare: PYTHIA6: AMBT1, Z1, Perugia0 and Perugia2011, and PYTHIA8 „default tune 4C”. Măsurătorile experimentale din aceste grafice corespund la datele LHC (LHCb + ATLAS) publicate pentru 900 GeV și 7 TeV energii de coliziune proton-proton [10-11].

II.2 Bibliografie

- [1] LHCb Collaboration, LHCb Operations Plots Webpage, <http://lhcb-operationsplots.web.cern.ch/lhcb-operationsplots/index.htm>;
- [2] T. Sjostrand, S. Mrenna, and P. Skands, PYTHIA 6.4 physics and manual, JHEP 05442 (2006) 026, arXiv:hep-ph/0603175. T. Sjostrand, S. Mrenna, P. Z. Skands, A brief introduction to PYTHIA 8.1, Comput. Phys. Commun. 178 (2008) 852-867, [arXiv:0710.3820].
- [3] I. Belyaev et al., Handling of the generation of primary events in Gauss, the LHCb simulation framework, Nuclear Science Symposium Conference Record (NSS/MIC) IEEE (2010) 1155.
- [4] HEPdata, „High Energy Physics Data Repository”, <https://hepdata.net/> sau link-ul către pagina veche <http://hepdata.cedar.ac.uk>.
- [5] A. Buckley, J. Butterworth, D. Grellscheid, H. Hoeth, L. Lonnblad, J. Monk, H. Schulz, F. Siegert, “Rivet user manual”, arXiv:hep-ph/1003.0694; <http://rivet.hepforge.org/>.

Articole având Rivet plugin-s

- [6] R. Aaij et al. (LHCb collab.), "Measurement of V^0 production ratios in pp collisions at $\sqrt{s}=0.9$ and 7 TeV", J. High Energy Phys. 08 (2011) 034; arXiv:hep-ex/1107.0882; RIVET plug-in: LHCb_2011_I917009.
- [7] R. Aaij et al. (LHCb collab.), "Measurement of the inclusive phi cross-section in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV", Phys. Lett. B 703 (2011) 267-273; arXiv:hep-ex/1107.3935; RIVET plug-in: LHCb_2011_I919315.
- [8] R. Aaij et al. (LHCb collab.), "Prompt K_S^0 production in pp collisions at $\sqrt{s}=0.9$ TeV", Phys. Lett. B 693 (2010) 69-80; arXiv:hep-ex/1008.3105; RIVET plug-in: LHCb_2010_S8758301.
- [9] K. Aamodt, et al. (ALICE collab.), "Strange particle production in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 0.9$ TeV with ALICE at the LHC", Eur. Phys. J. C 71 (2011) 1594; arXiv:hep-ex/1012.3257; CERN-PH-EP-2010-065; RIVET plug-in: ALICE_2011_S8909580.
- [10] V. Khachatryan et al. (CMS collab.), "Strange Particle Production in pp Collisions at $\sqrt{s} = 0.9$ and 7 TeV", J. High Energy Phys. 05 (2011) 064; arXiv:hep-ex/1102.4282; RIVET plug-in:

CMS_2011_S8978280.

[11] G. Aad et al. (ATLAS collab.), "Kshort and Lambda production in pp interactions at $\sqrt{s} = 0.9$ and 7 TeV measured with the ATLAS detector at the LHC", Phys. Rev. D 85 (2012) 012001; arXiv:hep-ex/1111.1297; CERN-PH-EP-2011-168; RIVET plug-in: ATLAS_2011_I944826.

II.3 Rezultate de fază

1. Prezentări la conferințe internaționale

Florin MACIUC, "Xi \pm and Omega \pm hyperon production ratios", prezentare la „LHCb week in Krakow”, Septembrie 2013, <http://www.ifj.edu.pl/conf/lhcbweek2013/agenda.html> link catre fisier pdf cu agenda de lucru.

Alex GRECU "Studies of soft QCD at LHCb" → Event: LHCP 2013

(<https://indico.cern.ch/event/210555/>); Date: 16.05 2013; LHCP 2013 - First Large Hadron Collider Physics Conference, 13-18 May 2013, Barcelona - Spain

2. Prezentări în cadrul participării internaționale

Multiple prezentari la CERN în cadrul grupului de analize fizice cu tematica de „soft-QCD” al colaborării LHCb. Actualul director de proiect era convener al acestui grup în cadrul acestei etape.

2.1 "Stripping line for soft QCD: ssbar" → Event: QEE:Exotica (<https://indico.cern.ch/event/268274/>); Date: 22.08.2013;

2.2 "Reprocessing of first 14 nb-1 2010 early data and the upcoming dead-lines for the stripping of 2011 and 2012 Minimum Bias data" → Event: QEE: Exotica and SoftQCD (<https://indico.cern.ch/event/266185/>); Date: 08.08.2013;

2.3 "MC request" → Event: QEE: SoftQCD (<https://indico.cern.ch/event/256787/>); Date: 13.06.2013;

2.4 "QCD and EW production in the forward region" → Event: Rehearsals Low x Workshop (<https://indico.cern.ch/event/252187/>); Date: 24.05.2013;

2.5 "Decay files for Omega and Xi" → Event: Simulation Meeting (<https://indico.cern.ch/event/248460/>); Date: 23.04.2013;

2.6 "Update on Xi and Omega Stripping on 2011 and 2012 data at 7, 8 and 2.76 TeV" → Event: QEE: SoftQCD (<https://indico.cern.ch/event/244686/>); 04.04.2013;

2.7 "LHCb: Diffractive studies through energy flow and other soft QCD measurements" → Event: Results and prospects of forward physics at the LHC: Implications for the study of diffraction, cosmic ray interactions and more (<https://indico.cern.ch/event/223562/>); Date: 11.02.2013;

2.8 "Diffractive studies through energy flow and other soft QCD measurements" → Event: Rehearsals for CERN workshop on Results and Prospects of forward physics at the LHC (<https://indico.cern.ch/event/233140/>); Date: 07.02.2013;

2.9 "Strange baryons and mesons correlations" → Event: QEE: SoftQCD (<https://indico.cern.ch/event/204414/>); Date: 10.01.2013;

2.10 "Xi, Omega first peaks at 8 TeV" → Event: QEE: SoftQCD (<https://indico.cern.ch/event/204414/>); Date: 10.01.2013;

2.11 "Downstream tracking efficiency" → Event: Tracking and Alignmet Meeting (<https://indico.cern.ch/event/223889/>); Date: 08.08.2013;

2.12 "Professor/RIVET tuning system in LHCb. Implementation overview and future plans" → Event: Simulation Meeting: Developments (<https://indico.cern.ch/event/264436/>); Date: 17.12.2013;

2.13 "Readiness of PYTHIA8 tuning" → Event: Simulation Meeting: Tuning

(<https://indico.cern.ch/event/264434/>); Date: 26.11.2013

2.14 “Rivet plugin for LHCb energy flow measurements” → Event: QEE:General
(<https://indico.cern.ch/event/264297/>); Date: 25.07.2013;

2.15 “New features and changes in GenTune” → Event: Simulation Meeting: Developments
(<https://indico.cern.ch/event/257731/>); Date: 25.05.2013;

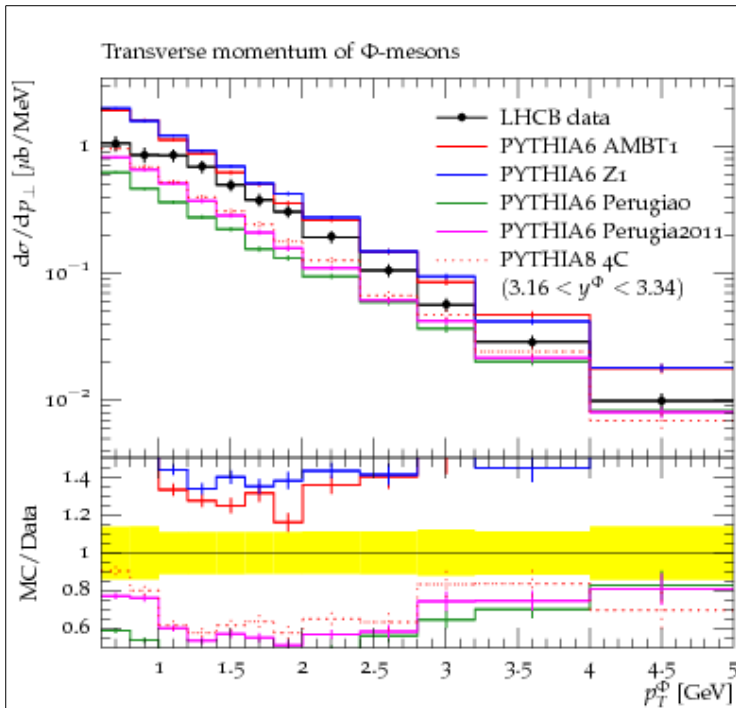
2.16 “Use of RIVET and Professor in LHCb” → Event: Simulation Day
(<https://indico.cern.ch/event/250729/>); Date: 23.05.2013

2.17 “Studies of soft QCD at LHCb” → Event: Rehearsals for LHCP
(<https://indico.cern.ch/event/249346/>); Date: 2.05.2013;

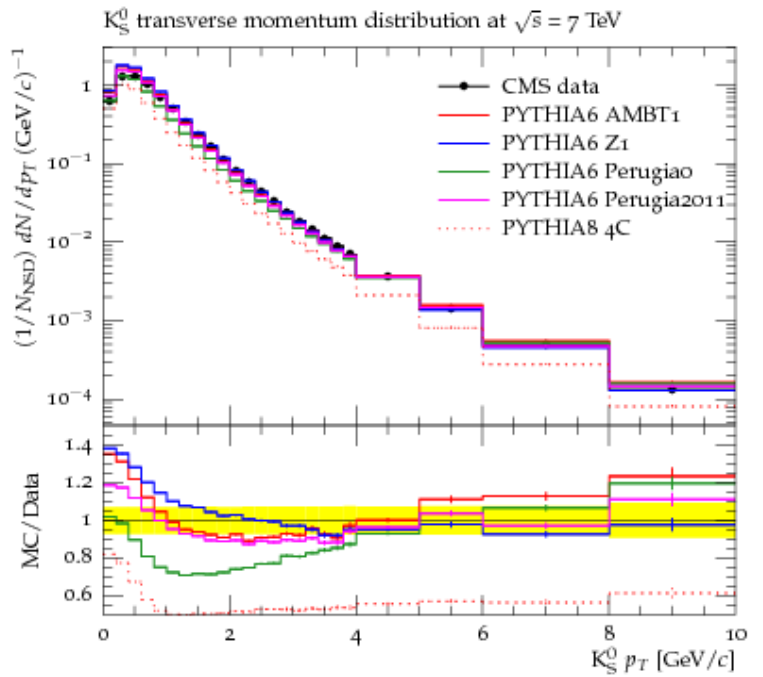
2.18 “Generator tuning utilities” → Event: Simulation Meeting: Focus on SIM08
(<https://indico.cern.ch/event/248466/>); Date: 30.04.2013;

2.19 “Introduction to HEPDATA/RIVET” → Event: B Hadrons and Quarkonia Meeting
(<https://indico.cern.ch/event/225844/>); Date: 13.03.2013;

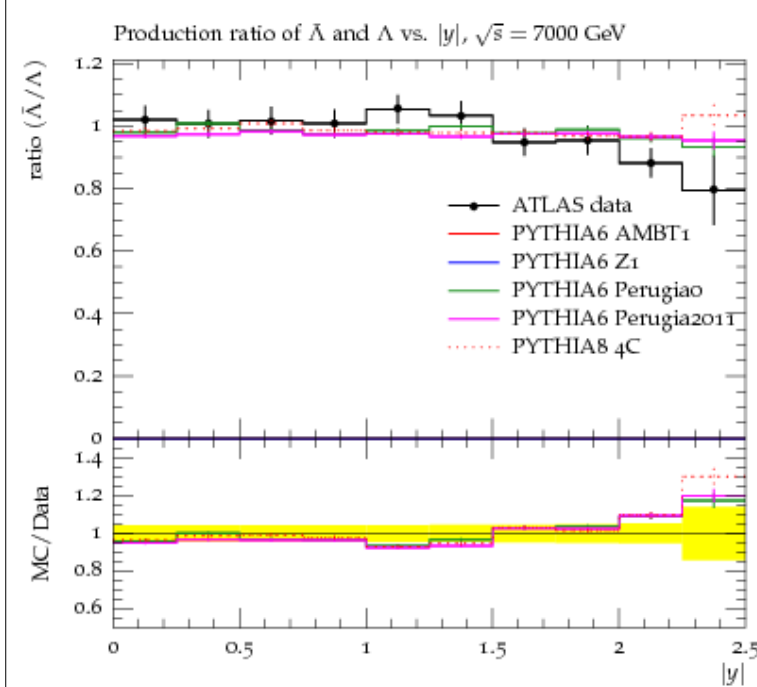
3. Un doctorand și doi masteranzi au fost susținuți din proiect în activitatea de cercetare și tematicile tezelor au fost pe un subiect din programul științific al proiectului.



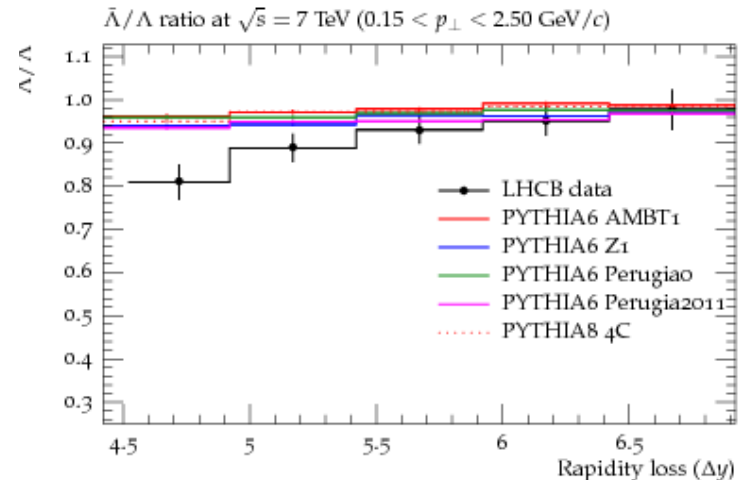
Grafic 1a – The Φ meson transverse momentum distribution at 7 TeV obtained with the RIVET plug-in compared to measured LHCb data published in [11].



Grafic 1b – K_s^0 transverse momentum distribution in pp collisions at 7 TeV from the RIVET plug-in in comparison with CMS data published in [14].



Grafic 1c – The Λ anti-baryon to baryon production ratio at 7 TeV in the central rapidity region obtained with the RIVET plug-in, in comparison with ATLAS data published in [15].



Grafic 1d – The $\bar{\Lambda}^0$ to Λ^0 production cross-section ratio in pp collisions at 7 TeV as function of rapidity loss generated by RIVET plug-in in comparison with LHCb measurement published in [10].

Etapa III (ianuarie 2014 – decembrie 2014)

Obiective:

III.A Continuarea studului de corelații între particule de stranie unitară, mezoni, barioni, și antiparticule asociate.

III.B Studiu pentru barioni stranii cu număr mai mare de unu. Studiul producției de barioni Xi și Omega în tandem cu alți barioni stranii. (Studiul de fezabilitate. Corelații între particule cu număr de stranie unitar și supraunitar. Hiperonii Xi și Omega, barionii Lambda și mezonii K+/-.)

Rezumatul etapei a treia a proiectului – pentru versiunea extinsă a se vedea raportul de fază.

III.1 Rezumat

III.1.1 Producerea particulelor stranii și studiile de corelație utilizând date LHCb

Pornind de la măsurătorile de producție a particulelor V^0 (barionul Λ^0 și mezonul K^0_s) publicate de colaborarea LHCb [1] în 2010-2011, au fost demarate pe parcursul anului 2014 o serie de studii folosind date înregistrate cu detectorul LHCb [2], vizând determinarea fezabilității unei analize a producerii corelate (în perechi) a hadronilor cu stranie nenulă precum și a măsurării secțiunilor eficiente de producție pentru hadroni stranii și mulți-stranii la energiile disponibile în primul „Run” LHC pentru coliziuni proton-proton și proton-plumb.

Analizarea datelor din coliziuni proton-proton s-a realizat utilizând evenimente tip „NoBias”, un sub-set special al datelor tip „minimum bias” în achiziția cărora nu se aplică criterii extrem de relaxate de veto asupra stării detectorului la momentul înregistrării. Rata de înregistrate a acestor evenimente în Run I a fost limitată (la o fracție mai mică de 10^{-5} din totalul evenimentelor înregistrate), astfel că în condițiile unei valori medii 2 a numărului de ciocniri primare simultane proton-proton, au fost determinate luminozitățile eșantioanelor de date NoBias disponibile la energiile de interacție de 7 și 8 TeV. Știind că luminozitatea totală este de 1 fb^{-1} , respectiv 2 fb^{-1} , s-au obținut următoarele valori pentru cele două orientări posibile ale câmpului magnetic în spectrometrul LHCb:

- 12.6 nb^{-1} și 7.2 nb^{-1} pentru toate datele NoBias cu energie de coliziune de 8 TeV;
- 2.8 nb^{-1} și 2.2 nb^{-1} pentru toate datele NoBias cu energie de coliziune de 7 TeV.

