

Domeniul Particule Elementare si Teorii de Camp

C u p r i n s

Introducere	3
Referinte.....	10
I. Studiul general al ciocnirilor proton-proton la LHC	12
Ele vor fi dezvoltate in subcapitolele ce urmeaza.....	12
I.1 Cautarea bozonilor Higgs	13
I.1.1 Cautarea bozonului Higgs prezis de MS	13
I.1.2 Cautarea bozonilor Higgs prezisi de MSSM	17
Referinte.....	21
I.2 Masurari de mare precizie ale Modelului Standard.....	23
I.2.1 Producerea de jeturi	23
I.2.2 Producerea de fotoni directi.....	27
I.2.3 Producerea de bozoni W/Z	29
I.2.4 Producerea de bozoni in asociatie cu jeturi	31
I.2.5 Producerea de perechi de bozoni gauge (de etalonare)	31
I.2.6 Soft QCD	32
Referinte.....	37
I.3 Cautarea de particule prezise de modele supersimetrice	39
I.3.1 Topologii caracterizate prin valori mari E_T^{miss} si jeturi cu p_T mare.....	40
a) stari finale fara leptoni	40
b) stari finale cu un lepton	42
c) stari finale cu 2 leptoni.....	42
I.3.2 Producerea de particule masive stabile.....	43
Referinte.....	44
I.4 Fizica cuarcului top	46
I.4.1 Producerea de perechi de cuarci top	47
I.4.2 Masurarea sectiunii eficace de productie a perechilor $t\bar{t}$	47
I.4.3 Producerea de "single top"	50
I.4.4 Semnale de fizica noua	50
Referinte.....	51
I.5 Fizica cuarcului b.....	52
Referinte.....	58
I.6 Studiul proceselor exotice	59
I.6.1 Producerea de particule cu masa mare ce dezintegreaza in dijeturi	59
I.6.2 Producerea de perechi de fotoni (difotoni)	60
I.6.3 Producerea de perechi de leptocuarci	60
I.6.4 Interactii de contact cu perechi de muoni in starea finala	61
I.6.5 Producerea de rezonante dileptonice	61
I.6.6 Producerea de particule cu masa mare cu un lepton.....	62
Referinte.....	62
II. Studiul interactiilor tari la energii joase	64

II.1 Interacția $\bar{K}N$ la energie joasă la acceleratorul DAΦNE de la INFN-LNF	64
Referinte.....	67
II.2 Experimentul DIRAC (Dimeson Relativistic Atom Complex).....	67
Referinte.....	69
III. Perspectiva abordării ciocnirilor electron-pozitron la Linear Collider (LC)	70
III.1 Programe de cercetare legate de LC	70
III.2 Detectors pentru LC – colaborarea FCAL	70
III.3 Fizica la LC.....	71
Referinte.....	72
IV. Teorii de câmp	73
IV.1 Modelul standard (MS) al particulelor elementare	73
IV.1.1 Contribuție românească și obiective propuse	75
IV.2 Teorii "Beyond Standard Model" – realizări și perspective	77
IV.2.1 Contribuție românească și obiective propuse	79
IV.3 Cuantificarea gravitației și modele cosmologice	83
IV.3.1 Contribuția românească, obiective propuse	84
Referinte.....	88
V. Resurse umane	92
VI. Infrastructura.....	93
VII. Recomandări.....	95

Introducere

Acceleratorul Large Hadron Collider (LHC), construit la Centrul de Cercetari Nucleare (CERN – Geneva) a fost dat in exploatare in anul 2009 si este, in acest moment, cel mai puternic accelerator din lume, furnizand fascicule incrucisate de protoni de 3.5 TeV si fascicule de ioni de Pb cu o energie incidenta $\sqrt{s}_{NN} = 2.76$ TeV.

Acceleratorul este o instalatie de o complexitate deosebita, folosind cei mai puternici magneti supraconductori existenti in lume care a deschis un nou teritoriu energetic in domeniul fizicii particulelor si este considerat, pe baza unor argumente puternice, un instrument dedicat efectuarii de noi descoperiri.

Prin constructia acceleratorului LHC si a dispozitivelor experimentale care vor utiliza fasciculele de la LHC, CERN-ul a devenit leader mondial in domeniul fizicii particulelor, implicand in cercetarile sale un numar impresionant de cercetatori proveniti din institute si universitati din intreaga lume.

Cu toate ca obiectivul principal al CERN-ului il constituie coordonarea activitatii din domeniul particulelor in cadrul continentului European, tinand cont de cresterea fenomenului de globalizare, CERN-ul sustine puternic implicarea in activitatile sale a unor echipe de cercetare din intreaga lume, astfel incat printr-un efort comun sa se contribuie la rezolvarea problemelor fundamentale din domeniului fizicii particulelor folosind infrastructura de exceptie existenta la CERN.

Instalatiile experimentale construite la Geneva fie ca ne referim la acceleratoare sau la detectorii utilizati in experimente, sunt de o complexitate deosebita, necesitand in constructia lor o expertiza tehnica de exceptie si un efort financiar urias care depaseste cu mult posibilitatile unui singur stat.

Prin ratificarea in Parlament a acordului dintre Ministerul Educatiei, Cercetarii, Tineretului si Sportului si CERN in februarie 2010, Romania a indeplinit ultimul pas oficial pentru inceperea procesului de a deveni stat membru al Centrului de Cercetari Nucleare de la Geneva. Acest fapt are si va continua sa aiba consecinte majore asupra strategiei domeniului fizicii particulelor in Romania.

In procesul de aderare la CERN a statului roman, un rol important l-au avut echipele de cercetatori care participa de aproximativ douazeci de ani in mai multe experimente de la CERN. Daca la inceput implicarea institutionala a cercetatorilor romani in activitatile CERN s-a facut prin participarea la programul de Ioni Grei al acceleratorului SPS, contributia romana in colaborarile de la CERN s-a dezvoltat in mod semnificativ, continuarea fiind

efectuata de echipe mari de cercetatori care participa, din totalul de patru experimente mari ale programului LHC, la trei dintre ele si anume: ALICE, ATLAS si LHCb. Cercetatorii romani au contribuit la constructia si darea in exploatare a detectorilor celor trei mari experimente si mai recent, participa la achizitia si interpretarea datelor obtinute in fasciculele de la LHC.

Strategia in domeniul fizicii particulelor, pentru un stat membru CERN, trebuie sa fie consistenta cu strategia adoptata de CERN, al carei obiectiv prioritar este exploatarea la maxim a potentialului de noi descoperiri al LHC-ului.

Pornind de la cerinta unei functionari optime, cu performantele proiectate, a acceleratorului LHC si a dispozitivelor experimentale din programul LHC, efortul principal trebuie sa fie orientat spre realizarea programelor de fizica ale colaborarilor care raspund in general celor mai importante si fundamentale probleme existente in acest moment in domeniul fizicii particulelor, in noul teritoriu energetic deschis de LHC, regiunea TeV-ilor. In aceasta regiune se asteapta noi descoperiri, semnale de fizica noua care sa ne indice ce trebuie pastrat din actualele modele teoretice precum si noile directii de dezvoltare in concordanta cu noile date experimentale.

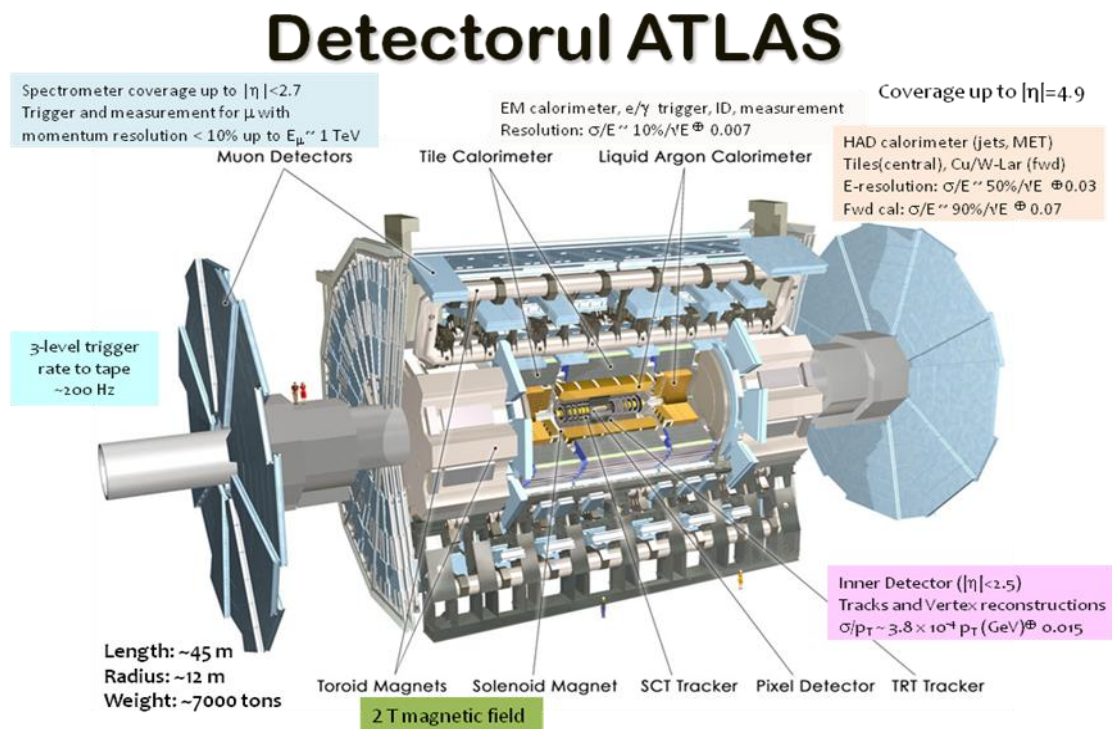
Cautarea bozonului Higgs, piesa lipsa a Modelului Standard, este un obiectiv prioritar pentru primii ani de functionare a LHC-ului, in paralel cu o cautare sistematica a noilor particule prezise de modelele supersimetrice, punerea in evidenta a unor forte mediate de noi bozoni gauge, observarea unor procese legate de existenta de noi dimensiuni ale spatiului precum si aparitia unor fenomene neasteptate greu de prevazut in momentul de fata.

In completare la cercetarile efectuate privind gasirea unor aspecte de fizica noua, se acorda o atentie deosebita masurarilor de mare precizie ale Modelului Standard. Astfel vor fi masurati parametrii teoriei electrolabe care pot oferi de asemenea indicii despre posibilitatea manifestarii unor aspecte de fizica noua: structuri compuse, bozoni vectoriali noi, cuplaje noi, etc. LHC va permite masurari semnificative privind proprietatile cuarcului top incluzand cautarea de dezintegrari care sa conduca la curenti FCNC, curenti neutri care schimba savoarea, neobservati pana in prezent.

Recent a fost analizata posibilitatea de upgradare a acceleratorului LHC, constructia lui Super LHC (SLHC), pentru a putea atinge o luminozitate curenta de $10^{35} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ si a face posibil studiul unor procese foarte rare. In acest moment, fiecare experiment de la LHC isi defineste planurile de upgradare a detectorilor pentru a exploata luminozitatea cu un ordin de marime mai mare care va fi disponibila la SLHC, probabil in jur de 2020.

In concluzie, in cadrul programului stiintific LHC, se incearca rezolvarea unor probleme fundamentale legate de structura materiei si a fortelor existente in natura. Se asteapta ca cercetarile efectuate sa ofere explicatii semnificative privind evolutia Universului nostru in special privind existenta asimetriei puternice intre materie si antimaterie precum si lamuriri privind prezenta in Univers a materiei intunecate, a carei existenta, pana in momentul de fata, a fost probata numai in mod indirect.

Modelul Standard, teoria actuala a particulelor elementare si a interactiilor lor fundamentale, este folosit nu numai pentru a explica rezultatele experimentale obtinute in ciocnirile proton-proton la energiile incidente atinse la LHC dar si a rezultatelor experimentale obtinute in sisteme mai extinse, si anume in ciocnirile intre ioni grei, la energiile de la LHC.



13/4/2011

Fig.1 Prezentarea schematica a detectorului ATLAS

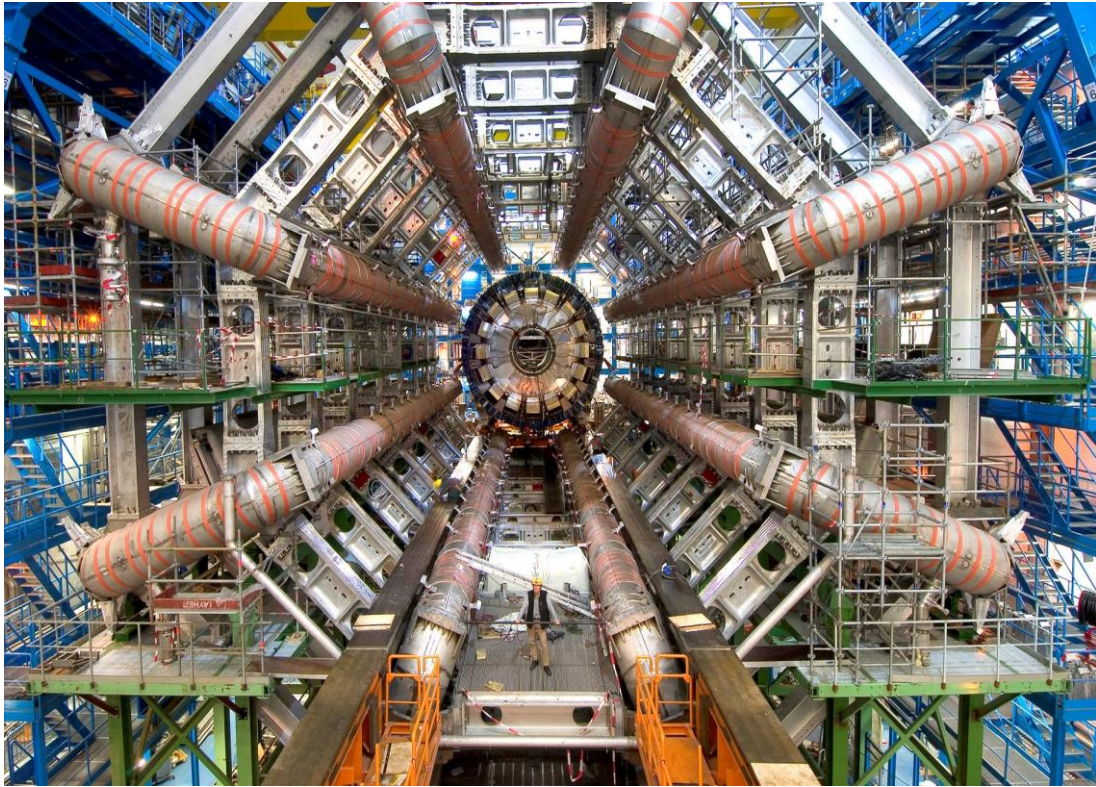


Fig. 2 Detectorul ATLAS in faza de constructie

Daca scopul principal in studiile efectuate privind ciocnirile proton-proton il constituie intelegerea mecanismului ruperii spontane a simetriei electroslabe si gasirea bozonului Higgs, care ar conduce la explicarea originii masei particulelor, in ciocnirile Pb-Pb se urmareste in principal studiul materiei nucleare in conditii extreme de densitate si temperatura.

Asupra cercetarilor efectuate in Romania, in domeniul fizicii particulelor, un impact puternic l-a avut participarea echipelor de fizicieni si ingineri din IFIN-HH in Colaborarea ATLAS [1], colaborare dedicata studiului general al interactiilor proton-proton la LHC.

Grupul roman din ATLAS si-a inceput activitatea in cadrul acestei colaborari chiar inainte de a fi stabilita forma finala a detectorului, in perioada proiectelor de Cercetare si Dezvoltare a diferitelor sub-sisteme din ATLAS - R&D nr 34 dedicat calorimetrului hadronic central cu placi scintilatoare si R&D 11 si 13 privind optimizarea sistemelor de triggerare si achizitie de date [2]. Grupul roman din ATLAS, contine in momentul de fata, specialisti din IFIN-HH, UPB si INCDTIM-Cluj.

In activitatea de constructie a detectorului ATLAS, grupul roman a participat la constructia si asamblarea calorimetrului hadronic TILECAL. La Fortpres Cluj a fost

construita întreaga infrastructura de suport a cilindrului central al calorimetrului TILECAL iar implicarea, cu rezultate foarte bune, a industriei românești în construcția acestui calorimetru a avut drept rezultat obținerea de către compania clujana de comenzi noi platite în întregime de CERN.



Fig.3 Cilindrul central al calorimetrului hadronic Tilecal; structura lui de rezistență a fost construită integral în România

Grupul din IFIN-HH a participat intens la activitatea de teste în fascicule a modulelor calorimetrului TILECAL, activitate deosebit de importantă în determinarea performanțelor calorimetrului [3-5].

Înainte de darea în funcțiune a LHC-ului s-a contribuit la comisionarea calorimetrului TILECAL în special prin analiza datelor achiziționate folosind razele cosmice, dar și prin lucrări de întreținere ale calorimetrului TILECAL. Activitatea de comisionare depusă a avut

drept consecinta o functionare foarte buna a calorimetrului TILECAL in perioada de achizitie de date cu un procent de 93% de canale in functiune.

In momentul de fata, in perioada de achizitie de date, grupul roman participa la operarea calorimetrului TILECAL si prin expertii sai in sistemul de control al calorimetrului, asigura functionarea cu performante bune al acestui subsistem al detectorului.

O alta directie importanta in contributia grupului roman IFIN-HH in cadrul experimentului ATLAS este participarea la dezvoltarea si comisionarea sistemului de Trigger si Achizitie de Date. Putem mentiona in special contributiile in domeniul Online Software si mai nou, in evaluarea eficientei achizitiei de date [6,7]. O alta contributie importanta a grupului roman se refera la monitorizarea retelelor TDAQ-ATLAS si este asigurata de catre specialisti din UPB.

In ultimul timp s-a acordat o atentie deosebita dezvoltarii site-ului GRID dedicat efectuării aplicatiilor necesare in ATLAS. Punerea in comun a resurselor de calcul existente in universitatile si laboratoarele implicate in colaborarea ATLAS este singurul mod in care pot fi satisfacute necesitatile de calcul si stocare ale colaborarii care strange un volum de date mai mare de 1 PB per an.

Au fost efectuate studii fenomenologice folosind simulari pentru a determina potentialul de descoperire al detectorului ATLAS pentru procese de fizica prezentand interes pentru grupul roman [8,9], cat si studii teoretice privind constanta de cuplaj QCD [10], determinarea elementelor matrici CKM [11-14], si corectii radiative QCD in procese exotice electroslabе [15].

In prezent monitorizarea calitatii datelor achizitionate si interpretarea lor constituie obiective prioritare. Printre subiectele ce pot fi abordate in perioada de inceput a functionarii LHC-ului, care nu necesita strangerea unei statistici foarte mari, dar care prezinta un interes deosebit pentru grupul roman sunt producerea de perechi de cuarci $t\bar{t}$ si producerea de particule supersimetrice. Studiul producerii de rezonante care dezintegreaza in $t\bar{t}$ este unul din semnalele de fizica noua care prezinta un interes deosebit pentru cercetatorii romani din ATLAS, iar studiul producerii de leptoni grei ramane un subiect de mare interes dar posibil de abordat doar in prezenta unei statistici experimentale mai mari.

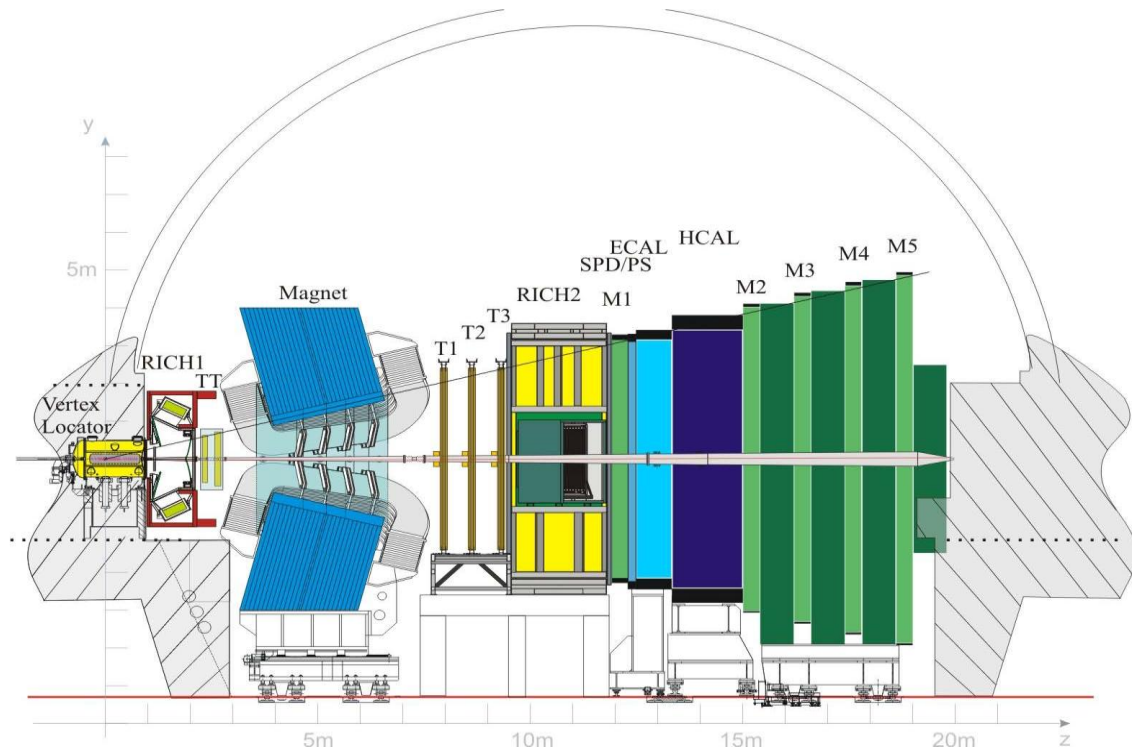


Fig.4 Prezentarea schematica a detectorului LHCb



Fig.5 Detectorul LHCb instalat in caverna

Participarea romaneasca la experimentul LHCb a fost initiata in anul 1996. De-a lungul anilor cercetatorii romani din IFIN-HH au fost implicati in proiectarea, constructia si comisionarea detectorului LHCb [16], participand printre altele la testarea detectorului cu radiatii cosmice, calibrarea calorimetrului, productia de software pentru calorimetru si achizitia de date. In colaborare cu grupul LHCb din Universitatea Oxford, membrii grupului LHCb din IFIN-HH au contribuit la elaborarea unei proceduri de calibrare a detectorului RICH cu date reale folosind canalul de dezintegrare $\Lambda \rightarrow \pi p$ [17]. O alta contributie in pregatirea analizei de date a reprezentat-o participarea la validarea programului de producere a datelor simulate folosite de catre experimentul LHCb.

In prezent cercetatorii romani sunt implicati in studii de soft-QCD in particular producerea de particule care contin cuarcul "strange", studii care profita de faptul ca detectorul LHCb ofera o posibilitate unica de a studia producerea de hadroni cu rapiditati foarte mari, fiind singurul detector LHC care poate oferi informatii de la toate categoriile de detectori pentru particulele cu rapiditati mari: reconstructie de traiectorii, identificarea particulelor, calorimetrie, detectori de muoni. Un alt subiect de interes abordat de catre cercetatorii din grupul LHCb de la Bucuresti este studiul productiei barionilor b, un domeniu in care LHCb poate aduce o contributie importanta avand in vedere ca datele LHC vor oferi prima oportunitate pentru studii de precizie implicand barionii b care nu au putut fi produsii la fabricile b (b-factories) si pentru care datele inregistrate la Tevatron ofera o statistica redusa, iar detectorul si trigger-ul LHCb sunt optimizate pentru studiul particulelor care contin cuarcul beauty.

In cadrul colaborarii LHCb, grupul roman este implicat si in studiul dezintegrarilor rare radiative ale mesonilor b, modurile de dezintegrare $B_d \rightarrow K^* \gamma$ si $B_s \rightarrow \phi \gamma$ fiind candidati perfecti pentru punerea in evidenta a efectelor New Physics. In paralel cu participarea la analiza de date se ofera suport pentru optimizarea si validarea esantioanelor de date simulate, functionarea Grid Tier 2 si aplicatia care permite programarea shift-urilor LHCb.

Referinte

1. The ATLAS Experiment at the CERN Large Hadron Collider, ATLAS Collaboration, JINST 3 S08003 (2008)
2. Construction and performance of an iron-scintillator hadron calorimeter with longitudinal tile configuration, ATLAS TILECAL Collaboration, NIM A 349 (1994) 384

3. Results from a combined test of an electromagnetic liquid argon calorimeter with a hadronic scintillating-tile calorimeter, ATLAS TILECAL Collaboration, NIM A 387 (1997) 333-351 (PPE preprint PPE/96-178)
4. Testbeam studies of production modules of the ATLAS Tile Calorimeter, ATLAS TILECAL Collaboration, NIM A 606 (2009) 362-394
5. Photon reconstruction in the ATLAS Inner Detector and Liquid Argon Barrel Calorimeter at the 2004 Combined Test Beam, E Abat et al 2011 JINST 6 P04001.
6. Configuration and control of the ATLAS trigger and data acquisition / Lehmann Miotto, G.; Aleksandrov, I.; Amorim, A. ; Avolio, G.; Badescu, E.; Caprini, M.; Corso-Radu, A.; Darlea, Georgiana L. et al., : Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., A 623 (2010) 549-551
7. ATLAS trigger and data acquisition: Capabilities and commissioning/ Scannicchio D.A. on behalf of the ATLAS TDAQ Collaboration Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., A 617 (2010) 306-309
8. Charged heavy lepton pair production in ATLAS: $2(2,\mu)+4$ jets channel / Alexa, C; Dita,S, ATL-PHYS-2003-014. - 2003.
9. Heavy Lepton Physics in ATLAS / Alexa, C, ATL-PHYS-CONF-2005-001; ATL-COM-PHYS-2004-058. - 2004
10. α_s from tau decays: contour-improved versus fixed-order summation in a new QCD perturbation expansion, I. Caprini and J. Fischer, Eur. Phys. J.C64:35-45 (2009).
11. Model-independent description of $B \rightarrow \pi l \nu$ decays and a determination of $|V_{ub}|$, C. Bourrely, I. Caprini and L. Lellouch, Phys. Rev. D79:013008 (2009)
12. Global fits to the Cabibbo-Kobayashi-Maskawa matrix: Unitarity condition method versus standard unitarity triangles approach, P. Dita, Modern Physics Letters A, vol. 20, No 23 (2005) 1709-1721
13. Separation of unistochastic matrices from the double stochastic ones: recovery of a 3 x 3 unitary matrix from experimental data, P. Dita, Journal of Mathematical Physics 47, 083510 (2006)
14. CP nonconservation in the leptonic sector, P. Dita, Physical Review D 74, 113010 (2006)
15. NLO QCD corrections to the production of heavy charged leptons by gluon fusion at the LHC, I. Caprini, M. Rotaru, Mod. Phys. Lett. A21, 1999, (2006).
16. LHCb Collaboration, A. Augusto Alves et al., JINST 3, S08005 (2008).
17. MC free calibration of LHCb RICH detectors using the $\Lambda \rightarrow \pi p$ decay: B. Popovici, S. Stoica, "Physics at LHC", Split, Croatia, 2008.

I. Studiul general al ciocnirilor proton-proton la LHC

Vor fi abordate in acest mdocument urmatoarele directii principale:

- Cautarea bozonului Higgs prezis de Modelul Standard (MS) si a bozonilor Higgs prezisi de extensia supersimetrica minimala a modelului standard (MSSM),
- Masurari de mare precizie ale Modelului Standard,
 - Producerea de jeturi,
 - Producerea de fotoni directi,
 - Producerea de bozoni W/Z,
 - Producerea de bozoni in asociatie cu jeturi,
 - Producerea de perechi de bozoni gauge (de etalonare),
 - Soft QCD,
- Cautarea de particule prezise de modele supersimetrice,
 - Topologii caracterizate prin valori mari E_T^{miss} , jeturi cu p_T mare si 0, 1, 2 leptoni,
 - stari finale fara lepton,
 - stari finale cu un lepton,
 - stari finale cu 2 leptoni,
 - Producerea de particule masive stabile,
- Fizica cuarc-ului top,
- Fizica cuarc-ului b,
- Studiul proceselor exotice,
 - Producerea de particule cu masa mare ce se pot dezintegra in perechi de jeturi (dijets),
 - Producerea de perechi de fotoni (difotoni),
 - Producerea de perechi de leptocuarci,
 - Interactii de contact,
 - Producerea de rezonante dileptonice cu masa mare,
 - Producerea de particule cu masa mare cu un lepton si impuls transversal lipsa.

Ele vor fi dezvoltate in subcapitolele ce urmeaza.

I.1 Cautarea bozonilor Higgs

I.1.1 Cautarea bozonului Higgs prezis de MS

Descoperirea ultimei particule fundamentale prezise de MS, numita bozonul Higgs, constituie unul din obiectivele principale ale programului stiintific de la LHC si continua sa fie de mai multi ani, un obiectiv prioritar la acceleratorul Tevatron de la Fermilab (SUA). Gasirea bozonului Higgs, sau excluderea existentei lui cu ajutorul datelor experimentale de la LHC, reprezinta o problema fundamentala pentru domeniul particulelor elementare.

