

Rezumat al rezultatelor și activităților proiectului “LHCb – de la straniețate la fizica hadronilor b și mai departe”, noi direcții în fizica energiilor înalte și în domeniul de Cercetare-dezvoltare conexe, impactul proiectului în plan național și nivelul integrării în colaborarea LHCb

Proiectul LHCb a permis continuarea activităților de cercetare în domeniul energiilor înalte asociate programului colaborării LHCb, pentru o gamă de subiecte cu slabă reprezentare în țară dar atât de discutate și de prezente în fizica modernă și chiar în mentalitatea colectiva a alte state europene și nu numai. Proiectul a fost activ de asemenea într-o perioadă atât de importantă pentru CERN și pentru comunitatea fizicii internaționale, când primele date LHC semnificative au început să fie analizate. În plus un alt punct critic și important în programul CERN în acest interval a fost începerea activităților de Upgradare a detectorilor LHC existenți, programul incluzând și activitățile proiectului de cercetare și dezvoltare pentru programul de Upgradare a subdetectorilor LHCb RICH. În afara acestor direcții majore ale programului de cercetare din proiect, acesta a inclus și activități și obiective colaterale ca de exemplu: sarcinile de IT și infrastructură IT din cadrul WLCG și din cadrul organizației virtuale a LHCb, responsabilitățile de mentenanță și dezvoltare a unor pachete de programe ale software-ului LHCb; program de „Outreach”, sarcini de lucru comune cu alte grupuri internaționale și naționale. Colaborarea LHCb condiționează statutul de membru și asociat pentru fiecare institut participant de contribuțiile de: analiza datelor LHCb, upgrade și IT. În următoarele paragrafe va fi folosită această schemă de clasificare și va fi prezentată lista de rezultate, studii și statistici pentru activitățile proiectului din fiecare domeniu.

Grupul LHCb român a fost implicat în multiple analize ale datelor LHCb. Aici ponderea principală a fost alocată studiilor producțiilor de particule, ce implică măsurări ale ratelor de producție și a secțiunilor eficace diferențiale pentru producția de hadroni strănii și „beauty” în coliziuni ale protonilor LHC la energii de 2.76, 7, 8 și 13 TeV. De menționat, de asemenea este studiul producției de hiperoni în datele LHCb cu ciocniri proton-ion. Observabilele includ producția de particule V_0 și cascadele hiperonilor împreună cu producția barionului beauty Λ_b folosind canalul de dezintegrare $\Lambda_b \rightarrow \Lambda J/\psi$, canal ce are o fracție de ramificație mare și un semnal relativ curat în detectorul LHCb. Studiile făcute pe datele de tip “Minimum Bias” au urmărit măsurarea producției de straniețate în cazul hadronilor K_{short} și Λ , iar pentru hiperoni cu număr de straniețate supraunitar, Ξ^\pm și Ω^\pm . S-a urmărit în plus măsurarea rațiilor particula/anti-particula. Ratele de producție și rațiile acestora au fost comparate cu rezultatele generatorilor de coliziuni proton-proton Monte Carlo (MC). Relevant în această direcție este programul de optimizare sau „tuning” a generatorului standard de coliziuni proton-proton pentru LHCb: Pythia 8, cu setul de parametrii fenomenologici asociați. Pentru cazul acceptanței LHCb exista un set de valori pentru parametrii generatorului Pythia corespunzând la așa zisul „forward tune” sau „LHCb tune”. Parametrii pentru LHCb se modifică pe măsură ce măsurătorile LHCb sunt utilizate să constrângă modelul, iar distribuțiile generate se apropie astfel de cele măsurate după ce valorile acestea din urmă sunt corectate cu factorii de acceptanță și eficiență. Noutatea studiilor de producție și MC enumerate anterior rezidă în faptul că procesele de producție nu au mai fost studiate până acum la energiile de coliziune disponibile la LHC și chiar la LHC alte detectoare nu au instrumentația completă în direcția înainte, lucru ce distinge detectorul LHCb prin „forward spectrometer physics” de restul detectorilor de particule LHC. Deși nu am făcut teste de precizie ale Modelului Standard, producția de straniețate și fizica de bază ce corespunde fizicii cromodinamice cuantice la energii de interacție joase sau „softQCD” (faza de hadronizare și scara de masă a partonului străniu, i.e., aproximativ 100 MeV și mai mult) sunt esențiale pentru eliminare fondului în analiza semnalelor de tip QGP – stări plasma cuarc gluon – și mai mult, cromodinamica cuantică de energie joasă este importantă în descrierea proceselor de coliziuni ale razelor cosmice în care protoni sau ioni la energii mai mari de PeV creează jerbe în atmosferă. Rezultatele LHCb pentru ambele domenii de joasă energie și înaltă energie a proceselor cromodinamice au fost prezentate la diverse conferințe și workshopuri internaționale și naționale. În paralel au fost prezentate și rezultatele studiilor de producție și de