Ulterior a fost investigat și un eșantion de date înregistrate pentru coliziuni proton-proton la energia de interacție în sistemul centrului de masă de 2.76 TeV, a cărui luminozitate integrată a fost evaluată la aproximativ 0.5 nb^{-1} – evident insuficientă pentru efectuarea unei măsurători, dar care este folosit ca eșantion de control în analiza datelor corespunzătoare altor energii.

Au fost elaborați algoritmi de preselectie a evenimentelor ce conțin perechi de candidați de tipul $(\Lambda^0, \bar{\Lambda}^0)$; (Λ^0, K^+) ; $(\bar{\Lambda}^0, K^-)$; (K^+, K^-) în care, de exemplu, barionul Λ^0 conține un cuarc s de valență în timp ce anti-cuarcul s corespunzător intră în componența kaonului cu sarcină elementară pozitivă K^+ (este astfel evident că se selectează perechi de hadroni ce conțin combinația de cuarci s – anti-s). S-au extras valorile brute ale numărului de perechi de particule stranii produse corelat. Evaluarea factorilor de corecție pentru eficiența de detecție și indentificare a particulelor (PID – necesară în cazul perechilor de kaoni), și a erorilor sistematice a fost amânată datorită eșantioanelor insuficiente de evenimente simulate puse la dispoziție de colaborarea LHCb.

În figura 1 se poate observa distribuția producției de perechi $(\Lambda^0, \bar{\Lambda}^0)$ în raport cu diferența de pseudo-rapiditate (notată aici cu Δy) și diferența de unghi azimutal ($\Delta\phi$). Se observă corelația geometrică în producția perechilor barion – anti-barion, dar și efectele statisticii reduse a „populației” de perechi. Această deficiență este depășită în cazul perechilor de kaoni din figura 2. Pentru perechile de kaoni de stranie și sarcină electrică opusă se pot observa caracteristici calitative comune dacă se face comparația cu distribuția particulelor corelate printr-un părinte comun (în cazul de față mezonul ϕ) – vezi figura 3. În concluzie s-a stabilit ca etapele ulterioare ale analizei să includă extracția efectelor datorate stadiilor din producția de particule urmărind sursele acestor efecte de la coliziunile inter-partonice, prin emisia de radiație în stările cromodinamice inițiale până la procesul de fragmentare/hadronizare. Aceste obiective necesită studiul estimărilor

date de diverse modele teoretice, activități inițiale în acest sens fiind descrise pe larg în secțiunea 2.

În paralel s-au demarat și studiile preliminare pentru măsurarea producției de perechi de hadroni stranii în spațiul fazelor disponibil LHCb în care una dintre particule este un barion multi-straniu: Ξ sau Ω (având număr cuantic de stranie -2, respectiv -3). Deși mărimea eșantionului de candidați pentru energiile de coliziune de 7 și 8 TeV s-a dovedit suficientă, estimarea eficiențelor de reconstrucție și a erorilor sistematice a fost îngreunată de lipsa unor eșantioane de date simulate cu relevanță statistică.

Studiul a continuat cu analizarea evenimentelor ce conțin jeturi de hadroni, căutându-se stabilirea tipului hadronilor stranii din jet precum și determinarea caracteristicilor acelor evenimente în care particulele stranii din perechile mai sus menționate fac parte din jeturi de particule. Distribuția din figura 4 a numărului de trase în conul centrat pe direcția impulsului mezonului K^+ , având deschiderea în unghi solid dată de $\Delta R = \sqrt{\Delta\phi^2 + \Delta\eta^2}$, indică existența unor structuri de tip jet în traiectoriile particulelor produse în aceeași zonă din spațiul fazelor.

Au fost efectuate o serie de studii de fezabilitate asupra datelor înregistrate în coliziuni proton-plumb la o energie în centrul de masă de aproximativ 5 TeV. S-a urmărit estimarea producției de perechi de particule stranii. Rezultatele preliminare au indicat o rată de producție apropiată de valorile sugerate de teorie ca proporțională cu o funcție putere a numărului atomic al ionului de Pb la un exponent apropiat de unitate. Este de remarcat faptul că pentru o luminozitate în date cu cel puțin cu un ordin de mărime mai mică față de datele pentru coliziuni proton-proton la 8 TeV, producția de hiperoni este superioară, ceea ce indică un posibil număr superior de perechi hadron straniu – hiperon. Studiul va fi continuat pe măsură de pachetele software de analiză specifice programului de fizică în coliziuni proton-ion vor fi dezvoltate atât în cadrul grupului cât și în colaborare cu cercetători din LHCb.

III.1 2. Analiza datelor Monte Carlo generate cu un sistem de pachete software PYTHIA – RIVET

A fost inițiat un studiu al efectelor de model în producția de particule stranii corelate având la bază predicțiile PYTHIA [3] și utilizând ca instrument de analiză pachetul software RIVET[4]. Modelele de producție implementate în PYTHIA sunt de natură preponderent fenomenologică implicând la un anumit nivel și rezultate exacte ale calculelor perturbative de cromodinamică cuantică. Aspectul fenomenologic al modelelor implică un număr mare de parametri de control pentru care se determină prin comparație cu distribuții obținute din date experimentale (măsurători) seturi de valori optime ale acestor parametri în descrierea „realității fizice”. Aceste seturi se numesc „tune-uri” iar în pe parcursul 2014, cercetători din echipa de proiect au fost implicați în dezvoltarea de software necesar interfațării pachetului de simulate a evenimentelor în detectorul LHCb cu librăria RIVET ce (a fost și) este folosită în obținerea de astfel de tune-uri. Ca instrument de analiză RIVET a permis determinarea distribuțiilor perechilor de hadroni stranii folosind optimizarea specifică experimentului LHCb pentru generatorul PYTHIA 8. Rezultatele studiilor pentru ciocniri singulare proton-proton la 7 TeV, reproduse parțial în figurile 5 și 6, indică concluzii calitativ echivalente cu rezultatele obținute din analiza datelor experimentale, însă metoda de analiză bazată pe simulare permite investigarea detaliată a efectelor de model și detecție asupra observabilelor scopul final fiind găsirea unor metode de identificare a efectelor similare în datele măsurate. Analiza evenimentelor produse prin procese partonice la energii joase (soft-QCD) modelate preponderent fenomenologic urmează să fie completată prin investigarea producției de stranie în procese dure (hard-QCD) la o scală de energie corespunzătoare masei invariante a bosonului Z^0 . În acest sens au fost investigate cu ajutorul unei extensii software dezvoltate pentru RIVET, diverse modele de producere a bosonului Z^0 reconstruit într-un canal de dezintegrare exclusiv leptonic. Rezultatele au fost publicate într-un articol științific [5].

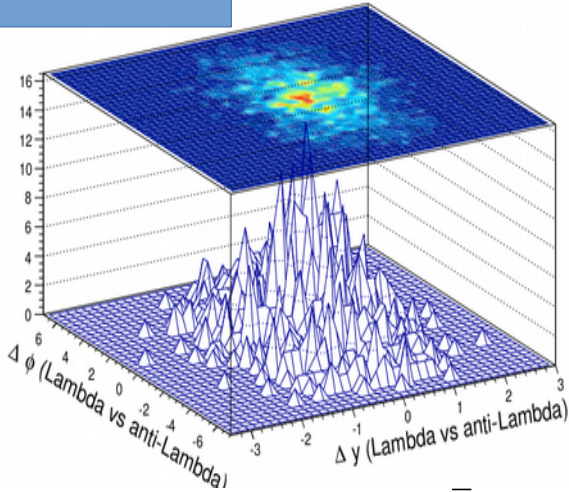


Figura 1: Producția de perechi ($\Lambda^0, \bar{\Lambda}^0$) în funcție de diferențele de pseudo-rapidity și unghi azimutal între cei doi barioni.

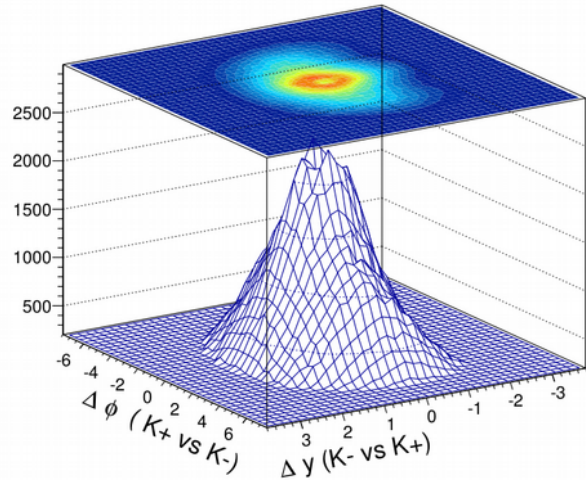


Figura 2: Producția de perechi (K^+, K^-) în funcție de diferențele de pseudo-rapidity și unghi azimutal între cei doi mezoni.

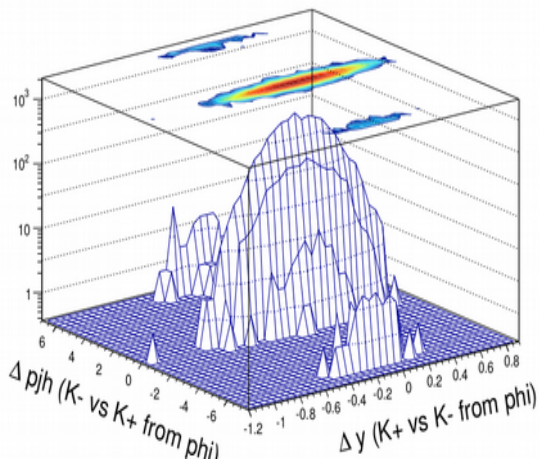


Figura 3: Corelația între kaoni cu sarcina electrică elementară și de straniețate opusă, proveniți din dezintegrarea mezonilor ϕ .

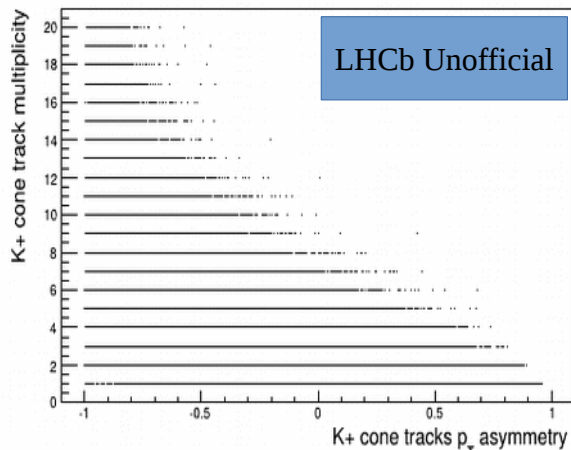


Figura 4: Caracteristici ce indică prezența jeturilor de particule asociate Kaonilor din perechile (K^+, K^-), $\Delta R < 0.5$, traiectoria K^+ este luată drept referință axială pentru conul cu deschiderea ΔR , iar multiplicitatea reprezintă numărul de trackuri/urme reconstruite în con.

III.1.3 Studiile de corelație și producție ale hadronilor „beauty”

În privința studiilor de producere corelată a hadronilor „beauty” (conținând un cuarc b de valență), în anul 2014 s-au identificat o serie de rezultate publicate în domeniul de LHCb [6] care vor permite definitivarea unui studiu de fezabilitate a măsurării observabilelor de corelație propuse de grupul nostru. Din aceste analize au fost extrase câteva caracteristici cinematice ale hadronilor b care vor fi implementate în linii de preselectie a datelor înregistrate. Achiziția unor eșantioane de date cu relevanță statistică necesară derulării unei măsurători este prevăzută pentru perioada de funcționare a experimentului îmbunătățit (după anul 2019). Producția de hadroni grei cu aromă este un caz extrem de producție corelată în care efectele neperturbative ale proceselor partonice inițiale sunt neglijabile, permițând astfel identificarea și studierea detaliată a comportamentului unor noi posibile observabile ce ulterior pot fi investigate și în cazul hadronilor stranii (mai ușori).

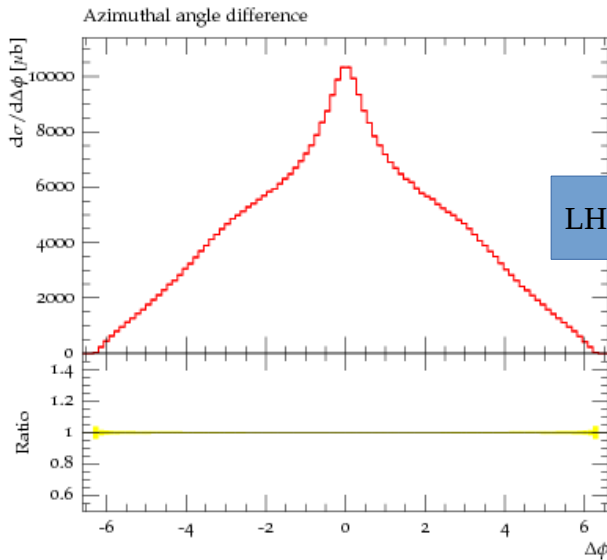


Figura 5: Corelația între Kaoni cu sarcină electrică opusă; componente de anti-corelație se observă la π și $-\pi$ în diferența unghiurilor azimutale.

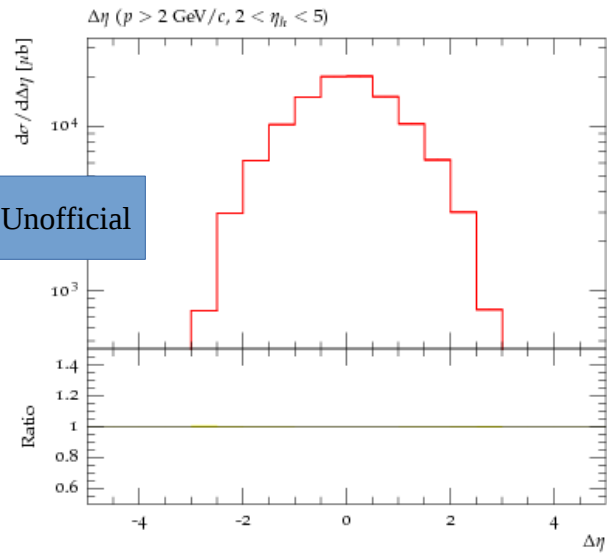


Figura 6: Corelația între particule K^- și K^+ în funcție de diferența între pseudorapiditățile mezonilor.

III.1.4 Referințe bibliografice

- Alves, A. Augusto, Jr. et al. (LHCb Collab.), “Prompt K^0_s production in pp collisions at $\sqrt{s} = 0.9$ TeV”, arXiv:1008.3105; Phys. Lett. B 693 (2010) 69-80;
Aaij, R. et al. (LHCb Collab.), „Measurement of V_0 production ratios in pp collisions at $\sqrt{s} = 0.9$ and 7 TeV”, arXiv:1107.0882; J. High Energy Phys. 08 (2011) 034;
Aaij, R. et al. (LHCb Collab.), „Measurement of the inclusive ϕ cross-section in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV”, arXiv:1107.3935; Phys. Lett. B 703 (2011) 267-273;
- Alves, A. Augusto, Jr. et al. (LHCb Collab.), “The LHCb Detector at the LHC”, JINST 3 (2008) S08005;
- T. Sjöstrand, S. Mrenna and P. Skands, „PYTHIA 6.4 Physics and Manual”, J. High Energy Phys. 05 (2006) 026;
T. Sjöstrand et al., „An Introduction to PYTHIA 8.2”, arXiv:1410.3012 [hep-ph].
- Buckley A. et al., „Rivet user manual”, arXiv: 1003.0694 [hep-ph];
<https://rivet.hepforge.org/>
- Ana Elena Dumitriu, A. T. Grecu, „RIVET Plug-in for $Z^0 \rightarrow e^+ e^-$ Production Cross-Section Measurement in pp Collisions at $\sqrt{s}=7$ TeV”, Rom. J. Phys. 60 (2015) 415-428.
- LHCb Collaboration, „Measurement of $\sigma(bb\text{-bar})$ with inclusive final states”, LHCb-CONF-2013-002
LHCb collaboration, „First measurement of the charge asymmetry in beauty-quark pair production”, Phys. Rev. Lett. 113 (2014) 082003. 16 p.