MS a reusit sa explice cu mare precizie datele experimentale obtinute in interactiile electromagnetice la energii inalte, iar rezultatele experimentale obtinute la acceleratorul LEP de la CERN au jucat un rol deosebit in verificarea experimentală a previziunilor MS.

Pentru a explica dinamica ruperii spontane a simetriei electroslabă, MS introduce mecanismul Higgs [1] cu ajutorul caruia explica generarea maselor particulelor. Acest mecanism, asa dupa cum este inteles acum, prevede existenta unei noi particule, bozonul Higgs. Pentru aceasta in MS se introduce un dublet de campuri scalare, care conduc la existenta unei particule scalare neutre H, bozonul Higgs. Pe baza cunostintelor teoretice actuale, sectorul Higgs din MS ramane fara constrangeri. Masa bozonului, M_H , nu este teoretic prezisa, desi din argumente de unitaritate o limita superioara de ~ 1 TeV poate fi dedusa.

In producerea bozonului Higgs se iau in considerare urmatoarele procese:

- a) fuziunea gluonica, $gg \rightarrow H + X$,
- b) fuziunea bozonilor vectoriali $qq \rightarrow qqH + X$,
- c) producerea asociata cu W/Z, $q\bar{q} \rightarrow HW + X$ si $q\bar{q} \rightarrow HZ + X$ si
- d) producerea asociata cu o pereche de cuarci $t\bar{t}$, $q\bar{q} \rightarrow H t\bar{t} + X$.

Sectiunile eficace de productie a bozonului Higgs in ciocnirile proton-proton la energia incidenta de $\sqrt{s} = 7$ TeV, energia existenta in acest moment la LHC, si $\sqrt{s} = 14$ TeV, energia incidenta proiectata a LHC-ului, care va fi obtinuta cel mai probabil in 2014, sunt prezentate in Fig. 6 si Fig. 7. Se observa valorile mici ale sectiunilor eficace de productie a bozonilor Higgs. La energia incidenta de 7 TeV, raportul intre sectiunea totala de productie a bozonilor Higgs si sectiunea totala inelastica proton-proton la 7 TeV are o valoare egala cu 10^{-10} .

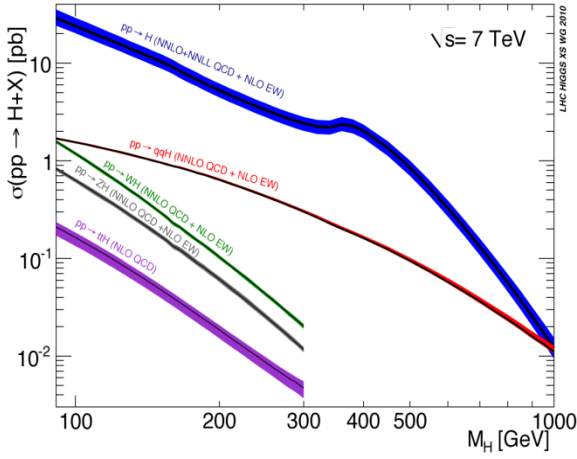


Fig. 6

Sectiunile eficace de producere a bozonilor Higgs in ciocnirile proton-proton la 7 TeV

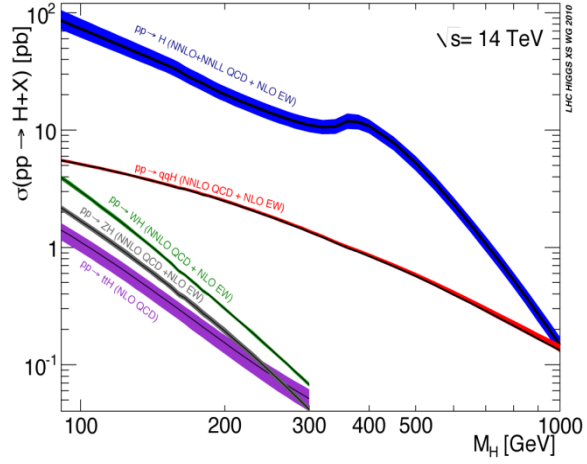


Fig. 7

Sectiunile eficace de producere a bozonilor Higgs in ciocnirile proton-proton la 14 TeV

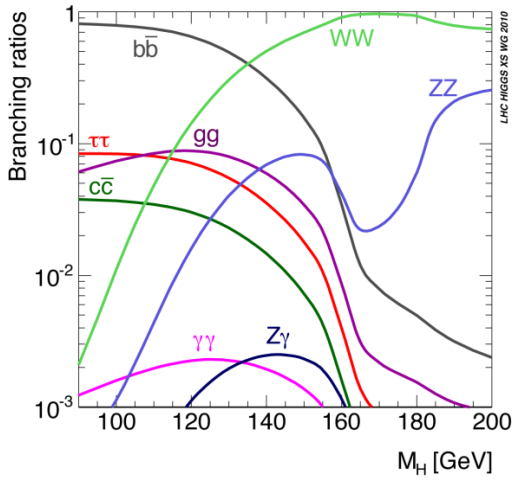


Fig. 8

Rapoartele de ramura principale ale bozonului Higgs prezis de MS functie de masa

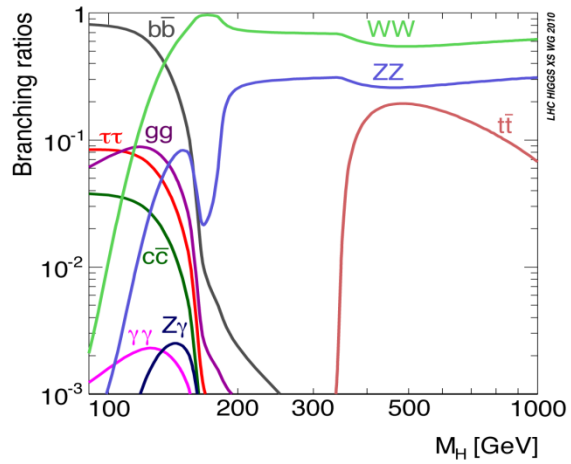


Fig. 9

Rapoartele de ramura principale ale bozonului Higgs prezis de MS functie de masa

Valorile date de MS pentru raporturile de ramura ale canalelor in care dezintegreaza bozonul Higgs in functie de masa bozonului Higgs sunt prezentate in Fig. 8 si Fig. 9 [2].

Canalele $H \rightarrow \gamma\gamma$, $H \rightarrow WW$ si $H \rightarrow ZZ$ sunt prioritare datorita valorilor mai mari ale semnalului si a raportului intre semnal si fond.

Bozonul Higgs a fost cautat sistematic in primul rand la acceleratorul Large Electron Positron (LEP) de la CERN. Rezultatele finale obtinute la LEP, combinand rezultatele celor patru experimente ALEPH, DELPHI, L3 si OPAL, au exclus existenta bozonului Higgs cu o masa, M_H , mai mica decat 114.4 GeV [3,4]. Experimentele CDF si D0, de la Tevatron [5-15], au obtinut recent rezultate noi privind producerea directa, in interactiile proton-anti-proton la $\sqrt{s} = 1.96$ TeV a bozonului Higgs. Luand in considerare in analiza si canale noi si folosind un material experimental mai bogat, 5.9 fb^{-1} pentru CDF si 6.7 fb^{-1} pentru D0, existenta unui bozon Higgs cu masa cuprinsa in intervalul $158 < M_H < 175$ GeV a fost exclusa cu limite de incredere la nivel de 95%.

Dupa un program complex de studii, efectuate pe baza datelor simulate, in care au fost stabilite metodele optime de analiza necesare punerii in evidenta a producerii bozonului Higgs, colaborarile ATLAS si CMS au inceput cautarea acestui bozon pe baza primelor date experimentale achizitionate la LHC.

In proiectarea celor doua dispozitive experimentale, ATLAS si CMS, performantele detectorilor au fost optimizate in scopul descoperirii bozonului Higgs. Astfel, pentru a putea explora intregul interval posibil pentru masa lui, s-a cerut masurarea cu rezolutie mare a electronilor, fotonilor si muonilor, o detectie foarte buna a vertex-urilor secundare pentru leptonii τ si cuarcii b , masuratoari cu rezolutie inalta in calorimetre pentru jet-uri si energia transversala lipsa (E_T^{miss}).

Prima lucrare privind producerea bozonului Higgs pe baza datelor experimentale achizitionate la LHC, a fost publicata de Colaborarea CMS [16].

Analizand producerea de perechi de bozoni WW in interactiile proton-proton la 7 TeV colaborarea CMS a determinat sectiunea de productie $pp \rightarrow WW+X$ obtinand o valoare egala cu 41.1 ± 15.3 (stat) ± 5.8 (syst) ± 4.5 (lumi) pb, valoare consistenta cu previziunile MS (43.0 ± 2.0 pb). S-au luat in considerare in analiza starile finale continand doi leptoni, ee, e μ si $\mu\mu$, si s-a folosit intreaga statistica achizitionata in cursul anului 2010. Pentru canalul de dezintegrare, $H \rightarrow WW$, au fost determinate limite privind producerea bozonului Higgs, analiza fiind efectuata presupunand diferite valori ale masei bozonului Higgs, cuprinse in intervalul 130–400 GeV. Nu s-a observat existenta unui exces de evenimente in distributia masei invariante.

Rezultate preliminare obtinute de colaborarile ATLAS si CMS au fost comunicate la mai multe Conferinte Internationale. Mai recent, datele experimentale care au stat la baza analizelor prezentate au fost obtinute pe baza intregii statistici achizitionate in cursul anului 2010.

Colaborarea ATLAS a prezentat la Conferintele internationale din domeniu rezultate preliminare obtinute privind atat canalul de dezintegrare a bozonului Higgs, $H \rightarrow WW$, cat si pentru canalul $H \rightarrow ZZ$. De asemenea, se acorda un interes deosebit canalului $H \rightarrow \gamma\gamma$ si a posibilitatii existentei unui semnal la o valoare mica a masei bozonului Higgs, si anume 115 GeV, valoare pe care experienta ALEPH de la LEP a comunicat-o cu zece ani in urma. Rezultatele obtinute de ALEPH, nefiind confirmate de celelalte trei experimente de la LEP, nu au fost considerate suficiente pentru a fi luata o decizie.

Complexitatea procesului de descoperire a bozonului Higgs provine din dificultatea punerii in evidenta a unui semnal mic in prezenta unor incertitudini importante in estimarea fondului. Prin efectuarea studiilor de descoperire a bozonului Higgs pe baza unui material experimental cu o statistica mai mare, cat si printr-un efort sustinut de a reduce incertitudinile sistematice ale datelor experimentale, se spera obtinerea unor rezultate concludente privind existenta sau inexistenta bozonului Higgs. Descoperirea bozonului Higgs constituie, in continuare, o directie prioritara a celor doua experiente de la LHC, dedicate studiului general al interactiilor proton-proton.

Analizele efectuate cu ajutorul simularilor Monte Carlo au aratat ca experimentele ATLAS si CMS pe baza unor date experimentale cu o luminozitate integrata de $10-30 \text{ fb}^{-1}$ si o energie incidenta de 14 TeV ar putea descoperi bozonul Higgs cu o masa mai mica de 1 TeV, daca exista.

De asemenea, mai recent, se ia considerare posibilitatea ca prin combinarea rezultatelor obtinute de catre cele doua experimente (ATLAS si CMS), referitoare la toate canalele posibile, sa se poata descoperi bozonul Higgs cu o semnificatie 5σ , pe baza unei statistici in jur de 5 fb^{-1} per experiment, folosind datele experimentale de la 7 TeV.

Astfel, hotararea luata la inceputul anului 2011, de a continua achizitia de date si in cursul anului 2012 a avut drept motivatie principala obtinerea in cel mai scurt timp a unui material experimental care sa permita a da un raspuns problemei existentei bozonului Higgs. De asemenea a fost infiintat un grup de lucru cu fizicieni din cele doua experiente ATLAS si CMS care sa aiba in vedere aspectele legate de studiul in comun al descoperirii bozonului

Higgs, o strategie similara cu cea adoptata in momentul de fata de experimentele de la Tevatron, CDF si D0, si anterior de cele patru experimente de la LEP.

In anul 2013 este prevazuta oprirea LHC-ului pentru a permite efectuarea optimizarilor necesare atingerii unei energii incidente mai mari, cel mai probabil 14 TeV, energia proiectata initial. Vor exista astfel conditii mai bune pentru confirmarea rezultatelor obtinute la 7 TeV, iar in ipoteza descoperirii bozonului Higgs, colaborarile ATLAS si CMS vor avea posibilitatea de a face masurari precise ale parametrilor bozonului Higgs: masa, largimea, sectiunea de productie, raporturile de ramura, spin, paritate, etc., masurari care vor aduce informatii importante pentru o intelegere cat mai completa a mecanismului de rupere spontana a simetriei electroslabе.

I.1.2 Cautarea bozonilor Higgs prezisi de MSSM

In lipsa punerii in evidenta a bozonului Higgs s-au dezvoltat un numar impresionant de modele teoretice, extensii ale MS. Unul dintre modelele cele mai folosite este extensia minimala supersimetrica a modelului standard (MSSM) [17], model in care ruperea spontana a simetriei electroslabе necesita introducerea a doi dubleti Higgs de hipersarcina opusa rezultand existenta unui numar de cinci bozoni Higgs si producerea unui numar mare de noi particule, parteneri supersimetrici ai particulelor cunoscute. Cei cinci bozoni Higgs prezisi de MSSM sunt trei bozoni neutri (h, H si A) si doi bozoni incarcati H^\pm . Bozonii neutri h si H sunt stari CP-pare, h fiind bozonul neutru usor, iar bozonul neutru A este CP-impair.

La nivelul aproximatiei Born, (nivel Born in continuare), toate masele si cuplajele bozonilor Higgs se pot exprima in functie de doi parametri: masa bozonului neutru cu CP impar, M_A , si $\tan\beta$ definit ca raportul intre valorile asteptate in vid ale celor doi dubleti Higgs. Toate celalalte valori ale maselor precum si ale unghiurilor de amestec pot fi prezise. In studiile efectuate privind producerea bozonilor incarcati H^\pm se inlocuieste deseori parametrul M_A cu M_{H^\pm} . Sectorul Higgs al MSSM este inasa afectat de corectii radiative mari de care trebuie sa se tina cont in cazul in care se urmareste obtinerea unor previziuni credibile.

Contributiile sectorului top si stop la valorile maselor si a cuplajelor bozonilor Higgs pot fi foarte importante, in special datorita valorii mari a cuplajului Yukawa al cuarcului top, iar pentru valori mari ale parametrului $\tan\beta$ si efectele sectorului bottom/sbottom pot deveni importante. In timp ce la nivel Born sectorul Higgs al modelului MSSM conserva paritatea, efecte care violeaza paritatea pot fi introduse prin intermediul unor corectii radiative importante avand drept consecinta posibilitatea existentei unui amestec al celor trei stari

propriu de masa corespunzatoare celor trei bozoni neutri. Totusi, scenariile cele mai abordate, atat teoretic cat si experimental, sunt cele care conserva CP.

Fenomenologia sectorului Higgs din MSSM difera puternic de cea existenta in cazul MS. Astfel cuplajele relevante care intra in procesele de productie si dezintegrare ale bozonilor Higgs ale MSSM pot fi foarte diferite de cuplajele corespunzatoare din MS, rezultand valori mult diferite pentru sectiunile eficace de productie. Canalele de dezintegrare in ZZ si WW, dominante in MS pentru bozoni Higgs cu mase mai mari de 140 GeV, in MSSM sunt fie suprimate ca in cazul bozonului H, fie complet absente ca in cazul bozonului A. Totusi cuplajul bozonului Higgs cu fermionii din generatia a treia este semnificativ mai mare in unele regiuni din spatiul parametrilor modelului MSSM. Astfel, dezintegrarea bozonilor neutri Higgs intr-o pereche de leptoni τ este unul din canalele cele mai promitatoare in cautarea bozonilor Higgs la LHC.

In MSSM, producerea bozonilor Higgs poate avea loc prin fuziune gluonica sau productie asociata cu cuarcii bottom, cu mentiunea ca la valori mari ale parametrului $\tan\beta$ producerea asociata cu cuarcii bottom devine mai importanta.

Limita impusa de LEP, $M > 114$ GeV, nu poate fi aplicata in cazul bozonilor Higgs din MSSM. Bozoni Higgs mult mai usori sunt posibili fara a intra in conflict cu limitele existente. Cel mai usor bozon Higgs neutru, CP-par, bozonul h, care la nivel Born este constrans sa aiba masa mai mica decat bozonul Z, are valori mai mari datorita corectiilor radiative, care depind de valoarea masei cuarcului top, de masa particulelor scalare si in special de amestecul din sectorul stop. Cele mai mari valori ale masei bozonului h sunt obtinute pentru valori mari ale parametrului de amestec, limita superioara pentru valoarea masei bozonului h fiind asteptata sa atinga valoarea de 135 GeV in scenariul $m_h - \max$. In anumite regiuni din spatiul celor doi parametri M_A si $\tan\beta$, cuplajele bozonului Higgs neutru usor h, cu bozonii gauge si cu fermionii, sunt asemanatoare cu cele ale bozonului Higgs prezis de MS si astfel bozonul neutru usor h poate fi distins cu greutate de bozonul Higgs prezis de MS. Ceilalti bozoni grei H, A si H^\pm pot avea mase foarte apropiate si reprezinta un semnal distinctiv in modelele extinse ale de MS. Este posibil ca in spectrul de masa al bozonilor grei, H, A si H^\pm , sa existe o suprapunere a lor si in consecinta sa rezulte o detectare mai problematica a lor in special in regiuni in care largimile bozonilor Higgs sunt mai mari.

Procesele de productie si de dezintegrare ale bozonilor Higgs in MSSM contin pe langa procesele intalnite in MS si procese aditionale, cum ar fi de exemplu producerea in asociatie cu particule supersimetrice, sau producerea lor ca rezultat al dezintegrarilor

particulelor supersimetrice. Dezintegrarea bozonilor Higgs in particule supersimetrice, in cazul in care acest lucru este energetic posibil, poate introduce modificari importante in raporturile de ramura ale bozonilor Higgs din MSSM. In anumite regiuni, este posibila chiar dezintegrarea unor bozoni Higgs grei in bozoni Higgs mai usori.

La nivel Born masa bozonilor Higgs incarcati, H^\pm , este exprimata in functie de masa bozonului Higgs A printr-o relatie simpla in care intervine si masa bozonului W fiind astfel mai putin influentata de corectiile radiative. Modul de cautare a bozonilor H^\pm depinde puternic de masa lor atat in ceea ce priveste producerea, cat si in ceea ce priveste dezintegrarea lor.

La valori ale masei bozonilor H^\pm mai mici decat masa cuarcului top, modul principal de producere este prin dezintegrarea cuarcului top $t \rightarrow H^+ b$, iar canalul de dezintegrare $H^+ \rightarrow \tau^+ \nu$ este canalul dominant. La valori ale masei bozonului H^\pm mai mari decat masa cuarcului top, producerea are loc prin fuziunea $gb, g\bar{b} \rightarrow \bar{t} H^+$, iar dezintegrarea lor intr-un top si un cuarc bottom este canalul dominant, $H^+ \rightarrow t \bar{b}$, in conditiile in care si canalul $H^+ \rightarrow \tau^+ \nu$ este posibil si ofera o signatura mai curata. Procesul $gg \rightarrow \bar{t} b H^+$ este important pentru producerea bozonului H^+ cu masa apropiata de masa cuarcului top.

La LEP cautarea bozonilor Higgs neutri, prezisi de MSSM, a fost efectuata studiind procesele principale de producere a acestor bozoni si anume: $e^+ e^- \rightarrow hZ, HZ$ si $e^+ e^- \rightarrow hA, HA$. Datele combinate obtinute la LEP nu au aratat existenta unui exces de evenimente indicand producerea de bozoni Higgs si s-au determinat limite si anume $m_h > 92.8 \text{ GeV}$ si $m_A > 93.4 \text{ GeV}$, iar valorile lui $\tan\beta$ intre 0.7 si 2.0 sunt excluse, luand in considerare o valoare a masei cuarcului top $m_t = 174.3 \text{ GeV}$ [18-21].

Experientele CDF si D0 au cautat bozonii Higgs neutri produsii in asociere cu cuarcii bottom ce se dezintegreaza in $b \bar{b}$ sau in $\tau \bar{\tau}$ [22-26]. Domeniul de excluziune in spatiul parametrilor m_A si $\tan\beta$, obtinut la Tevatron folosind analiza combinata a datelor de la CDF si D0 privind dezintegrarea bozonilor Higgs neutri in perechile $\tau \bar{\tau}$, este prezentat in Fig. 10.

Analizele efectuate cu ajutorul datelor simulate au aratat ca experimentele de la LHC vor putea descoperi bozonii Higgs prezisi de MSSM in mai multe canale de dezintegrare.

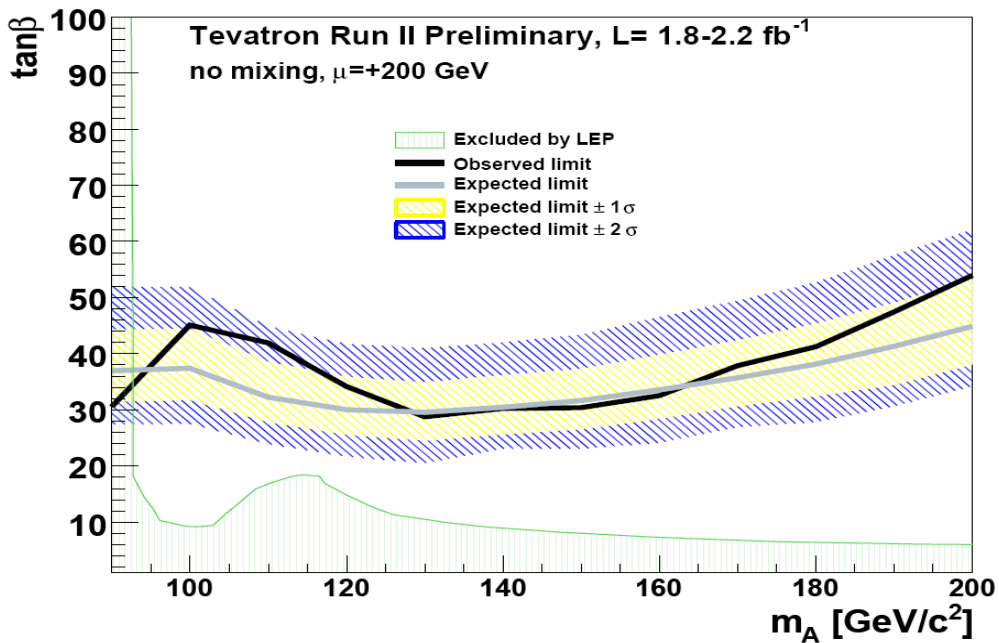
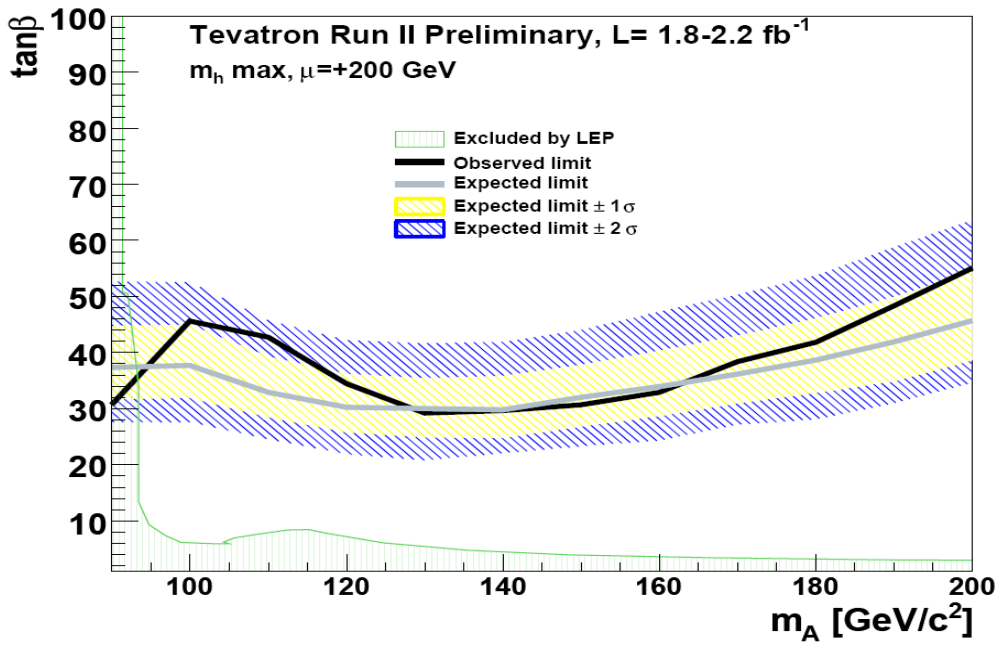


Fig.10 Contururile de excludere pentru canalul $H \rightarrow \tau^+ \tau^-$, la un nivel de incredere de 95%, in spatiul parametrilor modelului MSSM. Contururile reprezinta rezultatele combinate ale colaborarilor CDF si D0 [26]. In figura de sus a fost luat in considerare scenariul “ m_h -max “ iar in figura de jos, scenariul “fara amestec”. In ambele cazuri s-a folosit pentru parametrul μ o valoare egala cu 200 GeV.

La o luminozitate integrata mai mare de 30 fb^{-1} , procesele de producere $t\bar{t}h$ sau $t\bar{t}H$ pot deveni efective, iar pentru bozonii MSSM “non SM-like”, canalele cele mai relevante vor fi $pp \rightarrow H/A + X$ cu $H/A \rightarrow \tau^+\tau^-$ si $pp \rightarrow t H^\pm + X$ cu $H^\pm \rightarrow \tau^\pm \nu$.

Referinte

1. P.W. Higgs, Phys. Rev. Lett. **12**, 132 (1964); *idem*, Phys. Rev. **145**, 1156 (1966);
F. Englert and R. Brout, Phys. Rev. Lett. **13**, 321 (1964);
G.S. Guralnik, C.R. Hagen, and T.W. Kibble, Phys. Rev. Lett. **13**, 585 (1964).
2. E. Gross *et al.*, Z. Phys. **C63**, 417 (1994); [E: *ibid.*, **C66**,32 (1995)];
E. Braaten and J.P. Leveille, Phys. Rev. **D22**, 715(1980);
N. Sakai, Phys. Rev. **D22**, 2220 (1980);
T. Inami and T. Kubota, Nucl. Phys. **B179**, 171 (1981);
S.G. Gorishni $\tilde{1}$, A.L. Kataev, and S.A. Larin, Sov. J. Nucl. Phys. **40**, 329 (1984) [*Yad. Fiz.* **40**, 517 (1984)];
M. Drees and K. Hikasa, Phys. Lett. **B240**, 455 (1990) [E: **B262**, 497 (1991)];
A. Djouadi, M. Spira, and P.M. Zerwas, Z. Phys. **C70**, 675 (1996);
A. Djouadi, J. Kalinowski, and M. Spira, Comput. Phys. Commun. **108**, 56 (1998);
B.A. Kniehl, Nucl. Phys. **B376**, 3 (1992);
3. ALEPH, DELPHI, L3, and OPAL Collabs., The LEP Working Group for Higgs Boson Searches, Phys. Lett. **B565**, 61 (2003).
4. ALEPH, DELPHI, L3, and OPAL Collabs., The LEP Working Group for Higgs Boson Searches, Eur. Phys. J **C47**, 547 (2006).
5. The CDF and DØ Collabs., Phys. Rev. Lett. **104**, 061802 (2010).257 (1995);
6. CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **103**, 101802 (2009).
7. DØ Collaboration, Phys. Rev. Lett. **102**, 051803 (2009).
8. CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **104**, 141801 (2010).
9. DØ Collaboration, Phys. Rev. Lett. **104**, 071801 (2010).
10. CDF Collaboration, Phys. Rev. **D80**, 071101 (2009).
11. DØ Collaboration, Phys. Lett. **B655**, 209 (2007).
12. DØ Collaboration, Phys. Rev. Lett. **102**, 251801 (2009).
13. CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **103**, 221801 (2009).
14. CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **104**, 061803 (2010).
15. DØ Collaboration, Phys. Rev. Lett. **104**, 061804 (2010).

16. Measurement of W^+W^- Production and Search for the Higgs Boson in pp Collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV, CMS Collaboration, *Phys. Lett. B*
17. H.E. Haber and G.L. Kane, *Phys. Rev.* **C117**, 75 (1985);
18. ALEPH Collaboration, *Phys. Lett.* **B526**, 191 (2002).
19. DELPHI Collaboration, *Eur. Phys. J.* **C32**, 145 (2004).
20. OPAL Collaboration, *Eur. Phys. J.* **C37**, 49 (2004).
21. L3 Collaboration, *Phys. Lett.* **B545**, 30 (2002).
22. DØ Collaboration, *Phys. Rev. Lett.* **101**, 221802 (2008).
23. DØ Collaboration, *Phys. Rev. Lett.* **104**, 151801 (2010).
24. CDF Collaboration, *Phys. Rev. Lett.* **103**, 201801 (2009).
25. DØ Collaboration, *Phys. Rev. Lett.* **101**, 071804 (2008).
26. CDF and D0 Collaborations and the Tevatron New Physics and Higgs Working Group, arXiv:1003.3363 [hep-ex].