dezintegrare ale barionilor beauty Λ_b . În total pentru aceste subiecte împreună cu prezentările și posterele asociate am avut o sumă de 8 articole de tip proceedings. Programul de analize fizice ale proiectului este completat de studiile de dezintegrare radiativă a hadronilor beauty, analiza proceselor de tip CEP („Central Exclusive Processes”) și studiul canalului de dezintegrare $\Lambda_b \rightarrow p K J/\psi$. În final, pentru capitolul de analiză a datelor se pot menționa studiile de efecte cuantice directe ale particulelor, astfel concret, s-au început studii asupra distribuțiilor unghiulare a particulelor din starea finală de după dezintegrare, folosind modele de helicitate pentru particule intermediare de rezonanță, e.g. $\Lambda_b \rightarrow p K \gamma$ și analiza diagramei Dalitz a acestui canal de dezintegrare.

În afara contribuțiilor directe menționate anterior, grupul a avut contribuții indirecte la aproape toate analizele LHCb de fizică, aceste contribuții constând în îndeplinirea sarcinilor de MoU („Memorandum of Understanding”) stabilite de colaborare în comun acord. Astfel de menționat sunt activitățile administrative și editoriale pe care membrii grupului și le-au asumat: un membru în Comitetul Editorial LHCb, doi membri organizatori ai grupului de lucru LHCb “soft-QCD”, o poziție de membru de legătură între grupul LHCb de “QCD” și grupul de simulare și MC. Aici multe sarcini de MC și IT au fost îndeplinite de membrii grupului. Nu în ultimul rând de menționat la activitățile de tuning și de popularizare a rezultatelor LHCb este activitatea de elaborare de informație RIVET pentru a ajuta procesul LHCb de tuning a generatorului Pythia cât și pentru a oferi comunității de experți fenomenologiști și teoreticieni o modalitate simplă și eficientă de a accesa și folosi măsurătorile LHCb deja publicate. Pentru acest domeniu de modelare și simulare a proceselor fizice s-au organizat de către grup două mini-workshopuri la București și la CERN. Pe termen lung se ia în calcul în cazul analizelor de fizică, o redirecționare graduală a resurselor umane dinspre analizele de soft-QCD către: analizele de măsurare a rezonanțelor și stărilor de polarizare intermediare, analizele de producție și dezintegrare a aromelor masive sau analizele de hard-QCD, unde procesele cromodinamice sunt tratabile perturbativ datorită scării de energie mare și a limitei asimptotice pentru cromodinamica cuantică.

Începând cu primul an al proiectului am fost implicați în programul de Upgrade al LHCb printr-un subproiect de cercetare dezvoltare (C&D) ce are printre obiective teste de fezabilitate și de asamblare a standurilor de test necesare activităților C&D. În ultimii ani am înaintat împreună cu grupul de Upgrade pentru detectorii LHCb RICH un plan privind activitățile de C&D și reconstrucție a detectorilor RICH. Un raport tehnic de proiectare și construcție sau „Technical Design Report” (TDR) a fost înaintat către CERN și către agențiile de finanțare, iar acest plan a primit suportul oficial CERN cât și al majorității agențiilor de finanțare implicate în activitățile de Upgrade pentru RICH. De asemenea un set de măsuri și studii de fezabilitate privind domeniul de Upgrade a fost elaborat și înaintat de grupul LHCb român către „International Scientific Advisory Board” (ISAB) și către agenția de finanțare și Ministerul Educației și Cercetării spre aprobare. Noile direcții de cercetare, planul de activitate și costurile de reconstrucție a detectorului, așa cum au fost acestea din urmă definite în cele două addenda la MoU LHCb, au fost aprobate de agenția de finanțare în urma recomandărilor comisiei ISAB. Astfel majoritatea costurilor de echipament prevăzute în MoU la capitolul de Upgrade, sunt direcționate către construcția și asamblarea plăcilor de comunicare digitală a electronicii de citire pentru senzorii RICH, totodată o mare parte din fonduri este prevăzută a fi utilizată în achiziția de fotomultiplicatori de tip MaPMT de la producătorul Hamamatsu. Grupul nostru se pregătește în prezent prin proiectarea și testarea unor standuri de control al calității și asamblare pentru producția de masă a plăcilor de comunicație digitale. De asemenea primele MaPMT au fost achiziționate și sunt în prezent testate la CERN și la București. În viitor se are în vedere extinderea programului de C&D pentru a include teste de îmbătrânire a fotomultiplicatorilor MaPMT în radiație și alte condiții specifice LHC. În următorul paragraf se va prezenta în detaliu rezultatele și activitățile de C&D privind caracterizarea și setul de teste a rezistenței la radiație pentru câteva dispozitive de circuite integrate comerciale considerate în programul de Upgrade al electronicii LHCb. Cronologic testele de rezistență la radiație au început prin testarea de componente ASICs (“application-specific integrated devices”). Aceste circuitele integrate numite MAROC3 și SPACIROC sunt produse de laboratorul CDRS Omega micro din Franța. Cele două circuite integrate ASIC au fost complet caracterizate în laboratorul de electronică