III.2 Rezultate pe etapa

Publicatii

- „RIVET Plug-in for $Z^0 \rightarrow e^+ e^-$ Production Cross-Section Measurement in pp Collisions at $\sqrt{s}=7$ TeV”, Dumitriu Ana și Grecu Alexandru, Rom. Journ. Phys., Vol. 60, Nos. 3-4, P. 415–428, ROMANIAN JOURNAL OF PHYSICS, https://www.nipne.ro/rjp/2015_60_3-4/0415_0428.pdf, Paper presented at the 14th International Balkan Workshop on Applied Physics, July 2-4, 2014, Constanta, Romania

Organizare workshop în colaborare cu partenerii LHCb din Polonia

Organizare workshop la CERN Geneva: „LHCb workshop on quantum interference effects, QCD measurements and generator tuning” Geneva 2014.

Workshop al colaborarii LHCb la CERN pe tematicile asociate proiectului prezent. Tematici de productie de "flavor" soft-QCD, jets, "tuning". Link la pagina web a evenimentului <https://indico.cern.ch/event/329946>

Participari la Conferințe și workshops

Prezentari orale și postere

- 1 RIVET Plug-in for $Z^0 \rightarrow e^+e^-$ Production Cross-Section Measurement in pp Collisions at $\sqrt{s}=7$ TeV 2014 Prezentare Orala The 14th International Balkan Workshop on Applied Physics and Materials Science
- 2 Measurement of strange particle correlations in pp collisions 2014 Poster 14th International Balkan Workshop on Applied Physics
- 3 LHCb and Introduction to Tuning and QCD Measurements at LHCb 2014 Prezentare Orala LHCb workshop on quantum interference effects, QCD measurements and generator tuning. <http://indico.cern.ch/event/329946/>
- 4 Soft QCD measurements in LHCb 2014 Prezentare Orala LHCb workshop on quantum interference effects, QCD measurements and generator tuning. <http://indico.cern.ch/event/329946/> /
- 5 Generator Tuning with Professor/RIVET at LHCb. Status of PYTHIA8 Optimization 2014 Prezentare Orala LHCb workshop on quantum interference effects, QCD measurements and generator tuning. <http://indico.cern.ch/event/329946/> /
- 6 "Soft QCD measurements at LHCb" <http://cds.cern.ch/record/1955547> 2014 Prezentare Orala The 20th Particles and Nuclei International Conference - PANIC14, DESY HAMBURG GERMANY /
- 7 Soft QCD Measurements at LHCb; Report number LHCb-PROC-2014-054 ; CERN-LHCb-PROC-2014-054 <http://cds.cern.ch/record/1955547> 2015 Articol The 20th Particles and Nuclei International Conference - PANIC14 /
- 8 QEE - QCD , Electro weak and Exotica 2014 Prezentare Orala Workshop on Heavy Quark Baryons at LHCb (24 July 2014) <https://indico.cern.ch/event/317758/> /
- 9 HepData : LHCb perspective and MC generators tuning - in session of Physics & Physics Performance II 2014 Prezentare Orala 74th LHCb Week 1st - 5th December 2014

Alte rezultate

Prezentari in sesiuni si organizari ale unor sesiunile de lucru ale Colaborarii LHCb 2014

Etapa IV (ianuarie 2015 – decembrie 2015)

Obiective: Studiu de fezabilitate. Măsurarea producției de particule corelate de tip „beauty”, mezoni și barioni.

Rezumatul etapei a patra a proiectului – pentru versiunea extinsă a se vedea raportul de fază.

IV.1 Rezumatul activităților din Fază

În primă instanță s-au considerat aspectele dinamice ale procesului de producție și fragmentare a partonului „beauty”, astfel s-au evidențiat diferența majoră între producția de stranietate și cea de beauty, diferența ce este generată de procesele foarte diferite ce creează fiecare particula. Astfel în cazul stranietății vorbim de o producție de particulă în fragmentare în cazul energiilor relativ joase implicate (100 MeV -1 GeV). În cazul producției barionului beauty aceasta are loc în ciocnirea dură primară parton-parton, energia eliberată ce duce la producerea perechi partonice (b,anti-b) fiind uzual în exces față de 10 GeV și putând ajunge chiar în zona producției bozonilor electro-slabi, aceștia din urmă pot la rândul lor dezintegra în stări finale conținând beauty. Dacă în cazul stranietății calculele sunt de obicei ne-perturbative, în cazul partonilor beauty procesele cuantume cromodinamice inițiale, înainte de fragmentare, sunt tratabile perturbativ. De fapt producția de aromă beauty este dependentă de distribuțiile partonice inițiale din protonii LHC. I.e., în zona valorilor de $||Q||$ în intervalul de [10 GeV, 100 GeV], distribuția partonilor în proton se poate aproxima printr-o distribuție de gluoni la valori observabile-LHCb de x-Bjorken între $[10^{-6}, 1]$ [1].

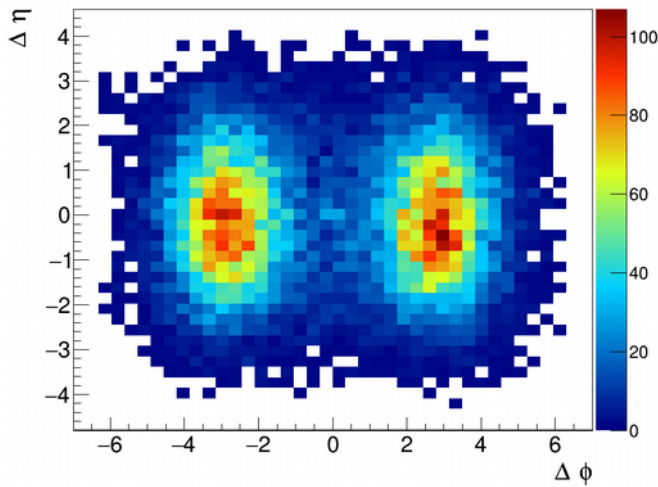
La LHCb procesul de $g+g \rightarrow b+\text{anti-}b$ de aproximativ 180 microbarni [2]. este dominant în producția hadronilor beauty. Acest proces nu este unicul existând posibilitatea re-ciocnirii partonilor și conversia radiației gluonice. În hadronizare sau fragmentare nu este însă probabilă producția de partoni cu mase mari de repaus; „heavy flavours”.

În ce privește caracteristicile cele mai relevante din punct de vedere a identificării producțiilor de perechi strani și beauty în detector se cunosc următoarele: producția de stranietate în evenimente LHCb de tip Minimum Bias s-a dovedit calitativ o măsură de corelație între hadroni strani cu stranietate opusă care indică originea comună și locală într-un proces de hadronizare dat. În producția de hadroni beauty acest lucru nu mai este valid, iar în loc de corelație ne putem aștepta la o anti-corelație cel puțin relativă față de axa fascicolului de protoni LHC. În fapt ne putem aștepta a priori la două jeturi de particule rezultate în urma producției perechi (b,b-bar), jeturi care conțin hadroni b cu valoare de impuls transversal p_T dominantă față de jetul de care aparțin și în plus jeturile sunt anticorelate în impuls transversal. Acest lucru este bine evidențiat în „Grafic I.1”

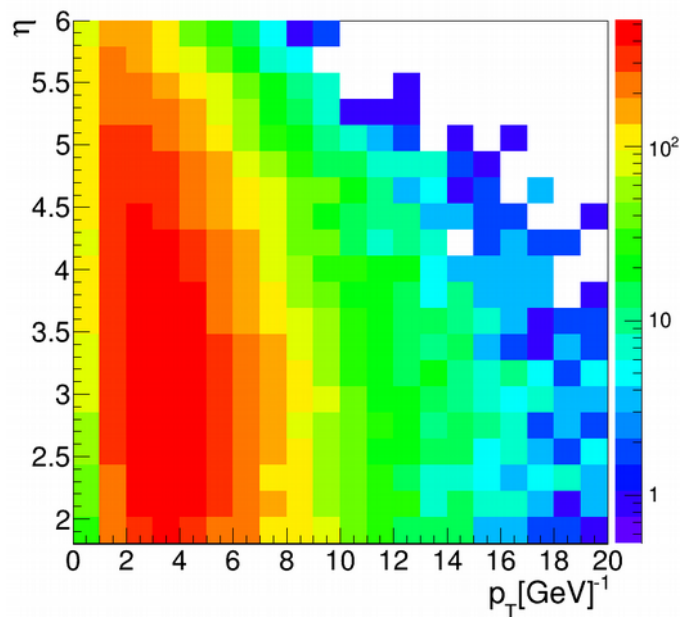
Secțiunile eficace din PYTHIA 8.2 [2] în configurația de bază, au fost găsite ca fiind în acord cu secțiunile eficace de producție de hadroni beauty măsurate de LHCb [3-4], atât secțiunile eficace constrânse de acceptanța LHCb cât și valorile extrapolate. Rămâne de văzut în viitor care este acordul la energii de coliziune de 13 TeV. Distribuția în Graficul IV.2 reprezintă popularea cu hadroni beauty a spațiului fazelor. O restricționare la coliziuni primare dure gluon+gluon $\rightarrow b+\text{anti-}b$, nu are un impact asupra distribuțiilor din starea finală a hadronilor beauty. Astfel spectrul hadronilor beauty este distribuit uniform în pseudo-rapiditate și scade rapid către valori de impuls transversal mai mare decât masa hadronilor beauty.

În graficul IV.3 se poate observa valorile apropiate în medie și RMS pentru distribuțiile de impuls transversal deși numărul de hadroni B la 13 TeV este aproape dublu față de hadronii produși la 7 TeV. Impulsul longitudinal pentru hadronii beauty este în medie de 100 GeV sau superior pentru datele la 13 TeV. Astfel factorul de dilatare relativistă este în medie cel puțin 20, timpul de viață în laborator fiind scalat corespunzător.

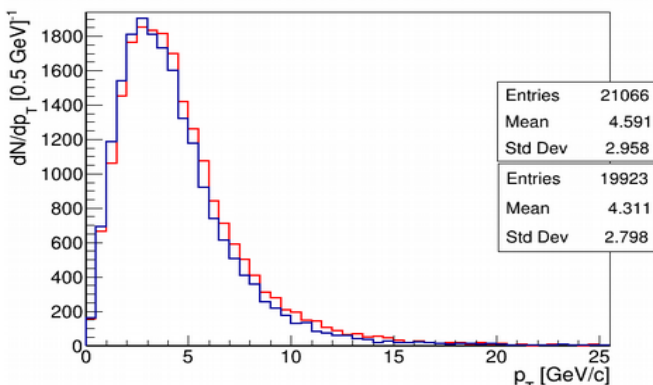
Un studiu a fost făcut folosind datele LHCb publicate pe tematica de „Opposite side tagging”[5], pentru a determina probabilitatea de a avea reconstruit al doile hadron beauty dată fiind reconstrucția primului hadron beauty.



Grafic IV.1: Distribuția bidimensională în diferențe de pseudorapiditate și unghi azimutal pentru cazul ciocnirii proton-proton la 7 TeV. Se poate observa o structură asemănătoare jeturilor opuse în impuls transversal și o ușoară corelație tot similară jeturilor pe coordonata diferența de pseudorapiditate. Distribuția aceasta este fundamental diferită de cea dată pentru producția de stranietate unde de exemplu particulele Lambda și Lambda-bar erau corelate și pe axa de diferența în unghiuri azimutale.



Grafic IV.2 Distribuțiile bidimensionale de pseudorapiditate și impuls transversal pentru producții finale ai coliziunii, particule cu număr de beauty în acceptanța extinsă LHCb. Histogramele au fost produse cu PYTHIA 8.2 [2], Cel puțin doi hadroni beauty sunt generați în acceptanța 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. c=1 aici fiind folosite unități HEP.



Grafic IV.3 Impulsul transversal p_T al hadronilor beauty în starea finală (B^0 , B^+ , B_s , B_c și Λ_b plus stările C-conjugate de sarcină sau număr de beauty opus), distribuțiile sunt produse cu PYTHIA 8.2 [3] în setare “default” pentru coliziuni cu 13 TeV și 7 TeV, scala în cele două histogramme a fost ajustată pentru comparație

În calculul estimativ a ratelor de producție și a eficiențelor de reconstrucție în acceptanța LHCb a celor doi hadroni cu număr de beauty opus s-au folosit alternativ două ipoteze: reconstrucția inclusivă [6] pe mai multe canale de dezintegrare a candidatului B în LHCb sau reconstrucția pe un canal unic.

Concluzia acestor studii este că pentru măsurări ale cantităților comune ale perechi de hadroni, gen: secțiunea eficace de producție totală, este suficientă utilizarea algoritmului inclusiv de reconstrucție. Din contra, dacă se dorește măsurări mai precise ca de exemplu o funcție de corelație între particule, funcție definită în acceptanța LHCb și în variabile de diferența între particule, atunci este necesar restricționarea la cât mai puține

canale de dezintegrare pentru reconstrucția hadronului beauty.

În finalul raportului de fază a fost inclus un status al integrării pachetului RIVET în proiectele software LHCb și trecerea de la RIVET versiunea 1 la RIVET versiunea 2, simultan cu un upgrade al generatorului la PYTHIA 8.186.

IV.2 Bibliografie

[1] Comunicat intern al colaborării LHCb.

[2] 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;

[3] Aaij, R et al.; Measurement of $\sigma(pp \rightarrow bb\text{-bar}+X)$ at $\sqrt{s}=7$ TeV in the forward region; Phys. Lett. B694 (2010) 209-216.

[4] Aaij, R et al.; Measurement of B meson production cross-sections in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=7$ TeV ; JHEP 08 (2013) 117.

[5] Aaij, R et al.; Opposite-side flavour tagging of B mesons at the LHCb experiment; Eur. Phys. J. C72 (2012) 2022.

[6] 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;

IV.3 Rezultate în această etapă.

Publicații (raportate în 2015):

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. Grecu (on behalf of the LHCb collaboration), "Soft QCD Measurements at LHCb", în 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.

Prezentari în cadrul grupurilor de lucru LHCb la CERN, 2 prezentări din partea membrilor grupului în sesiunile de lucru lunare ale colaborării. Pe acest proiect a fost sustinuti în 2015 un doctorand, un administrator de rețea și trei cercetători IFIN-HH.

Etapa V (1.01.2016-31.12.2016)

Obiectiv V.1

Modele pentru producția corelată de particule de tip "beauty", mezoni B și barioni Lambda beauty

V.1.1 Introducere

În Etapa a IV-a a acestui proiect s-a constatat o probabilitate mică de reconstrucție simultană a celor doi barioni "beauty" în acceptanța detectorului LHCb și simultan s-a calculat o probabilitate mică a unor reconstrucții eficiente pentru canale de dezintegrare (chiar și pentru canale de dezintegrare dominate gen "beauty" în "charm"¹, și semilepronic decays) ale perechilor de hadroni "beauty" și "anti-beauty". În consecință se preconizează o reconstrucție la nivel de dezintegrare inclusivă a perechilor beauty de hadroni în acceptanța LHCb. Acest lucru va face dificil sau probabil chiar imposibil de reconstruit o funcție corelație obiectivă a perechilor de hadroni beauty. În acest caz se preconizează intervenția unor factori de corecție care pot contribui chiar la un ordin de corecție inferior față de efectul de corelație considerat. Printre factorii de corecție considerați în acest studiu se număra în principal efectele date de:

1. prezența barionilor beauty – i.e. factorii de fragmentare f_{Λ} versus f_{up} și f_{down} , factori care cuantizează în esență diferența între producția de di-cuarci și cuarci de aroma sus și jos cu masa ușoară;
2. Rezonanțe intermediare în dezintegrarea barionului/mezonului beauty;
3. Efectele de polarizare care pot apărea, e.g. în unele dezintegrări radiative ale barionului beauty Lambda pot apărea rezonanțe intermediare suprapuse, imposibil de reconstruit separat datorită largimii mari spectrale a rezonațelor, cantitate notată cu Gamma (Γ) de aproape $100 \text{ MeV}/c^2$;
4. În plus rezonanțele pot avea valori de spin foarte diferite, în dezintegrările radiative ale barionului beauty se iau în calcul în mod uzual între 12 și 14 rezonanțe Lambda (Λ^*) cu valori de spin între $\frac{1}{2}$ și $\frac{9}{2}$, fiecare rezonanță generând astfel distribuții unghiulare de dezintegrare în starea finală complet diferite, funcție de valorarea de polarizare a barionului beauty, spinul rezonaței și masa acestuia.