I.2 Masurari de mare precizie ale Modelului Standard

Modelul Standard descrie cu succes interactiile tari, electromagnetice si slabe intre particulele elementare la energiile cele mai mari accesibile in experimente. Totusi, MS include si unele aspecte fundamentale, neclarificate inca, asa cum este de exemplu lipsa bozonului Higgs. In consecinta, verificarea previziunilor teoretice date de MS cu noi date experimentale prezinta un interes deosebit, un rol special revenindu-i comparatiei cu datele de la LHC, obtinute in noul teritoriu energetic deschis de acest accelerator.

Pe de alta parte, existenta aspectelor neclarificate din MS a condus si la ideea ca MS este doar o componenta, aplicabila la energii joase, a unei teorii mult mai complexe cum ar fi supersimetria, (SUSY), sau teoriile bazate pe stringuri sau dimensiuni suplimentare. In aceste conditii teoria cromodinamica cuantica (QCD) ar constitui fondul dominant pentru punerea in evidenta a semnalelor de fizica noua.

I.2.1 Producerea de jeturi

Evenimentele in care sunt produse jeturi cu impuls transversal mare constituie un material experimental valoros pentru testarea previziunilor teoriei QCD perturbative.

Producerea de jeturi este procesul dominant de producere a particulelor cu impuls transversal mare si drept urmare sectiunile eficace de producere si proprietatile jeturilor au fost masurate in ciocniri ca e^+e^- , ep , $p\bar{p}$, pp , precum si in ciocniri γp si $\gamma\gamma$. Cu ajutorul datelor obtinute in producerea de jeturi s-au obtinut masurari precise ale constantei de cuplaj tare, informatii despre structura protonului si a fotonului, ele contribuind la o mai buna intelegere a interactiilor tari, dar si la cautarea de semnale de fizica dincolo de MS.

In noul teritoriu energetic deschis de LHC studiul dinamicii interactiilor cu producere de jeturi cu impuls transversal mare a capatat o pondere deosebita si printre primele rezultate publicate pe baza materialului experimental de la LHC s-au aflat si cele referitoare la producerea de jeturi in interactiile proton-proton la 7 TeV. Astfel, colaborarea ATLAS a publicat rezultate privind sectiunile eficace inclusive de producere a jeturilor si sectiunile eficace de producere a dijeturilor folosind algoritmul anti- k_T pentru identificarea jeturilor, altgoritm care a fost adoptat si de catre colaborarea CMS, fiind adecvat pentru comparatiile cu previziunile teoretice.

Sectiunile eficace diferentiale ale jeturilor au fost masurate functie de impulsul transversal si de rapiditatea jeturilor, in timp ce in cazul dijeturilor interesul principal a fost

orientat spre sectiunile diferentiale functie de masa efectiva a dijeturilor. Rezultatele au fost comparate cu previziunile bazate pe next-to leading order QCD, observandu-se o buna concordanta intre teorie si date, rezultat considerat drept o validare a teoriei QCD in noul domeniu energetic accesibil la LHC [1,2].

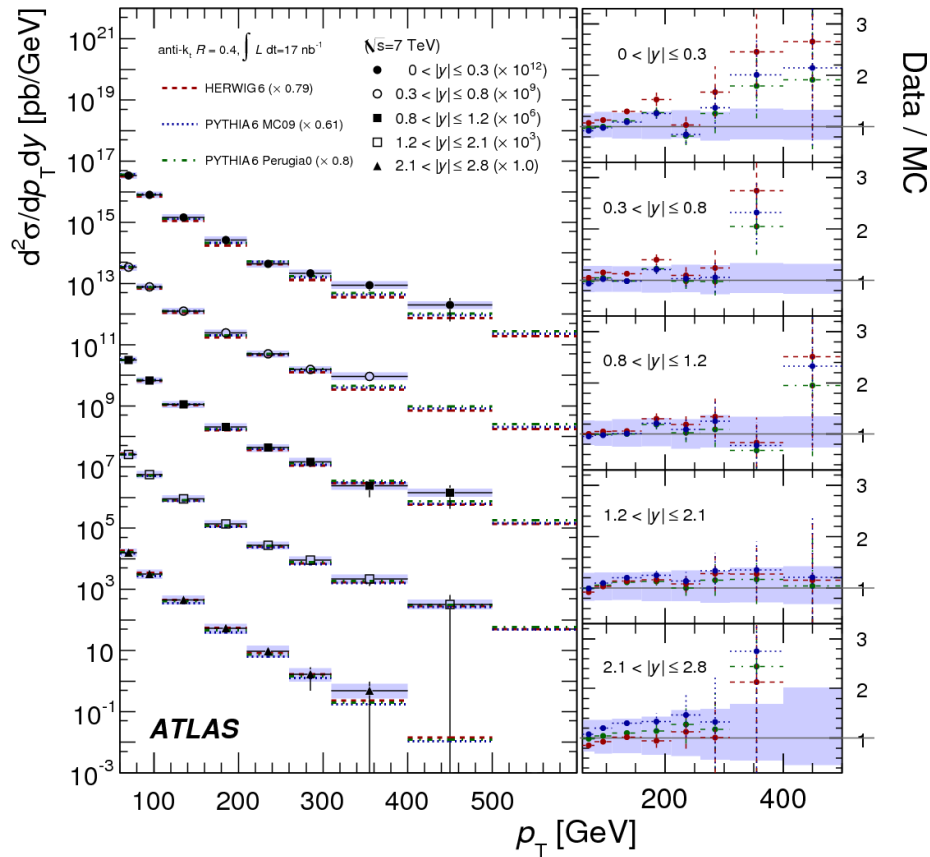


Fig. 11 Sectiunea inclusiva, dublu diferentiaa a jeturilor functie de p_T , pentru diferiti bini de rapiditate (y). Rezultatele sunt prezentate pentru jeturi identificate cu algoritmul anti- k_T cu parametrul $R=0.4$. Datele sunt comparate cu simulari MC folosind un shower partonic “leading logarithmic” si au fost normate la sectiunea eficace masurata folosind factorii prezentati in legenda figurii, fixati pentru a da cea mai buna normalizare pentru masurarile inclusive ale jeturilor. Benzile indica incertitudinile sistematice totale ale datelor. Barele de erori indica incertitudinile statistice, calculate ca $1/\sqrt{N}$, unde N este numarul de intrari intr-un bin dat. In banda din partea dreapta este prezentat raportul intre date si diferitele simulari MC efectuate.

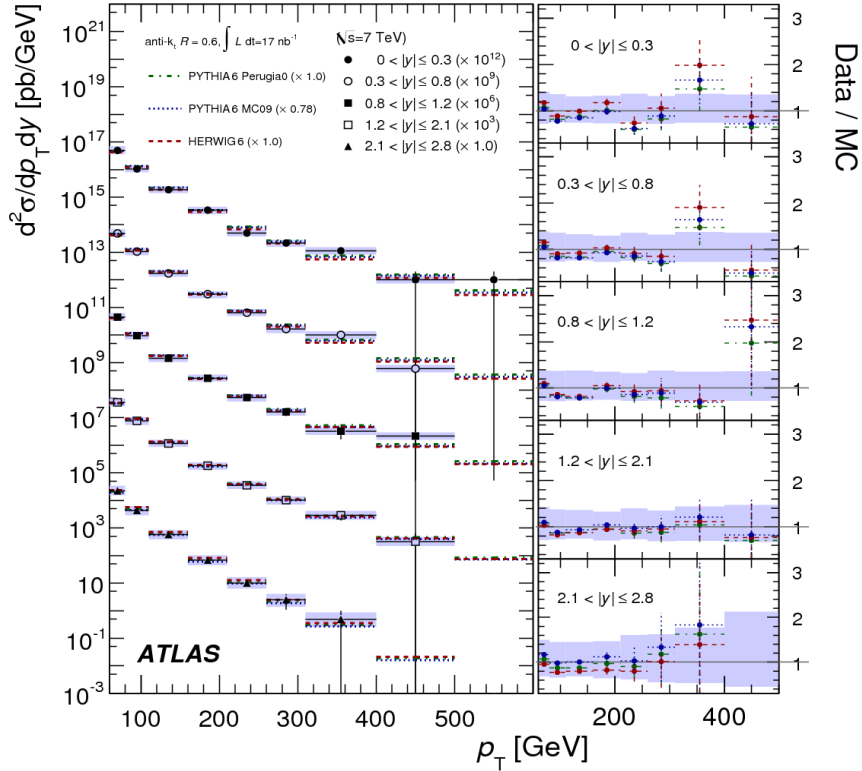


Fig. 12 Sectiunea inclusiva, dublu diferentia a jeturilor functie de p_T , pentru diferiti bini de rapiditate (y). Rezultatele sunt prezentate pentru jeturi identificate cu algoritmul anti- k_T cu parametrul $R=0.6$. Datele sunt comparate cu simulari MC folosind un shower partonic leading logarithmic si au fost normate la sectiunea eficace masurata folosind factorii prezentati in legenda figurii, fixati pentru a da cea mai buna normalizare pentru masurarile inclusive ale jeturilor. Benzile indica incertitudinile sistematice totale ale datelor. Barele de erori indica incertitudinile statistice, calculate ca $1/\sqrt{N}$, unde N este numarul de intrari intr-un bin dat. In banda din partea dreapta este prezentat raportul intre date si diferitele simulari MC efectuate.

In Fig. 11 si Fig. 12 este prezentata comparatia intre date si diferitele previziuni teoretice in conditiile in care jeturile au fost identificate cu algoritmul anti- k_T cu parametrul $R=0.4$ si respective, $R=0.6$. Se observa ca datele sunt consistente cu calculele efectuate in NLO pQCD, corectate pentru efectele neperturbative, in ambele ipoteze ale valorilor parametrului R .

Determinarea formei jeturilor a fost studiata la Tevatron si este abordata si la LHC. Forma jeturilor depinde de tipul partonului, cuarc sau gluon, care initiaza jetul observat in starea finala, luand in considerare atat efectele neperturbative de fragmentare, cat si

contributia provenita din interactiile intre fragmentele protonilor, denumita EU (Event Underlying). Rezultatele obtinute de colaborarea ATLAS [3] au aratat ca impulsul jetului este concentrat langa axa jetului. La valori joase ale impulsului transversal, mai mult de 80% din impulsul transversal este concentrat, langa axa jetului intr-un con de $0.3 R$, in timp ce pentru valori mai mari ale impulsului transversal procentul creste la 95%.

Intrucat o buna modelare a contributiilor soft este foarte importanta in compararea sectiunilor eficace de productie a jeturilor cu previziunile teoriei QCD perturbative, masurari ale formei jeturilor au fost efectuate in interactii $p\bar{p}$, $e^\pm p$, e^+e^- . Colaborarea ATLAS a masurat forma jeturilor cu impuls transversal in intervalul $30 < p_T < 600$ GeV produsi in regiunea de rapiditate $|\eta| < 2.8$, observand ca jeturile devin mai inguste odata cu cresterea impulsului transversal, in timp ce dependenta de rapiditate este nesemnificativa. Folosind teoria perturbativa QCD au fost testate diferite descrieri ale unor efecte perturbative si neperturbative incluse in generatorii Monte Carlo utilizati in descrierea datelor. Rezultatele indica faptul ca masurarea formei jeturilor in ciocnirile proton-proton poate contribui la constrangerea modelelor fenomenologice existente privind radiatia gluonica soft, activitatea EU si procesele de fragmentare neperturbative din starea finala.

Producerea multipla de jeturi este un alt proces care poate oferi informatii foarte utile privind modelele ce descriu producerea de particule cu impuls transversal mare in ciocnirile proton-proton. In cadrul teoriei QCD, energia si directia jeturilor este legata de energia si directia partonilor produsi in ciocnirile intre hadroni, si in consecinta studiul distributiilor de energie si unghiulare ale jeturilor produse in evenimentele cu jeturi multiple, furnizeaza informatii fundamentale si posibilitatea de a testa in mod direct previziunile teoriei QCD. Studiul evenimentelor multijet produse in ciocnirile hadronice pot da informatii importante si asupra efectelor neperturbative care sunt implicate in dinamica producerii de multijeturi. De asemenea, procesele cu productie multipla de jeturi reprezinta o contributie importanta in fondul existent in mai multe procese de interes, astfel ca o buna cunoastere a procesului de productie de jeturi multiple, a incertitudinilor sistematice observate in aceste procese, pot fi de real folos, in special in clarificarea unor aspecte importante legate de efectele neperturbative ale teoriei. Colaborarea ATLAS a obtinut rezultate preliminare privind sectiunea eficace totala a evenimentelor cu productie multipla de jeturi functie de multiplicitatea jeturilor precum si sectiunea diferentiala functie de impulsul transversal al jeturilor [4].

Pentru evenimentele in care sunt produse jeturi cu impuls transversal $p_T > 60$ GeV, din care cel puțin unul are $p_T > 80$ GeV, s-a observat o buna concordanta a datelor cu previziunile simularilor Monte Carlo in leading order in care shower-ul partonic a fost descris de ajustarile efectuate pentru a descrie corespunzator componenta EU a datelor.

Concordanta buna intre date si simularile Monte Carlo s-a obtinut dupa ce previziunile Monte Carlo au fost normate la sectiunea eficace inclusiv a producerii de doua jeturi. Intrucat incertitudinile masurarilor sunt suficient de mici, apropiate de cele teoretice, din comparatiile intre calculele efectuate in next to leading order si date, s-au putut introduce constrangeri asupra parametrilor care intra in calculele next-to-leading order (NLO).

I.2.2 Producerea de fotoni directi

Masurarea fotonilor prompti, izolati, produsi in ciocnirile proton-proton, pot contribui la testarea teoriei perturbative QCD si pot introduce constrangeri asupra distributiilor PDF ale protonului. Aceste masurari vin sa le completeze pe cele efectuate privind producerea jeturilor cu impuls transversal mare obtinandu-se informatii importante despre interactiile hard in noul regim energetic deschis de LHC. O intelegere cat mai buna a producerii de fotoni prompti izolati este utila datorita faptului ca fotonii prompti contribuie semnificativ la fondul existent in procesele cu producere de fotoni in stare finala in care se cauta semnale de fizica noua. Producerea de fotoni prompti este direct influentata de continutul de gluoni al protonului prin procesul $qg \rightarrow q\gamma$ care domina in leading order masurarile efectuate privind sectiunea eficace de producere a fotonilor prompti si pot conduce la anumite constrangeri asupra functiei de densitate a gluonilor. Fotonii prompti includ fotoni directi care au participat la subprocesul hard, dar si fotoni produsi prin fragmentarea unui parton cu impuls transversal mare.

Masurari mai recente ale producerii de fotoni prompti au fost efectuate la Tevatron in ciocniri $p\bar{p}$ la 1.96 TeV. Masurarile efectuate de Colaborarea D0 [5] se bazeaza pe o luminozitate integrata de 326 pb^{-1} , in care fotonii acopera un interval de rapiditate $|\eta^\gamma| < 0.9$ precum si un interval in energia transversala $23 < E_T^\gamma < 300$ GeV, in timp ce masurarile colaborarii CDF [6] se bazeaza pe 2.5 fb^{-1} si acopera un interval in rapiditate $|\eta^\gamma| < 1.0$ si o energie transversala in intervalul $30 < E_T^\gamma < 400$ GeV. Ambele colaborari CDF si D0, au obtinut o sectiune eficace de producere de fotoni prompti izolati in concordanta cu calculele efectuate cu NLO pQCD. Masurari ale sectiunii eficace de producere de fotoni prompti

izolati au fost efectuate si in ciocniri ep atat in fotoproducere, cat si in ciocniri puternic inelastice de colaborarile Hera si Zeus.

Masurari privind producerea de fotoni prompti izolati in ciocniri proton-proton la 7 TeV au fost facute de CMS si ATLAS si rezultatele au fost publicate in [7] si [8] pe baza unei luminozitati integrate de 2.9 pb si respectiv de 880 nb.

Prima publicatie a fost cea a colaborarii CMS care a masurat sectiunea eficace de producere a fotonilor prompti izolati cu energie transversala in intervalul $25 < E_T^\gamma < 300$ GeV si $|\eta^\gamma| < 1.45$, obtinand o buna concordanta cu previziunile NLO in intregul interval energetic.

Colaborarea ATLAS a studiat fotonii prompti izolati produsi in regiunile de pseudorapiditate $|\eta^\gamma| < 1.37$ si $1.52 < |\eta^\gamma| < 1.81$, avand energii transversale cuprinse in intervalul $15 < E_T^\gamma < 100$ GeV.

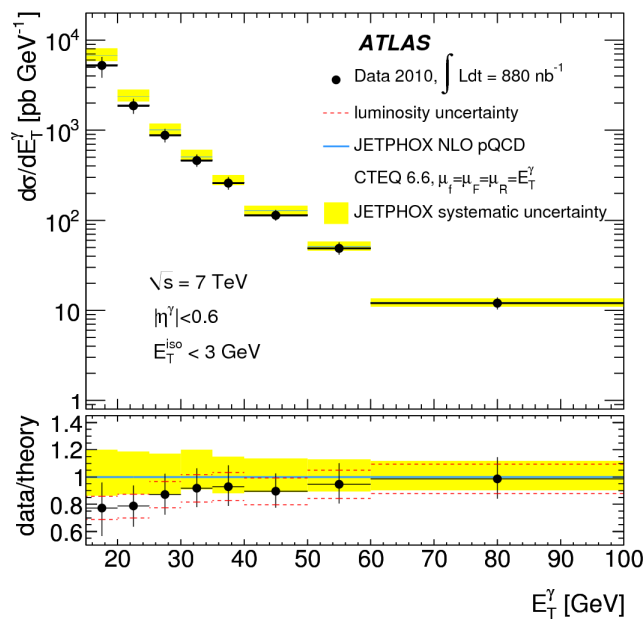


Fig. 13 Sectiunile eficace inclusive de producere ale fotonilor prompti functie de energia transversala a fotonilor cu $E_T^\gamma > 15$ GeV si $|\eta^\gamma| < 0.6$. Punctele reprezinta datele masurate. La baza figurii este reprezentat raportul intre masurari si previziunile teoretice.

Sectiunile eficace de producere inclusive ale fotonilor prompti izolati, masurate de colaborarea ATLAS, sunt prezentate in Fig. 13 si Fig. 14. Ele sunt prezentate in functie de energia transversala a fotonilor pentru fiecare regiune de pseudorapiditate considerata in analiza. Datele experimentale sunt comparate cu calculele efectuate in NLO ale teoriei

pQCD. Incertitudinile prezentate in cele doua figuri au fost obtinute luand in considerare incertitudinile statistice si cele sistematice care domina in tot intervalul de energie transversala a fotonilor. S-a observat o concordanta buna intre teorie si date cu exceptia intervalului caracterizat prin valori $E_T^\gamma < 25$ GeV.

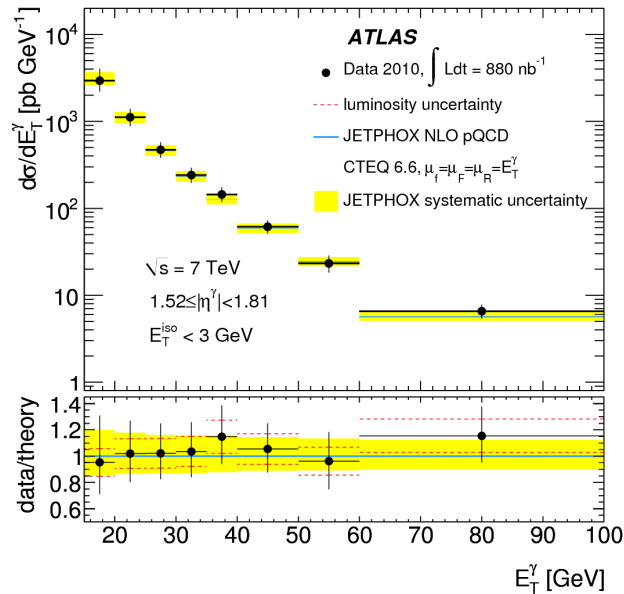


Fig. 14 *Sectiunile eficace inclusive de producere ale fotonilor prompti functie de energia transversala a fotonilor cu $E_T^\gamma > 15$ GeV si $1.52 < |\eta^\gamma| < 1.81$. Punctele reprezinta datele masurate. La baza figurii este reprezentat raportul intre masurari si previziunile teoretice.*

In doua comunicari la conferinte au fost prezentate recent rezultate mai noi reprezentand o extensie catre valori mai mari ale energiei transversale a fotonilor in comparatie cu datele deja publicate. Luminozitatea integrata pe baza careia s-au obtinut rezultatele comunicate a fost mult mai mare decat in lucrarea publicata si anume de 35 pb^{-1} . In acest caz, fotonii prompti izolati cu energii transversale mult mai mari au fost analizati in intervalul $45 < E_T^\gamma < 400$ GeV, observandu-se din nou un acord bun cu previziunile teoretice. Trebuie insa mentionata prezenta unor incertitudini mari in regiunea $E_T^\gamma > 150$ GeV, fiind necesara achizitionarea de noi date, pentru a putea obtine rezultate concludente.

I.2.3 Producerea de bozoni W/Z

Datele experimentale privind producerea bozonilor W si Z in ciocnirile hadron-hadron la energii inalte au o contributie semnificativa in testarea Modelului Standard. Calculele teoretice care descriu producerea bozonilor vectoriali implica functiile de distributie ale partonilor, PDF, precum si diferite cuplaje ale partonilor cu bozonii vectoriali ce sunt afectate de corectii QCD de ordin inalt.

Producerea de bozoni W si Z in interactiuni hadron-hadron a fost masurata in experimentele UA1[9] si UA2[10] de la CERN $S p\bar{p}S$ la energia de $\sqrt{s} = 0.63$ TeV si de catre experimentele CDF[11-13] si D0[14,15] de la Tevatron, la energiile de $\sqrt{s} = 1.8$ TeV si $\sqrt{s} = 1.96$ TeV.

Se asteapta ca sectiunile de productie a bozonilor W si Z in ciocnirile proton-proton sa fie diferite de cele masurate in ciocnirile proton-antiproton datorita distributiilor diferite ale cuarcilor de valenta. Mai recent la experimentele de la RICH [16, 17] au fost prezentate primele rezultate privind producerea de bozoni W in interactiunile proton-proton la $\sqrt{s} = 0.5$ TeV.

Producerea de bozoni W si Z fiind abundenta la LHC se asteapta obtinerea de informatii importante privind proprietatile producerii acestor bozoni in noul teritoriu energetic deschis. Calculele privind deteminarea sectiunilor eficace de productie inclusiv a bozonilor W si Z au fost efectuate folosind teoria pQCD in aproximatiile next-to-leading order (NLO) si next-to-next-to-leading order (NNLO). Se asteapta ca studiul producerii la LHC a bozonilor W si Z sa impuna noi constrangeri asupra functiilor de distributie ale partonilor si sa permita efectuarea de teste ale teoriei QCD cu precizie din ce in ce mai mare.

Pe langa masurarea sectiunilor eficace de productie a bozonilor W si Z, prezinta interes deosebit determinarea raportului intre cele doua sectiuni eficace, R, precum si asimetria intre sectiunea eficace de productie a bozonilor W^+ si W^- , masurari care permit efectuarea de teste importante ale MS. Pe baza unei statistici experimentale ce va fi achizitionata in urmatoorii ani, raportul R va fi determinat cu o precizie mai buna si va impune constrangeri asupra largimii bozonului W (Γ_W).

Primele masurari ale sectiunii eficace de productie a bozonilor $W \rightarrow l\nu$ si $Z/\gamma^* \rightarrow ll$ ($l = e, \mu$) in ciocnirile proton-proton la 7 TeV au fost obtinute de colaborarea ATLAS pe baza datelor corespunzatoare unei luminozitati integrate de 320 nb^{-1} [18]. S-au obtinut urmatoarele valori pentru sectiunile eficace de productie inclusiv a bozonului W inmultit cu raportul de ramura al dezintegrarii lor in canalul leptonic (electron, muon):

$$\sigma_{W^+}^{\text{tot}} \text{BR}(W \rightarrow l\nu) = 5.93 \pm 0.17 (\text{stat}) \pm 0.30 (\text{sys}) \pm 0.65 (\text{lumi}) \text{ nb}$$

$$\sigma_{W^-}^{\text{tot}} \text{BR}(W \rightarrow l\nu) = 4.00 \pm 0.15 (\text{stat}) \pm 0.20 (\text{sys}) \pm 0.44 (\text{lumi}) \text{ nb}$$

$$\sigma_W^{\text{tot}} \text{BR}(W \rightarrow l\nu) = 9.96 \pm 0.23 (\text{stat}) \pm 0.50 (\text{sys}) \pm 1.10 (\text{lumi}) \text{ nb},$$

$$\text{iar pentru } Z/\gamma^*: \sigma_{Z/\gamma^*}^{\text{tot}} \text{BR}(Z/\gamma^* \rightarrow ll) = 0.82 \pm 0.06 (\text{stat}) \pm 0.05 (\text{sys}) \pm 0.09 (\text{lumi}) \text{ nb}.$$

Previziunile teoretice bazate pe calculele NNLO QCD sunt in concordanta cu toate masurarile efectuate. Desi valoarea luminozitatii integrate este mica, precizia masurarilor este

dominata de incertitudinile sistematice, in special de cea referitoare la luminozitate. In momentul de fata eroarea sistematica referitoare la luminozitate are valori mai mici, iar cresterea statisticii experimentale va permite de asemenea micșorarea celorlalte incertitudini sistematice.

I.2.4 Producerea de bozoni in asociatie cu jeturi

Studiul producerii de bozoni W sau Z in asociatie cu unul sau mai multe jeturi permite un test important al teoriei QCD. De asemenea, procesele W/Z + jeturi reprezinta o componenta importanta a fondului pentru multe procese descrise de MS ca de pilda producerea de perechi $t\bar{t}$ sau bozoni Higgs, dar si pentru studiile in care se cauta semnale de fizica noua. Astfel, masurarea sectiunilor eficace si a proprietatilor cinematice ale proceselor W+jeturi, precum si compararea cu previziunile teoretice prezinta un interes deosebit.

Au fost efectuate masurari privind procesele de producere W+jeturi in interactiuni proton-antiproton la $\sqrt{s} = 1.96$ TeV de catre Colaborarea CDF [19], iar calculele teoretice NLO pQCD au fost efectuate pentru sectiunile eficace de producere W+ n jeturi unde $n < 4$.

Colaborarea ATLAS a masurat sectiunile de producere a proceselor W + jeturi in interactiile proton-proton la 7 TeV in ambele canale de dezintegrare leptonice a bozonului W (electroni si muoni), masurarile avand la baza o luminozitate integrata de 1.3 pb^{-1} [20]. Masurarile sectiunilor eficace au fost efectuate in functie de multiplicitatea jeturilor. S-au determinat si rapoartele $\sigma(W + \geq n) / \sigma(W + \geq n-1)$ pentru multiplicitati ale jeturilor $n = 1-4$. Compararea datelor cu previziunile teoretice indica faptul ca PYTHIA nu reuseste sa explice datele, daca multiplicitatea jeturilor este mai mare de 1. Se observa insa ca exista un acord bun intre datele experimentale si previziunile teoretice in cazul generatorilor ALPGEN si SHERPA.

I.2.5 Producerea de perechi de bozoni gauge (de etalonare)

Rata de producere si distributiile cinematice ale perechilor $W^+ W^-$ sunt sensibile la cuplajul gauge triplu al bozonului W si producerea perechilor $W^+ W^-$ constituie o componenta importanta a fondului in cautarile bozonului Higgs prezis de MS. Aceste motivatii justifica importanta studiului producerii perechilor de bozoni $W^+ W^-$.

S-a studiat producerea de perechi $W^+ W^-$ in ciocniri $e^+ e^-$ [21] si proton-antiproton [22], iar mai recent colaborarea CMS a publicat rezultate obtinute in ciocnirile proton-proton la $\sqrt{s} = 7$ TeV [23].

In MS, contributia cea mai mare in producerea de perechi $W^+ W^-$ este data de anihilarea cuarcilor in canalele “s” si “t”. Desi in producerea perechilor $W^+ W^-$ contributia data de fuziunea gluonilor intervine in next-to-next-leading order, aportul acestui proces este important datorita luminozitatii mari a gluonilor la LHC.

Masurarile efectuate de Colaborarea ATLAS privind sectiunea eficace de productie a perechilor $W^+ W^-$ au fost efectuate pe baza unui material experimental corespunzator unei luminozitati integrate de 34 pb^{-1} [24], selectand evenimentele cu doi leptoni izolati, muoni sau electroni. Valoarea obtinuta pentru sectiunea eficace masurata este de $41^{+20-16} \text{ (stat)} \pm 5 \text{ (sist)} \pm 1 \text{ (lumi)} \text{ pb}$, valoare consistenta cu previziunile MS $44 \pm 3 \text{ pb}$, calculata in next-to-leading order QCD. De asemenea, valoarea obtinuta este in buna concordanta cu masurarile efectuate de Colaborarea CMS [23].