al grupului, iar MAROC3 a fost supus unui prim set de teste la radiație, circuitele montate pe plăci de test fiind iradiate în fascicule de protoni și raze X, pentru care s-a depozitat o doză totală de ionizare (TID – “total ionization dose”) comparabilă sau mult mai mare decât cea estimată pentru durata de viață a detectorului LHCb Upgradat. Rezultatele iradierii au fost deja prezentate la CERN, Omega și LHCb, iar o bună parte din activitatea doctorală a doi studenți din grup este concentrată pe aceste subiecte. Pe viitor se urmărește confirmarea rezultatelor obținute în proiect, prin continuarea programului de teste la radiație pentru MAROC3 și SPACIROC prin utilizarea unui fascicol de protoni cu energie de 5 ori mai mare în acord cu recomandările CERN pentru un mediu ce simulează mediul LHC, cât și a unor surse diverse de radiație, e.g. ioni cu energie de transfer liniară (LET „linear energy transfer”) între 1 și 100 MeV cm²/mg. Pe termen lung se urmărește propunerea de noi apeluri la diverse agenții de finanțare pentru un program extins de teste a rezistenței la radiație pentru circuite integrate în general și cele produse de Omega în particular, putând fi demarată și o colaborare de parteneriat ESA cu alți membri în plus față de Omega. În paralel cu teste de rezistență la radiație pentru dispozitivele ASIC de la Omega, s-a efectuat în ultimi doi ani un program de teste a rezistenței la radiație pentru circuitele integrate de tip FPGA („field programmable gate array”). Aceste teste au cuprins proiectarea și asamblarea de la zero a unei platforme de test dedicate studiului efectelor radiației asupra FPGA-urilor. După caracterizarea completă a parametrilor macroscopici de curent și tensiune, s-a utilizat o aplicație de tip firmware pentru caracterizarea transmisiei și prelucrării informației, aplicație preluată de la grupul LHCb din Cambridge, modificată și depanată local. Testul la valori diferite de LET a fost făcut de noi folosind instalația de la Laboratorul din Legnaro, Italia, iar fasciculele utilizate au fost ioni de Oxigen A=19 și Fluor ambele la 100 MeV. Testul a pus în evidență câteva probleme ale aplicației de firmware, care nu s-a dovedit optimă pentru testarea rezistenței la radiație. Rezultatele prezentate la CERN și la conferințe au conținut valorile secțiunilor eficace pentru erori de SEU („single event upset”) cât și existența unor probleme la nivel de hardware prin apariția de SEL („single event latchup”) la valori mici de LET, efecte care poate avea rezultate catastrofale, ducând la defectarea iremediabilă a dispozitivului FPGA. În prezent se urmărește remedierea problemelor de firmware cu implementarea unor metode de mitigare a erorilor mai performante și prin activarea unor utilitare prevăzute de producător, utilitare care corectează o mare parte din aceste de erori. La fel ca la dispozitivele ASIC, se vor continua testele cu valori de TID și LET variabile pe un interval cât mai larg, iar sursele de fascicul considerate sunt identice cu cele enumerate anterior: protoni mai rapizi și ioni mai grei sau mai ușori. Pe termen lung pentru următorul proiect LHCb se urmărește să se implementeze mai multe variante de firmware și efectuarea de teste de caracterizare, pentru a deveni partenerii grupului LHCb din Oxford ce trebuie să coordoneze efortul de programare și implementarea versiunii de firmware finale pentru plăcile de comunicare digitale.

În afara direcțiilor de cercetare majore prezentate anterior, proiectul a avut și alte activități și rezultate asociate. În partea de IT, de menționat este asamblarea, întreținerea și upgrade-ul pentru un cluster GRID, „Ro-11” de tip Tier-2, cluster care oferă o platformă pentru activitățile de procesare necesare colaborării LHCb. Mult mai importantă poate fi de asemenea activitatea de „Outreach” desfășurată de grupul LHCb Român pentru promovarea fizicii moderne, activităților de fizica energiilor înalte și programul CERN în mediile de cercetare, academice și chiar economice din România. Eforturile în aceste direcții încearcă să elimine unele din hibeles sistemului de cercetare autohton cât și să scadă avansul relativ al altor țări în acest domeniu. Astfel se urmărește introducerea fizicii moderne și în special fizica particulelor elementare și metodele științifice asociate acestora în curriculum academic cât și în o oarecare măsură în mentalitatea colectivă. În planul de outreach pe lângă activitățile de promovare a programului LHCb, s-au organizat câteva evenimente media și simpozioane de promovare a CERN-ului în mediul socio-economic românesc. Pentru mediul academic partenerii USV au avut promovarea programului în cadrul mediului olimpic pentru elevii de liceu cât și în mas-media locală. E.g., la evenimentele anuale de Masterclass organizate de CERN și LHCb în colaborare cu grupul nostru s-au pus în fiecare an la dispoziția a 40-50 de elevi a unor date LHCb, și s-a simulat o zi normală de lucru la LHCb și la CERN.