Un studiu al acestor efecte a fost făcut simultan cu studiul producției de hadroni beauty în acceptanța LHCb și sub constrângerile de trigger, selecție și ineficiențe de izolare a semnalului în metode de selecție complexe din clasa algoritmilor de separare semnal/fond, TMVA – „multi variate analyses”, e.g. boosted decision tree, etc. Aceste studii au fost făcute și pentru a ajuta grupul LHCb de analiză a dezintegrărilor radiative a hadronilor beauty $B/B_s/\Lambda_b$, astfel aceste canale de dezintegrare sunt semnal și fond în același timp, dependent de analiza desfășurată. Măsurarea paramerilor CKM și CP cât și a factorilor de ramificare pe canal sunt făcute cu filtrarea simultană a datelor tuturor canalelor implicate fie fond, fie semnal. Filtrarea simultană este determinată de topologia asemănătoare a stărilor finale de particule fică, lucrul acesta plus valorile de masă și constrângerile cinematice asemănătoare fiind imposibilă separarea precisă a candidaților de fond de cei de semnal pe oricare din dezintegrările $B \rightarrow K^* \gamma$, $B_s \rightarrow \phi \gamma$ sau $\Lambda_b \rightarrow \Lambda^* \gamma$, unde K^* , ϕ și Λ^* dezintegreză în doi hadroni similari.

Studiul dezintegrărilor radiative a barionului beauty-Lambda Λ_b a fost făcut folosind eșantioane multiple, un eșantion produs cu software-ul LHCb Gauss [1], PYTHIA 8.1, PYTHIA 8.2 cu diverse tunes.

V.1.2 "STUDY OF THE Λ RESONANCES IN $\Lambda_b \rightarrow \Lambda^*(\rightarrow p^+K^-)\gamma$ DECAY USING HELICITY FORMALISM" (articol acceptat în RJP) - Distribuții unghiulare și cinematice ale

1. "beauty" și "charm" se vor păstra în varianta în engleză iar aromele usoare vor fi date în general în varianta tradusă: stranietate, "jos" și "sus".

particulelor ce provin din dezintegrarea rezonanțelor Λ^* în două particule finale, p și K, precum și a dezintegrării radiative a barionului "beauty" Λ_b în trei particule finale, pK γ

În acest raport este prezentat studiul apariției rezonanțelor Λ^* în canalul de dezintegrare $\Lambda_b \rightarrow \Lambda^* \gamma$, studiu realizat prin dezvoltarea unei metode de transformare a unui eșantion de evenimente ce inițial nu conține informații despre rezonanțe, într-un eșantion de evenimente în care douăsprezece posibile rezonanțe cu spini în intervalul $\in [1/2, 9/2]$ sunt descrise în Formalismul de Helicitate [1]. De asemenea, corelațiile între particulele ce provin din dezintegrările succesive, $\Lambda_b \rightarrow \Lambda^* \gamma$, respectiv $\Lambda^* \rightarrow pK$ au fost studiate prin prisma distribuțiilor bi-dimensionale în $\Delta \phi$, $\Delta \theta$, $\Delta \eta$ și Δp_T , aceste variabile fiind traduse ca diferențele în unghi azimutal, unghi polar, pseudorapiditate și impuls transversal între particule ce provin din aceeași particulă mama. Acest studiu a făcut subiectul tezei de doctorat intitulată "Studii de producere a hadronilor și dezintegrări rare la LHCb"[2] precum și a lucrării științifice acceptată spre publicare în "Romanian Journal of Physics", intitulată "Study of the resonances structure appearance in the $\Lambda_b \rightarrow \Lambda^* (p^+ K^-) \gamma$ decay using Helicity Formalism" [3]. Pentru realizarea analizei, un eșantion de evenimente de $\approx 10^6$ a fost creat, folosind generatorul PYTHIA 8.1 [4], configurația default, dezintegrarea în 3 particule finale a barionului fiind forțată pentru acei Λ_b produși în interacții proton-proton la energia de $s = (8\text{TeV})^2$ cu procese partonice tari în care minim o pereche de cuarci bb-bar cu $p_{\perp} = 1.2 \text{ GeV}/c$ este produsă. Ulterior, un set de constrângeri specifice acestui tip de proces în cadrul experimentului LHCb [5],[6] a fost impus asupra particulelor implicate în dezintegrare (particulele să fie generate în acceptanța LHCb $0.005 < \eta < 0.4$ [pseudo-rapiditate] numai pe direcția înainte, impulsul transversal al particulelor încărcate să fie $> 0.3 \text{ GeV}$ și al fotonului $> 1.5 \text{ GeV}$), ce au condus la restrângerea eșantionului inițial la $\approx 2 \times 10^4$ evenimente. Metoda de descriere a celor doisprezece rezonanțe Λ^* a fost împărțită în două etape de calcul al unor ponderi ce depind atât de distribuțiile unghiulare asociate particulelor din starea finală pentru o stare cuantică dată cât și de un termen de masă asociat sistemului $(p^+ K^-)$, acestea fiind calculate pentru fiecare eveniment:

$$P_{\text{total}} = P(M_{p+K^-}) \cdot P(\theta) \quad (1)$$

Plecând de la distribuția continuă a masei invariante asociată sistemului $(p^+ K^-)$ ce este bine descrisă de o funcție polinomială de gradul 9, spectrul de masă al rezonanțelor (Fig. 1) a fost obținut prin convoluția acestuia cu inversul funcției ce îl descrie ($1/P_9$ - invers dependența de polinom de grad 9) și respectiv sumarea cu douăsprezece funcții Breit-Wigner relativiste normate corespunzător cu un factor de scală dependent de raportul de masă Λ^*/Λ_b precum și B_{NK} (probabilitatea de dezintegrare a unei rezonanțe în nucleon și kaon) asociat fiecărei rezonanțe.

Pentru a vedea mai bine cum a fost transformat spectrul de masă în urma asocierii ponderilor dependente de masă, cele două distribuții sunt suprapuse în Fig. 3. Cinci maxime asociate structurilor de rezonanțe sunt localizate în intervalul $1.5\text{-}2.35 \text{ GeV}/c^2$, cele 12 rezonanțe fiind suprapuse în acest interval. După alegerea ipotezei de masă a rezonanței, algoritmul a fost completat prin atribuirea funcțiilor unghiulare (Fig. 4) calculate utilizând funcțiile d-Wigner [7], parametrii acestora conținând informația unghiulară asupra întregului proces de dezintegrare. Rezultatul algoritmului este ilustrat în Fig.5, ponderile de masă și cele unghiulare asociate rezonanțelor fiind stocate într-o histograma 3D unde sunt vizibile structuri clare de benzi concentrate în jurul valorilor de masă ale rezonanțelor. Efectul re-ponderării eșantionului de evenimente a fost de asemenea investigat și ilustrat în distribuții bi-dimensionale $f(y) = p_T$ obținute atât înainte cât și după aplicarea algoritmului de calcul al ponderilor, asociate particulei Λ^* cât și în corelații între particule ce provin din aceeași particulă mama, respectiv corelații între Λ^* și γ (dezintegrarea barionului Λ_b), precum și între p și K ce provin din dezintegrarea rezonanțelor.

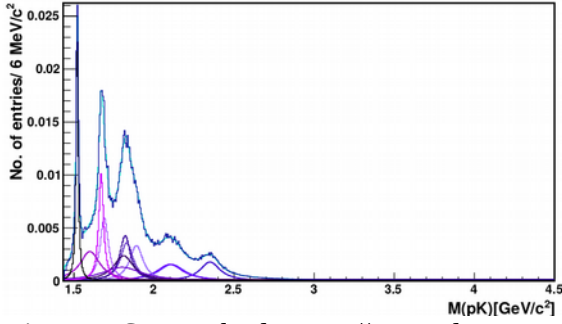


Fig 1: Spectrul de masă ponderat, scara liniară, a sistemului proton-kaon din rezonanță Λ^*

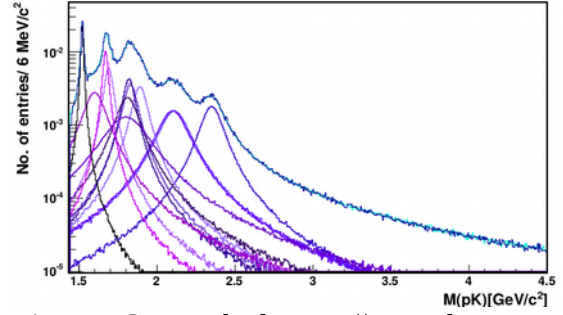


Fig 2: Spectrul de masă ponderat, scara logaritmică

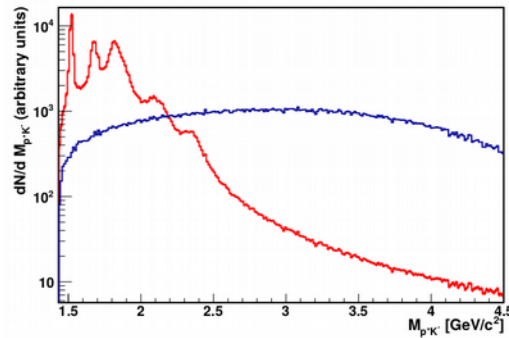


Fig 3: Spectrul de masă continuu suprapus cu cel în care apare forma rezonanțelor

Comparând cele două distribuții din Fig 6 și Fig.7, se poate observa că în spațiul fazelor specific LHCb, după aplicarea algoritmului de re-ponderare, distribuția uni-particulă este mai puțin energetică, acest lucru datorându-se în primul rând restrângerii spectrului de masă la numai 1/3 din cel inițial (a se vedea Fig. 3).

Corelațiile între particule ce provin din același proces de dezintegrare au fost ilustrate prin distribuții 2D în care diferențele între particule în termeni de pseudorapiditate, unghi azimutal și unghi polar au fost reprezentate, atât înainte cât și după aplicarea algoritmului de re-ponderare.

În Fig. 10 și 11 se poate observa că particulele ce provin din aceeași particula mamă, Λ_b , sunt emise la momentul dezintegrării în aceeași direcție în spațiul fazelor, observație susținută și de distribuția variabilei R , unde $R^2 = \Delta\eta^2 + \Delta\phi^2$ ilustrată în Fig. 16 (înainte de aplicarea algoritmului) și Fig. 17. (după aplicarea algoritmului).

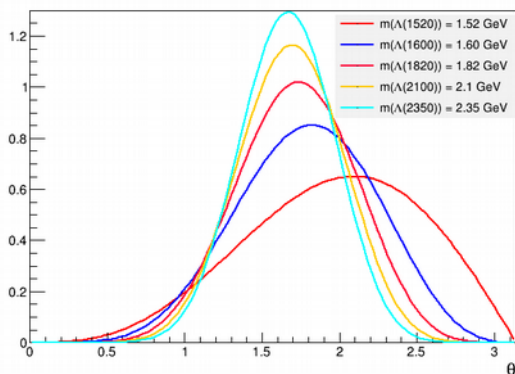


Fig 5: Exemplu distribuții unghiulare pentru cazul în care rezonanțele sunt considerate a fi complet polarizate.

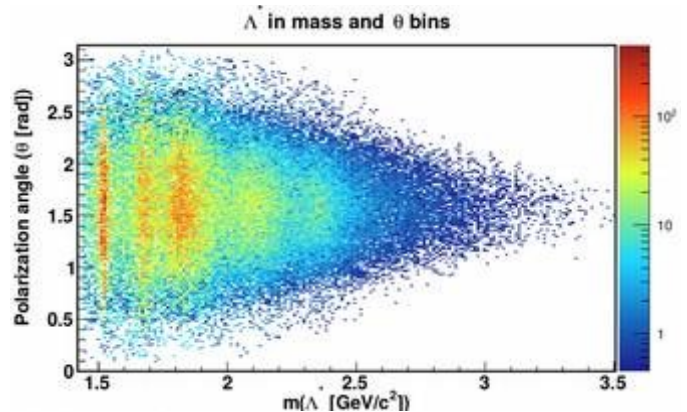


Fig 4: Ponderi de masă și unghi ale rezonanțelor, cazul complet polarizat. axa-x: masa, axa-y: theta, axa-z: număr de evenimente per intervale ale histogrammei.

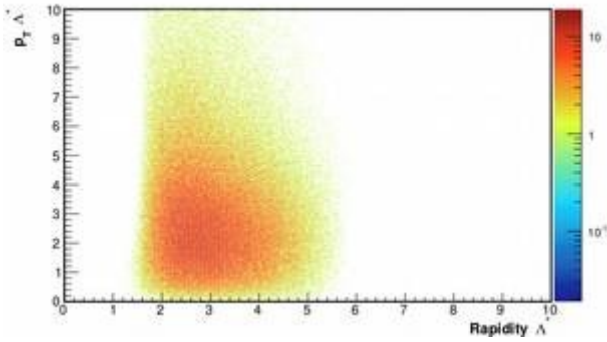


Fig. 7: Distribuția în spațiul fazelor a candidaților Λ^* ce provin din dezintegrarea radiativă a particulei Lambda beauty Λ_b , înainte de ponderare. Reprezentarea 2D a momentului transversal și a rapidității în acceptanță LHCb.

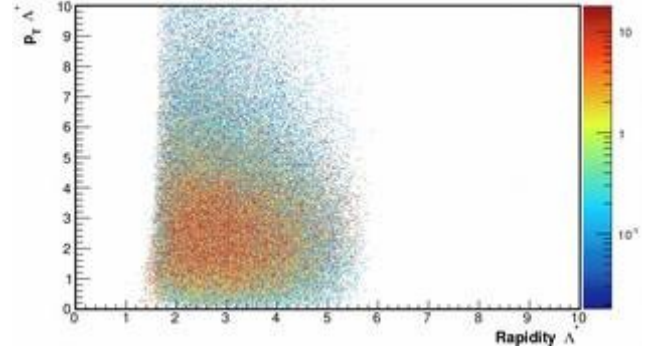


Fig. 6: Distribuția în spațiul fazelor a candidaților Λ^* ce provin din dezintegrarea radiativă a particulelor Λ_b după ponderare. Reprezentarea 2D a momentului transversal și a rapidității în acceptanță LHCb

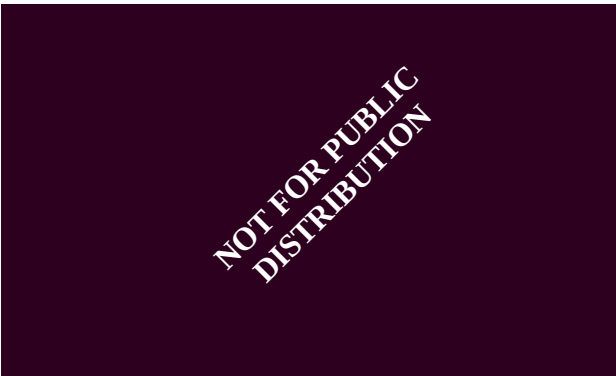


Fig 8: Reprezentarea 2D a diferentelor in phi si eta între Λ^* și γ ce provin din dezintegrarea particulei Λ_b , înainte de aplicarea algoritmului.



Fig 9: Reprezentarea 2D a diferentelor in phi si eta între Λ^* și γ ce provin din dezintegrarea particulei Λ_b , după aplicarea algoritmului.

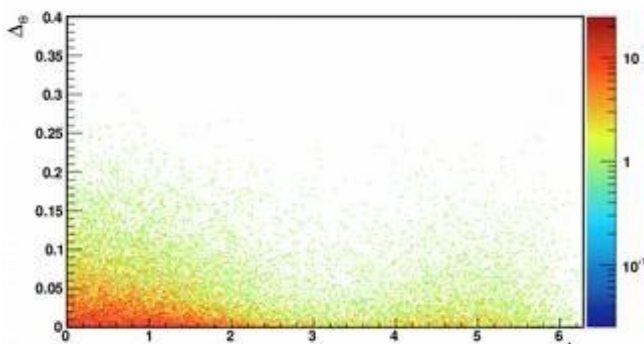


Fig 11: Reprezentarea 2D a diferentelor în phi și theta între Λ^* și γ ce provin din dezintegrarea particulei Λ_b , înainte de aplicarea algoritmului.

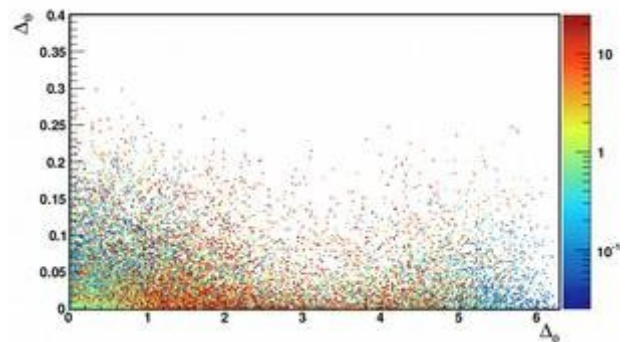


Fig 10: Reprezentarea 2D a diferentelor în phi și eta între Λ^* și γ ce provin din dezintegrarea particulei Λ_b , după aplicarea algoritmului.