La valori mai mari ale luminozitatii integrate, valori care vor fi obtinute in anii urmasori, acest semnal va putea fi folosit intens pentru obtinerea de informatii privind producerea de bozoni Higgs, cuplaje gauge triple anormale precum si alte procese dincolo de MS.

I.2.6 Soft QCD

In efectuarea de masurari precise ale teoriei QCD este importanta o buna intelegere nu numai a proceselor in care au loc ciocnirile hard, cat si a interactiilor care acompaniaza aceste ciocniri hard si au loc intre ceea ce ramane din protoni dupa ce interactia hard a avut loc, denumite “Underlying Event” (EU). Nu este posibila o identificare a contributiei data de EU la nivelul evenimentului, dar pot fi facute masurari care sa reflecte proprietatile componentei EU.

In interactiile EU chiar daca exista contributii si din partea proceselor hard, contributiile majore vin din partea componentei soft QCD descrisa prin interactii in care transferul de impuls este mic intre particulele care se ciocnesc si care nu pot fi calculate prin teoria QCD perturbativa, folosindu-se pentru descrierea lor modele fenomenologice. Generatorii MC trebuie sa aiba in componenta lor aceste modele fenomenologice pentru o descriere corespunzatoare a datelor experimentale. Modelele fenomenologice contin mai multi parametri a caror valori sunt determinate din fitarea datelor experimentale pentru a putea optimiza descrierea proceselor date de soft QCD si in consecinta a contributiei componentei EU, prezenta in procesele hard studiate.

Printre primele rezultate obtinute la LHC au fost cele privind multiplicitatea particulelor incarcate primare in evenimentele “minimum bias”, rezultate care au fost

comparate cu diferitele modele Monte Carlo (MC), folosind diferiti generatori si diferiti parametri [25]. Observabilele construite pentru a obtine informatii privind componenta EU masoara structura evenimentelor intr-un mod diferit, dand prioritate corelatiilor intre procesele soft, dar iau in considerare si corelarile cu cel mai hard proces din eveniment.

Observabilele introduse in studiul componentei EU au fost studiate in ciocnirile $p\bar{p}$ la $\sqrt{s} = 1.8 \text{ TeV}$ si $\sqrt{s} = 1.96 \text{ TeV}$ in evenimente dijet si Drell Yan de catre CDF in Run I [25] si respectiv Run II [27], iar Colaborarea CMS a publicat rezultatele obinute in ciocnirile proton-proton la $\sqrt{s} = 900 \text{ GeV}$ in [28].

Colaborarea ATLAS a publicat rezultatele obinute privind structura evenimentelor EU in ciocnirile proton-proton la $\sqrt{s} = 900 \text{ GeV}$ si $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$, fiind primele rezultate publicate la $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$ despre componenta EU [29, 30]. Au fost definite trei regiuni in unghiul azimutal definit fata de particula incarcata cu impulsul transversal (p_T) cel mai mare din eveniment (p_T^{lead}), astfel incat regiunea transversala fata de p_T^{lead} este regiunea cea mai sensibila pentru componenta EU. Datele experimentale au aratat o activitate EU mai mare decat cea prezisa de modelele Monte Carlo cu care datele au fost comparate si ai caror parametri au fost determinati din fitari cu datele experimentale existente inainte de LHC.

In Fig. 15 este prezentata densitatea de particule incarcate $d^2N_{ch}/d\eta d\phi$ functie de p_T^{lead} . Datele au fost comparate cu previziunile date de PYTHIA cu diferite setari ale parametrilor (ATLAS MC09, DW si Perugia0), de HERWIG + JIMMY ATLAS MC09 si de PHOJET la 900 GeV si respectiv 7 TeV. S-a observat ca previziunile modelelor MC, cu parametrii setati din fitarile datelor existente inainte de LHC, nu reusesc sa descrie bine datele din regiunea transversala, cu exceptia modelului Herwig+Jimmy.

Diferente asemanatoare s-au observat si in masurarile efectuate privind distributiile inclusive de multiplicitate ale particulelor incarcate. Astfel, se considera ca PHOJET, HERWIG+JIMMY si toate setarile de parametri, obtinute folosind date achizitionate inainte de LHC, ale modelului PHYTIA prevad o activitate mai redusa in regiunea transversala. Aceasta observatie este valabila pentru ambele energii 900 GeV si 7 TeV.

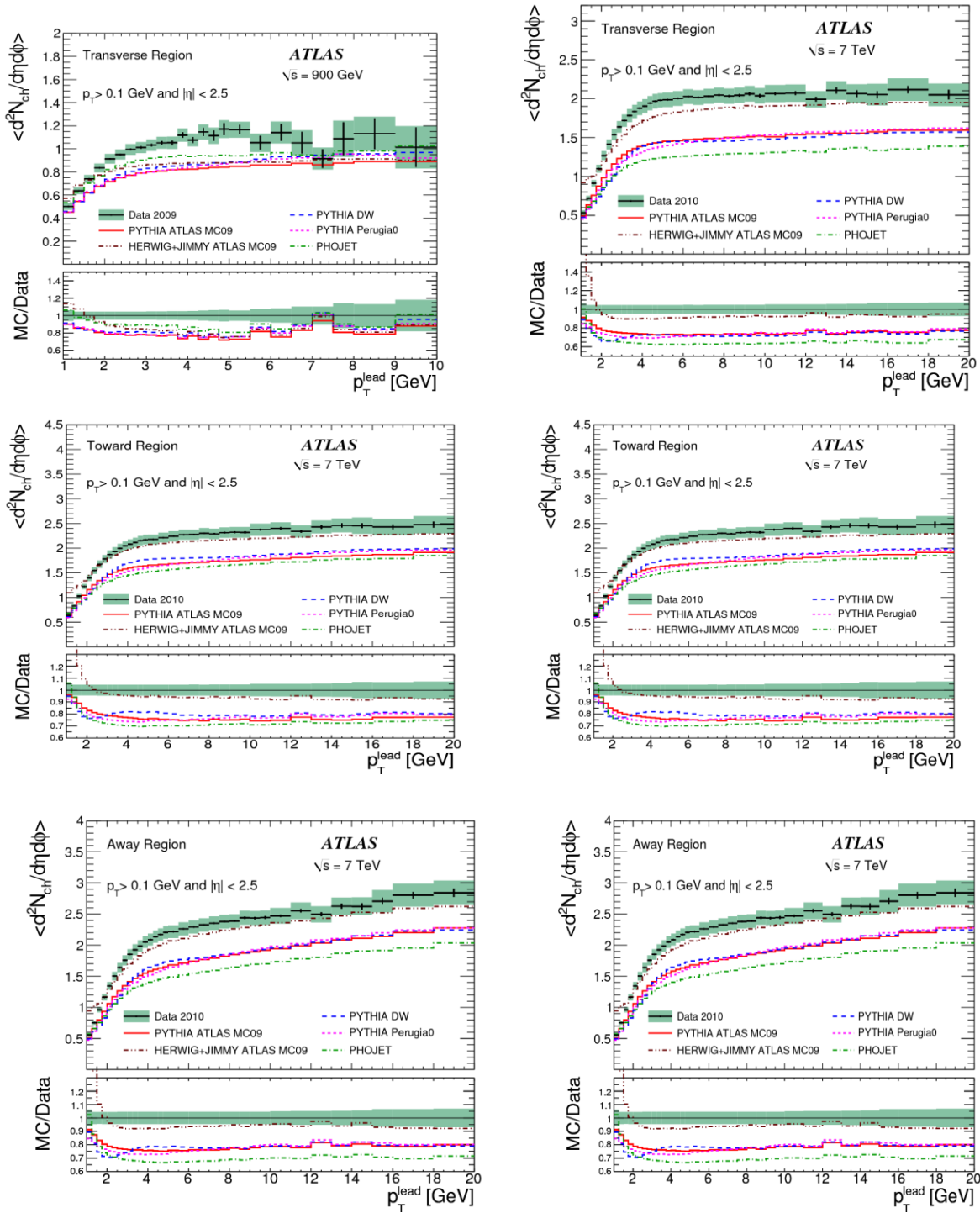


Fig. 15 Densitatea de particule incarcate $d^2N_{ch}/d\eta d\phi$ functie de p_T^{lead} in p+p la 900GeV si 7 TeV obtinuta cu detectorul ATLAS. Datele au fost comparate cu diferite modele MC. Primele doua distributii se refera la regiunea transversala fata de particula incarcata leading, regiune in care activitatea componentei UE este cea mai intensa.

Datele obtinute privind observabilele ce descriu componenta UE precum si dependenta de energie a acestei componente au o importanta deosebita intrucat impun constrangeri modelelor de interactie multipla a partonilor. Folosind distributiile minimum bias si rezultatele din analiza componentei UE, Colaborarea ATLAS a determinat o setare noua a parametrilor modelului PHYTIA, denumita AMBT1 (ATLAS Minimum Bias Tune 1) si o noua setare de parametri pentru Herwig+Jimmy, denumita AUET1 (ATLAS Underlying Event Tune 1) care modeleaza spectrele de multiplicitate si p_T mult mai bine decat setarile de parametri anterioare.

Primele masurari efectuate cu detectorul ATLAS ale sectiunii eficace inelastice proton-proton la $\sqrt{s} = 7$ TeV au fost publicate in [31]. Datele experimentale au avut la baza o luminozitate integrata de $20 \mu\text{b}^{-1}$, evenimentele fiind selectate cu conditia de a lovi scintilatorii montati in regiunea inainte a detectorului. O valoare egala cu 60.3 ± 2.1 mb a fost masurata pentru $\xi > 5 \times 10^{-6}$, unde $\xi = M_X^2/s$ a fost calculat folosind masa invarianta, M_X , a hadronilor selectati utilizand cel mai mare gol in rapiditate din eveniment. Pentru evenimentele difractive aceasta conditie corespunde cerintei ca cel putin una din masele care disociaza sa fie mai mare de 15.7 GeV.

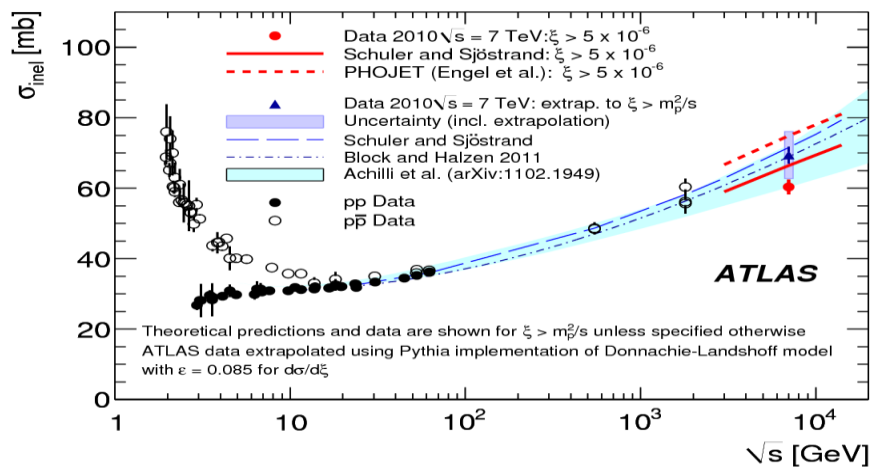


Fig.16 Dependenta sectiunii eficace inelastice a interactiilor proton-proton functie de \sqrt{s} [31]

Simularile Monte Carlo au fost folosite pentru a determina acceptanta selectiei si pentru a evalua incertitudinile sistematice. In Fig. 16 sunt prezentate sectiunile eficace inelastice proton-proton functie de energie, impreuna cu alte rezultate experimentale privind ciocnirile proton-antiproton si diferite previziuni teoretice si fenomenologice. Valoarea obtinuta de colaborarea ATLAS pentru sectiunea eficace inelastica, extrapolata in regiunea $\xi > m_p^2/s$, este consistenta cu cele doua previziuni fenomenologice privind dependenta de energie si anume: a) o crestere de tipul unui factor de putere si b) o crestere logaritmica.

Experimentul LHCb [32], proiectat pentru studii de violarea paritatii si a dezintegrarilor rare in sectorul cuarcilor grei, va aduce o contributie importanta si in studii producerii hadronilor usori la energiile atinse la LHC. Datorita acoperirii in pseudorapiditate, unica printre experimentele LHC si inaccesibila pentru marea majoritate a masurarilor anterioare, LHCb ofera posibilitatea de a studia transportul numarului barionic si, in general, a mecanismelor de producere ale stranietatii (strangeness) intr-o regiune a spatiului fazelor, unde previziunile modelelor de cromodinamica quantica sunt divergente.

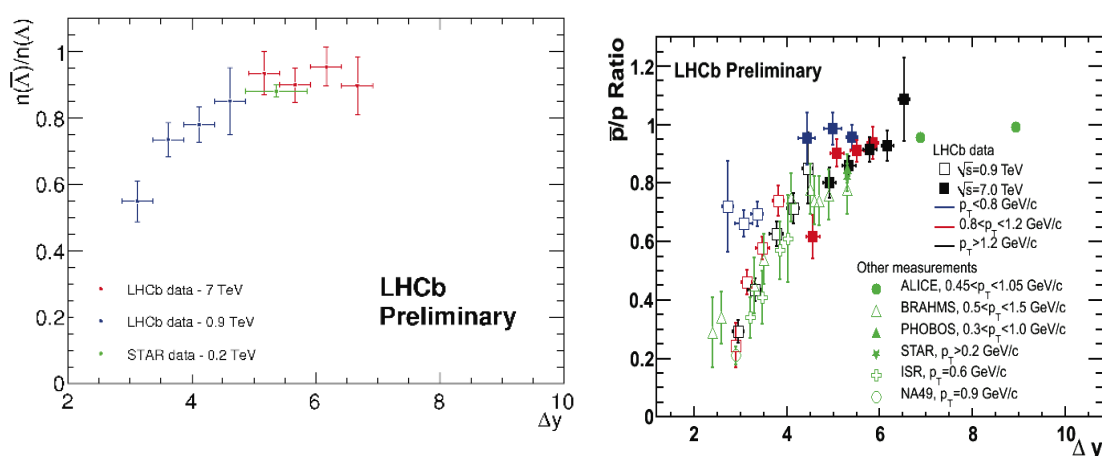


Fig.17 Stanga : masurarile LHCb pentru anti- Λ/Λ [5] ca functie de "rapidity loss" sunt comparate cu o masuratoare anterioara a colaborarii STAR Collaboration [37]; Dreapta: masurarile raportului anti- p/p efectuate de catre LHCb si de catre alte experimente [38, 39, 40, 41, 42, 43, 44], ca functie de « rapidity loss ». Barele de eroare reprezinta in fiecare caz eroarea totala in afara de punctele IST unde se refera numai la erorile statistice.

Primele rezultate LHCb, in domeniul productiei de hadroni usori, au beneficiat de faptul ca detectorul LHCb este complet instrumentat in regiunea forward. Masurari ale sectiunii eficace de producere ale K_s [33] si ϕ [34] permit testarea modelelor de producere a "strangeness" in interactia proton-proton. Proportia in care antibarionii sunt produsi fata de barioni anti-p/p [35] si anti- Λ/Λ [36] studiata ca o functie de rapiditate, ofera informatii despre transportul numarului barionic al fasciculului, iar supresia producerii de barioni stranii fata de mezonii stranii este pusa in evidenta prin masurarea raportului anti- Λ/ K_s^0 [36].

Masurarile efectuate la doua energii 0.9 TeV si 7 TeV sunt in acord intre ele precum si cu masurari facute la energii mai joase, asa cum se poate vedea de exemplu din figura 17.

De asemenea, din aceeași figură, se poate observa și faptul că măsurările LHCb la 0.9 TeV permit investigarea unui interval de pierdere de rapiditate (“rapidity loss”), unic pe când cele la 7 TeV permit verificarea violării de scală.

Referințe

1. Measurement of inclusive jet and dijet cross sections in proton-proton collisions at 7 TeV centre-of-mass energy with the ATLAS detector, ATLAS Collaboration, Eur. Phys. J. C 71 (2011) 1-59
2. Measurement of Dijet Azimuthal Decorrelations in pp Collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV, ATLAS Collaboration, Phys. Rev. Lett. 106, 172002 (2011)
3. Study of Jet Shapes in Inclusive Jet Production in pp Collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV using the ATLAS Detector, ATLAS Collaboration, Phys. Rev D 83, 052003 (2011).
4. ATLAS Collaboration, ATLAS-CONF-2011-043
5. V. M. Abazov et al. (D0), Phys. Lett. B639, 151 (2006)
6. T. Aaltonen et al. (CDF), Phys. Rev. D80, 111106(R) (2009)
7. CMS Collaboration (2010), arXiv:1012.0799 [hep-ex]
8. Measurement of the inclusive isolated prompt photon cross section in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector, ATLAS Collaboration, Phys Rev D 83, 52005 (2011)
9. The UA1 Collaboration, C. Albajar et al., Intermediate Vector Boson Cross-sections at the CERN Super Proton Synchrotron Collider and the Number of Neutrino Types, Phys. Lett. B198 (1987) 271
10. The UA2 Collaboration, J. Alitti et al., A Measurement of the W and Z Production Cross-sections and a Determination of GW at the CERN pp collider, Phys. Lett. B276 (1992) 365
11. CDF Collaboration, F. Abe et al., Measurement of $\sigma \times B(W \rightarrow e\nu)$ and $\sigma \times B(Z0 \rightarrow e^+e^-)$ in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.8$ TeV, Phys. Rev. Lett. 76 (1996) 3070
12. CDF Collaboration, F. Abe et al., Measurement of Z0 and Drell-Yan production cross section using dimuons in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.8$ TeV, Phys. Rev. D59 (1999) 052002.
13. The CDF Collaboration, A. Abulencia et al., Measurements of Inclusive W and Z Cross-sections in pp Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, J. Phys. G34 (2007) 2457
14. The D0 Collaboration, B. Abbott et al., Extraction of the width of the W boson from measurements of $\sigma(p\bar{p} \rightarrow W + X) \times B(W \rightarrow e\nu)$ and $\sigma(p\bar{p} \rightarrow Z + X) \times B(Z \rightarrow ee)$ and their ratio, Phys. Rev. D61 (2000) 072001

15. The D0 Collaboration. D0 conference notes: 4403-CONF, 4750-CONF.
16. PHENIX Collaboration, A. Adare et al., Cross Section and Parity Violating Spin Asymmetries of W_{\pm} Boson Production in Polarized p+p Collisions at $\sqrt{s} = 500$ GeV, arXiv:1009.0505 [hep-ex]
17. STAR Collaboration, M. M. Aggarwal et al., Measurement of the parity-violating longitudinal single-spin asymmetry for W_{\pm} boson production in polarized proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 500$ GeV, arXiv:1009.0326 [hep-ex]
18. ATLAS Collaboration, Measurement of the $W \rightarrow l \nu$ and $Z/\gamma^* \rightarrow ll$ production cross sections in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector, JHEP 12 (2010) 060
19. CDF Collaboration, Measurements of Inclusive W and Z Cross-sections in pp Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, J. Phys. G34 (2007) 2457
20. ATLAS Collaboration, Measurement of the production cross section for W-bosons in association with jets in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector Phys. Lett. B698 (2011) 325-345
21. ALEPH Collaboration, Phys. Lett. B 484, 205 (2000); DELPHI Collaboration, Phys. Lett. B 479, 89 (2000); L3 Collaboration, Phys. Lett. B 496, 19 (2000); OPAL Collaboration, Phys. Lett. B 493, 249 (2000)
22. CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. 104, 201801 (2010); D0 Collaboration, Phys. Rev. Lett. 103, 191801 (2009)
23. CMS Collaboration, arXiv:hep-ex/1102.5429
24. ATLAS Collaboration, Measurement of the WW cross section in $\sqrt{s} = 7$ TeV pp collisions with ATLAS, arXiv:1104.5225, trimisa spre publicare la PRL
25. ATLAS Collaboration, Charged-particle multiplicities in pp interactions measured with the ATLAS detector at the LHC, Int. J. Phys. 13 (2011) 053033
Charged-particle multiplicities in pp interactions at $\sqrt{s} = 900$ GeV measured with the ATLAS detector at the LHC, ATLAS Collaboration, Phys Lett B **688**, 1, 21
26. T. Aaltonen et al. (The CDF Collaboration), Underlying event in hard interactions at the Fermilab Tevatron $p\bar{p}$ collider, Phys. Rev. D 70, 072002 (2004)
27. T. Aaltonen et al. (The CDF Collaboration), Studying the underlying event in Drell-Yan and high transverse momentum jet production at the Tevatron, Phys. Rev. D 82, 034001 (2010)

28. V. Khachatryan et al. (The CMS Collaboration), Measurement of the Underlying Event Activity in Proton–Proton Collisions at 0.9 TeV, (2010), arXiv:1006.2083
29. ATLAS Collaboration, Measurement of underlying event characteristics using charged particles in pp collisions at $\sqrt{s} = 900$ GeV and 7 TeV with the ATLAS detector, lucrare acceptata spre publicare de Phys Rev D
30. ATLAS Collaboration Measurements of underlying event properties using neutral and charged particles in p-p collisions at 900 GeV and 7 TeV with the ATLAS detector at the LHC , lucrare trimisa spre publicare la EPJC
31. ATLAS Collaboration, Measurement of the Inelastic Proton-Proton Cross-Section at $\sqrt{s}=7$ TeV with the ATLAS Detector, trimisa spre publicare in Nature Comm.
32. A. A. Alves et al. [LHCb Collaboration], JINST 3 (2008) S08005
33. R. Aaij et al. [LHCb Collaboration], Phys. Lett. B 693 (2010) 69 [arXiv:1008.3105].
34. LHCb Collaboration, LHCb-CONF-2010-014; CERN-LHCb-CONF-2010-014.- Geneva : CERN, 2010
35. LHCb Collaboration, LHCb-CONF-2010-009, CERN-LHCb-CONF-2010-009
36. LHCb Collaboration, LHCb-CONF-2010-011, CERN-LHCb-CONF-2010-011
37. B. I. Abelev et al. [STAR Collaboration], Phys. Rev. C 75 (2007) 064901 [arXiv:nucl-ex/0607033]
38. A. K. Aamodt et al. [ALICE Collaboration], Phys. Rev. Lett. 105 (2010) 072002 [arXiv:1006.5432 [hep-ex]]
39. I. G. Bearden et al. [BRAHMS Collaboration], Phys. Lett. B 607 (2005) 42 [arXiv:nucl-ex/0409002]
40. B. I. Abelev et al. [STAR Collaboration], Phys. Rev. C 79 (2009) 034909 [arXiv:0808.2041 [nucl-ex]]
41. A. M. Rossi, G. Vannini, A. Bussiere, E. Albini, D. D'Alessandro and G. Giacomelli, Nucl. Phys. B 84 (1975) 269
42. M. Banner et al., Phys. Lett. B 41 (1972) 547
43. B. Alper et al., Phys. Lett. B 46 (1973) 265
44. T. Anticic et al. [NA49 Collaboration], Eur. Phys. J. C 65 (2010) 9 [arXiv:0904.2708 [hep-ex]]

I.3 Cautarea de particule prezise de modele supersimetrice

Supersimetria la energii joase (SUSY) este teoria cea mai studiată din extensiile Modelului Standard. Ea reușește să rezolve unele deficiențe ale MS precum stabilizarea masei bozonului Higgs și unificarea cuplajelor gauge și în același timp nu este în contradicție cu măsurările de mare precizie electrolabe.

SUSY prezice existența unor parteneri ai particulelor din MS, având aceleași proprietăți cu acestea, cu excepția spinului (diferențiat cu $\frac{1}{2}$). Întrucât acești parteneri, cu mase egale cu cea a particulelor din MS nu au fost observați, SUSY este o simetrie ruptă.

Printr-o alegere convenabilă a termenilor descriind teoria SUSY-ruptă și prin alegerea maselor superpartenerilor în regiunea TeV-ilor, sunt păstrate punctele pozitive ale teoriei.

Particulele SUSY diferă de cele ale MS prin valori diferite ale unui număr cuantic multiplicativ $R = (-1)^{3(B-L)+2S}$, unde B și L sunt numărul barionic și respectiv leptonic iar S este valoarea spinului [1]. Astfel, particulele din MS au $R=1$ iar particulele SUSY au $R=-1$. Dacă paritatea R este violată, schimbul de particule SUSY poate conduce la rezultate inacceptabile precum dezintegrarea rapidă a protonului și astfel, în general, paritatea R este conservată. În consecință, particulele SUSY sunt produse în perechi și se dezintegrează în particule din MS acompaniate de LSP (Lightest SUSY Particle) care este stabilă. Din argumente cosmologice rezultă că particula stabilă LPS interacționează slab și nu poate să fie detectată în ATLAS, ceea ce face ca o trasatură importantă a evenimentelor SUSY să fie observarea unor valori mari ale energiei transversale lipsă, E_T^{miss} . LPS reprezintă un posibil candidat pentru particula elementară a materiei întunecate existente în Univers.

Două modele vor fi analizate mai în detaliu:

- 1) mSUGRA, unde ruperea simetriei SUSY este mediată de interacția gravitațională,
- 2) GBMS, unde ruperea simetriei SUSY este mediată de o interacție gauge.

Topologiile sunt diferite în cazul celor două modele întrucât natura lui LPS este diferită și anume, în mSUGRA cel mai ușor neutralino este cea mai ușoară particulă supersimetrică în timp ce în GBMS această particulă este gravitino.

Până în prezent, nu a fost observată existența unei particule supersimetrice și rezultatele prezentate sunt sub forma unor limite superioare ale secțiunii eficace de producere sau sub forma unor limite inferioare ale masei. Astfel de limite sunt date pentru un nivel de încredere de 95%.

I.3.1 Topologii caracterizate prin valori mari E_T^{miss} și jeturi cu p_T mare

a) stări finale fără leptoni

Colaborarea ATLAS a cautat producerea de scuarci si gluino in stari finale continand jeturi si avand valori mari ale impulsului transversal lipsa, fara producere de electroni sau muoni. Luminozitatea integrata care a stat la baza studiului efectuat a fost egala cu 35 pb^{-1} , corespunzatoare achizitiei de date din anul 2010.

Studiul acestei topologii a fost motivat de numarul mare de modele teoretice care conserva paritatea R si prezic producerea in perechi de scuarci si gluino ($\tilde{g}\tilde{g}, \tilde{q}\tilde{q}, \tilde{q}\tilde{g}$). Acestia, prin dezintegrarea lor $\tilde{q} \rightarrow q \tilde{\chi}_1^0$ si $\tilde{g} \rightarrow qq\tilde{\chi}_1^0$ produc neutralino care scapa detectiei, starea finala fiind caracterizata prin jeturi si impuls transversal lipsa mare. Cautarea a fost efectuata astfel incat sa permita o excluziune maxima in planul $(m_{\tilde{g}}, m_{\tilde{q}})$, pentru un grup de modele in care toate celalalte particule supersimetrice, cu exceptia neutralino-ului cel mai usor, au mase mari, care nu pot fi observate la LHC.

Rezultatele au fost interpretate cu un model simplificat, continand numai scuarci din primele doua generatii, un octet gluino si un neutralino fara masa precum si cu modele mSUGRA/CMSSM cu $\tan\beta = 3$, $A_0 = 0$ si $\mu > 0$. In modelul simplificat, valori ale masei gluino-ului sub 500 GeV sunt excluse, la un nivel de incredere de 95%, in timp ce in ipoteza unor mase egale pentru scuarci si gluino, limita creste la o valoare de 870 GeV. In modelele mSUGRA/CMSSM, in ipoteza unor mase egale pentru scuarci si gluino, au fost excluse valori ale masei sub 775 GeV [2].

Un alt studiu [3], efectuat folosind aceasi topologie, dar in care s-a impus conditia ca printre jeturile produse in eveniment sa fie cel putin un jet al cuarcului b, pune accentul pe producerea mediata de gluino, dar si pe producerea directa a cuarcilor sbottom si stop, partenerii supersimetrice ai generatiei a treia de cuarci, care datorita efectelor de amestec ar putea fi cei mai usori scuarci.

Intrucat nu s-a observat nici un exces fata de ceea ce se asteapta in cazul proceselor descrise de MS, rezultatele au fost folosite pentru a exclude regiuni ale parametrilor folosind diferite modele supersimetrice care conserva paritatea R. In ipoteza ca cel mai usor scuarc \tilde{b}_1 este produs in procese mediate de gluino sau in producere directa de perechi si ca se dezintegreaza exclusiv prin canalul $\tilde{b}_1 \rightarrow b \tilde{\chi}_1^0$, sunt excluse valori ale masei gluino-ului sub 590 GeV, in conditiile in care masa scuarcului sbottom este mai mica decat 500 GeV. De asemenea, presupunand ca \tilde{t}_1 este cel mai usor scuarc si ca gluino dezintegreaza exclusiv prin canalul $g \rightarrow \tilde{t}_1 t$ si $\tilde{t}_1 \rightarrow b \tilde{\chi}_1^\pm$, sunt excluse mase pentru gluino sub 520 GeV pentru mase ale stopului in intervalul 130 – 300 GeV.