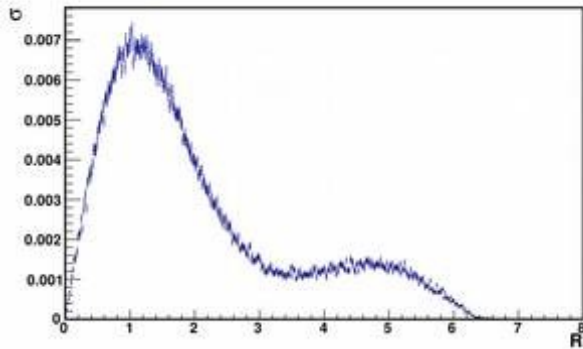


Fig 12: R , din formula de definiție $R^2 = \Delta\eta^2 + \Delta\phi^2$, distanța de separare din spațiul unghiurilor. Acesta cantitate este folosită de obicei la definiția unui jet de particule. În figura de față R reprezintă distanța între Λ^* și γ proveniți din dezintegrarea particulei Λ_b

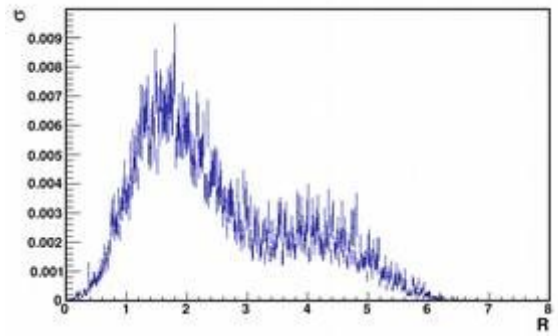


Fig 13: Distribuția R între Λ^* și γ proveniți din dezintegrarea particulei Λ_b , după aplicarea noilor ponderi ce simulează prezența a 12 rezonanțe cu spin dat, rezonanțe approximate de funcții de masă de tip Breit-Wigner în caz relativistic

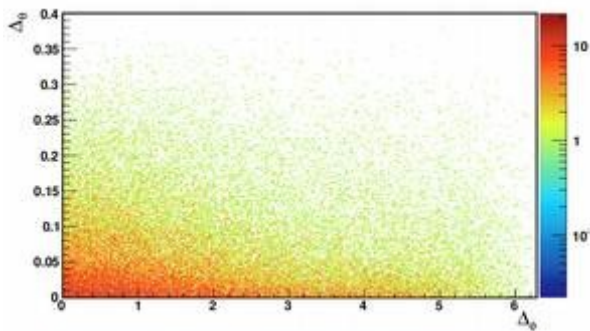


Fig 14: Reprezentarea 2D a diferențelor în phi și theta între proton și Kaon ce provin din dezintegrarea particulei Λ^* , înainte de aplicarea algoritmului.

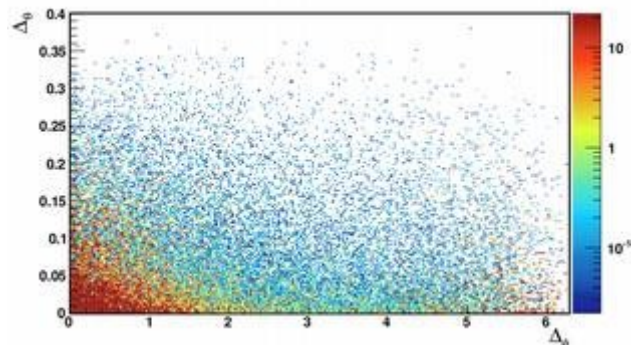


Fig 15: Reprezentarea 2D a diferențelor în phi și theta între proton și Kaon ce provin din dezintegrarea particulei Λ^* , după aplicarea algoritmului.

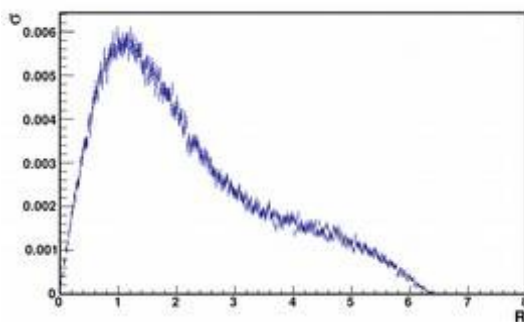


Fig 17: Distribuția de R pentru separarea între proton și Kaon ce provin din dezintegrarea particulei Λ^* , înainte de aplicarea ponderilor din algoritmul de simularea a prezenței rezonanțelor cu spin dat

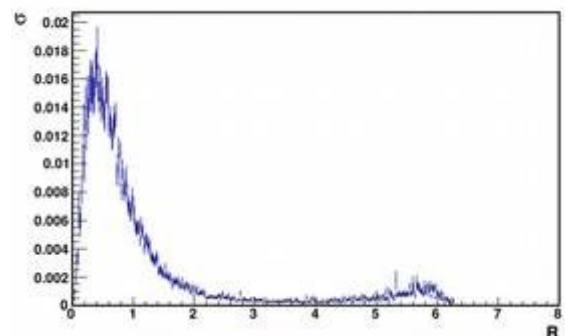


Fig 16: Distribuția de R pentru separarea între proton și Kaon ce provin din dezintegrarea particulei Λ^* , după de aplicarea ponderilor din algoritmul de simularea a prezenței rezonanțelor cu spin dat

Graficele Fig. 8 și 9 arată modificarea populațiilor în spațiul $(\Delta\eta, \Delta\phi)$ a diferențelor unghiulare sau de pseudo-rapiditate între Λ^* și foton, modificarea apărând în urma aplicării ponderilor ce simulează prezența celor 12 rezonanțe de spini dați. În fig 10, 11 același lucru este calculat pentru o pereche de variabile echivalente $(\Delta\theta, \Delta\phi)$. În figurile 12 și 13 se dau aceleași distribuții exprimate în R ca rădăcina sumei pătratelor primelor variabile $(\Delta\eta, \Delta\phi)$. O modificare drastică la $R=0, \Delta\phi=0$ se poate constata în urma aplicării ponderilor de rezonanță și spin pentru fiecare particulă în eșantion.

Pentru același spațiu de variabile $(\Delta\theta, \Delta\phi)$ sau R - raza 2D în acest spațiu – avem pentru perechea de particule proton Kaon provenita din rezonanța Λ^* , distribuțiile date în figurile 14-17. Aici se vede un efect contrar efectului de anti-corelație între foton și Λ^* observat anterior. În urma analizei graficelor anterioare se poate observa o îngrămădire a evenimentelor de dezintegrare către $\Delta\phi=0$.

Concluzia preliminară a acestor studii este ca fără o descriere exactă a rezonanțelor și spinilor acestora, este imposibil de a separa efecte de spin în distribuțiile unghiulare ale stării finale după dezintegrarea hadronului „beauty”. Acest fapt face aproape imposibilă estimarea unei funcții de corelație „beauty” și anti-beauty pentru canale de dezintegrare ale hadronilor care conțin stări intermediare cu rezonanțe complexe. Într-o oarecare măsură acest lucru este valabil și pentru dezintegrările reconstruite parțial pentru hadronii beauty. Singurele canale de precizie rămân dezintegrările hadronice fără rezonanțe intermediare și cu stare finală determinată, aceste dezintegrări fiind singurele ce permit o determinare precisă necesară construcției unei funcții de corelație pe spațiu fazelor pentru perechea (b, anti-b).

V.1.B Bibliografia subcapitolului

- [1] J. D. Richman, “An Experimental Guide to the Helicity Formalism”, Caltech Preprint CALT-68-1148, 1986.
- [2] L.E Giubega, “Hadron Production and Rare Decays studies at LHCb”, Ph.D Thesys, University of Bucharest, 2016.
- [3] 9. L. E. Giubega, A. I. Jipa, A. C. Ene, “Study of the resonances structure appearance in the $\Lambda_b \rightarrow \Lambda^* (p^+ K^-) \gamma$ decay using Helicity Formalism, Romanian Journal of Physics, 2016 (acceptat pentru publicare).
- [4] “An Introduction to PYTHIA 8.2”, T. Sjostrand et al, Comput. Phys. Commun. 191 (2005) 159 [arXiv:1410.3012 [hep-ph]]; T. Sjostrand, S. Mrenna, P. Skands, “A Brief Introduction to PYTHIA 8.1”, Comput.Phys.Commun.178, 852-867, 2008; “PYTHIA 6.4 Physics and Manual”, T. Sjostrand, S. Mrenna and P. Skands, JHEP05 (2006) 026 [hep-ph/0603175].
- [5] A. Alves, Augusto Jr. et al., LHCb Collaboration “The LHCb detector at the LHC”, JINST 3 (2008) S08005.
- [6] R. Aaij et al., LHCb Collab., Phys. Rev. D. 2012, V. 85 P. 112013.
- [7] J.J. Sakurai, “Modern Quantum Mechanics”, ISBN 0-201-53929-2.

Obiectiv V.2

Modele pentru producția corelată de barioni și mezoni stranii (Monte Carlo), incluzând barionii Xi și Omega. Popularizarea rezultatelor obținute în comunitatea științifică și în colaborarea LHCb.

V.2.1 Producția de straniețate în modelul PYTHIA 8 Monash/Default tune pentru fizica coliziunilor la marii acceleratori și în modelele de coliziune SYBILL/EPOS/QGSJET II uzuale în studiul radiației cosmice: CRMC – COSMIC RAY MONTE CARLO

V2.1.1 Context

Producția de particule în coliziuni proton-proton la energii de 1 TeV – 14 TeV se poate studia prin prisma generatorilor/modelelor de coliziune Monte Carlo. Până acum fiind utilizat programul PYTHIA 6, PYTHIA 8.1, sau PYTHIA8.2 [1], cu diferite “tunes” ce implică alegerea parametrilor fenomenologici de model [2]. Generatorul PYTHIA este folosit aproape exclusiv în domeniul modelării fizice observabile în coliziuni de înaltă energie de la marii acceleratori de particule, deși sunt inițiative izolate de a fi folosit și în studiul radiație cosmice hadronice la energii dincolo de Penta eV (PeV), acest lucru rămâne o excepție de la regulă.

În revers, generatorii utilizați până acum aproape exclusiv în studiul interacțiilor radiației cosmice cu atmosfera (energii de $10^{16} - 10^{17}$ eV/nucleon în zona primului și celui de-al doilea “genunchi” punct de inflexiune în spectrul radiației cosmice hadronice), SYBILL[3], EPOS[4], QGSJET I sau II [5], încep să fie folosiți în studiile de la marile detectoare LHC. În cadrul ciocnirilor proton-nucleon sau proton plus ion de plumb, această necesitate este aproape evidentă, datorită lipsei unui model consistent în generatorii hadron-hadron PYTHIA, Herwig [6] pentru generarea particulelor în acest tip de interacție, în special pe direcția înainte a acceptanței LHCb. Cum colaborarea LHCb începe în LHC-RUN2 procesarea de evenimente de ciocnire plumb-plumb la 2.7 și 5 TeV pe pereche de nucleoni, exista o presiune semnificativă pentru a integra generatorii de coliziuni pentru radiație cosmică în programul LHC sau LHCb. CRMC [7] – COSMIC RAY MONTE CARLO - a unificat preliminar generatorii cosmici în o interfață accesibilă comunității LHC și nu numai. Studiul următor se va focaliza pe câteva observabile fizice tipice pentru direcția înainte LHCb, iar în următoarele pagini se va face o comparație a 3-4 generatoare, pe o parte PYTHIA pentru fizica acceleratoarelor și SYBILL/QGSJET/EPOS pentru CRMC. Deja există o strânsă interdependență între fizica de la marile acceleratoare și fizica observației radiației cosmice, interdependentă evidențiată de corecțiile de generare sau tuning făcute pentru EPOS și QGSJET II folosind măsurători realizate la LHC. În acest moment se desfășoară și procesul invers, de a corecta/tuna generatorii LHC ca PYTHIA folosind pe lângă observabilele măsurate la LHC și observabile măsurate de observatorii de radiație cosmică.

V2.1.2 Comparația în producția de straniețate PYTHIA tune LHC și CRMC models SYBILL (pre-LHC) și EPOS (LHC) la 13 TeV – studiu ce urmează a fi trimis spre publicare în RJP

În următoarele ne vom concentra exclusiv pe producția de straniețate supraunitară, i.e. particulele reconstruibile pe direcția înainte în detectorul LHCb sau detectori comparabili. Astfel ne uităm la producția de hyperoni Xi (Ξ^\pm) și Omega (Ω^\pm) încărcăți ce se dezintegrează în pioni (Kaoni) cu sarcină electrică și un hyperon/V0 Λ (anti- Λ) neutru ce se dezintegrează la rândul său în proton (anti-proton) și pion cu sarcină. Canalele de dezintegrare alternative tranziției precedente cu particule neutre în starea finală sunt neglijate în acest studiu datorită cunoașterii precise a factorilor de ramificare implicați și datorită imposibilității reconstrucției precise a acestor tranziții paralele.

În afara detecției hyperonilor și măsurării secțiunilor sau ratelor de producție pe coliziune proton-proton la 13 TeV, ne vom referii la rațiile de sarcină Ξ^+/Ξ^- , Ω^+/Ω^- , rații ce sunt corelate cu

observabile importante în partea fenomenologică sau „soft” (scala de energie „soft” este fixată în general la 100 MeV - 1 GeV și se manifestă în distribuția de impuls transversal a partonului sau hadronului asociat acestuia) a fizicii QCD/CDC (cromodinamica cuantică sau „quantum chromodynamics”), ca de exemplu transportul numărului barionic, reacții/coliziuni proton-proton difractive, distribuția de energie în starea finală, producția de stranietate în zona centrală a coliziunii acolo unde apar densități extraordinare de partoni și energie, etc, producția de di-cuarci, producția mulți-stranie, etc. În acest cadru nu vom face referiri la posibila componentă tare „hard” în spectru particulelor stranii, componenta ce poate apărea din producția de stranietate prin aromele tari, gen $\Xi_c \rightarrow \Xi^- \pi^+$, sau evenimentele la scara de energie mult mai mare (~ 100 GeV) ce conțin producții și tranziții ale bozonului slab Z sau W ce poate fi produs simultan cu un jet de particule rezultat în fragmentarea unui parton straniu. Acest lucru se datorează faptului că toate evenimentele din eșantioanele considerate la acest sub-capitol sunt de tip „Minimum Bias”, iar pentru stranietate, procesul de producție dominant - cu o pondere de aproximativ 90 % sau mai mare - este cel de fragmentare a partonilor energetici în faza de hadronizare a generatorilor. Semnalul Monte Carlo al hiperonilor este restricționat la acceptanța geometrică și cinematică corespunzătoare direcției înainte, LHCb: pseudo-rapiditate în [2,5] și impuls $p > 6$ GeV/c.

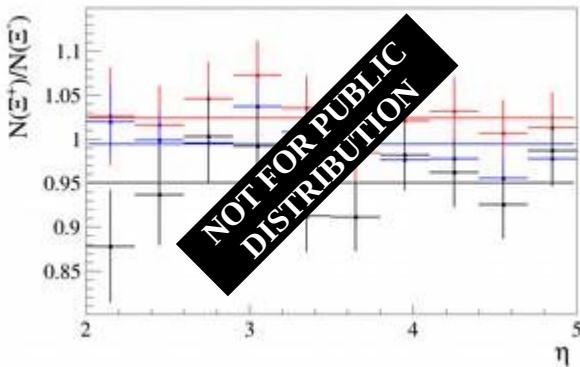


Fig 18: Spectru în pseudo-rapiditate definită față de fasciculele de protoni primari, spectre pentru rația de sarcină între hyperoni Xi încărcăți electric pozitiv și negativ Ξ^+/Ξ^- , în roșu sunt estimările date de generatorul SYBILL 2.1 (pre-LHC), în albastru sunt pentru EPOS LHC, iar în negru sunt valorile generate de PYTHIA 8.2, eșantioane de 1 Milion de evenimente „Minimum-Bias”.

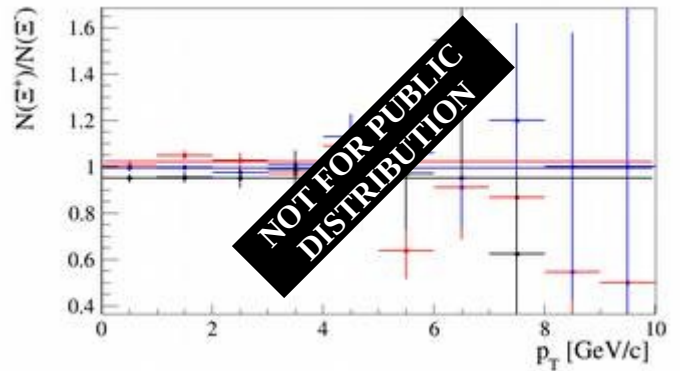


Fig 19: Spectru în impuls transversal pentru rația de sarcină între hyperonii Xi Ξ^+/Ξ^- , în roșu sunt estimările date de generatorul SYBILL 2.1 (pre-LHC), în albastru sunt pentru EPOS LHC, iar în negru sunt valorile generate de PYTHIA 8.2, eșantioane de 1 Milion de evenimente „Minimum-Bias”, eșantioane identice cu cele din figura precedentă.

Fragmentarea în particule stranii poate duce la producția de Kaoni, hiperoni sau alte particule stranii. În principal producția de stranietate este concretizată în proporție majoritară în Kaoni, iar hiperoni Lambda sunt prezenți în starea finală în o fracție mult mai mică, fracție în general un ordin de mărime mai mică decât Kaoni. Acest lucru este explicat prin probabilitatea scăzută de producție de sisteme de di-cuarci relativ la cuarci în procesul de fragmentare. De exemplu tune-ul PYTHIA 8.2 default (Monash [2]) setează parametrii fenomenologici pe baza măsurătorilor LHC și TEVATRON din zona de rapiditate centrală plus extrapolări din măsurătorile LEP.

În figurile 18 și 19 se observă producția de stranietate prin prisma rapoartelor de sarcină Ξ^+/Ξ^- , rapoarte care sunt obținute pentru 3 generatori (versiunea default a QGSJET-II-04 are producția de hyperoni setată arbitrar la 0 în CRMC). Se poate constata o rație de 0.950 ± 0.014 în cazul PYTHIA 8.2, de 0.994 ± 0.009 în EPOS LHC și de 1.024 ± 0.013 în caz SYBILL v2.1. Cu excepția generatorului PYTHIA (efect echivalent cu 4-sigma) cele doua generatoare din CRMC sunt consistente cu o rație unitară. În cazul observabilelor corelate cu producția de hadroni de stranietate

supraunitară, EPOS reprezintă generatorul cu cea mai mare confidență, datorită faptului ca în cazul EPOS LHC s-au folosit în tune valorile măsurate de CMS în zona de rapiditate centrală [4,8] pentru producția de stranietate, lucru care nu s-a întâmplat momentan pentru PYTHIA 8.2 și SYBILL. Astfel pentru EPOS LHC estimarea incertitudinii în producție de stranietate pe direcția înainte este determinată numai de extrapolarea în rapiditate din zona centrală CMS [-2,2] până la zona de rapiditate pe direcția înainte [2,5] aproximativ pentru acceptanța LHCb (apropiată intervalului de pseudo-rapiditate [2,5] ce reprezintă acceptanța LHCb geometrică). În plus EPOS ia în calcul la nivel fundamental apariția unei zone centrale în interacția proton-proton (la general hadron-hadron sau ion-ion), zona centrală de densitate de energie excepțională în care interacția între corzile de fragmentare dintre coliziuni „mulți-parton-interaction” MPI duce la o creștere bruscă a producției de stranietate în cazul cuarcilor și di-cuarcilor. Consecința este o producție semnificativ mărită pentru EPOS de hyperoni Xi și Omega, iar producția pe fiecare sarcină este comparabilă, astfel încât rațiile de sarcină $N(\Xi^+)/N(\Xi^-)$, $N(\Omega^+)/N(\Omega^-)$ sunt aproape unitare. Datele generate de SYBILL au în general o valoare mai mare decât unitate, fapt totuși consistent cu acest generator și corelate cu efectul dat de constrangerile generate de conservarea de sarcină (efect opus aici condiției de conservare a numărului barionic). Un mic surplus de barioni încărcăți pozitiv în acceptanța LHCb este datorat sarcinii pozitive inițiale, protonii primari fiind cu sarcină pozitivă.

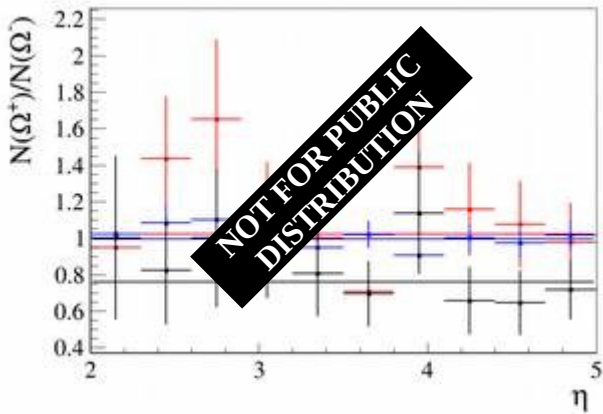


Fig 20 Spectru în pseudo-rapiditate, spectre pentru rația de sarcină între hyperoni Omega Ω^+/Ω^- , în roșu sunt estimările date de generatorul SYBILL 2.1 (pre-LHC), în albastru sunt pentru EPOS LHC, iar în negru sunt valorile generate de PYTHIA 8.2, eșantioane de 1 Milion de evenimente „Minimum-Bias”.

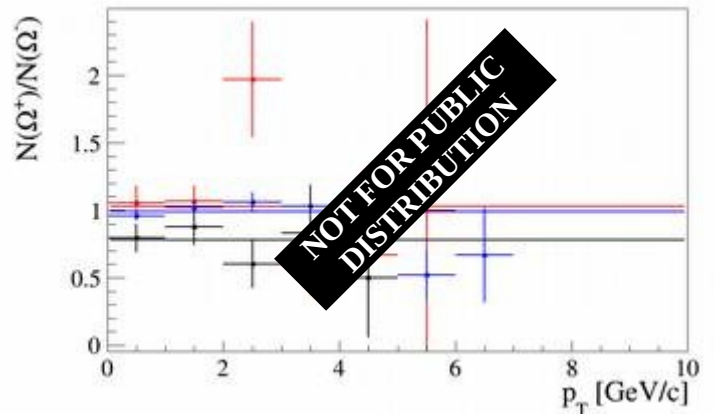


Fig 21 Spectru în impuls transversal, spectre pentru rația de sarcină între hyperoni Omega Ω^+/Ω^- , în roșu sunt estimările date de generatorul SYBILL 2.1 (pre-LHC), în albastru sunt pentru EPOS LHC, iar în negru sunt valorile generate de PYTHIA 8.2, eșantioane de 1 Milion de evenimente „Minimum-Bias”.

Pentru Fig. 20 și 21 aceleași efecte ca cele prezentate anterior, generează valori unitare pentru raportul sarcinilor $N(\Omega^+)/N(\Omega^-)$, iar în plus diferența în PYTHIA crește datorită înlocuirii cuarcului de valență „jos”, d, cu un cuarc straniu de valență. Efectele date de conservarea numărului barionic domină efectul sarcinii primare, iar rația pentru PYTHIA este de 0.760 ± 0.073 (echivalent statistic cu 4-sigma). Un studiu cu eșantioane de 10 ori mai mari (10 Milioane evenimente „Minimum-Bias”) este în curs, pentru a verifica aceste valori și a extrage semnificațiile statistice mai mari de 5-sigma.

În figurile 22-25 avem distribuțiile spectrale pe pseudo-rapiditate și impuls transversal a producției de hiperoni Xi și Omega cu sarcină negativă. Se poate observa producția de cel puțin două ori mai mare în EPOS a barionilor Xi comparativ cu SYBILL și PYTHIA, acest lucru fiind consistent cu observațiile făcute anterior în ce privește descrierea mai precisă la aceste energii a producției de stranietate și di-cuarci, descriere făcută în EPOS, dar care lipsește în PYTHIA 8.2 (Monash/Default) și lipsește în SYBILL.

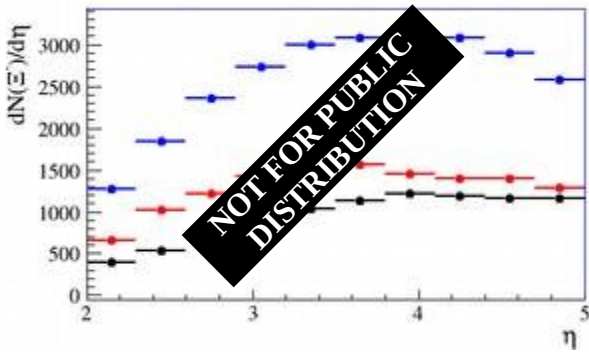


Fig 23 Spectru în pseudo-rapiditate, spectre pentru ratele de producție de hyperoni Xi încărcăți negativ Ξ^- , în roșu sunt estimările date de generatorul SYBILL 2.1 (pre-LHC), în albastru sunt pentru EPOS LHC, iar în negru sunt valorile generate de PYTHIA 8.2, eșantioane de 1 Milion de evenimente „Minimum-Bias”. De remarcat producția copioasă în EPOS a barionilor mulți-stranii, excedent datorat zonei centrale „core” a interacției între hadroni primari fapt confirmat la CMS în zona centrală. Pentru numerele absolute se va înmulți numerele pe axa y cu $1/0.3$ datorită intervalului de bin de 0.3.

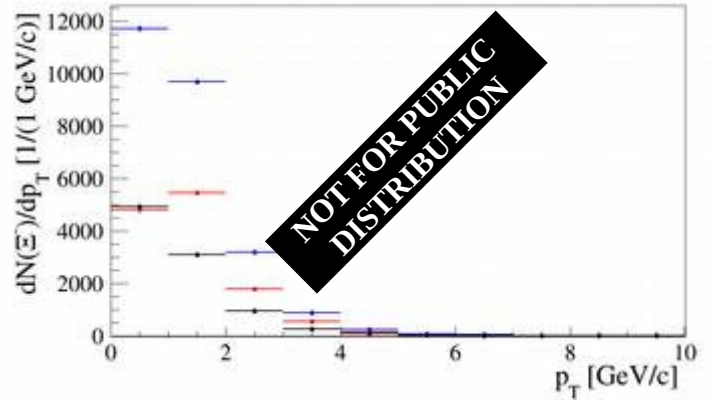


Fig 22 Spectru în impuls transversal, spectre pentru ratele de producție de hyperoni Xi Ξ^- , în roșu sunt estimările date de generatorul SYBILL 2.1 (pre-LHC), în albastru sunt pentru EPOS LHC, iar în negru sunt valorile generate de PYTHIA 8.2, esantioane de 1 Milion de evenimente „Minimum-Bias”.

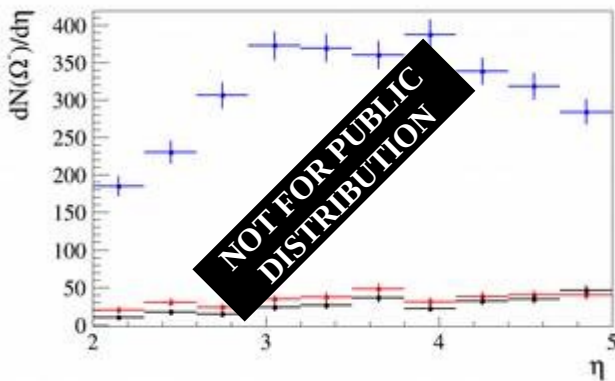


Fig 25 Spectru în pseudo-rapiditate, spectre pentru ratele de producție de hyperoni Omega încărcăți negativ Ω^- , în roșu sunt estimările date de generatorul SYBILL 2.1 (pre-LHC), în albastru sunt pentru EPOS LHC, iar în negru sunt valorile generate de PYTHIA 8.2, eșantioane de 1 Milion de evenimente „Minimum-Bias”. Pentru a obține numerele absolute se va înmulți numerele pe axa y cu $1/0.3$ datorită intervalului de bin de 0.3.

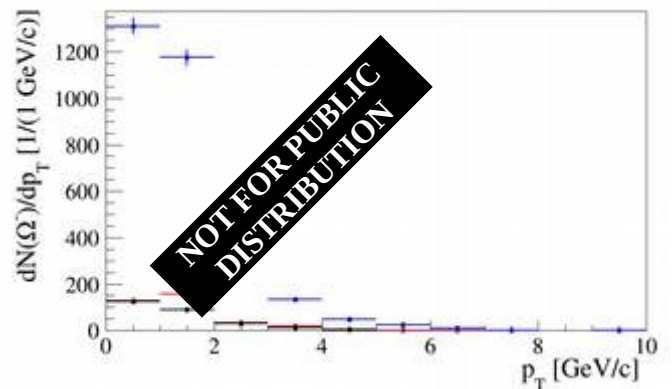


Fig 24 Spectru în impuls transversal, spectre pentru ratele de producție de hyperoni Omega încărcăți negativ Ω^- , în roșu sunt estimările date de generatorul SYBILL 2.1 (pre-LHC), în albastru sunt pentru EPOS LHC, iar în negru sunt valorile generate de PYTHIA 8.2, eșantioane de 1 Milion de evenimente „Minimum-Bias”.

Spectrele de pseudo-rapiditate din Fig 23 sunt relativ asemănătoare calitativ în valoare relativă, deși creșterea și descreșterea numărului de hiperoni Xi către capetele intervalului [2,5] este mai pronunțată în cazul EPOS. În Fig 24 spectrul în pseudo-rapiditate al hiperonilor Omega din eșantionul generat de EPOS este semnificativ diferit față de datele SYBILL v2.1 și PYTHIA 8.2. Din nou efectul „core” din EPOS pare singurul în măsură să explice cantitativ această diferență. Un studiu LHCb (cu implicarea grupului de cercetători din proiect) este în curs pentru a determina dacă

efectul de „core” este vizibil pe direcția înainte în contextul măsurătorilor producției de stranietate în LHCb, efectul de core a fost deja pus în evidență într-o oarecare măsură în ciocniri proton-ioni la LHCb [].

Pentru spectrele de impuls transversal din Fig. 22, 25 se constată o valoare medie mai mare în cazul datelor de la generatorul SYBIL, spectrul fiind mai „dur”/„hard” pentru aceste date. Forma spectrelor PYTHIA 8.2 și EPOS sunt similare, fapt ce demonstrează că deși numărul absolut de hiperoni Omega este semnificativ diferit pentru aceste doua generatoare, duritatea spectrelor în impuls transversal este echivalentă, semn ca PYTHIA 8.2 a fost calibrată în această observabilă pentru tune/optimizarea Monash.

V.2.1.3 Concluzii ale subcapitolului.

S-au studiat diferențele între producția de barioni/hiperoni stranii cu număr de stranietate supraunitar în acceptanța geometrică și cinematica LHCb funcție de generatorul folosit. Distribuțiile de pseudo-rapiditate și impuls transversal au fost făcute pentru: ratele de producție pe 1 million de evenimente și rațiile de sarcină ale barionilor Xi și Omega pentru aceleași eșantioane. Generatorii folosiți au fost PYTHIA 8.2 Default tune (Monash) și generatorii cosmici SYBILL v2.1 și EPOS LHC (QGSJET II-v4 va fi utilizat în subcapitolul următor v.2.2). Generatorii cosmici au fost utilizați folosind interfața CRMC. Din eșantioanele generate s-au folosit doar acei barion/hiperoni Xi și Omega care sunt în principiu reconstruibili în acceptanța detectorului LHCb, i.e. pe direcția înainte.

Spectrele și valorile mărimilor fizice observabile calculate au fost comparate pentru fiecare generator. Rezultatele sunt consistente cu diferențele în procesele fizice între generatori și cu optimizările/tune făcute sau nu pentru fiecare generator folosind mărimile măsurate la LHC, e.g. măsurarea producției de rapiditate în CMS.

Un studiu extins este în curs de finalizare pentru eșantioane Minimum-Bias mărite de 10 ori. Acest studiu este extins și la alte observabile după cum se va vedea în sub-capitolul următor. Un studiu paralel pe date este în curs, pentru a confirma prezenta zonei de „core”/centrale a interacției proton-proton la 7 și 8 TeV în datele LHCb din RUN-1 al LHC. Un articol al grupului va fi trimis spre publicare la finalul lunii pentru studiu corespunzător acestui sub-capitol.

În următorul subcapitol vom vedea cât de mult contează tipul generatorului și optimizarea acestuia, în contextul unor observabile de eveniment globale gen „Energy Flow”, multiplicitatea de particule per eveniment, etc.