In cadrul modelelor mSUGRA/CMSSM, la valori mari pentru $\tan\beta$, poate sa fie exclusa o regiune importanta in planul $(m_0, m_{1/2})$, unde parametrul m_0 este masa scalarului universal, iar parametrul $m_{1/2}$ este masa gluino-ului. Pentru valorile parametrilor $\tan\beta = 40$, $A_0 = 0$ si $\mu > 0$, valori ale masei pentru sbottom mai mici de 550 GeV si sunt excluse valori ale masei stop-ului mai mici de 470 GeV, cu un nivel de incredere de 95%. Mase pentru gluino mai mici de 500 GeV sunt excluse pentru valori ale lui m_0 intre 100 GeV si 1 TeV, independent de masa scuarilor.

b) stari finale cu un lepton

Primele rezultate publicate de Colaborarea ATLAS privind existenta unor noi particule prezise de modele supersimetrice au fost cele obtinute in studiul topologiei cu un lepton, energie transversala lipsa si jeturi cu impuls transversal mare [4].

Canalele dominante de producere a particulelor SUSY sunt cele in care se produc perechile scuar-(anti)scuar, scuar-gluino si gluino-gluino. Scuarul si gluino se asteapta sa se dezintegreze in cuarci si gluoni si in partenerii SUSY ai bozonilor gauge (charginos, $\tilde{\chi}^\pm$ si neutralino, $\tilde{\chi}^0$) conducand la producerea de jeturi energetice. In modelele SUSY, in care paritatea R este conservata (LPS este stabila si scapa detectiei), evenimentele se caracterizeaza prin valori mari ale energiei transversale lipsa, iar in canalele de dezintegrare in care intervine chargino (in cursul dezintegrarii lui in LPS), se poate produce un lepton cu impuls mare.

Tinand cont de argumentele de mai sus, au fost cautate evenimente cu un lepton izolat (electron sau muon) cu impuls transversal mare, cel putin trei jeturi cu impuls transversal mare si un impuls transversal lipsa semnificativ.

Pe baza datelor inregistrate in 2010, corespunzand unei luminozitati integrate de 35 pb^{-1} , a fost efectuata o analiza mai generala, care nu a fost optimizata pentru un anumit model SUSY, rezultatele fiind interpretate in cadrul mSUGRA/CMSSM (supergravitate minimala /extensia minimala supersimetrica constransa) in termenii unor limite pentru parametrul de masa al scalarului universal si al lui gaugino $(m_0, m_{1/2})$. Nu s-au observat deviatii de la previziunile MS. Pentru un anumit set de parametri in mSUGRA/CMSSM, ales ca sa fie corespunzator cu cel folosit in alte experimente, si in ipoteza ca masa scuarilor este egala cu cea a lui gluino, mase pentru gluino mai mici de 700 GeV sunt excluse cu o limita de incredere de 95%. Aceasta limita depaseste limitele gasite in alte experimente [5-8].

c) stari finale cu 2 leptoni

Colaborarea ATLAS a studiat evenimentele cu valori mari ale impulsului transversal lipsa si cu producere de doi leptoni izolati, luand in considerare ambele cazuri:

- a) leptonii au acelasi semn (SS) si
- b) leptonii au semne diferite (OS).

Se considera ca leptonii sunt produsti prin dezintegrarea particulelor chargino si neutralino in bozoni W si Z si in sleptoni virtuali sau reali, daca masa lor este suficient de usoara [9].

In MS, sursa principala de leptoni sunt bozonii W si Z iar perechile de leptoni SS sunt foarte rare. In SUSY, producerea de gluini si dezintegrarea lor cu aceeasi probabilitate in perechi scuarc anti-cuarc, cuarc anti-scuarc si scuarc scuarc, conduce la o productie abundenta de perechi de leptoni SS.

In producerea de leptoni OS, fondul dat de MS este important dar si sectiunea eficace a semnalului este mare datorita producerii suplimentare de perechi scuarc anti-scuarc. Rezultatele obtinute de Colaborarea CMS in cautarea de particule supersimetrice in evenimente cu perechi de leptoni OS au fost publicate in [10].

In analiza efectuata in lucrarea [9] datele experimentale au corespuns unei luminozitati integrate de 35 pb^{-1} si nu s-a observat existenta unor excese. Numarul de evenimente observat in regiunea semnalului, in ambele analize, a fost compatibil cu previziunile MS. Pentru cazul SS limitele au fost calculate folosind canalele ee , $e\mu$, $\mu\mu$ in timp ce pentru cazul OS, limitele au fost calculate pentru fiecare canal separat. Rezultatele obtinute au fost interpretate ca limite in spatiul parametrilor folosind trei modele SUSY diferite si anume mSUGRA/CMSSM si doua clase de modele MSSM cu spectrul de masa al particulelor SUSY restrans si cu un neutralino usor. Functie de modelul folosit, scuarcii cu mase cuprinse intre 450 si 690 GeV au fost exclusi, in conditiile in care scuarcii sunt aproape degenerati in masa si mai usori decat gluino.

I.3.2 Producerea de particule masive stabile

Detectarea de particule masive cu timp de viata mai mare (lungimea de dezintegrare fiind cel putin egala cu marimea detectorului ATLAS), a fost de asemenea studiata in cadrul colaborarii ATLAS.

Descoperirea de particule masive, stabile si exotice (SMP), ar avea o semnificatie aparte daca ar fi descoperite. Existenta lor ar putea da un rapsuns problemei ierahiei de gauge, care implica particule cu mase de ordinal TeV-ilor, particule care n-au fost inca observate.

Particulele SMP care hadronizeaza sunt prezise de mai multe modele extensii ale MS. Posibilitatea de a fi produse direct in perechi prin forta nucleara tare, implica valori mari pentru sectiunile eficace si motiveaza cautarea lor chiar in conditiile in care statistica experimentală nu este foarte bogata. In lucrarea [12] se stabilesc primele limite pe care experimentul ATLAS le gaseste, referitoare la producerea de particule SMP in ciocniri proton-proton la energia de 7 TeV. Modelele folosite sunt modele SUSY ce prezic existenta hadronilor cu paritate R. Trebuie mentionat faptul ca detectorul ATLAS contine un numar de subsisteme (de ex. detectorul de pixeli si calorimetrul hadronic), care furnizeaza suficienta informatie pentru a distinge particulele SMP de particule care se misca cu viteze apropiate de viteza luminii. Rezultatele obtinute folosind o luminozitate integrata de 34 pb^{-1} pun in evidenta lipsa unor devieri de la MS. Au fost gasite limite inferioare pentru squarcii sbottom stabili de 294 GeV, iar pentru squarcii stop o limita inferioara egala cu 309 GeV. Limita inferioara a masei unui gluino stabil depinde de modelul teoretic folosit si este cuprinsa intre 562 si 586 GeV.

Colaborarea ATLAS a cautat particule grele care dezintegreaza in $e^\pm \mu^\pm$, produse la LHC [13]. Evenimentele cu $e^\pm \mu^\pm$ ($e\mu$) in starea finala, care au jucat un rol important in descoperirea leptonului τ si a cuarcului top, au signaturi curate experimental si un fond scazut. Exista mai multe modele care permit o signatura $e\mu$. De exemplu, in modelele SUSY cu violare a paritatii R (RPV), un sneutrino se poate dezintegra in $e\mu$. Alte modele, cu o simetrie gauge aditionala, pot si ele explica prezenta unei signaturi $e\mu$ printr-o dezintegrare a unui bozon gauge suplimentar Z' prin violarea savorii leptonului (LFV), [14].

Procesele MS care pot produce o signatura tipica $e\mu$ au sectiuni eficace mici, iar masa invarianta $m_{e\mu}$ este mai mica decat intervalul favorabil pentru noile semnale fizice. Rezultatele sunt interpretate ca producerea si dezintegrarea unui sneutrino $\tilde{\nu}_\tau$ si a unui Z' . Nu s-a observat vreun exces deasupra valorii asteptate pentru fondul dat de MS. Exista doua modele pentru care s-au obtinut limite cu un nivel de incredere de 95%, si anume:

- modelul supersimetric ce violeaza paritatea R, in care este exclusa existenta sneutrinelor τ cu o masa sub 0.75 TeV;
- modelul violarii savorii leptonului, in care este exclusa existenta unui bozon vectorial Z' cu mase intre 0.70 si 1.00 TeV [14].

Referinte

1. Yu.A. Golfand and E.P. Likhtman, JETP Lett. 13 (1971) 323-326; A. Neveu and J.H. Schwartz, Nucl. Phys. B31 (1971) 86-112; A. Neveu and J.H. Schwartz, Phys. Rev. D4 (1971) 1109-1111; P. Ramond, Phys. Rev. D3 (1971) 2415-2418; D.V. Volkov and V.P. Akulov, Phys. Lett. B46 (1973) 109-130; J. Wess and B. Zumino, Phys. Lett. B49 (1974) 52-60; J. Wess and B. Zumino, Nucl. Phys. B70 (1974) 39-50
2. ATLAS Collaboration, Search for squarks and gluinos using final states with jets and missing transverse momentum with the ATLAS detector in $\sqrt{s} = 7$ TeV proton-proton collisions, arXiv:1102.5290, trimis la PLB
3. ATLAS Collaboration, Search for supersymmetry in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV in final states with missing transverse momentum and b-jets, arXiv:1103.4344, acceptata la PLB
4. ATLAS Collaboration, Search for supersymmetry using final states with one lepton, jets, and missing transverse momentum with the ATLAS detector in $\sqrt{s} = 7$ TeV pp collisions, Phys. Rev. Lett. 106, 131802 (2011)
5. CMS Collaboration, V. Khachatryan et al. arXiv:1101.1628 (2011), trimisa la PLB.
6. CDF Collaboration, T. Aaltonen et al., Phys. Rev. Lett. 102 (2009) 121801.
7. D0 Collaboration, V.M. Abazov et al., Phys. Lett. B660 (2008) 449
8. D0 Collaboration, V.M. Abazov et al., Phys. Lett. B680 (2009) 34
9. ATLAS Collaboration, Search for supersymmetric particles in events with lepton pairs and large missing transverse momentum in $\sqrt{s} = 7$ TeV proton-proton collisions, lucrare trimisa spre publicare in EPJC letters
10. CMS Collaboration, Search for Physics Beyond the Standard Model in Opposite-Sign Dilepton Events at $\sqrt{s} = 7$ TeV, arXiv:1103.1348
11. ATLAS Collaboration, Search for an excess of events with an identical flavour lepton pair and significant missing transverse momentum in $\sqrt{s} = 7$ TeV proton-proton collisions with the ATLAS detector, lucrare acceptata de EPJC letters
12. G. Aad et al, (ATLAS Collaboration), Search for Stable Hadronising Squarks and Gluinos at the ATLAS Experiment at the LHC , arXiv:1103.1984, acceptata la PLB
13. G. Aad et al, (ATLAS Collaboration), Search for a heavy particle decaying into an electron and a muon with the ATLAS detector in $\sqrt{s} = 7$ TeV pp collisions at the LHC, arXiv:1103.5559v1
14. Impact of lepton-flavor violating Z' bosons on muon $g-2$ and other muon observables, B. Murakami, Phys. Rev. D 65, 055003 (2002)

I.4 Fizica cuarcului top

Descoperirea cuarcului top la Tevatron, de catre colaborarile CDF si D0, in anul 1995, [1,2] a insemnat inceputul unei perioade de studiu intens a caracteristicilor acestui cuarc cu particularitati deosebite.

In primul rand, este singurul fermion fundamental cu o masa apropiata de scala ruperii simetriei electroslabе in timp ce ceilalti fermioni fundamentali au o masa mult mai mica (masa cuarcului b fiind de 40 de ori mai mica decat masa cuarcului top).

Compararea datelor experimentale privind producerea si dezintegrarea cuarcului top cu previziunile teoretice date de MS constituie un test important al previziunilor MS in noul teritoriu energetic deschis de LHC.

Fiind un cuarc atat de deosebit de ceilalti, se asteapta ca semnale de fizica noua sa apara chiar in producerea si dezintegrarea lui, motiv important pentru studiul in detaliu al acestui cuarc.

De asemenea, trebuie mentionat faptul ca producerea de perechi top anti-top constituie fondul principal pentru multe studii in care se cauta semnale de fizica noua si este imperativ sa fie bine cunoscut.

Un alt aspect se refera la statistica importanta privind perechile de top anti-top care se va strange in urmatorii ani la LHC, dat fiind valoarea mare a sectiunii eficace de productie a acestor perechi. Aceste date vor avea o contributie marcanta la optimizarea performantelor detectorului. Se poate mentiona in mod special efortul care se face privind micșorarea impreciziei in determinarea factorului JES (Jet Energy Scale), factor care are o influenta considerabila asupra preciziei cu care vor fi obtinute multe date experimentale, de importanta majora, in determinarea carora intervine energia jeturilor. Datele precise privind producerea de perechi de $t\bar{t}$ vor avea o contributie majora in micșorarea impreciziei factorului JES.

Cuarcul top dezintegreaza exclusiv in canalul $t \rightarrow W b$, iar dezintegrarea bozonului W are loc leptonic sau hadronic cu cuplaje date de elementele matricii CKM.

O alta caracteristica a cuarcului top, de importanta majora, este dezintegrarea lui foarte rapida, in mai putin de 10^{-24} s, un timp mai scurt decat cel necesar pentru a forma hadroni.

In cadrul MS, cuarcii top sunt produsi predominant a) in perechi, prin interactii tari si b) cate unul singur, prin interactii electroslabе.

I.4.1 Producerea de perechi de cuarci top

Evenimentele in care sunt produse perechile de cuarci $t\bar{t}$ sunt clasificate dupa dezintegrarea bozonului W.

Canalul de aur este canalul in care un bozon W dezintegreaza intr-un lepton incarcat (e, μ) si un neutrino ($W \rightarrow \ell\nu$), iar cel de al doilea bozon W dezintegreaza in jeturi. ($W \rightarrow q^-q$). Acest canal de dezintegrare este caracterizat prin prezenta in starea finala a unui lepton, printr-o valoare mare a energiei transversale lipsa (datorita prezentei neutrino-ului) si existenta a cel putin 4 jeturi. Raportul de ramura al acestui canal este $\sim 34\%$.

Canalul dileptonic este canalul in care ambii bozoni W dezintegreaza leptonic ($W \rightarrow \ell\nu$), starea finala fiind caracterizata prin doi leptoni ($ee, e\mu, \mu\mu$) si cel putin doua jeturi. Canalul se bucura de o puritate buna a semnalului dar raportul de ramura este mic, $\sim 6\%$.

Cel de-al treilea canal este canalul hadronic, in care ambii bozoni W dezintegreaza in jeturi, starea finala fiind caracterizata numai prin prezenta jeturilor care trebuie sa fie cel putin in numar de 6 jeturi iar raportul de ramura al acestui canal este $\sim 46\%$.

Canalele de dezintegrare ale cuarcului top in care sunt produși leptonii τ ($\sim 14\%$) vor fi analizate mai tarziu, cand statistica experimentală va permite aceasta analiza.

La Tevatron, canalul dominant de producere de perechi de cuarci $t\bar{t}$ este anihilarea cuarc anti-cuarc (in proportie de 85%) si fuziunea gluonica (in proportie de 15%) in timp ce la LHC domina producerea de perechi $t\bar{t}$ prin fuziune gluonica ($> 80\%$).

I.4.2 Masurarea sectiunii eficace de producere a perechilor $t\bar{t}$

Cele doua colaborari de la Tevatron, CDF si D0, au studiat producerea cuarcului top in interactiuni proton-antiproton la 1.8 si 1.96 TeV [4] obtinand rezultate deosebite. Printre acestea se numara primele rezultate importante privind cuarcul top, obtinute la Tevatron, respectiv sectiunea eficace de producere a perechii top-antitop, observandu-se o buna concordanta a datelor experimentale cu calculele teoriei QCD perturbative in NLO.

Masurari ale sectiunii eficace de producere a perechilor de cuarci $t\bar{t}$ in ciocnirile proton-proton la 7 TeV au fost publicate atat de ATLAS [5], cat si de CMS [6].

Colaborarea ATLAS a masurat sectiunea eficace de producere a perechilor de cuarci top in doua canale: canalul cu un singur lepton si canalul cu doi leptoni. Folosind datele experimentale corespunzatoare unei luminozitati integrate egale cu 2.9 pb^{-1} s-au gasit un

numar de 37 de candidati in topologia cu un singur lepton si 9 candidati in topologia cu doi leptoni. Fondul in canalul cu un singur lepton este dominat de procesele W+jeturi si producere de jeturi prezisa de QCD existand si o contributie mult mai mica din partea proceselor Z+jeturi si producerea de “single jet”. In canalul dileptonic fondul este dominat de procesele Z+jeturi si W+jeturi. Pentru deteminarea fondului s-au folosit evenimente simulate care insa uneori au fost normate astfel incat sa descrie bine datele experimetale in regiuni fara semnal. Pe materialul experimental, corespunzator luminozitatii integrate de 2.9 pb^{-1} , s-a gasit in final fondul dat de 12.2 ± 3.9 perechi in cazul topologiei cu un lepton si respectiv 2.5 ± 0.6 pentru topologia cu doi leptoni. Proprietatile cinematice ale evenimentelor selectate sunt consistente cu producerea $t\bar{t}$ prezisa de MS.

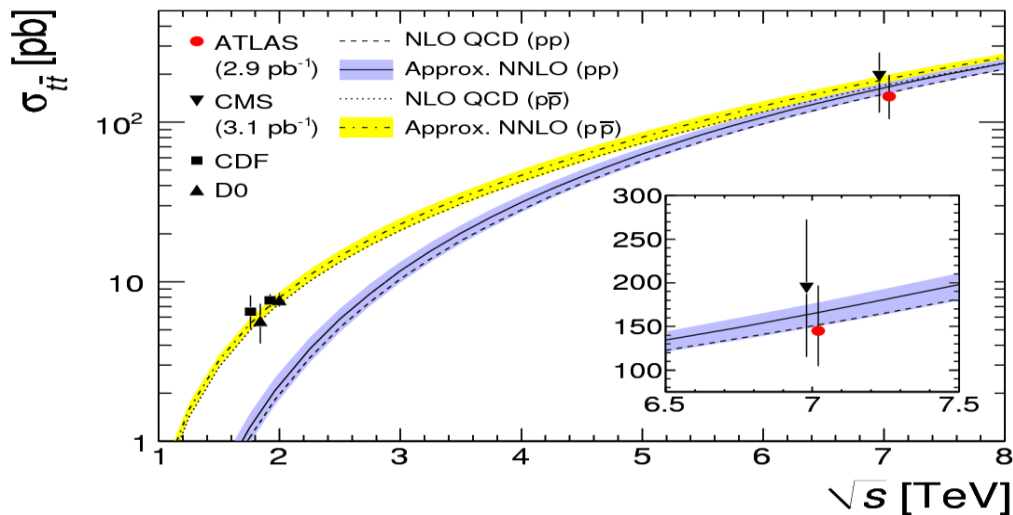


Fig. 18 Sectiunea eficace de producere a perechilor de cuarci top obtinuta in ciocniri hadronice functie de energie. Valorile au fost determinate de CDF si D0 [4], ATLAS[5] si CMS[6]. Previziunile teoretice au fost obtinute folosind setul de functii de distributie partonice CTEQ6.6 si o valoare a masei cuarcului top egala cu 172.5 GeV.

Pentru sectiunea eficace de producere inclusiv a perechilor, produsii in interactiile proton-proton la 7 TeV, Colaborarea ATLAS a obtinut o valoare egala $\sigma_{t\bar{t}} = 145 \pm 31 +42 - 27 \text{ pb}$ unde prima incertitudine este statistica iar a doua este sistematica [5]. Valorile obtinute sunt in buna concordanata cu calculele efectuate cu QCD perturbativa $\sigma_{t\bar{t}} = 164.6 +11.4 -15.7 \text{ pb}$ [7] in conditiile in care pentru masa cuarcului top a fost luata o valoare a masei egala cu 172.5 GeV. Masurarile efectuate la CMS [6] au dat pentru sectiunea eficace de

producere a perechii $t\bar{t}$ o valoare egala cu $\sigma_{t\bar{t}} = 194 \pm 72$ (stat.) ± 24 (syst.) ± 21 (lumi.) pb, obtinuta folosind doar datele din canalul dileptonic si o luminozitate integrata de 3.1 pb^{-1} .

Rezultate preliminare, prezentate la conferinte, au fost obtinute pe toata statistica din 2010, corespunzatoare unei luminozitati integrate de 35 pb^{-1} . Efectuand o analiza combinata luand atat canalul cu un singur lepton cat si canalul cu doi leptoni, unde pentru canalul cu un singur lepton s-a efectuat o analiza mai complexa folosind functia de plauzibilitate si luand in considerare toate sursele de incertitudini sistematice, s-a obtinut o valoare a sectiunii eficace inclusive de producere a perechi top anti-top egala cu $180 \pm 18 \text{ pb}$. Aceasta valoare este in foarte buna concordanta cu previziunile teoretice si cu noua valoare preliminara data de CMS.

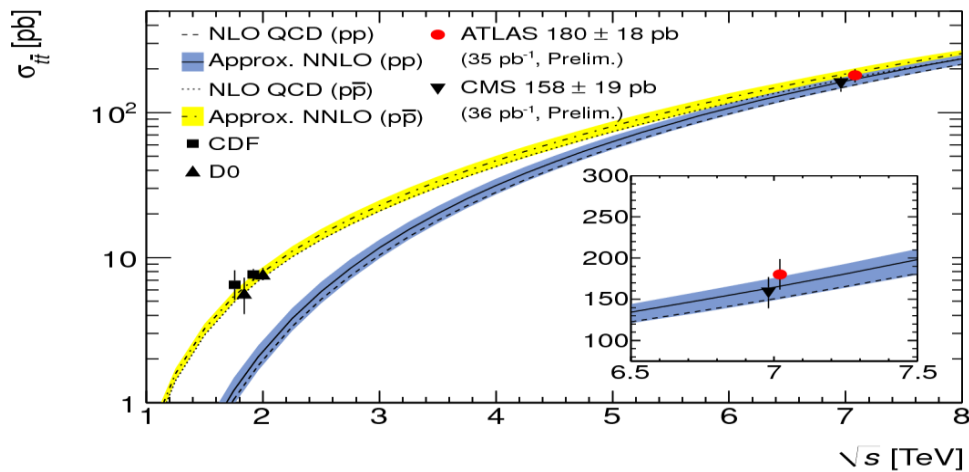


Fig. 19 Dependenta de energie a sectiunii eficace de producere a perechilor top anti-top produse in interactiile proton proton la 7 TeV (ATLAS si CMS). De asemenea sunt prezentate si rezultatele obtinute de CDF si D0 in ciocniri proton anti-proton, comparate cu previziunile teoretice obtinute considerand masa cuarcului top egala cu 172.5 GeV.

Trebuie mentionat faptul ca analiza canalului de dezintegrare, in totalitate hadronic, al perechilor top anti-top, sufera cel mai mult din cauza statisticii existente. Desi unele rezultate preliminare au fost obtinute, se observa existenta unor incertitudini mari in determinarea fondului important existent in acest canal.

Se spera ca determinarea cu o foarte buna precizie a sectiunii eficace inclusive de producere a perechilor top anti-top sa conduca la introducerea unor constrangeri asupra previziunilor teoretice existente si in final sa se obtina o precizie mai buna a lor.

I.4.3 Producerea de "single top"

Cuarcul top poate fi produs singur in interactii electromagnetice prin schimbul unui bozon virtual W in canalul s si t. Sectiunile eficace pentru aceste procese in ciocnirile proton antiproton la 1.96 TeV au fost calculate in NLO obtinandu-se valorile $\sigma_t = 2.05 \pm 0.22$ pb pentru canalul t si respective $\sigma_s = 0.95 \pm 0.08$ pb pentru canalul s [7], in ipoteza unei valori a masei cuarcului top egala cu 172.5 GeV. Valoarea mica a sectiunii eficace de producere a cuarcului top "single" a avut drept consecinta observarea cu dificultate a acestui semnal in prezenta unui fond important. Colaborarile CDF si D0, prin metode complexe de extragere a semnalului, au reusit sa puna in evidenta producerea cuarcului top "single" [8,9] si sa anunte in anul 2009, pe baza datelor puse in comun, observarea producerii cuarcului top "single" cu o semnificatie egala cu 5 deviatii standard [10]. Pe baza datelor obtinute la Tevatron, s-a determinat pentru sectiunea eficace de producere a cuarcului top single, o valoare egala cu $\sigma_{s+t} = 2.76^{+0.58}_{-0.47}$ [11], valoare in buna concordanta cu MS. De asemenea, pentru elementul matricii CKM, Vtb, determinat direct din date, s-a obtinut o valoare $V_{tb} = 0.91 \pm 0.08$.

Sectiunea eficace de producere a cuarcului top "single" fiind mult mai mica decat sectiunea eficace de producere a perechilor top anti-top, fondul principal in procesele de producere a cuarcului top single il constituie producecra de perechi top. De asemenea, canalul W+jeturi constituie o alta sursa importanta de fond pentru producerea de cuarci top single. Pentru punerea in evidenta a producerii de cuarci top single la LHC cu detectorul ATLAS, au fost efectuate mai multe analize pe baza evenimentelor simulate MC in vederea stabilirii strategiei ce urmeaza sa fie aplicata pe datele achizitionate. Rezultatul cel mai important se refera la optimizarea selectiei cuarcului top single prin utilizarea metodei de plauzibilitate.

I.4.4 Semnale de fizica noua

Mai multe modele, extensii ale MS, prezic producerea de rezonante reprezentand noi particule exotice care dezintegreaza in perechi de cuarci top anti-top. O astfel de producere rezonanta este posibila in cazul producerii de particule masive noi in teorii gauge extinse, stari Kaluza Klein ale gluonului sau ale bozonului Z, axigluoni, topcolor [12]. Independent

de modelul exact folosit, o rezonanta ingusta ar trebui sa fie observata in spectrul de masa invarianta a perechii top anti-top.

La Tevatron, experientele CDF [13-15] si D0 [16], au cautat rezonante care se dezintegreze in perechea $t\bar{t}$, dar rezultatele au fost negative pana in prezent.

ATLAS si CMS cauta de asemenea, rezonante care sa se dezintegreze intr-o pereche de cuarci top. Folosind datele care s-au achizitionat in cursul anului 2010, ATLAS si CMS au obtinut rezultate preliminare care nu indica prezenta unei rezonante $t\bar{t}$. Este evidenta necesitatea obtinerii de noi date experimentale pentru a da un raspuns privind existenta de noi particule, prezise de modelele teoretice, extensii ale MS, care dezintegreaza in perechi de cuarci $t\bar{t}$.

Referinte

1. Observation of Top Quark Production in p anti-p Collisions with the Collider Detector at Fermilab, CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. 74, 2626 (1995)
2. Observation of the top quark", D0 Collaboration, Phys.Rev.Lett.74:2632-2637, 1995
3. Theoretical status and prospects for top-quark pair production at hadron colliders, S. Moch and P. Uwer, Phys. Rev. D78 (2008) 034003; New results for $t\bar{t}$ production at hadron colliders, U. Langenfeld, S. Moch, and P. Uwer, Proc. XVII Int. Workshop on Deep-Inelastic Scattering and Related Topics dx.doi.org/10.3360/dis.2009.131, arXiv:0907.2527 [hep-ph]
4. T. Affolder et al. (CDF Run I), Phys. Rev. D64 (2001) 032002, erratum-ibid. D67 (2003) 119901; CDF public note 10137 (2010) (Run II); V. M. Abazov et al. (D0 Run I), Phys. Rev. D 67 (2003) 012004; D0 note 6037-CONF (2010) (Run II).
5. Measurement of the top quark-pair production cross section with ATLAS in pp collisions at $\sqrt{s}=7$ TeV, ATLAS Collaboration, EPJC 71 (2011) 1577
6. First Measurement of the Cross Section for Top-Quark Pair Production in Proton-Proton Collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV, CMS Collaboration, Phys. Lett. **B695** (2011)
7. B. W. Harris et al., Phys. Rev. D 66, 054024 (2002); Z. Sullivan, Phys. Rev. D 70, 114012 (2004); J. Campbell, K. Ellis and F. Tramontano, Phys. Rev. D 70, 094012 (2004); N. Kidonakis, Phys. Rev. D 74, 114012 (2006)
8. CDF&D0 Collaborations, Phys. Rev. Lett. 98, 181802 (2007)
9. CDF&D0 Collaborations, LP2007, <http://chep.knu.ac.kr/lp07>; Phys. Rev. Lett. 101, 252001 (2008)

10. CDF & D0 Collaborations, Phys. Rev. Lett. 103, 092002 (2009); Phys. Rev. Lett. 103, 092001 (2009)
- 11 Tevatron EWK, arXiv:0908.2171 (2009)
12. R. Frederix, F. Maltoni, JHEP 0901:047 (2009)
13. CDF Collaboration, Search for resonant $t\bar{t}$ production in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, Phys. Rev. Lett. 100 (2008) 231801, arXiv: 0709.0705 [hep-ex]
14. CDF Collaboration, T. Aaltonen et al., Limits on the production of narrow $t\bar{t}$ resonances in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, Phys. Rev. D77 (2008) 051102, arXiv: 0710.5335 [hep-ex]
15. CDF Collaboration, T. Aaltonen et al., Search for New Color-Octet Vector Particle Decaying to $t\bar{t}$ in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, Phys. Lett. B691 (2010) 183–190, arXiv:0911.3112
16. D0 Collaboration, Search for $t\bar{t}$ resonances in the lepton plus jets final state in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, Phys. Lett. B668 (2008) 98–104, arXiv:0804.3664

I.5 Fizica cuarcului b

Modelul Standard al fizicii particulelor (MS) ofera posibilitatea de a descrie toate masurarile din fizica energiilor inalte in functie de proprietatile si interactiile unui numar mic de particule leptoni si cuarci (repartizati in trei generatii) si a particulelor care intermediaza interactiile dintre acestea. Desi MS a dovedit niste posibilitati de predictie remarcabile, exista inca un numar de probleme nerezolvate, care sugereaza ca exista particule noi sau fenomene noi de fizica (New Physics - NP) care nu au fost inca descoperite.

Una dintre intrebarile la care MS nu ofera un raspuns este originea dezechilibrului dintre materie si antimaterie in Univers. Acest dezechilibru este explicat in mod frecvent prin faptul ca violarea simetriei CP in sectorul particulelor elementare este subestimata de catre MS. In MS modul in care tranzitia intre diferite categorii de cuarci are loc este descris o transformare unitar intre cei trei dubleti de cuarci

$$\begin{pmatrix} d' \\ s' \\ b' \end{pmatrix} = V \begin{pmatrix} d \\ s \\ b \end{pmatrix} \quad (1)$$

Matricea V , numita matricea CKM (Cabbibo, Kobayashi, Maskawa), poate fi parametrizata dupa cum urmeaza:

$$\begin{pmatrix} V_{ud} & V_{us} & V_{ub} \\ V_{cd} & V_{cs} & V_{cb} \\ V_{td} & V_{ts} & V_{tb} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 - \lambda^2/2 & \lambda & A\lambda^3(\rho - i\eta) \\ -\lambda & 1 - \lambda^2/2 & A\lambda^2 \\ A\lambda^3(1 - \rho - i\eta) & -A\lambda^2 & 1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

unde $\lambda = 0.221 \pm 0.002$ si $A = 0.8 \pm 0.1$ iar ρ si η nu sunt masurati inca dar valorile lor sunt constranse de masurari anterioare (vezi Figura 20)[1]. In modelul CKM, in contextul MS, violarea CP este descrisa de catre parametrul η .

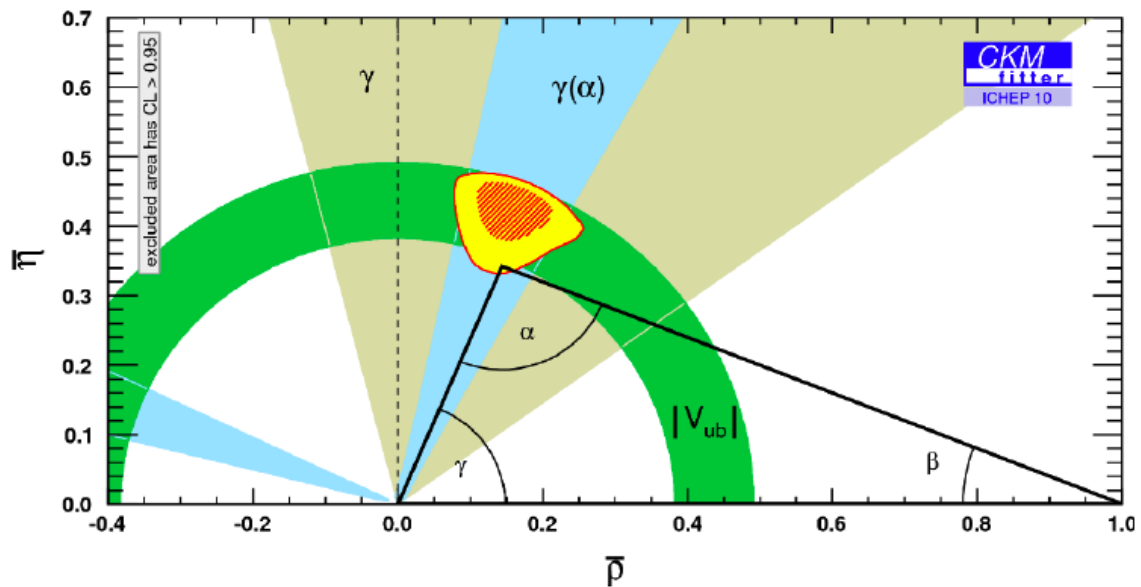


Fig. 20 Triunghiul de unitaritate [1]

Cuarcul b , ca cel mai usor membru al celei de a treia familii de cuarci, se dezintegreaza prin mecanism CKM, dand nastere la cuarci din celelalte generatii. Multe fenomene interesante, cum ar fi oscilatia flavorului, violarea CP si punerea in evidenta a dezintegrarilor care se produc cu diagrame de loop, precum si dezintegrarile rare, pot fi studiate in sectorul cuarcilor b . Nu numai dezintegrarile hadronilor b sunt interesant de studiat, dar si producerea acestora. Interesul pentru acest tip de masurari este justificat de faptul ca nu toti hadronii care au fost prezisi de modelele teoretice au fost descoperiti, iar masurarea sectiunii eficace de productie a cuarcului b este un test foarte interesant al

cromodinamicii cuantice. Masurarea rapoartelor de ramura in care diferite categorii de hadroni b sunt produși reprezintă un test al modelelor de hadronizare.

Pana de curand rezultatele legate de studiul hadronilor care contin un cuarc b au provenit de la asa numitele fabrici de b , Babar la SLAC [2] si Belle at KEK [3], cateva rezultate provenind de asemenea de la coliderele de hadroni, in speta, de la experimentele de la Tevatron CDF[4] si D0[5]. Aceste rezultate, precum si un program de fizica ambitios, care isi propune sa completeze peisajul fizicii cuarcului b , sunt prezentate in detaliu in [6] si [7], aici incercand sa oferim numai o vedere de ansamblu.

In zilele noastre, o data cu inaugurarea LHC –ului, fizica cuarcului b intra intr-o noua era. Experimentele LHC beneficiaza de sectiunea eficace inalta de producere a cuarcului b la 7 TeV, de detectori foarte performanti si de sisteme de trigger complexe, care permit izolarea dezintegrarilor de interes. In particular, experimentul LHCb[8], un experiment dedicat studiului violarii CP si a dezintegrarilor rare in domeniul cuarcilor b , este proiectat in asa fel incat sa exploreze regiunea din spatiul fazelor in care producerea cuarcilor b este abundenta si promite sa ofere rezultate extrem de importante in acest domeniu.

Din punct de vedere stiintific, toate masurarile LHC vor aduce un element de noutate atat datorita faptului ca productia cuarcilor b va fi studiata la o energie de interactie a protonilor neatinsa pana acum cat si datorita numarului mare de hadroni b produși. In particular, esantionul important de hadroni b inregistrati de catre LHCb, va permite nu numai cresterea preciziei masurarilor anterioare, cat si masurari inedite in domeniul dezintegrarilor rare. Cum in perioada de constructie si comisionare a LHC, Belle si Babar au produs deja o serie de rezultate care testeaza mecanismul de producere CKM in MS, iar experimentele de la Tevatron au facut masurari in sectorul Bs, rezultatele obtinute fiind in acord cu MS. In prezent experimentele LHC pun accentul pe cautarea unor fenomene dincolo de MS.

Masurarile deja efectuate, precum si conditia de unitaritate a matricii CKM, constrang valorile permise pentru parametrii asociati. Aceste constrangeri sunt reprezentate grafic in mod traditional prin triunghiuri de unitaritate (vezi Fig. 20).

Particulele asociate fenomenelor noi vor aduce contributii aditionale in procesele de loop asociate tranzitiilor care schimba “flavour-ul” prin curent neutru, asa numitele diagrame “penguin” si “box”. Amplitudinile proceselor care se produc prin acest tip de diagrame vor fi modificate in prezenta noilor particule, care nu sunt prezise de catre modelul standard. Pentru a prezice cu acuratete aceste amplitudini in modelul standard, parametrii matricii CKM trebuie masurati cu precizie, folosind numai procese de tip “tree”. Acestia pot fi foarte putin influentati de existenta particulelor noi (vezi Fig. 20).

O marime de interes este unghiul γ al triunghiului de unitaritate [1], care poate fi masurat atat in diagramele de tip tree prin masurari ale violarii CP in dezintegrarile mesonilor b cu producerea de mezoni charm, cat si in procese care implica diagrame cu loop care pot primi contributii ale fizicii noi, de exemplu, in studiul dezintegrarilor charmless two-body ale mesonilor B.

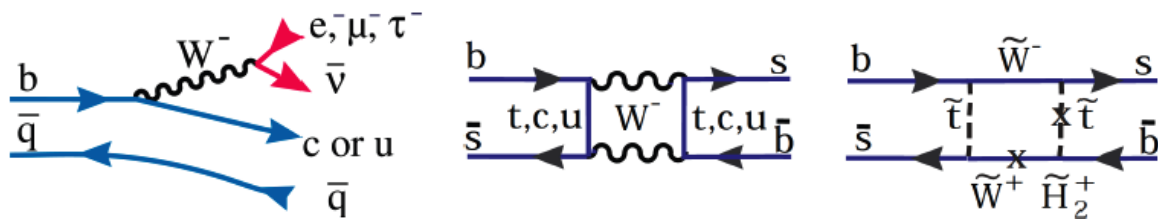


Fig. 21 Exemple de diagrame “tree” (stanga) si “loop”/”box” (dreapta) - Sheldon Stone prezentare recenta

Violarea CP in sistemul mesonilor B_s^0 reprezinta de asemenea un studiu interesant. Experimentele de la Tevatron au oferit deja primele constrangeri pentru violarea paritatii de mixing, in dezintegrarea $B_s \rightarrow J/\psi \phi$. Avand in vedere ca in MS efectul prezis este de 10^{-2} , iar erorile de masurare pre-LHC erau de ordinul 10^{-1} , nu este exclusa o contributie semnificativa data de catre fizica noua.

Valorile absolute ale amplitudinilor de tranzitie sunt in relatie directa cu valorile rapoartelor de ramificare. Unul dintre canalele de dezintegrare care poate primi o contributie importanta de la particulele noi, este $B_s \rightarrow \mu\mu$, unde limitele stabilite pre-LHC de catre experimentele de la Tevatron sunt cu mai mult decat un ordin de marime peste predictiile MS. Prezenta particulelor asociate cu fizica noua in diagramele de loop poate de asemenea schimba structura Lorentz a proceselor respective, fapt care poate fi pus in evidenta prin studiul distributiei unghiulare a starilor finale in dezintegrarea $B \rightarrow K^* \mu\mu$, sau studiul polarizarii fotonului in dezintegrarea $B_S \rightarrow \Phi \gamma$.

Datele inregistrate in 2010 de catre experimentul LHCb, au oferit deja cateva rezultate interesante: masurarea sectiunii eficace de productie a cuarcului b [6], primele observari ale dezintegrarilor $B_s \rightarrow D_{s2}^{*+} X \mu\nu$ si $B_s \rightarrow J/\psi f_0(980)$ [7,8], precum si rezultatele referitoare la dezintegrarile rare $B^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-$ si $B^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-$ [9], comparabile ca acuratete cu limitele existente, stabilite de experimentele de la Tevatron (dupa mai multi ani

de inregistrare de date), ceea ce ar putea confirma speranta in potentialul LHCb pentru rezultate de exceptie in fizica cuarcului b.

Prioritatea perioadei de achizitie de date 2010-2011 a LHCb este de a pune in evidenta efecte de fizica noua care nu au fost eliminate de catre rezultatele anterioare. La masurarea modului de dezintegrare foarte rar $B_s \rightarrow \mu\mu$, mentionat mai sus, adaugandu-se studiul structurii de helicitate in dezintegrarea $B \rightarrow K^*\mu\mu$, si studiul violarii CP in dezintegrarea $B_s \rightarrow J/\psi\phi$, ca masurari care ofera candidati promitatori pentru a descoperi signaturi ale fizicii noi la LHCb.

Un alt subiect de interes abordat de altfel in cadrul grupului din Bucuresti, este studiul barionilor b, domeniu in care LHC si LHCb in special, vor aduce o contributie importanta, avand in vedere ca barionii b nu au putut fi produși la fabricile de b-uri, iar studiile publicate de catre experimentele de la Tevatron sunt bazate pe esantioane de date de dimensiuni reduse. Studiile de spectroscopie vor permite masurarea cu precizie a maselor si timpilor de viata a barionilor b la LHCb, ca si punerea in evidenta a noi stari barionice. Studiul producerii barionilor b va permite, prin studiul sectiunii eficace de producere absolute si relative, verificarea modelelor de producere a hadronilor b la o energie foarte mare si intr-un interval de rapiditate nestudiat anterior.

Pentru o lunga perioada de timp, singurul barion b observat, a fost Λ_b , LEP oferind numai dovezi indirecte pentru existenta barionului Ξ_b . De curand alti barioni b, neobservati anterior, au fost pusi in evidenta la Tevatron: cele patru stari barionice $\Sigma_b^{(*)\pm}$ observate de catre CDF [10]; barionii Ξ_b^{\pm} observati de D0 [11], si CDF [12], care le-au masurat de asemenea si timpul de viata, in mod individual, pentru prima data [13], precum si barionul dublu straniu Ω_b , observat de D0 [14] si CDF [13]. Masele tuturor acestor barioni au fost masurate cu o precizie de cativa MeV/c^2 , si au fost gasite in acord cu predictiile HQET, singura nota discordanta fiind in cazul Ω_b , unde cele doua masurari nu sunt in acord.

LHCb poate oferi o masurare mai exacta a timpului de viata a barionilor b si o masurare a sectiunilor eficace de producere a barionilor b, nu numai la energii mai mari decat cele de la Tevatron, dar si intr-o regiune unica a spatiului fazelor. Exista un interes teoretic la ora actuala pentru masurarea timpului de viata al barionilor b si a rapoartelor de ramura dintre acestea, avand in vedere ca masurarile de timpi de viata reprezinta un ingredient principal pentru determinarea valorilor elementelor matricii CKM. Cel mai recent rezultat pentru timpul de viata al Λ_b a fost publicat de catre CDF, care a folosit un model de dezintegrare exclusiv $J/\psi\Lambda$ [15], obtinand o valoare de $1.537 \pm 0.045 \pm 0.014$ ps. Aceasta valoare este cu 3

σ mai mare decat valoarea medie din PDG, calculata pornind de la rezultatul CDF, care foloseste modul de dezintegrare $\Lambda_c \pi$ [16], masurarile D0 pentru modul de dezintegrare semileptonic [17], modul $J/\psi \Lambda$ [18], precum si rezultatele mai vechi obtinute de CDF (Run I) si LEP. In consecinta, o masurare mai precisa a timpului de viata Λ_b , oferita de catre LHCb, va fi foarte bine venita. Estimari preliminare arata ca, utilizand datele pe care LHCb se astepta sa le inregistreze si sa le analizeze pana la conferintele din vara 2011, se va reusi sa se depaseasca precizia obtinuta de catre experimentele de la Tevatron.

Au fost inregistrate progrese in ultimele luni si in studiul altui subiect de interes in acest domeniu, anume studiul dezintegrarilor radiative ale mezonilor b, in care grupul din Bucuresti este deasemenea implicat. In particular, factorul de ramificare al canalului $B_d \rightarrow K^* \gamma$, fiind cunoscut cu precizie din masurari anterioare, poate fi folosit pentru calibrarea calorimetrului si ca un canal de control pentru studiul altor dezintegrari radiative. De asemenea, studiul canalului $B_d \rightarrow K^* \gamma$ este interesant in sine pentru studiul violarii CP directe. In $B_d \rightarrow K^* \gamma$ predictia pentru asimetria CP este mai mica de 1% in cadrul MS, pe cand modelele care includ fenomene noi prezic asimetrii CP mult mai mari, si ele pot constitui un test important al MS.

Polarizarea fotonului a fost investigata in tranzitiile $b \rightarrow s \gamma$ de catre Belle si BABAR in dezintegrari radiative de tipul $B^0 \rightarrow (K^{*0} \rightarrow K_S^0 \pi^0) \gamma$, $B^0 \rightarrow K_S^0 \pi^0 \gamma$, $B^0 \rightarrow \eta K^0 \gamma$, $B^0 \rightarrow K_S^0 \rho^0 \gamma$ si $B^0 \rightarrow \rho^0 \gamma$. LHCb se asteapta sa reconstruiasca si sa selecteze cateva zeci de mii de dezintegrari $B_d \rightarrow K^* \gamma$ si $B_S \rightarrow \Phi \gamma$ pentru o luminozitate integrata de 2 fb^{-1} . Aceste masurari vor pregati terenul pentru alte masurari, care necesita o cantitate mai mare de date: factorul de ramificare al $B_d \rightarrow K^* \gamma$ si $B_S \rightarrow \Phi \gamma$, polarizarea fotonului in dezintegrarea $B^+ \rightarrow \Phi K^+ \gamma$, si studiul dezintegrarilor radiative ale barionilor, $\Lambda_b \rightarrow \Lambda(\pi p) \gamma$ si $\Lambda_b \rightarrow \Lambda^*(p K) \gamma$.

Ne asteapta o perioada foarte interesanta in uratorii doi ani. Competitia este inca stransa cu experimentele pre-LHC, care continua sa analizeze datele acumulate. Multe analize se desfasoara in domeniul fizicii cuarcilor b, folosind datele inregistrate de catre experimentele de la LHC. La conferinta Beauty 2011 [19] in Amsterdam, au fost prezentate rezultate ale studiilor de productie a cuarcilor b si ale dezintegrarii $B_s \rightarrow J/\psi \phi$ de la trei experimente LHC - ATLAS [20], CMS [21] si LHCb - in paralel cu studii ale dezintegrarilor rare. Aceasta a reprezentat o avanpremiera a rezultatelor fizicii cuarcului b la LHC si se asteapta cu nerabdare rezultate noi in acest domeniu.

Referinte

- [1] CKM fitter page <http://ckmfitter.in2p3.fr>
- [2] Bernard Aubert et al; BABAR Collaboration; NIM .A479:1-116,2002
- [3] A.Abashian et al., Belle Collaboration, NIM A479,117 (2002)
- [4] F. Abe et al, CDF Collaboration, NIM.A271:387-403,1988 (a se vedea si publicatiile legate de design-ul detectorului in Run 2)
- [5] S Abachi et al; D0 Collaboration, NIM, A338, 185 (1994).
- [6] The Review of Particle Physics, K. Nakamura *et al.* (Particle Data Group), J. Phys. G 37, 075021 (2010)
- [7] "Roadmap for selected key measurements of LHCb", The LHCb Collaboration, e-Print: arXiv:0912.4179
- [8] LHCb Collaboration, JINST 3:S08005,2008
- [6] R. Aaij, et al LHCb Collab, Phys. Lett. B, 694 Issue: 3; 209-216; 2010
- [7] R. Aaij et al LHCb Collab. Phys. Lett. B; Physics Letters B; 698; Issue: 1; 14-20; 2011
- [8] R. Aaij, et al LHCb Collab, Phys. Lett. B; 698; Issue: 2; 115-122; 2011
- [9] R. Aaij, et al LHCb Collab, Search for the rare decays $B_s \rightarrow \mu\mu$ and $B_d \rightarrow \mu\mu$; CERN-PH-EP-2011-029; 2011; arXiv:1103.2465 [hep-ex]
- [10] T. Aaltonen et al. (CDF Collab.), Phys. Rev. Lett. 99, 202001 (2007)
- [11] V.M. Abazov et al. (D0 Collab.), Phys. Rev. Lett. 99, 052001 (2007)
- [12] T. Aaltonen et al. (CDF Collab.), Phys. Rev. Lett. 99, 052002 (2007)
- [13] T. Aaltonen et al. [CDF Collaboration], Phys. Rev. D 80, 072003 (2009)
- [14] V. M. Abazov et al. [D0 Collaboration], Phys. Rev. Lett. 101, 232002 (2008)
- [15] CDF collaboration, CDF note 10071, 23 February 2010, <http://www-cdf.fnal.gov/physics/new/bottom/091217.blessed-JpsiX4.3/jpsix.html>
- [16] T. Aaltonen et al. (CDF Collab.), Phys. Rev. Lett. 104,102002 (2010)
- [17] V.M. Abazov et al. (D0 Collab.), Phys. Rev. Lett. 99, 182001 (2007)
- [18] V.M. Abazov et al. (D0 Collab.), Phys. Rev. Lett. 99, 142001 (2007)
- [19] <http://www.beauty2011.nikhef.nl/program.html>
- [20] The ATLAS Collaboration, G Aad et al, JINST 3 S08003, 2008
- [21] The CMS Collaboration, S Chatrchyan et al, JINST 3 S08004, 2008

I.6 Studiul proceselor exotice

Exista o varietate larga de semnale de fizica noua care introduc idei noi. Un exemplu tipic il reprezinta modelele tehnicolor care inlocuiesc bozonii Higgs cu condensati dinamici.

In general, semnale de fizica noua precum existenta cuarcilor excitati, a leptocuarilor, a interactiilor de contact, nu sunt previziuni ale unui model anumit, dar independent de existenta sau inexistenta unui model teoretic care prevede semnalul propus de fizica noua, verificarea experimentală a acestor semnale in noul teritoriu energetic deschis de LHC prezinta un interes deosebit.

I.6.1 Producerea de particule cu masa mare ce dezintegreaza in dijeturi

Evenimentele dijet ce apar in ciocnirile proton-proton la energii mari sunt bine descrise in MS cu ajutorul cromodinamicii cuantice (QCD). Mai multe modele, extensii ale MS, prezic existenta de noi particule grele, a caror masa este accesibila la energiile de la LHC si care au tendinta de a se dezintegra in doi partoni cu energie mare. Astfel de stari includ un cuarc excitat compus, q^* , care ar putea exemplifica o substructura a cuarcilor, un axigluon prezis de modelele chirale cu culoare, un graviton prezis de teorii cu dimensiuni extra largi, un graviton G^* prezis de modelul Randall-Sundrum, etc. Variabila cea mai sensibila la producerea de astfel de obiecte noi, este masa invarianta a dijetului, m^{ij} .

Colaborarea ATLAS a cautat noi particule grele ce se manifesta prin rezonante inguste in stari finale cu doua jeturi. In lucrarea [1] a fost testata existenta unui cuarc excitat, q^* , aceasta fiind exclusa cu un nivel de incredere de 95%, pentru un interval de masa $0.30 < m_{q^*} < 1.26$ TeV.

O alta analiza a fost dedicate detectarii interactiilor de contact ale cuarcilor. Datele folosite in analiza au avut o luminozitate integrate de 3.1 pb^{-1} . Au fost masurate distributiile unghiulare ale dijeturilor si rapoartele de centralitate pana la mase ale dijeturilor de 2.8 TeV, gasindu-se o concordant buna cu MS. Analiza distributiilor unghiulare exclude orice interactie de contact cu o scala de compozitie, Λ , mai mica de 3.4 TeV, cu un nivel de incredere de 95% [2]. In lucrarea [3] analiza efectuata privind producerea de dijeturi s-a bazat pe o luminozitate integrate mult mai mare decat in [1] si [2] si rezultatele obtinute include limite mult mai mari. Astfel, este exclusa existent unui cuarc excitat intr-un interval de masa intre 0.6 si 2.64 TeV aceste rezultate au fost imbunatatite, precum si existent unui axigluon cu

masa intre 0.6 si 2.1 TeV. De asemenea, pentru scala de “compositeness”, este data o noua limita, mult mai mare ($\Lambda > 9.5$ TeV).

I.6.2 Producerea de perechi de fotoni (difotoni)

In MS producerea in ciocnirile proton-proton de difotoni in evenimentele cu valori mari ale energiei transversale lipsa este datorata proceselor $W/Z + \gamma\gamma$. Luand in considerare rapoartele de ramura ale dezintegrarilor W/Z in canale care contin cel putin un neutrino in starea finala, sectiunile eficace sunt de ordinul femtobarnilor pentru ciocnirile la 7 TeV. Exista totusi modele de fizica noua ce prezic rate mai mari pentru $\gamma\gamma + E_T^{\text{miss}}$. Rezultatele sunt interpretate in contextul unui model universal cu o extra dimensiune, (UED), [4]. Aceste modele postuleaza existenta unor dimensiuni spatiale aditionale in care particulele SM se pot propaga, conducand la o serie de excitatii de tip “tower” Kaluza-Klein (KK) pentru fiecare particula SM. In cazul unei singure extra-dimensiuni spatiale varietatea poate fi compactificata cu o raza R , iar masele starilor corespunzatoare nivelelor succesive din respectivul turn sunt separate prin $\sim 1/R$. Pentru un nivel KK dat, degenerarea aproximativa a maselor excitatiilor KK este rupta de corectiile radiative. Cea mai usoara particula KK, (LKP), este fotonul primului nivel, notat cu γ^* .

Daca modelul UED este scufundat intr-un spatiu cu N dimensiuni accesibil numai gravitatiei, LKP se poate dezintegra gravitacional via $\gamma^* \rightarrow \gamma + G$. Starea finala va fi $\gamma\gamma + E_T^{\text{miss}} + X$, unde E_T^{miss} rezulta din gravitonii care scapa, iar X reprezinta particule SM emise din dezintegrarile in cascada. Pana acum nu s-au observat astfel de evenimente in exces fata de fondul dat de previziunile MS.

I.6.3 Producerea de perechi de leptocuarci

Desi MS da o descriere foarte buna a particulelor elementare si a interactiilor lor, el nu da o explicatie pentru simetria perfecta dintre cuarci (q) si leptoni (l). Acest lucru a motivat formularea unor teorii, dincolo de MS, care propun existenta leptocuarilor (LQ), particule care au numere cuantice atat leptonice, cat si barionice. Aceste particule cupleaza atat cu cuarcii, cat si cu leptonii, si poarta sarcina triplet, de culoare, a QCD. Aceste teorii ce prezic leptocuarci includ modele care contin o substructura atat pentru cuarc, cat si pentru lepton, teorii care cauta unificarea tuturor fortelor si modele extensii tehnicolor.

Valorile mari pentru sectiunile de productie a leptocuarilor in ciocnirile proton-proton au condus la presupunerea ca pe baza primelor date obtinute la LHC s-ar putea observa un semnal care sa indice existenta acestor leptocuarci.

Leptocuarzii scalari pot fi produși în perechi leptocuarc-antileptocuarc ($LQ\overline{LQ}$), dar și singuri. Perechile ($LQ\overline{LQ}$) au însă o dependență slabă față de model, iar singurul parametru relevant pentru producerea unui scalar LQ este masa leptocuarcului M_{LQ} . Leptocuarzii sunt căutați în evenimente cu doi muoni sau electroni cu sarcini opuse și cu cel puțin două jeturi, sau în evenimente cu un muon sau electron, impuls transversal lipsă, și cel puțin două jeturi. Pe baza datelor experimentale pentru o luminozitate integrată de 35 pb^{-1} , producerea de leptocuarci este exclusă la un nivel de încredere de 95% pentru mase $M_{LQ} < 376 \text{ GeV}$ și respectiv $M_{LQ} < 422 \text{ GeV}$ (pentru prima și a doua generație de leptocuarci scalari) [5].

I.6.4 Interacții de contact cu perechi de muoni în starea finală

Fenomene dincolo de MS, precum cele prezise de modelul ADD, privind existența unor extra dimensiuni spațiale [6], sau existența unei substructuri a cuarcilor și leptonilor, pot fi descrise la energii joase prin interacții de contact (CI). Căutarea de interacții de contact a fost efectuată folosind evenimente dimuon achiziționate cu detectorul ATLAS. Luminozitatea integrată utilizată a fost de 42 pb^{-1} . Nu s-au observat devieri față de previziunile MS în spectrul de masă efectivă al perechii de muoni și s-au obținut următoarele limite privind scala de energie a interacțiilor de contact: $\Lambda > 4.9 \text{ TeV}$ și $\Lambda > 4.5 \text{ TeV}$ pentru interferența constructivă și respectiv distructivă [8]. Limitele obținute au însă valori mai mici decât cele observate în producerea de dijeturi [3].

I.6.5 Producerea de rezonante dileptonice

Producerea în ciocnirile proton-proton la 7 TeV de rezonante cu mase mari, care dezintegrează în e^+e^- sau $\mu^+\mu^-$, a fost studiată de colaborarea ATLAS în lucrarea [9]. Datele experimentale au fost corespunzătoare unei luminozități integrate de 40 pb^{-1} . Obiectivul principal l-a constituit punerea în evidență unui bozon gauge neutru greu, Z' , prezis de MS Sequential (SSM) [7], în care bozonul Z' are aceleași cuplaje cu fermionii ca bozonul Z . S-a considerat că rezonantele au o largime intrinsecă mică, comparabilă cu largimea bozonului Z' , prezisă de SSM. Nu s-a observat nici un exces de evenimente, cu semnificație statistică suficientă, față de previziunile MS, în regiunea masei invariante a dileptonilor mai mare de 110 GeV . A fost determinată o limită superioară (cu nivel de încredere de 95%) pentru secțiunea eficace înmulțită cu raportul de ramură al dezintegrării rezonantei Z' în dileptoni ($\sigma B(Z' \rightarrow l^+l^-)$) și o limită a masei lui Z'_{SSM} , egală cu 1.048 TeV [9].