V.2.2 Studiul comparativ al distribuțiilor variabilelor globale și a stranietății unitare din ciocniri pp la $s=(13 \text{ TeV})^2$ produse cu PYTHIA și modelele de radiații cosmice din pachetul CRMC

V2.2.1 Metoda de lucru

Eșantioanele au fost obținute folosind generatorul PYTHIA 8.1 și pachetul CRMC 1.6.0, ambele cu

setările implicite și conțin câte 1 milion de evenimente pp minimum bias la $\sqrt{s}=13\text{TeV}$. Modelele folosite din pachetul CRMC sunt EPOS LHC, QGSJETII-04 și SYBILL 2.3 (includes charm production compared with SYBILL v2.1). Pentru definirea particulelor stabile s-a folosit convenția $c\tau \geq 3\text{m}$ (unde τ este timpul de viață mediu al speciei respective). Pentru studiu s-au considerat doar particulele prompt definite ca particulele ale caror vertexuri de producere se afla într-o sferă (inclusiv suprafață) de rază 200 micrometri în jurul interacției primare ($x=0, y=0, z=0$). Energy flow este definit ca suma energiilor particulelor cu $p \geq 2\text{GeV}$ din intervale de pseudorapiditate de $d\eta=0.3$ între $\eta=1.9$ și $\eta=4.9$ (a se vedea [1]). Pentru energy flow s-au considerat particulele ce părăsesc sfera de promptitudine nedezintegrate cu excepția neutrinilor. Pentru distribuțiile de impuls transversal, pseudorapiditate și multiplicitate, atât cele globale, cât și cele și uni-particula, au fost folosite constrangerile cinematice de $p \geq 2\text{GeV}$ și $2 \leq \eta \leq 5$. Pentru distribuțiile globale de impuls transversal, pseudorapiditate și multiplicitate s-au considerat doar particulele stabile și încărcate electric. Toate distribuțiile au fost scalate cu numărul de evenimente. Constrângerile cinematice își au justificarea în intenția de viitoare comparare cu datele experimentale obținute la experimentul LHCb.

V2.2.2 Rezultate

În Figura 26 sunt prezentate distribuțiile de energy flow total și energy flow pentru particule încărcate. Distribuțiile sunt asemănătoare calitativ, atât între ele, cât și cu distribuțiile obținute la $\sqrt{s}=7\text{TeV}$ (figurile 1-4 din [1]). Se observă, de asemenea, o creștere a valorilor cu energia, ceea ce era de așteptat. Distribuțiile pentru QGSJETII-04 și EPOS LHC sunt foarte apropiate și se disting destul de clar de cele pentru PYTHIA 8.1 și SYBILL 2.3. O posibilă explicație pentru acest comportament ar putea fi faptul că modelele QGSJETII-04 și EPOS LHC sunt optimizate folosind date LHC, în timp ce PYTHIA 8.1 și SYBILL 2.3 sunt optimizate folosind date mai vechi, în speța de la experimentele LEP și Tevatron. În Figura 27 sunt prezentate distribuțiile de impuls transversal, pseudorapiditate și multiplicitate per eveniment. Și aici se observă un comportament asemănător calitativ între distribuții și de asemenea, faptul că distribuțiile pentru EPOS LHC și QGSJETII-04 sunt foarte apropiate. Din figurile 26 și 27 se poate trage o concluzie preliminară și anume, că PYTHIA 8.1 și SYBILL 2.3 subestimează producerea de particule, pentru SYBILL 2.3 subestimarea fiind mult mai puternică.

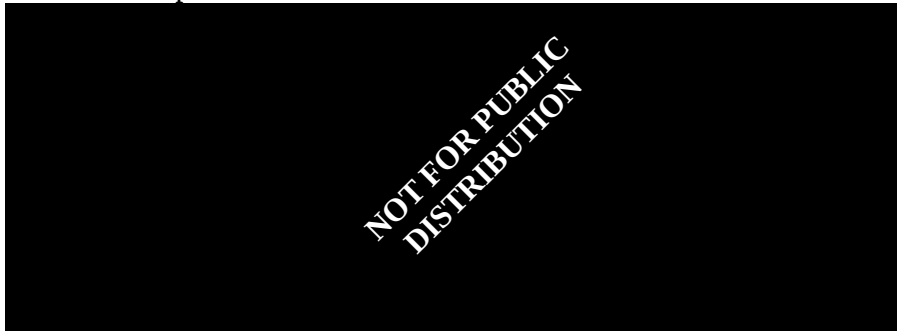


Fig. 26: Distribuțiile de energy flow total (stânga) și energy flow pentru particule încărcate electric (dreapta).

În Figura 28 sunt prezentate distribuțiile de impuls transversal și pseudorapiditate pentru Λ^0 anti- Λ^0 . Se poate observa asemănarea calitativă între distribuțiile pentru EPOS LHC, QGSJETII-04 și PYTHIA 8.1 și faptul că în cazul stranieții SYBILL 2.3 se comporta ușor diferit. Distribuția de impuls transversal pentru SYBILL 2.3 are un maximum deplasat cu 0.2 GeV în direcția pozitivă față de restul distribuțiilor. Și în distribuția de pseudorapiditate se observă comportamentul diferit al modelului SYBILL 2.3 cel puțin în prima jumătate a intervalului de pseudorapiditate. Faptul că în EPOS LHC se produc mai multe particule Λ^0 anti- Λ^0 poate fi explicat în parte de caracteristica definitorie a modelului și anume, că este un model de tip core-corona (nucleu-coroana). În nucleu hadronizarea este tratată colectiv, iar aceasta poate duce la

îmbogățirea producerii de stranietate. În Figura 29 sunt prezentate distribuțiile de impuls transversal și pseudorapiditate pentru kaoni (K_s^0 , K^\pm). Între distribuțiile pentru diferiți kaoni nu există diferențe notabile, ceea ce era de așteptat. Încă o dată, se observă comportamentul asemănător calitativ între distribuții, cu excepția modelului SYBILL 2.3 pentru care se observă ușoare diferențe. În cazul kaonilor, EPOS LHC prezintă cea mai înaltă distribuție, întărind ideea de producere îmbogățită de stranietate datorită hadronizării colective.

V2.2.3 Concluzii

Comportamentul distribuțiilor de energy flow sunt conforme cu așteptările. Toate modelele discutate au comportamente asemănătoare calitativ pentru toate distribuțiile, cu precizarea că cel al modelului SYBILL 2.3 este ușor diferit. Distribuțiile pentru EPOS LHC și QGSJETII-04 sunt foarte apropiate în toate cazurile prezentate. PYTHIA 8.1 și SYBILL 2.3 subestimează producerea de particule, subestimare care poate fi datorată optimizărilor diferite ale modelelor. Producerea suplimentară de stranietate în cazul modelului EPOS LHC poate fi explicată prin comportamentul colectiv al hadronizării ce caracterizează modelul. Acest studiu va fi continuat în vederea elaborării articolului științific “Comparison of cosmic ray models with PYTHIA at energies near the second ‘knee’ of the cosmic ray spectrum” care va conține și o comparație cu date experimentale de la experimentul LHCb.

V.2.B Bibliografia subcapitolului

- [1] „An Introduction to PYTHIA 8.2”, T. Sjostrand et al, Comput. Phys. Commun. 191 (2005) 159, 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; T. Sjostrand, S. Mrenna, P. Skands, „A Brief Introduction to PYTHIA 8.1”, Comput.Phys.Commun.178, 852-867, 2008; “PYTHIA 6.4 Physics and Manual”, T. Sjostrand, S. Mrenna and P. Skands, JHEP05 (2006) 026 [hep-ph/0603175].
- [2] „Tuning PYTHIA 8.1: the Monash 2013 Tune”, Peter Skands, Stefano Carrazza, Juan Roj, Eur. Phys. J. C (2014) 74: 3024, CERN-PH-TH-2014-069, MCNET-14-08, OUTP-14-05P, arXiv:1404.5630[hep-ph] <http://dx.doi.org/10.1140/epjc/s10052-014-3024-y>;
- [3] „Cosmic ray event generator Sibyll 2.1”, Eun-Joo Ahn, Ralph Engel, Thomas K. Gaisser, Paolo Lipari, Todor Stanev, Phys.Rev. D80, 094003 (2009), DOI: 10.1103/PhysRevD.80.094003, arXiv:0906.4113 [hep-ph].
- [4] „EPOS LHC : test of collective hadronization with LHC data”, T. Pierog, Iu. Karpenko, J.M. Katzy, E. Yatsenko, K. Werner, Phys. Rev. C 92, 034906 (2015), [arXiv:1306.0121](https://arxiv.org/abs/1306.0121) [hep-ph]
- [5] „Monte Carlo treatment of hadronic interactions in enhanced Pomeron scheme: I. QGSJET-II model”, Sergey Ostapchenko, Phys.Rev. D83 014018, (2011), DOI: 10.1103/PhysRevD.83.014018, arXiv:1010.1869 [hep-ph].
- [6] “Herwig 7.0 / Herwig++ 3.0 Release Note”, Johannes Bellm et al., [Eur.Phys.J. C76 \(2016\) no.4, 196](https://arxiv.org/abs/1605.04696), <https://herwig.hepforge.org>.
- [7] „CRMC”, T. Pierog, C. Baus, R. Ulrich, <https://web.iikp.kit.edu/rulrich/crmc.html>
- [8] „Strange Particle Production in pp Collisions at $\sqrt{s} = 0.9$ and 7 TeV”, CMS Collaboration, V. Khachatryan et al., JHEP 1105 (2011) 064, arXiv:1102.4282.
- [9] „Measurements of long-range near-side angular correlations in $\sqrt{s}=5$ TeV proton-lead collisions in the forward region”, LHCb collaboration, Phys. Lett. B 762 (2016) 473, CERN-PH-EP-2015-308, LHCb-PAPER-2015-040, [arXiv:1512.00439](https://arxiv.org/abs/1512.00439) [nucl-ex].
- [10] R. Aaij et al. (LHCb collaboration) – Measurement of the forward energy flow in pp collisions at $\sqrt{s}=7$ TeV – European Physical Journal C, arxiv: 1212.4755v3, mai 2013.

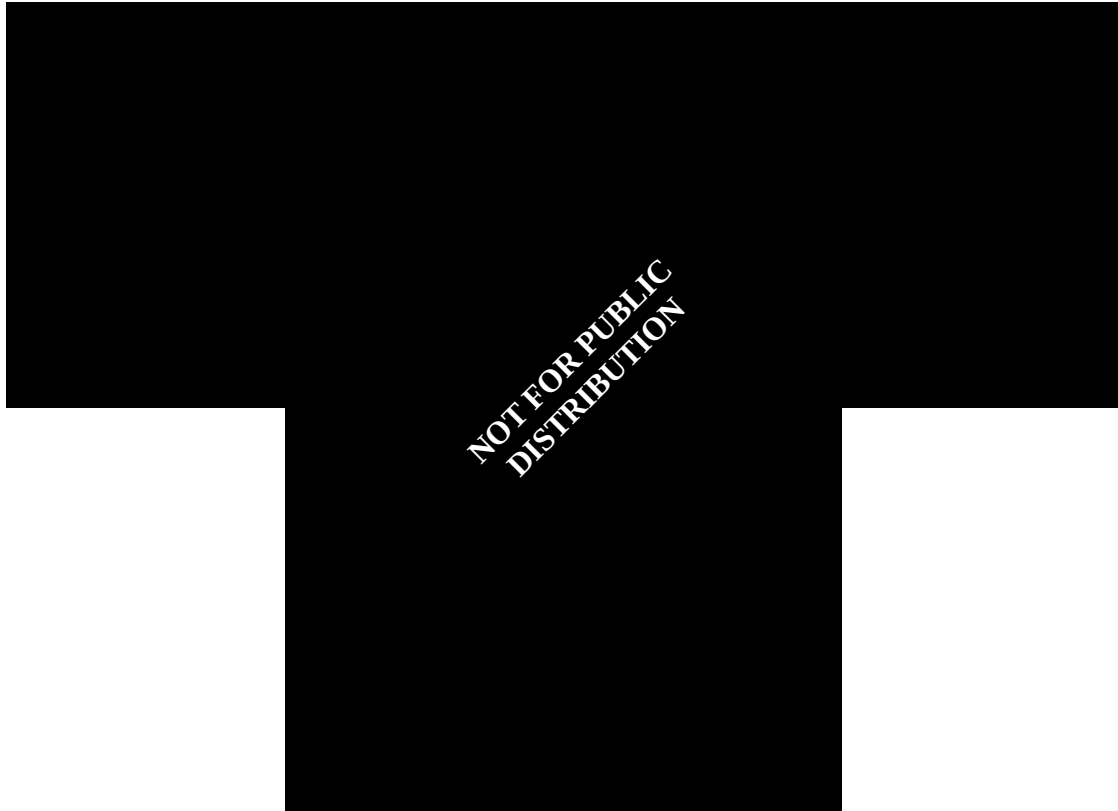


Figura 27 Distribuțiile de impuls transversal (stânga-sus), pseudorapiditate (dreapta-sus) și multiplicitate per eveniment (jos).

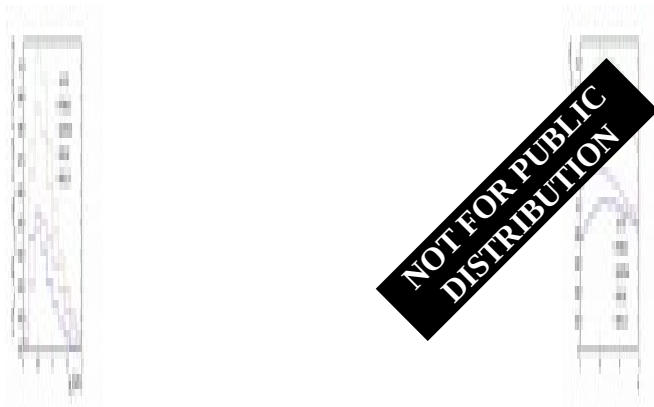


Figura 28: Distribuțiile de impuls transversal (stânga) și pseudorapiditate (dreapta) pentru Λ^0 și Λ^0_0 .

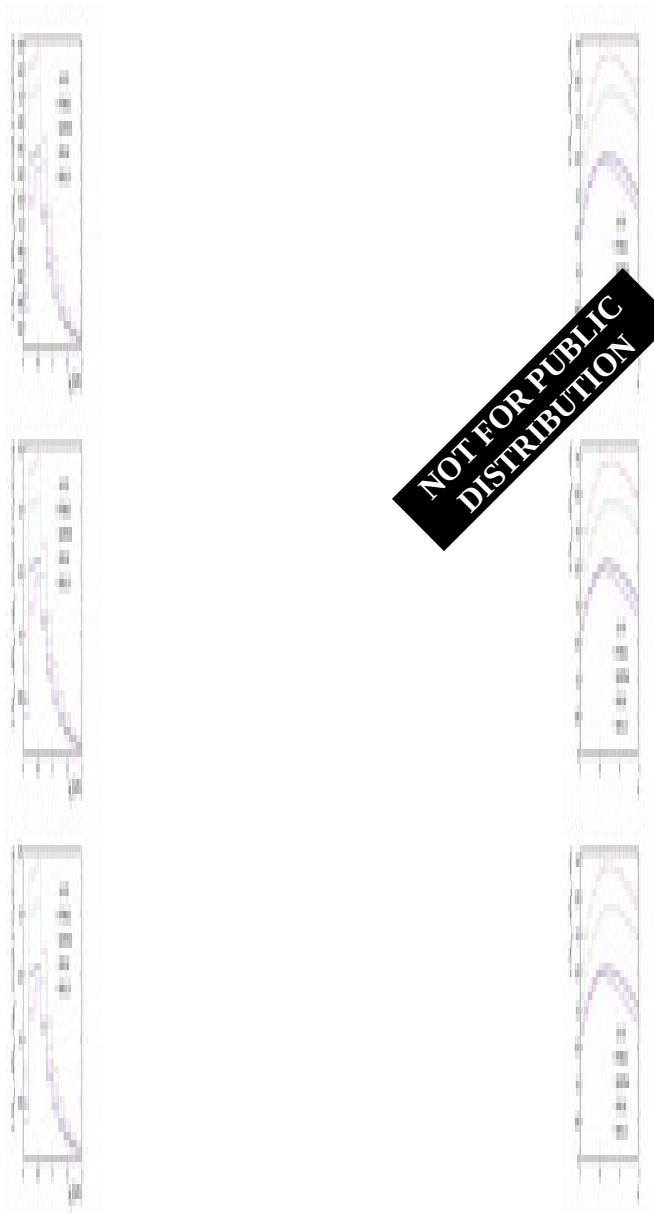


Figura 29 Distribuțiile de impuls transversal (stânga) și pseudorapiditate (dreapta) pentru K_S^0 (primul rând), K^+ (al doilea rând) și K^- (al treilea rând).

V.3 Alte rezultate în etapa V a acestui proiect.

A. Publicații trimise și acceptate de către Jurnale din domeniu

A1. L.E Giubega on behalf LHCb, “Radiative Decays at LHCb”, Physics of Atomic Nuclei, 2016, Vol. 79, No. 10, pp. 47-55, ISSN 1063-7788;

Datorită unei cerințe impuse de editor nu a fost posibil să includem un capitol de „acknowledgments” cu referire la proiect, dar articolul este încadrat pe pagina web a proiectului ca fiind suportat în fracție dominantă din proiect.

Articolul a fost publicat în rusă și engleză în cele două versiuni ale jurnalului.