I.6.6 Producerea de particule cu masa mare cu un lepton

In lucrarea [10], colaborarea ATLAS a continuat cautarea de bozoni gauge grei, dar de acesta data fiind vorba de bozoni gauge grei incarcati (W' , W^*), ce s-ar putea dezintegra intr-un lepton, electron ori muon, si un neutrino. In modelul SSM e data o limita inferioara pentru masa lui W' . Se presupune ca el are acelasi cuplaj cu fermionii ca W din MS. Prezinta interes partenerul incarat al bozonilor chirali notat cu W^* . Din cauza cuplajului magnetic al lui W^* , se asteapta ca distributiile masurate sa fie diferite de cele ale bozonului W' . Rezultatele obtinute, bazate pe o luminozitate integrata de 36 pb^{-1} , au aratat ca nu exista un exces fata de previziunile MS si concluzia studiului efectuat a fost excluderea (cu o limita de incredere de 95%) existentei unui bozon W' cu cuplaje date de modelul SSM, cu mase mai mici de 1.49 TeV, iar W^* este exclus pentru mase mai mici decat 1.35 TeV [10].

Asemantor se cauta particule ionizate masive (HIP) cu timp de viata mare, cu sarcina electrica $|q| \gg e$, unde e este sarcina electrica elementara. Exemple de astfel de particule ar putea proveni din Q-balls, [11], din ramasite stabile de micro gauri negre, din monopoli magnetici, sau dyoni. Nu s-au detectat particule cu sarcini electrice in intervalul $6e < |q| < 17e$ si cu mase in intervalul $200 \text{ GeV} < m < 1000 \text{ GeV}$ [12].

Referinte

- 1 G. Aad et al, (ATLAS Collaboration), Search for New Particles in Two-Jet Final States in 7 TeV Proton-Proton Collisions with the ATLAS Detector at the LHC, *Phy.Rev.Lett*, **105** 161801 (2010)
- 2 G. Aad et al, (ATLAS Collaboration), Search for quark contact interactions in dijet angular distributions in pp collisions at $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$ measured with the ATLAS detector, *Phys.Lett.* **B694** 327-345 (2010)
- 3 G. Aad et al, (ATLAS Collaboration), Search for New Physics in Dijet Mass and Angular Distributions in pp Collisions at $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$ Measured with the ATLAS Detector, arXiv:1103.3864, acceptata la *New J. Physics*
- 41 G. Aad et al, (ATLAS Collaboration), Search for Diphton Events with Large Missing Transverse Energy in 7 TeV Proton-Proton Collisions with the ATLAS Detector, *Phy.Rev.Lett*, **106**, 121803 (2011)
- 5 G. Aad et al, (ATLAS Collaboration), Search for pair production of the first or second generation leptoquarks in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$ using the ATLAS detector at the LHC, arXiv:1104.4481v1

- 6 N. Arkani-Hamed, S Dimopoulos, and G. Dvali, The hierarchy problem and new dimensions at a mili millimeter, Phys.Lett. B **429**, 263 (1998)
- 7 P. Langacker, Rev. Mod. Phys. 81, 1199 (2009)
- 8 G. Aad et al, (ATLAS Collaboration), Search for Contact Interactions in Dimuon Events from pp Collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS Detector, arXiv:1104.4398v1
- 9 G. Aad et al, (ATLAS Collaboration), Search for high mass dilepton resonances in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS experiment, arXiv:1103.6281v1
- 10 G. Aad et al, (ATLAS Collaboration), Search for high-mass states with one lepton plus missing transverse momentum in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector, arXiv:1103.1391v2
- 11 A. Kusenko, and M.E. Shaposhnikov, Supersymmetric Q-balls as dark matter, Phys.Lett. B **418**, 46 (1998)
- 12 G. Aad et al, (ATLAS Collaboration), Search for massive long-lived highly ionizing particles with the ATLAS detector at the LHC, Phys.Lett. B **698**, 353 (2011)

II. Studiul interacțiilor tari la energii joase

II.1 Interacția $\bar{K}N$ la energie joasă la acceleratorul DAΦNE de la INFN-LNF

Din punct de vedere experimental, interacția $\bar{K}N$ a fost investigată în mai multe tipuri de experimente: împrăștiere K^-p la energie joasă, măsurarea probabilității de absorbție din repaus a kaonului în camerele cu bule și măsurarea energiei razelor X emise de atomul exotic hidrogen-kaonic.

În anii 70 și 80, la CERN și Laboratorul Rutherford, au avut loc trei măsurători ale razelor X provenite de la hidrogenul-kaonic [1,2,3] folosindu-se ținte cu hidrogen lichid, Si(Li) ca detector de raze X, iar rezultatele publicate au fost marcate de un fond mare și statistică mică. În afară de calitatea redusă a datelor, rezultatul comun, al primelor trei experimente, era faptul că semnul deplasării și, în consecință, partea reală a lungimii de împrăștiere K^-p era pozitivă, implicând o interacție tare de tip atractiv. Acest rezultat era în flagrantă contradicție cu rezultatele din analizele altor date la energii joase (secțiunile K^-p pentru procesele elastice și inelastice, probabilitățile de absorbție K^-p în repaus), extrapolate la prag sau sub prag, indicând o parte reală negativă a lungimii de împrăștiere și, în consecință, o interacție tare repulsivă.

Această discrepanță între măsurătorile de raze X și alte date la energie joasă, a fost denumită „puzzle-ul hidrogenului-kaonic”. Acest „puzzle” a generat 15 ani de preocupări teoretice cu scopul de a reconcilia cele două eșantioane de date.

A patra măsurătoare [4] efectuată la KEK a furnizat, în premieră, un spectru plauzibil de raze X și o deplasare energetică negativă, care este consistentă cu analizele celorlalte date la energie joasă. Totuși, deși experimentul KpX de la KEK a reușit să publice primul peak, cu o statistică convingătoare, al tranziției K_α în hidrogenul-kaonic, precizia în determinarea poziției și a lățimii peak-ului nu a permis calculul cu o precizie acceptabilă a lungimii de împrăștiere a_{K^-p} .

În anul 1995 s-a format colaborarea internațională DEAR (**DAΦNE Exotic Atom Research**), colaborare care și propunea producerea și investigarea atomilor exotici de tipul kaon-nucleon în vederea realizării unei măsurii de precizie a deplasării și lățimii liniei K_α , datorită interacției tari, în hidrogenul-kaonic, și, o măsură similară – în premieră mondială – pentru deuteriul-kaonic.

Acceleratorul DAΦNE de la INFN-LNF este unic în lume datorită calității „fasciculului” de kaoni (proveniți din dezintegrarea mezonilor $\Phi(1020)$ produși în ciocnirile e^+e^-) și anume puritatea (necontaminarea cu alți hadroni), energie joasă (aproximativ 16 MeV) și monoenergeticitate ($\Delta p/p \sim 0.1\%$). Aceste caracteristici permit stoparea kaonilor pe o distanță scurtă într-o țintă gazoasă de dimensiuni reduse, astfel cu un număr mic de detectori de raze X se poate acoperi un unghi solid mare în jurul punctului de stopare al kaonilor.

În anul 2002 colaborarea DEAR a realizat prima măsură [5] a hidrogenului-kaonic la acceleratorul DAΦNE. Rezultatele DEAR confirmă valorile publicate de experimentul KpX de la KEK dar trebuie subliniat că există diferențe majore între ele:

- 1) erorile publicate de DEAR sunt de două ori mai mici;
- 2) valorile absolute ale ε_{1s} și Γ_{1s} sunt cu 40% mai mici ceea ce indică o interacție tare „mai puțin repulsivă”;
- 3) DEAR a identificat alte două linii din seria K - liniile K_β și K_γ .

Calitatea rezultatelor publicate de experimentul DEAR și interesul manifestat de comunitatea științifică internațională din domeniul fizicii hadronilor privind interacția $\bar{K}N$ la energie joasă, a dus la formarea colaborării internaționale SIDDHARTA (**S**ilicon **D**rift **D**etectors for **H**adronic **A**tom **R**esearch by **T**iming **A**pplication), colaborare care și-a propus să îmbunătățească precizia de măsură a tranzițiilor kaonilor negativi pe nivelul $1s$ în hidrogenul-kaonic și să producă, pentru prima oară, atomi exotici de tip deuteriu kaonic.

Deoarece principala problemă a experimentului DEAR în cazul măsurii hidrogenului kaonic a fost raportul semnal/zgomot foarte mic, experimentul SIDDHARTA a fost „obligat” să vină cu alternativa realizării unui nou aranjament experimental, bazat pe un detector de raze X care să posede toate calitățile bune ale CCD (rezoluție energetică, stabilitate și linearitate) și în plus să posede un timp de răspund de ordinul microsecundelor. Singurii detectori disponibili care puteau satisface cerințele amintite mai sus și să fie rentabili din punct de vedere economic sunt detectorii SDD (**S**ilicon **D**rift **D**etectors) cu suprafață activă mare.

Folosind detectori de tip SDD și un aranjament experimental nou – conceptual identic cu cel al DEAR dar cu multe îmbunătățiri având ca scop reducerea zgomotului prin corelarea cu producția de kaoni și ecranaj precum și optimizarea distribuției de stopare a kaonilor în ținta – colaborarea SIDDHARTA a reușit să măsoare și să îmbunătățească precizia de măsură a tranzițiilor X pentru atomi kaonici de tip heliu-kaonic [6,7] și hidrogen-kaonic [8].

Deoarece, in ciuda efortului tehnic, material si intelectual masura producerii deuteriului kaonic nu a fost reusita, la sfarsitul anului 2010 colaborarea SIDDHARTA a propus consiliului stiintific LNF continuarea programului stiintific de studiu al atomilor exotici la DAΦNE, sub numele de SIDDHARTA-2, ca prima prioritate fiind masura deuteriului kaonic.

Inca din anul 1995 si pana in prezent (2011) contributia IFIN-HH in cadrul colaborarilor internationale DEAR si SIDDHARTA a fost extrem de variata si in acelasi timp cruciala pentru desfasurarea celor doua experimente. Grupul roman a fost responsabil cu:

- calcule de captură și cascadă în atomi exotici de tip hidrogen-kaon ;
- proiectarea, construcția și exploatarea monitorului de kaoni al experimentului DEAR;
- proiectarea, construcția și exploatarea sistemului de monitorizare și control “lent” al experimentului DEAR;
- realizarea programului de preanaliză a „imagineilor” detectorilor CCD folositi de experimentul DEAR, și apoi VIP, pentru detecția de raze X;
- proiectarea inițială a sistemului de monitorizare și control “lent” al experimentului SIDDHARTA;
- participare la proiectarea și realizarea sistemului de alimentare cu tensiune înaltă și joasă a detectorilor SDD și electronicii de interfață a experimentului SIDDHARTA.
- proiectarea, construcția și exploatarea detectorului de kaoni al experimentului SIDDHARTA;
- preanaliza datelor experimentale in DEAR si analiza datelor pentru heliul-kaonic in SIDDHARTA.

Contributia grupului roman s-a materializat intr-un numar important de publicatii si comunicari stiintifice. Totodata patru membri ai grupului roman au castigat prin concurs burse post-doc la INFN-LNF, au fost obtinute doua titluri de doctor in fizica cu tematica din experimentele DEAR si SIDDHARTA si sunt in curs de pregatire alte doua teze.

Infrastructura de cercetare din cadrul DPETI - IFIN-HH permite caracterizarea in situ a majoritatii detectorilor din siliciu folositi pentru spectroscopie sau ca detectori de pozitie, constructia de prototipuri pentru electronica de interfata, dezvoltarea (si testarea) de soft pentru achizitie de date, monitorizare si analiza date.

Pe termen scurt (2012-2014) colaborarea SIDDHARTA-2 isi propune masurarea tranzitiilor, cu emisie de raze X, pe nivelul 1s in deuteriul kaonic la acceleratorul DAΦNE de la INFN-LNF precum si tranzitiile pe nivelul 1s in atomi exotici kaonici He3 si He4.

Obiectivele propuse sunt extrem de ambitioase iar realizarea oricaruia ar reprezinta o premiera in fizica KN la energie joasă.

Referinte

1. J.D. Davies et al., Phys. Lett. B 83, 55 (1979)
2. M. Izycki et al., Z. Phys. A 297, 11 (1980)
3. P.M. Bird, A.S. Clough and K.R. Parker, Nucl. Phys. A 404, 482 (1983)
4. M. Iwasaki et al., Phys. Rev. Lett. 78, 3067–3069 (1997)
5. G. Beer et al., Phys. Rev. Lett. 94, 212302 (2005)
6. M. Bazzi, G. Beer et al., Phys. Lett. B 681, 310–314 (2009)
7. M. Bazzi, G. Beer et al., Phys. Lett. B 697, 199-202 (2011)
8. M. Bazzi, G. Beer et al., trimisa pentru evaluare la Phys. Lett. B in 2011

II.2 Experimentul DIRAC (Dimeson Relativistic Atom Complex)

Scopul experimentului DIRAC [1] este de a verifica unele prevederi de Chromodinamica Cuantica (QCD) neperturbativa cu ajutorul atomilor hadronici, pentru elucidarea in particular, a naturii vacuumului QCD. Pana acum, testarea QCD s-a facut doar pe domeniul perturbativ, al proceselor cu transfer mare de moment. Acestea au condus la evidentierea structurii de quarci a particulelor elementare. In schimb, nu avem inca un raspuns adecvat pentru dinamica interactiei dintre quarci (interactiei tari), ce are loc si se manifesta pe distante relativ mari ($\Delta r > 10 fm$) in procese cu transfer mic de moment. Pana acum, colaborarea DIRAC a masurat timpul de viata al atomilor hadronici $\pi^+\pi^-$ si a pus in evidenta existenta atomilor πK . In continuare se vor extinde aceste lucrari, urmarind:

- Masurarea lungimilor de imprastiere $\pi^+\pi^-$ in unda s , a_0 si a_2 pentru isospin $I=0$ si $I=2$, cu precizie de 2.5% (pana in prezent, prevederile teoretice pentru lungimile de imprastiere $\pi^+\pi^-$ in unda s , a_0 , a_2 si a_0-a_2 se cunosc cu precizie de 1.5-2.5%, dar calculele teoretice vor duce la precizii mai bune pentru lungimile de imprastiere $\pi^+\pi^-$, iar DIRAC va masura $|a_0-a_2|$ cu o precizie de cca 2.5%);
- Masurarea timpului de viata a atomului πK ;
- Masurarea lungimilor de imprastiere πK in unda s , $a_{1/2}$ si $a_{3/2}$ pentru isospin $I=1/2$ si $I=3/2$, cu precizie de 10%,(precizia teoretica actuala privind lungimile de imprastiere πK in unda s este de cca. 10%, dar experimental nu exista rezultate ale masurarii directe a deplasarii de faza in imprastierea πK si nici a lungimilor de imprastiere πK , iar datele

experimentale DIRAC vor permite determinarea timpului de viata a atomului πK si o prima evaluare a combinatiei de lungimi de imprastiere $|a_{1/2}-a_{3/2}|$);

- Observarea starilor $\pi^+\pi^-$ de viata lunga si masurarea deplasarii Lamb ΔE_{2s-2p} ;
- Cautarea si observarea atomilor K^+K^- si masurarea timpului lor de viata;
- Cautarea si observarea atomilor $\pi\mu$ si masurarea deplasarii Lamb pentru acesti atomi.

Grupul roman, membru fondator al colaborarii DIRAC, a fost implicat in lucrarile de proiectare, constructie si utilizare a spectrometrului magnetic cu doua brate DIRAC. Participarea si responsabilitatea directa a grupului roman este legata de implementarea unei metodologii de selectare de particule si de rejectare a celor de fond, prin utilizarea unui detector de preshower (PSh) [2]. Conform MoU, grupul roman este implicat in toate etapele proiectului (este responsabil de detectorul PSh, care urmareste separarea hadron/electron, cu o inalta eficienta de rejectie electroni, in special pe domeniul de spatiu fazelor ocupat de kaoni).

In prezent, in cadrul colaborarii DIRAC se fac achizitii si prelucrari de date experimentale pentru masurarea timpului de viata a atomilor hadronici $\pi^+\pi^-$, π^+K^- si π^-K^+ . Pe baza acestor determinari se vor evalua combinatiile de lungimi de imprastiere in unda s $|a_0 - a_2|$ pentru $\pi^+\pi^-$ si $|a_{1/2} - a_{3/2}|$ pentru πK .

In perspectiva, noile date experimentale asupra timpilor de viata ai atomilor $\pi^+\pi^-$ si πK se vor utiliza pentru evaluarea combinatiilor de lungimi de imprastiere in unda s $|a_0-a_2|$ si $|a_{1/2}-a_{3/2}|$. Masurarea lungimilor de imprastiere $\pi^+\pi^-$ va permite stabilirea mecanismului de rupere a simetriei chirale $SU(2)_L \times SU(2)_R$ a QCD (cu quarci u si d), iar masurarea lungimilor de imprastiere πK va permite testarea ruperii simetriei chirale $SU(3)_L \times SU(3)_R$ a QCD (quarci u , d , s). Datele experimentale asupra deplasarii Lamb ΔE_{2s-2p} pentru starile legate $\pi^+\pi^-$ de viata lunga, vor permite obtinerea pe cale independenta de model, valoarea combinatiei $2a_0+a_2$ dintre lungimile de imprastiere $\pi^+\pi^-$ in unda s . Aceasta, impreuna cu valoarea combinatiei $|a_0-a_2|$, determinata din masurarea timpului de viata a atomului $\pi^+\pi^-$, va permite obtinerea in final a valorilor individuale a lungimilor de imprastiere $\pi^+\pi^-$ isoscalara a_0 si isotensoriala a_2 .

Evaluarea contributiei Coulomb la producerea de perechi $\pi\mu$, si determinarea numarului de atomi $\pi\mu$ obtinuti va permite luarea unei decizii in posibila lor observare si masurare. Metoda de detectie va trebui modificata prin includerea unui magnet de deflectie a particulelor secundare incarcate, crescand astfel intensitatea fasciculului de protoni incidenti

pentru a asigura o statistica acceptabila. In final se urmareste masurarea deplasarii Lamb in atomul $\pi\mu$, direct legata de raza electromagnetica a pionului incarcat.

Noile posibilitati de observare a starilor atomice $\pi^+\pi^-$ de viata lunga si a deplasarii Lamb ΔE_{2s-2p} in acesti atomi, vor fi folosite abia dupa mutarea instalatiei DIRAC la un canal de protoni de 450 GeV/c de la SPS. Evaluările s-au facut prin simulări cu programul FRITIOF6, prin care se obtin spectrele de mezoni π si K din domeniul dinamic al instalatiei DIRAC. La o intensitate egala de particule secundare pe detectorii upstream, numarul de atomi $\pi^+\pi^-$ detectati va fi de cca. 15 ori mai mare decat cel de la 24 GeV/c, in timp ce numarul de atomi $K^+\pi^-$ va fi de 25 ori mai mare, iar numarul de atomi $K^-\pi^+$ va fi de 32 ori mai mare. Cresterea randamentului de producere de atomi hadronici va permite obtinerea simultana atat a combinatiei $|a_0-a_2|$ cu o precizie de 1.5%, cat si a combinatiei $|a_{1/2}-a_{3/2}|$ cu precizia de 2.5% (achizitie de date de 12 luni). Pentru masurarea deplasarii Lamb in atomii $\pi^+\pi^-$ cu o precizie de 2.5%, ar fi necesara o achizitie suplimentara de 12 luni, cand se va putea masura si deplasarea Lamb in atomul πK . Daca se trece de la PS la SPS la doar 50 GeV/c, va exista totusi o crestere semnificativa a producerii de atomi dimeson. Evaluarea statisticii necesare precum si a preciziei de masura este in stadiu de elaborare.

Referinte

1. <http://cern.ch/dirac/>
2. Preshower detector for pi+ pi- hadronic atom studies - M. Pentia, C. Ciocarlan, S. Constantinescu, M. Gugiu, G. Caragheorgheopol, Nucl.Instrum.Meth.A603:309-318,2009
3. Evidence for pi K atoms with DIRAC - B. Adeva *et al.* - Phys.Lett.B674:11-16,2009.
4. The C-4_F-10 Cherenkov detector for DIRAC-II - S. Horikawa, Y. Allkofer, Claude Amsler, V. Brekhovskikh, A. Kuptsov, M. Pentia, M. Zhabitsky - Nucl.Instrum.Meth.A595:212-215,2008.
5. First measurement of the pi+ pi- atom lifetime - DIRAC Collaboration (B. Adeva *et al.*) - Phys.Lett.B619:50-60,2005.
6. Detection of pi+ pi- atoms with the DIRAC spectrometer at CERN - DIRAC Collaboration (B. Adeva *et al.*) - J.Phys.G30:1929-1946,2004.
7. Lifetime measurement of pi+ pi- and pi+- K+ atoms to test low energy QCD. Addendum to the DIRAC proposal - B. Adeva *et al.* - CERN-SPSC-2004-009, CERN-SPSC-P-284-ADD-4, Apr 2004.
8. DIRAC: A High resolution spectrometer for ponium detection - DIRAC Collaboration (B. Adeva *et al.*) - Nucl.Instrum.Meth.A515:467-496,2003.

III. Perspectiva abordarii ciocnirilor electron-positron la Linear Collider (LC)

In anul 2009, odata cu intrarea in functiune a acceleratorului Large Hadron Collider (LHC) la CERN - Geneva, s-a deschis o noua era de descoperiri in fizica particulelor. LHC, un sincrotron proton-proton circular, furnizeaza deja fascicule la energia de 7 TeV, iar in final va produce energii de 14 TeV (in sistemul centrului de masa).

Ciocnirile electron-positron, la un accelerator liniar (Linear Collider - LC) va putea furniza rezultate de mare precizie in aceeasi regiune, a energiilor de ordinul TeV-ilor.

Precizia mare a ciocnirilor electron-positron se datoreaza faptului ca acceleratorul liniar va actiona ca un telescop, pentru a explora energii peste cele pe care orice accelerator poate direct sa le atinga in prezent.

III.1 Programe de cercetare legate de LC

ILC (International Linear Collider) este urmatorul program international cu larga participare, dupa proiectul LHC. In prezent exista deja un efort international global in directia abordarii acestui program sub toate aspectele (accelerator, concepte de detectori, studii R&D, simulari, program de fizica). In prezent sunt in studiu 2 concepte noi de detector la ILC, validate de un juriu international de experti ai IDAG (International Detector Advisory Group): *ILD* (International Large Detector) si *SiD* (Silicon Detector).

Cu o tehnologie complementara se dezvoltaza azi un alt concept de accelerator liniar *CLIC*, Compact Liniar Collider, care, la fel ca si *ILC*, ciocneste electroni si pozitroni. Acesta isi propune sa accelereze electroni si pozitroni pana la o energie de 3 TeV (de aproximativ 5 ori mai mult ca *ILC*), folosind o noua tehnologie de accelerare, potrivita pentru scara multi TeV-ilor, care sa permita atingerea energiilor propuse pe o distanta aproximativ egala cu cea necesara *ILC*-ului sa functioneze la energii cuprinse in intervalul 0.5 – 1 TeV.

Cele doua proiecte internationale vor fi dezvoltate in paralel, si chiar impreuna (hotarare luata in 2010), pana in momentul in care se va stabili concret care este varianta cea mai avantajoasa atat din punct de vedere stiintific, cat si financiar. Faptul ca nici una dintre posibilitati nu este ignorata permite conceperea si testarea de noi tehnologii care se pot dovedi foarte utile pentru ambele versiuni de acceleratoare. Conceptele de noi detectori abordate la *CLIC* le urmeaza pe cele de la *ILC*, respective *ILD-CLIC* si *SiD-CLIC*.

III.2 Detectori pentru LC – colaborarea FCAL

Colaborarea *FCAL* dezvolta detectori (LumiCal, BeamCal - calorimetre compacte cu segmentare fina, Pair Monitor), pentru instrumentarea *regiunii foarte inainte* a unui collider linear e^+e^- independent de conceptele de detectori.

In prezent, in Colaborarea FCAL participa 17 Institute si Univrsitati din 13 tari de pe 3 continente [1].

FCAL este parte componenta a colaborarii ILD [2], dar lucreaza in stransa colaborare si cu grupul LCD (Linear Collider Detector) - Physics and Detectors Study Group de la CLIC-CERN [3], parte din membrii ai acestui grup facand parte din colaborarea FCAL.

IFIN-HH, prin grupul de cercetatori din domeniul fizicii particulelor participa in colaborarea FCAL din 2007 si a devenit membru oficial al acestei colaborari in mai 2008

Activitatile prestate de grupul roman acopera aspecte din programul FCAL/ILC dar si studii privind *regiunea foarte inainte* a CLIC in stransa colaborare cu grupul de la CERN. Aceste activitati privesc studii de simulare: BeamCal, calorimetru electromagnetic al regiunii Very Forward de la ILC si magnetul quadrupolar, QD0, al regiunii Very Forward de la CLIC, plasat chiar in spatele BeamCal si fiind singura componenta a Beam Delivery System care este inclusa in regiunea Very Forward a detectorului. In plus, a fost realizat site-ul **RO-15-NIPNE**, incadrat in reseaua de **Grid**, cu uneltele software specifice pentru doua Organizatii Virtuale (**VO**) pentru ILC si LHCb.

De asemenea participarea in FCAL a dat posibilitatea participarii IFIN-HH, in calitate de membru-asociat, in proiectul **AIDA** (Advanced European Infrastructures for Detectors at Accelerators)/2010-2014, FP7-INFRASTRUCTURES-2010: Detectors for future accelerators (*Participation in simulation studies and quality assurance tests for forward calorimetry in WP9.5*)

Realizarile pe de o parte, si faptul ca nu a fost organizata nici o intrunire a colaborarii FCAL in Romania pe de alta parte, au indreptatit si obligat in acelasi timp IFIN-HH sa organizeze intrunirea stiintifica „18th FCAL Collaboration Workshop” (30 mai – 1 iunie 2011, Predeal).

III.3 Fizica la LC

Din punct de vedere stiintific, programul de fizica la celor doua acceleratoare (LHC si LC) este foarte asemanator, diferenta majora fiind legata de domeniul energetic pe care il pot investiga. LHC (Large Hadron Collider), CERN, va clarifica daca bozonul Higgs exista sau nu.

Daca acesta va pune in evidenta existent unui bozon Higgs usor, atunci pentru investigarea proprietatilor lui este suficient ILC. Daca bozonul Higgs va fi o particula grea, care ar putea fi produsa numai la un accelerator capabil sa functioneze la scara multi TeV-ilor, CLIC va putea masura atat proprietati subtile ale bozonului, cat si sa puna in evidenta existenta unui Higgs greu. Scenariul ramane valabil si in cazul supersimetriilor.

Se presupune ca vor fi detectate, la experimentele ce vor fi efectuate la LC (ILC/CLIC), efecte ale fizicii dincolo de Modelul Standard (MS). In plus, se asteapta ca sa fie descoperite si masurate particulele si interactiile descrise de MS. La ILC fizicienii spera sa fie capabili:

- sa masoare masa, spinul si fortele de interactie ale bozonului Higgs,
- sa masoare numarul, marimea si forma pentru “extra dimensions” in domeniul TeV-ilor, daca acestea exista,
- sa investigeze cele mai usoare particule supersimetrice, posibili candidati pentru dark matter.

Pentru a atinge aceste obiective, este necesar sa se construiasca o noua generatie de detectori de particule.

Acceleratorii ILC/CLIC pentru ciocnirile e^+e^- ar avea posibilitatea sa completeze studiul bozonului Higgs si sa extinda investigatiile pe un domeniu larg de parametri de model. In plus, CLIC ar avea posibilitatea unica de studiere a bozonilor Higgs intr-un scenariu extins. Cercetarile isi propun sa explice originea ruperii simetriei electroslobe, in conditiile in care nu exista bozon Higgs elementar usor si nici supersimeria nu este realizata in natura sau includerea SM in teoria marii unificari.

Referinte

1. <http://fcal.desy.de/>
2. <http://www.linearcollider.org>
3. <http://lcd.web.cern.ch/LCD/Home/Organisation.html>

IV. Teorii de camp

IV.1 Modelul standard (MS) al particulelor elementare

Secolul trecut a cunoscut un progres important in intelegerea structurii materiei. Una dintre descoperirile cele mai importante este faptul ca exista o lume sub-nucleara a quarcilor si leptonilor si ca aceste particule – considerate elementare – sunt descrise de o teorie cuantica de camp iar interactiile dintre ele de teorii de etalonare. Teoria de etalonare a MS al particulelor elementare se bazeaza pe grupul $SU(3)\times SU(2)\times U(1)$ ($SU(3)$ pentru interactiile tari si $SU(2)\times U(1)$ pentru interactiile electro-slabe).