A2. L.E. Giubega, A.I. Jipa, A.C. Ene, “Study of the resonances structure appearance in the $\Lambda_b \rightarrow \Lambda^* (\rightarrow p + K^-) \gamma$ decay using helicity formalism”, acceptat spre publicare în Romanian Journal of Physics, https://www.nipne.ro/rjp/accpaps/019-ElenaG_CDC0D9.pdf

B. Publicații în curs de trimitere către jurnal – două articole ce vor fi trimise către Romanian Journal of Physics la finalul lunii Decembrie, iar o notă de analiză LHCb pe producția de stranietate va fi finalizată la începutul anului viitor (5 autori din care 3 din grupul proiectului și 2 co-autori de la institute parteneri internaționali în colaborare LHCb), urmând a fi trimis un articol LHCb în al doile semestru al anului 2017 – finalizarea lucrărilor aici se va face pe un alt proiect.

B1. „Production of hyperons in cosmic ray generators and PYTHIA 8.2” urmeza a fi trimis la finalul lunii spre publicare în Romanian Journal of Physics RJP.

B2. “Comparison of cosmic ray models with PYTHIA at energies near the 2nd ‘knee’ of the cosmic ray spectrum” urmeza a fi trimis la finalul lunii spre publicare în Romanian Journal of Physics RJP.

B3. „Measurement of production and charge ratio of hyperons Ξ^+/Ξ^- and Ω^+/Ω^- at LHCb”, LHCb Analysis note în preparation.

C. Workshop stiintific și un workshop educational.

C1. Workshop stiintific – Suceava Octombrie 2016, „SHEP2016”

„[Workshop on Sensors and High Energy Physics \(SHEP 2016\)](#)”

Pagina web <https://indico.cern.ch/event/574939/>;

Workshop organizat de grup în colaborare cu sub-grupul LHCb Romania de la Universitatea Stefan cel Mare din Suceava. La acest workshop 200 de participanti în audienta, majoritatea de la universitatea din Suceava, prezenta internationala, din diaspora și din Basarabia. Prezentarile au fost pe tematici asociate proiectului, pe tematici CERN/LHCb, fizica aplicativa, pe tematici educationale (Olimpiada de Astronomie și Astrofizica) și pe outreach.

C2. „Masterclass 2016”, Suceava Martie 2016, eveniment organizat de IFIN-HH și USV la Suceava, în colaborare cu LHCb și CERN – evenimentul este anual si dedicat studenților din primii ani de facultate și în special elevilor din liceele de prestigiu din Romania.

Include și un eveniment de tip videoconferință cu experții de la CERN, studenții și elevii putând pune întrebări și asculta câteva prezentări ale specialiștilor în domeniu, prezenți în sală sau prin video link.

http://physicsmasterclasses.org/index.php?cat=archive&page=schedule_2016

www.physicsmasterclasses.org, www.facebook.com/InternationalParticlePhysicsMasterclasses,
<https://twitter.com/physicsIMC>

Evenimentul are ca scop popularizarea fizicii energiilor înalte în mediul academic, universitate și licee și pentru a motiva elevii din ultimii an de liceu să aleagă o carieră în fizică.

D. În cadrul echipei proiectului avem în 2016: 4 studenți doctoranzi, din care 2 au 50% din activitate în cadrul proiectului. Un student masterand a fost inclus în proiect la începutul anului și în finalul lui septembrie a fost acceptat la un program doctoral de la Universitatea București cu o tematică din cadrul proiectului (drd. Alexandru Catalin ENE). Celălalt doctorand a susținut teza, având subiecte din tematica proiectului și a luat calificativul EXCELENT în urma examinării. În acest moment se așteaptă confirmarea de către minister a titlului de doctor (drd. Elena Lavinia Giubega).

Toți doctoranzi și masteranzi actuali sau anteriori încadrați în proiect lucrează actualmente în domeniu fizicii particulelor înalte la institute de prestigiu și în colaborări de prestigiu internațional: LHCb, ATLAS.

E. Prezentări la conferințe sau workshop-uri naționale și internaționale:

E1. Florin MACIUC, "High Energy Physics Measurements, Status and Prospects" Workshop on Sensors and High Energy Physics (SHEP 2016), Stefan Cel Mare University of Suceava (USV), Suceava, Romania, 21 – 22 October 2016.

E2. În cadrul LHCb 63rd Analysis and Software Week, CERN, 9-13 May 2016, Geneva, Switzerland, <https://indico.cern.ch/event/442259>
- Alex GRECU, "HEPData mini workshop summary", 09.05.2016 (plenary)

E3. HEPData mini-workshop, CERN, 25 April 2016, Geneva, Switzerland, <https://indico.cern.ch/event/512652>
- Alex GRECU "LHCb and HEPData", 25.04.2016 (plenary)

E4-5.QCD@LHC2016, UZHÐ, 22-26 August 2016, Zuerich, Elvetia, <https://indico.cern.ch/event/516210>
- Alex GRECU "Gauge boson physics in the forward region at LHCb", 22.08.2016
- Alex GRECU "Impact of LHCb results on the tuning of Monte Carlo generators", 22.08.2016

E6 SHEP 2016, Stefan cel Mare Univ. of Suceava, 21-22 October 2016, Suceava, Romania <https://indico.cern.ch/event/574939>
- Alex GRECU, "Overview of the LHCb Monte Carlo Simulation Framework", 21.10.2016

E7 Teodor Ivanoaica, „Grid site as a tool for data processing and data analysis, computing performance evolution”, SHEP 2016, Stefan cel Mare Univ. of Suceava, 21-22 October 2016, Suceava, Romania (studiu cu susținere parțială din proiect – în prezent Grid-ul este locul preferat pentru prelucrarea și procesarea datelor Monte Carlo și LHCb, fiind indispensabil grupului de lucru din proiect)
<https://indico.cern.ch/event/574939>

E8. Elena L. Giubega, „Study of the Λ^* resonances in $\Lambda_b \rightarrow \Lambda^*(p+K^-)\gamma$ decay, using Helicity Formalism”, „SHEP 2016”, Stefan cel Mare Univ. of Suceava, 21-22 October 2016, Suceava, Romania, <https://indico.cern.ch/event/574939>.

E9. Alexandru Catalin ENE, „Comparison of cosmic ray collisions generators and PYTHIA”, SHEP 2016, Stefan cel Mare Univ. of Suceava, 21-22 October 2016, Suceava, Romania, <https://indico.cern.ch/event/574939>.

E10. Alexandru Catalin ENE, “Particle production in pp collisions at LHC energies”, Universitatea din Bucuresti sesiunea stiintifica anuala 2016, iunie 2016.

E11. Alexandru Catalin ENE, “Particle production in pp collisions at LHC energies”, Pentagon Facultatilor de Fizica 2016, Cluj-Napoca, iulie 2016, primul loc la sesiunea Master-Doctorand;

E12 Alex Grecu, 5 prezentari pe tematica proiectului în sesiunile grupurilor de lucru ale colaborarii LHCb, sesiuni organizate lunar la CERN prin videoconferinta.

F. Şcoli de pregătire a doctoranzilor

F1. Alexandru Catalin ENE, „Frontier în particle physics: Flavour Physics”, 7-11 November 2016, Niels Bohr Institute.

Director proiect,

Dr. Florin MACIUC

5.12.2016

Materialul din prezentul document corespunde situației curente a analizelor completate și în desfășurare cel puțin până la data de 31.12.2016. Grafice, numere și alte rezultate concrete care au fost obținute pe baza datelor LHCb sau softului colaborării LHCb nu pot fi distribuite public în acest moment, astfel încât numai rezultatele analizelor independente de colaborarea LHCb sunt făcute publice. Deși date și metode specifice analizelor LHCb au fost folosite, concluziile prezentate sunt pe moment susținute numai de autorii studiului nu și de restul colaborării. Graficele și valorile prezentate sunt ori date publice LHC (publicate în jurnale de prestigiu sau incluse în baze de date publice ale colaborarilor HEP – High Energy Particles) sau obținute pe baza simulărilor Monte Carlo cu ajutorul generatorilor desponibili în domeniul public sub licența GNU: e.g. generatorul „PYTHIA 8 is licensed under the GNU General Public Licence version 2”.

F. Dezvoltarea resurselor computaționale pentru simulare Monte Carlo a coliziunilor hadron-hadron la energii de ordinul TeV în sistemul centrului de masă

Începând cu anul 2012 grupul de cercetători și personalul cu pregătire IT din echipa de proiect au contribuit la conceperea, implementarea și configurarea unui sistem de calcul tip cluster dedicat studiilor Monte Carlo și analizei de date experimentale în fizica energiilor înalte.

La nivelul anului 2014, au fost realizate cu succes primele configurări ale software-ului distribuit de către colaborarea LHCb folosind un cluster de calcul de 3 unități de calcul cu 4 CPU, 2 GB memorie/CPU și o capacitate de stocare de ordinul a câțiva TB (fără redundanță sau copii de siguranță). Utilizând acest sistem de calcul, construit cu fonduri provenite din alte surse, s-au înregistrat câteva succese în generarea de eșantioane Monte Carlo (MC) necesare analizelor de fizică aflate în desfășurare cât și în dezvoltarea unei interfețe între librăria RIVET [1] și pachetele software de simulare MC ale colaborării LHCb.

Pe parcursul anilor 2014 și 2015, clusterul a fost îmbunătățit înlocuind unitățile de calcul cu noduri de lucru având 12 CPU, 2GB/CPU memorie RAM și adaugând o unitate dedicată de stocare cu redundanță a cărei capacitate instalată este de ordinul 40-60 TB.

Unitatea de stocare a fost re-comisionată cu succes în a doua jumătate a anului 2016 ca urmare a înlocuirii unor discuri magnetice defecte. Pentru această operație s-a implementat un pachet software de mare viteză pentru generarea unui volum de date și verificarea sumelor de control ale fișierelor utilizate la umplerea capacității de stocare utile a unității.

Clusterul de lucru este compus la momentul actual din: o unitate care are rol de „gateway” (GW), permițând conectarea utilizatorilor de la distanță pentru utilizarea resurselor prin intermediul unei console text, dar și execuția de software cu interfață grafică; două unități de calcul distribuit și unitatea de stocare. Toate mașinile beneficiază de conexiunea la o partiție comună ce conține fișierele utilizatorilor, precum și o partiție de date comună de capacitate foarte mare unde sunt stocate și arhivate fișiere cu date experimentale și diverse producții de evenimente simulate. În plus, atât la nivelul GW cât și pe fiecare nod de calcul sunt disponibile pachete software pre-instalate distribuite prin protocoalele AFS[2] și CVMFS[3], astfel încât, cu ajutorul unor utilitare de configurație dezvoltate în cadrul grupului pe parcursul anului 2015, utilizatorul poate obține facil un mediu de lucru asemănător condițiilor oferite de marile centre de cercetare din domeniu (vezi lxplus la CERN).

Clusterul are instalate și versiuni mai vechi de software pentru analiza de fizică de a căror mentenanță se ocupă membrii cu experiență din echipa de cercetare. Din a doua jumătate a anului 2015 acești cercetători se ocupă și de instalarea și configurarea unei colecții de generatori de eveniment MC ce cuprinde la momentul actual mai multe versiuni ale generatorului PYTHIA[4], UrQMD[5] sau mai multe versiuni de modele de interacție hadronică reunite în pachetul software de interfațare CRMC [6]. În plus o parte din acești generatori necesită instalarea de librării conexe care largesc spectrul de configurații disponibil (de exemplu prin implementarea unei largi palete de parametrizări ale funcțiilor de densitate partonică – LHAPDF[7]) sau implementează algoritmi complecși de analiză (de exemplu algoritmi de reconstrucție a jeturilor de particule din FastJet[8]) sau oferă posibilitatea de a valida și optimiza generatori de eveniment capabili să salveze evenimentele simulate în format HepMC[9], i.e. RIVET [10]. A fost creat astfel un mediu de lucru gestionat de cercetători experimentați și care este folosit atât pentru studiile grupului cât și pentru eventualele activități științifice ale masteranzilor și doctoranzilor din grup.

Clusterul de calcul este ușor extensibil prin adăugarea de noi noduri de lucru. La momentul actual este capabil să ruleze 48 de unități de lucru în paralel (sau joburi în jargon tehnic) iar de la instalarea completă în ultimul trimestru al anului 2015 a rulat aproximativ 8500 de joburi cu o rată de succes de peste 80%. Specialiști IT și cercetători din grup se ocupă în mod activ de dezvoltarea de software

ajutător și sisteme de diagnostic specifice astfel încât să fie redusă la minim perioada de degradare a serviciilor de calcul din timpul intervenției personalului care se ocupă cu administrarea.

În concluzie proiectul de față a susținut parțial dezvoltarea unui instrument de lucru extrem de util pentru programul de fizică implementat de echipa de proiect, care este în continuu îmbunătățit și va putea fi pus la dispoziția viitoarelor generații de cercetători în formare din cadrul grupului LHCb România.

Referințe

1. Buckley A. et al., „Rivet user manual”, arXiv: 1003.0694 [hep-ph]; <https://rivet.hepforge.org/>
2. Arpaci-Dusseau, Remzi H.; Arpaci-Dusseau, Andrea C. (2014), Operating Systems: Three Easy Pieces [The Andrew File System (AFS)], <http://pages.cs.wisc.edu/~remzi/OSTEP/dist-afs.pdf> [Last access: December 2, 2016]; <http://www.openafs.org/>
3. <https://cernvm.cern.ch/portal/filesystem> [Last access: December 2, 2016]
4. T. Sjöstrand, S. Mrenna and P. Skands, „PYTHIA 6.4 Physics and Manual”, J. High Energy Phys. 05 (2006) 026;
T. Sjöstrand, S. Mrenna and P. Skands, JHEP05 (2006) 026, Comput. Phys. Comm. 178 (2008) 852;
- T. Sjostrand et al., „An introduction to PYTHIA 8.2”, Comp. Phys. Comm. 191 (2015) 159-177; arXiv: 1410.3012 [hep-ph]
5. S. A. Bass, M. Belkacem, M. Bleicher, M. Brandstetter, L. Bravina, C. Ernst, L. Gerland, M. Hofmann, S. Hofmann, J. Konopka, G. Mao, L. Neise, S. Soff, C. Spieles, H. Weber, L. A. Winkelmann, H. Stoecker, W. Greiner, Ch. Hartnack, J. Aichelin and N. Amelin, „Microscopic Models for Ultrarelativistic Heavy Ion Collisions”, Prog. Part. Nucl. Phys. 41 (1998) 225-370
M. Bleicher, E. Zabrodin, C. Spieles, S.A. Bass, C. Ernst, S. Soff, L. Bravina, M. Belkacem, H. Weber, H. Stoecker, W. Greiner, „Relativistic Hadron-Hadron Collisions in the Ultra-Relativistic Quantum Molecular Dynamics Model”, J. Phys. G: Nucl. Part. Phys. 25 (1999) 1859-1896
6. T. Pierog et al., arXiv:1306.0121 [hep-ph]; S.Ostapchenko, Phys. Rev. D 83 (2011) 014018;
F. W. Bopp, J. Ranft, R. Engel, and S. Roesler, „Antiparticle to particle production ratios in hadron-hadron and d-Au collisions in the DPMJET-III Monte Carlo model”, Phys. Rev. C 77 (2008) 014904; K. Werner, F.M. Liu and T. Pierog, Phys.Rev. C74 (2006) 044902; T. Pierog and K. Werner, Nucl. Phys. Proc. Suppl. 196 (2009) 102-105; N.N. Kalmykov, S. Ostapchenko, and A.I. Pavlov, Nucl. Phys. B (Proc. Suppl.) 52B (1997) 17; S. Ostapchenko, Nucl.Phys.Proc.Suppl. 151 (2006) 143; R. Engel, T.K. Gaisser, P. Lipari, and T. Stanev, Proc. 26th Int. Cosmic Ray Conf., Salt Lake City (USA), 1 (1999) 415; E.-J. Ahn, R. Engel, T.K. Gaisser, P. Lipari, and T. Stanev, Phys. Rev. D80 (2009) 094003.
7. A. Buckley et al., "LHAPDF6: parton density access in the LHC precision era", Eur. Phys. J. C75 3 (2015) 132; arXiv: 1412.7420 [hep-ph]
8. M. Cacciari, G.P. Salam and G. Soyez, Eur.Phys.J. C72 (2012) 1896 [arXiv:1111.6097];
M. Cacciari and G.P. Salam, Phys. Lett. B 641 (2006) 57 [hep-ph/0512210].
9. M. Dobbs and J.B. Hansen, Comput. Phys. Commun. 134 (2001) 41; <http://lcgapp.cern.ch/project/simu/HepMC/>
10. Buckley A. et al., „Rivet user manual”, arXiv: 1003.0694 [hep-ph]; <https://rivet.hepforge.org/>

Director proiect,

Dr. Florin MACIUC

5.12.2016