Odata cu cantitatea mare de date obtinute pana in prezent la acceleratori, inclusiv la LHC dupa un an de functionare cu ciocniri p-p la energii de 7 TeV in centrul de masa, fizica particulelor elementare intra intr-o perioada noua de teste definatorii pentru modelul standard si de descoperiri ale unor fenomene noi. Experimentele ATLAS si CMS sunt asteptate sa dea in curand un raspuns in ceea ce priveste existenta bozonului Higgs, singura piesa lipsa din modelul standard in momentul de fata. De asemenea aceste experimente au fost proiectate in asa fel incat sa poata surprinde o multitudine de particule exotice prezise de diferite teorii “Beyond Standard Model” (BSM) cum ar fi: o a patra generatie de cuarci si leptoni, particule supersimetrice, bozoni Higgs incarcati, noi bozoni de etalonare, particule candidate la materia intunecata, etc. In paralel cu cautarile directe, semnale ale unei fizici noi pot fi obtinute si prin efectele indirecte pe care aceasta fizica le are asupra unor anumite observabile. Aceasta abordare, complementara la descoperirea fizicii BSM, necesita o precizie deosebita a rezultatelor teoretice obtinute in contextul modelului standard.

In cadrul MS fizica flavour este codificata in matricea Kobayashi-Maskawa (KM) [1], presupusa a fi unitara, iar descrierea este data de patru parametri independenti, trei unghiuri de amestec θ_{ij} , $ij = 12, 13, 23$, si o faza δ care descrie violarea simetriei CP. Astfel determinarea acestei matrici din datele experimentale este esentiala pentru validarea MS, si eventual detectarea unei fizici (noi) dincolo de el. Determinarea acestei matrici este o problema dificila din cel putin doua motive. Primul este acela ca unghiurile de amestec nu intervin direct in marimile care se masoara, nefiind marimi invariante la refazare. Valoarea lor numerica depinde de forma originala, [1], sau de forma folosita acum, [2]. O solutie pentru aceasta problema a gasit C. Jarlskog. In prima sa lucrare despre aceasta problema, [3], ea a propus determinarea matricii din sectorul quarcilor prin cantitati masurabile direct, si in acelasi timp marimi invariante. Cu alte cuvinte valorile numerice nu trebuie sa depinda de forma matricii sau de proprietatea de invarianta la refazare.

Jarlskog a gasit doi astfel de invarianti: modulele elementelor matricii KM si celebrul invariant, J , [4], care-i poarta numele, invariant care spune ca ariile celor sase triunghiuri generate de orthogonalitatea liniilor si coloanelor matricii sunt echivalente, adica au aceiasi arie.

Al doilea motiv provine din partea experimentală. Dacă dorim să folosim modulele matricii ca parametri independenți, acestea nu pot fi determinate direct din experiment. În cel mai simplu caz, acela al dezintegrărilor leptonice, experimentatorii măsoară rapoarte de ramură și găsesc numere pentru produse de formă $|U_{qq'}| f_P$ unde $|U_{qq'}|$ este elementul de matrice corespunzător din matricea KM, iar f_P este constanta de dezintegrare. Pentru dezintegrările semileptonice observabile fizice este rata diferențială de dezintegrare, $d\Gamma/dq^2$, care până la factori cunoscuți e proporțională cu $|U_{qq'} f_+(q^2)|^2$, unde $f_+(q^2)$ este un factor de formă complex iar q notează transferul de impuls dintre mezonul inițial și cel final.

Interacțiunile tari, care datorită corecțiilor radiative influențează și procesele electrolabe, reprezintă în momentul de față sursa cea mai însemnată de incertitudine teoretică în fizica particulelor elementare. În timp ce erorile tipice pentru majoritatea observabilelor electrolabe este de ordinul a 1-2%, erorile corespunzătoare interacțiilor tari ajung des la valori de 10-15% sau chiar mai mult. De exemplu, în cazul momentului magnetic anomal al muonului, unde discrepanța dintre valoarea experimentală măsurată cu precizie mare și valoarea teoretică calculată în modelul standard poate indica contribuții BSM, partea cea mai puțin exactă se datorează contribuțiilor hadronice la polarizarea vidului. De asemenea, determinarea cuplajelor “flavor-changing”, care sunt deosebit de sensibile la fizica nouă prin ruperea unitarității matricii KM, necesită cunoașterea cu precizie a factorilor de formă hadronici corespunzători, care sunt dominați de interacțiile gluonice care însoțesc tranzițiile slabe ale quarcilor.

În ciuda succesului deosebit al cromodinamicii cuantice (QCD) – teoria modernă a interacțiilor tari – există încă probleme deschise în aplicațiile pe care le are asupra observabilelor fizice. O sursă însemnată de erori teoretice pentru cantități calculate în QCD perturbativ este reprezentată de ambiguitatea scalei de renormare a seriei de perturbare trunchiată. Alta dificultate constă în faptul că după renormare, coeficienții perturbativi prezintă o creștere factorială. De aceea seria de perturbare are rază zero de convergență în planul constantei de cuplaj, și se presupune de obicei că seria reprezintă o dezvoltare asimptotică. Această proprietate comună multor teorii de etalonare este cunoscută pentru electrodinamica cuantică din 1952, dar are efecte fenomenologice neglijabile deoarece constanta de structură fină are valori neglijabile la energiile atinse. Pe de altă parte, pentru

QCD, la energii moderate, unde constanta de cuplaj este relativ mare, caracterul divergent al seriei de perturbatie afecteaza semnificativ precizia rezultatelor.

Alte probleme sunt legate de faptul ca gradele fundamentale de libertate in QCD, quarcii si gluonii, sunt colorate, in timp ce cantitatile observabile implica hadroni fara culoare. Incertitudinile cu privire la scala de factorizare, precum si functiile de distributie partonice care apar in formulele de factorizare, reprezinta inca o importanta sursa de erori teoretice pentru ratele de productie si dezintegrare la acceleratoarele de hadroni. In plus, QCD perturbativ face predictii rezonabile la impulsuri space-like mari in timp ce observabilele hadronice sunt de obicei masurate la energii time-like joase. Tehnicile neperturbative sunt necesare pentru conectarea regimurilor "soft" si "hard" ale QCD.

In afara de implicatiile fenomenologice ale modelului standard este nevoie de asemenea, de o intelegere formala corecta a acestei teorii. Interactiile particulelor elementare se descriu cu ajutorul teoriei cuantice a campurilor (QFT). Domeniul a aparut acum mai bine de 60 de ani si printre realizările importante putem nota teoria perturbativa a campurilor (pQFT) si teoria axiomatica a campurilor, ambele puse intr-o forma riguroasa. Aparitia teoriilor de etalonare si a modelului standard a ridicat noi probleme, atat din punct de vedere matematic, cat si fenomenologic, deoarece apar prea multi parametri liberi. Abordarea cea mai populara a teoriilor de etalonare se bazeaza pe formalismul functional, integrala pe traiectorie, care conduce la o problema de teoria clasica a campurilor: analiza complexului BRST.

In ultimii zece ani, prof. G. Scharf a propus un nou formalism complet cuantic, bazat pe abordarea cauzala (Epstein-Glaser) a pQFT. In acest formalism este esentiala intelegerea descrierii cuantice a particulelor de spin superior cu ajutorul particulelor fantoma. Aceasta descriere conduce la o problema de coomologie intr-un spatiu Fock auxiliar in care apar si stari nefizice. Starile fizice sunt selectate cu ajutorul unui operator special: sarcina de etalonare. Construirea matricii S se face ca in cadrul cauzal, dar o problema in plus este a demonstra faptul ca matricea S lasa invariante starile fizice. Se ajunge in acest mod la probleme de coomologie destul de complicate.

IV.1.1 Contributie romaneasca si obiective propuse

Cercetatorii din Romania au experienta in domeniul QCD perturbativ: al determinarii cuplajului cuarc-gluon [5-7], constrangerile teoretice ale factorilor de forma pentru fizica flavor [8-11]. De asemenea exista si rezultate precise in contextul teoriei de perturbatie chirale, teoria efectiva de energii joase a QCD [12, 13]. Se asteapta ca aceste directii sa fie de

mare interes si in viitorul apropiat.

O problema importanta in determinarea matricii KM este aceea ca matricile unitare sunt scufundate natural in matricile dublu stochastice [14] si pentru a putea obtine rezultate fizice relevante cele doua seturi trebuie separate.

O matrice $n \times n$ M este dublu stochastica daca elementele ei satisfac relatiile:

$$m_{ij} \geq 0, \sum_{i=1}^n m_{ij} = 1, \sum_{j=1}^n m_{ij} = 1 \quad (1)$$

care formeaza un set convex. Matricile unitare sunt un subset al acestora daca definim matricea dublu stochastica prin relatia:

$$m_{ij} = |U_{ij}|^2 \quad (2)$$

unde U este o matrice unitara. Separarea celor doua seturi este data de ortogonalitatea liniilor si respectiv coloanelor.

Prima forma a separarii celor doua seturi a fost data in lucrarea [15] in care s-a exprimat $\cos\delta$ ca functie de patru module independente, iar conditia naturala de separare este ca δ sa ia valori fizice, adica $-1 \leq \cos\delta \leq 1$.

Forma mai generala se gaseste in lucrarea [16], iar o aplicatie in fizica neutrinilor este data in [17].

Printre problemele care vor fi investigate mentionam:

- **Determinarea constantei tari din dezintegrarile hadronice ale leptonului τ**

In prezent exista o discrepanta intre mai multe calcule teoretice. Scopul este de a intelege dezvoltarea QCD perturbativa la impulsuri mici si a verifica consistenta predictiilor QCD la diverse scale.

- **Determinarea cu acuratete a elementelor matricii KM**

Aceasta se va face prin studierea elementelor matricii hadronice relevante pentru dezintegrarile semileptonice. Intrucat QCD perturbativa nu este direct aplicabila la regiunea fizica a acestor procese, vor fi necesare tehnici de QCD perturbativ si ne-perturbativ incluzand si calcule pe latici.

- **Investigarea tranzitiei intre regimurile "soft" si "hard" ale QCD**

Aceasta problema va fi analizata folosind marimi ca factorul de forma electromagnetic al pionului, pentru care in moemntul de fata exista o cantitate mare de informatie. In acelasi context, se poate observa o reinnoire a interesului fata de investigarea proceselor "soft" cum ar fi imprastierea elastica a hadronilor la energii inalte, care

reprezinta un obiectiv pentru LHC, si in particular, intelegerea Pomeronului in QCD.

- **Determinarea parametrilor relevanti pentru fizica "flavour" folosind unitaritatea; explicarea datelor experimentale din sectorul neutrinic**
- **Studiul riguros al modelului standard in cadrul formalismului cauzal (Epstein-Glaser)**

IV.2 Teorii "Beyond Standard Model" – realizari si perspective

Modelul standard al particulelor elementare este teoria care s-a impus in descrierea proceselor fizice la energii de pana la 100 GeV. Aceasta teorie a fost verificata in numeroase randuri in ultimii treizeci de ani si pana in prezent nu este cunoscut vreun efect in care sa poata fi catalogat clar ca fiind in afara predictiilor acestui model. In pofida acestui succes nemaiintalnit pentru o teorie fizica, exista numeroase indicii teoretice ca in spatele modelului standard exista o structura complexa care incepe sa se manifeste la energii peste energiile de referinta din modelul standard. Un prim indiciu in acest sens este oferit de faptul ca evolutia cu grupul de renormare a constantelor de cuplaj din modelul standard, duce la o unificare a acestora la energii de ordinul a 10^{15} GeV. Acest lucru ar sugera prezenta la aceste energii a unei teorii unificate cu un grup de etalonare care sa contina toate cele trei grupuri de etalonare ale modelului standard, $SU(3)$, $SU(2)$ si $U(1)$ – de exemplu $SO(5)$ sau $SO(10)$. Un alt indiciu este prezenta in modelul standard al unei particule scalare, cunoscuta sub numele de bozonul Higgs. Aceasta particula nu a fost observata experimental, inasa prezenta ei este necesara pentru consistenta modelului, iar efectele ei au fost testate in diferite imprejurari asa incat este aproape universal acceptata existenta acestei particule. Pe de alta parte, prezenta acestei particule ridica o problema de ordin teoretic si anume, masa acestei particule trebuie sa fie de ordinul energiilor din modelul standard, adica 100 GeV, dar in schimb, masele particulelor scalare sunt corectate semnificativ cu evolutia pe scara energetica si, in consecinta, se asteapta ca masele particulelor scalare sa fie de ordinul scalei maxime la care modelul considerat este valabil. De aceea se banuieste ca la energii mai mari decat cele din modelul standard, o alta teorie ar putea intra in joc sa rezolve automat problema mai sus mentionata.

Una dintre ideile cele mai proeminente in aceste sens este existenta unei simetrii noi, numita supersimetrie care leaga campurile bozonice de cele fermionice.

In ultimii douzeci de ani, a fost studiata fenomenologia unui numar mare de modele supersimetrice si in momentul de fata se asteapta cu nerabdare rezultatele de la LHC care sa

dea un indiciu despre prezenta/absenta supersimetriei. In plus, observatiile cosmologice recente au pus in evidenta prezenta asa numitei materii intunecate in proportie de aproximativ 25% din totalul de energie din univers. Modelele cosmologice cele mai de succes presupun ca aceasta materie intunecata este generate de o particula care interactioneaza extrem de slab (numai pe baza interactiei gravitationale) cu particulele pe care le cunoastem. O astfel de particula este prezenta in mod automat in modelele supersimetrice si aceasta constituie un alt argument in favoarea supersimetriei.

Un ultim aspect al modelului standard pe care il vom mentiona este prezenta unui numar relativ mare de parametri care dau masele diferitelor particule precum si intensitatea interactiilor dintre ele. Introducerea arbitrara a unor astfel de parametri este de nedorit in fizica teoretica si de aceea in aceasta ramura a fizicii se cauta niste modele fundamentale care sa poata explica valorile parametrilor.

Mai sus am prezentat deja doua directii importante din fizica "beyond standard model" (BSM). O alta directie de mare succes, care intr-un anumit fel incorporeaza deja directiile mai sus mentionate este cea a teoriei corzilor. Aceasta este o teorie cuantica a unor obiecte extinse (corzi) care se propaga intr-un spatiu dat. Consistenta acestor teorii impune cateva conditii. In primul rand teoria trebuie sa fie supersimetrica si in al doilea rand se poate vedea ca aceste teorii traiesc intr-un spatiu zece-dimensional. Aceasta teorie este inca in curs de dezvoltare si implicatiile ei pot duce la rezolvarea problemelor modelului standard pana la cuantificarea spatiu-timpului.

Alte directii BSM, care nu sunt in legatura directa cu teoria corzilor sau cu celelalte directii prezentate mai sus, reprezinta generalizari directe ale modelului standard care intentioneaza sa rezolve una sau mai multe probleme ale acestei teorii. Printre posibilitatile studiate de-a lungul timpului mentionam aici deformari necomutative ale spatiu-timpului, modele cu mai multe generatii de cuarci si leptoni, sau modele cu mai multe dimensiuni spatio-temporale.

In general, mai toate variantele de mai sus au o anumita probabilitate de a fi corecte. Rezultate decisive nu s-au putut obtine in special datorita faptului ca pana la energiile atinse actual nu s-au putut observa deviatii semnificative de la modelul standard. In aceste conditii noi experimente care sa poata descoperi fenomene BSM sunt asteptate pentru a putea alege intre posibilitatile de mai sus. Unul dintre experimentele cele mai asteptate este cel de la LHC, dar si alte observatii, cum sunt cele de natura cosmologica, pot produce informatii valoroase despre fizica BSM.

IV.2.1 Contributie romaneasca si obiective propuse

In Romania, datorita in special migratiei cercetatorilor catre tari dezvoltate, domeniul fizicii BSM in general si al supersimetriei si supercorzilor in particular este in mare parte neexplorat. Se poate spune pe buna dreptate ca nu a existat nici un grup dedicat pentru studiul diferitelor aspecte din teoria supercorzilor sau al teoriilor supersimetrice. Pe de alta parte, in alte tari acest domeniu este de mare interes si se bucura de fonduri corespunzatoare din partea agentilor finantatoare nationale. De aceea consideram ca dezvoltarea domeniului de fizica BSM trebuie sa fie o prioritate pentru strategia de cercetare din Romania in domeniul fizicii teoretice de energii inalte.

In lume exista un numar insemnat de cercetatori romani specializati in domeniul fizicii BSM, care activeaza la universitati si institute internationale. O parte din acestia au inceput sa-si indrepte atentia spre o continuare a carierei de cercetare in tara si din acest motiv consideram deosebit de oportuna posibilitatea atragerii unui numar insemnat de astfel de cercetatori prin programe de finantare dedicate. Datorita conexiunilor pe care acesti cercetatori le au cu diferite grupuri de cercetare internationale, acest domeniu poate cunoaste o dezvoltare pe termen mediu deosebit de puternica in Romania.

Mai jos vom descrie pe scurt cateva domenii de expertiza BSM ale cercetatorilor romani care activeaza in tara.

O problema deosebit de importanta in teoria corzilor este aceea a stabilizarii modurilor. Una dintre ideile principale folosite pentru a rezolva aceasta problema este prezenta unor fonduri nebanale pentru compactificare, fonduri cunoscute sub numele de fluxuri. Cuantificarea teoriei corzilor in prezenta fluxurilor este o problema care nu a fost inca rezolvata. Abordarea generala a fost aceea a fluxurilor in teorii de supergravitatie [18, 19], insa aceasta abordare este departe de a fi completa. O idee care a jucat un rol important a fost aceea a folosirii dualitatilor pentru descoperirea unor fluxuri noi, precum si pentru intelegerea mai buna a acestor compactificari. In [20, 21] s-a constatat ca dualitatea cunoscuta sub numele de simetria oglinda care apare in compactificari ale teoriei corzilor de tipul II pe varietati Calabi–Yau, impune, in prezenta fluxurilor, introducerea unor fonduri noi cunoscute sub numele de varietati cu structura $SU(3)$. Aceste varietati cu structura $SU(3)$ au fost folosite ulterior pentru stabilirea altor dualitati, cum ar fi dualitatea intre corzile heterotice si cele de tipul IIA [22, 23, 24]. Mai mult s-a aratat in [25, 26] ca aceste varietati pot produce potentiale pentru stabilizarea modurilor si introduc cuplaje noi care nu au fost intalnite mai inainte [27, 28].

In modelele de teoria corzilor de tip I/II, efectele neperturbative generate de brane

euclidiene pot juca un rol important. Spre exemplu, prin considerarea acestor efecte se pot genera termeni noi in superpotential (interzisi in abordarea perturbativa), in potentialul Kahler sau functia cinetica de etalonare (gauge kinetic function). Posibile aplicatii fenomenologice includ termenul μ in MSSM, generarea de cuplaje Yukawa interzise in modele de tip GUT, mase Majorana pentru neutrino, ruperea supersimetriei sau inflatia cu D-brane.

O problema importanta este de a intelege aceste efecte neperturbative in modele consistente global. In [29] s-au considerat efecte instantonice in modele globale cu brane magnetizate bazate pe orientifoldul $T^6/Z_2 \times Z_2$ cu torsiune discreta. Compactificarile toroidale cu orbifolduri admit o descriere in termeni de CFT si permit o analiza cantitativa in teoria corzilor. S-au construit modele explicite in care termeni liniari sau termeni de masa (in superpotential) pentru campuri incarcate sunt generati neperturbativ. In [30] s-a analizat procesul de destabilizare a vidului datorat unor cuplaje care depind liniar de campurile incarcate induse de instantoni brane. Aceste instabilitati neperturbative dau nastere la un potential pentru campurile de moduli asociati D-branelor si duc la procese de recombinare si miscare a branelor si stabilizarea partiala a modurilor in vidul neperturbativ. Folosind tehnicile de calcul pentru instantoni brane s-a obtinut potentialul scalar in compactificari toroidale cu orbifolduri si brane magnetizate si s-a aratat cum se sumeaza peste configuratiile discrete ale instantonului. Ilustram astfel dinamica generata in modele globale, unul dintre modele fiind construit in [31]. Aceste instabilitati pot avea aplicatii fenomenologice in ruperea simetriei de etalonare in sectoare ascunse (hidden sector), stabilizarea campurilor de moduli asociati corzilor deschise si ruperea supersimetriei. Rezultatele obtinute sugereaza ca ruperea supersimetriei prin modele de tip Polonyi in teoria corzilor este mai dificil de obtinut decat se astepta.

In mod traditional, teoria particulelor elementare se ocupa de interactii locale, in care cuantele campurilor fundamentale interactioneaza intr-un punct, de pilda vertex-ul din teoria perturbatiilor. Localitatea - impreuna cu cauzalitatea si proprietatile de simetrie - reprezinta un instrument puternic, permitand simplificari considerabile in analiza consecintelor teoriilor de camp. Incercari izolate de a introduce teorii nelocale au existat in ultimii 70 de ani [32], dar au intampinat probleme semnificative, atat tehnice cat si conceptuale (intrarea in conflict a nelocalitatii cu cauzalitatea sau cu simetriile pe care dorim sa le impunem, precum si dificultati enorme in efectuarea calculelor).

Studierea teoriilor nelocale prezinta insa interes, din cel putin trei motive importante:

1. Unele interactii efective pot avea caracter nelocal;
2. Exista sperante ca, in teoriile cu interactii nepunctuale, divergentele ultraviolete sa dispara;
3. Exista semnale din ce in ce mai puternice ca gravitatiea ar putea fi in esenta o teorie nelocala.

Noutatea ultimilor zece ani in privinta teoriilor nelocale este ca anumite tipuri de teorii de camp, anume cele definite pe spatii necomutative, sunt nelocale intr-un mod care permite totusi mentinerea controlului analitic asupra lor. Aceste teorii ofera o oportunitate rara de studiere a consecintelor nelocalitatii. Astel, in [33] s-a aratat ca o teorie necomutativa poate fi interpretata ca o teorie ale carei grade de libertate fundamentale au un caracter bilocal. Deci studierea unor teorii de camp pe spatii necomutative ofera date despre comportamentul unei teorii nelocale. De asemenea, in [34] s-a aratat ca aceste teorii sunt mult mai putin divergente la nivel clasic. Astfel, exista perspective pentru progrese si in aceasata directie.

O idee foarte importanta in domeniul teoriilor cuantice de camp necomutative pe spatiul Moyal este obtinerea unor modele renormabile, lucru complet netrivial datorita aparitiei unui nou tip de divergenta, amestecul ultraviolet/infrarosu. O prima solutie la aceasta problema extrem de importanta este constituita de modelul Grosse-Wulkenhaar, model renormabil in teoria perturbatiilor dar care insa nu este invariant la translatie. In lucrarea [35] s-a propus un nou model si s-a demonstrat ca este renormabil in orice ordin din teoria perturbatiilor. Spre deosebire de modelul Grosse-Wulkenhaar, acest model este insa si invariant la translatii. Functiile beta ale acestui model au fost ulterior calculate in lucrarea [36].

Bazandu-ne pe potentialul romanesc descris mai sus, propunem pentru viitor urmatoarele obiective prioritare de cercetare in domeniul fizicii BSM.

- **Modele fenomenologice in Teoria corzilor.** Daca teoria corzilor are intr-adevar lagatura cu realitatea, atunci este necesar ca modelul standard sa fie cuprins in teoria corzilor. Felul in care modelul standard este inclus in teoria corzilor nu este inca elucidat si de aceea este necesar sa se studieze aspecte fenomenologice in teoria corzilor pentru a se putea compara diverse efecte care se afla in afara modelului standard cu eventualele date experimentale care se asteapta sa fie obtinute de la LHC, sau de la alte experimente care au potential de a descoperi astfel de efecte. Acest obiectiv include: modelul standard in teoria corzilor, modele supersimetrice, ruperea supersimetriei, stabilizarea modulilor, modele unificate in teoria F.

- **Aspecte formale in teoria corzilor.**

Teoria corzilor este o teorie care nu este inca pe deplin inteleasa si de aceea dezvoltarea formala a acestei teorii este deosebit de importanta. Mentionam aici construirea teoriei corzilor pe fonduri nebanale, aspecte topologice in teoria corzilor, cuantificarea spatiu-timpului.

- **Efecte neperturbative in teoria supercorzilor.**

Efectele neperturbative in teoria corzilor si implicatia lor in fenomenologie nu sunt pe deplin cunoscute. Efectele neperturbative pot juca un rol foarte important in fenomenologia teoriei corzilor prin introducerea unor cuplaje care sunt excluse in orice ordin al teoriei perturbatiilor, dar care sunt permise neperturbativ. De asemenea se presupune ca aceste efecte neperturbative joaca un rol important in stabilizarea modurilor, insa acest rol nu a fost complet lamurit. In plus, o formulare neperturbativa a teoriei corzilor cum sunt teoria M sau teoria F ar putea sa ofere o descriere mai buna decat teoria perturbativa a corzilor.

- **Modele cu mai multe familii de cuarci si leptoni.**

In prezent modelul standard presupune existenta a 3 familii de cuarci si leptoni. Din considerente de evitare a anomaliiilor cuantice, numarul de familii de cuarci este egal cu cel de leptoni. In ultima perioada se intreprind cercetari remarcabile privind posibilitatea existentei de noi familii de cuarci si leptoni. Numarul de familii este limitat din considerente teoretice privind comportarea constantelor de cuplaj la energii inalte. Alte limitari sunt legate de unele constrangeri impuse de modelele cosmologice actuale privind evolutia Universului si ultimile rezultate ale unor masurari de astrofizica. Cercetari curente la care participa si fizicieni romani in marile colaborari internationale de la CERN, DESY, etc au printre alte obiective si investigarea de efecte legate de extinderi ale modelului standard. Obtinerea de semnale certe privind existenta unei a patra (sau mai multe) familii de cuarci si leptoni ar oferi o motivatie suplimentara de amendare a modelului standard actual, de cautare de noi cuarci si leptoni grei.

- **Studiul interactiilor punctuale si nelocale.**

Teoriile cuantice de camp nelocale de un anumit tip au devenit accesibile unor studii

detaliate, cercetarile de acest tip prezentand un interes sporit pentru urmatorii ani, mai ales in contextul cautarii de teorii fizice de factura noua.

IV.3 Cuantificarea gravitatiei si modele cosmologice

Gravitatia este cea mai veche interactie cunoscuta, insa cea care in momentul de fata ridica cele mai mari semne de intrebare. Teoria gravitatiei a cunoscut o dezvoltare deosebita in urma cu aproape un secol, cand Einstein a pus bazele matematice ale gravitatiei in teoria relativitatii generale. Cuantificarea acestei teorii se loveste insa imediat de faptul ca aceasta teorie nu este renormabila. In conceptia generala pentru teoriile de camp, o teorie nerenormabila poate fi privita cel mult ca o teorie efectiva si la energii mai inalte este necesara modificarea acesteia.

La o analiza superficiala nu este clar ca in momentul de fata o teorie cuantica a gravitatiei este necesara. Exista insa motive suficient de bine intemeiate pentru a studia aceasta problema. In primul rand ecuatiile Einstein ale gravitatiei fac legatura intre campul gravitacional si tensorul energie-impuls al materiei. Faptul ca de o parte a egalitatii se afla o teorie cuantica pe cand de cealalta parte se afla o teorie clasica este cel putin stanjenitor pentru fizica teoretica.

Un alt motiv e generat de misterioasele solutii prezise de teoria lui Einstein, cunoscute sub numele de gauri negre. Exista o multitudine de fenomene printre care paradoxul informatiei, sau termodinamica acestor solutii, pentru explicarea carora relativitatea generala nu este suficienta. In plus campul gravitacional este atat de puternic incat este greu de crezut ca o descriere clasica a gravitatiei poate sa captureze toate fenomenele care apar.

Ultimul motiv pe care il vom enumera este cel al cosmologiei. Singularitatea initiala din modelul standard cosmologic este clar ca nu poate fi descrisa cu teoria clasica a gravitatiei. In plus masurarile cosmologice care devin din ce in ce mai precise sunt adeseori explicate de procese care la vremea producerii lor sunt procese pur cuantice. De aceea este de presupus ca descrierea corecta a acestor procese trebuie facuta de o teorie cuantica care sa contina si gravitatiea.

Una dintre aplicatiile cele mai spectaculoase ale teoriei gravitatiei este cosmologia. Odata cu aparitia teoriei inflatiei care a putut explica cateva paradoxuri cosmologice importante, cosmologia a intrat in perioada unor teste de o precizie uimitoare. Anizotropiile din fondul cosmic de radiatie observate de experimentele COBE si WMAP sunt foarte apropiate de ceea ce s-ar putea astepta intr-un scenariu inflationist. In plus faptul ca universul cunoaste in momentul de fata o expansiune accelerata a putut fi confirmat de observatii precise

ale anizotropiei fondului cosmic de radiatie si a produs valori tot mai precise pentru parametrii cosmologici.

In momentul de fata este stabilit ca cea mai mare parte din energia din univers (aproximativ 70%) este sub forma unei energii intunecate care are un raport presiune/densitate mai mic de $-1/3$, energie care este responsabila pentru expansiunea accelerata a universului. Din restul de 30% din energia din univers, numai 5% este formata din materie barionica vizibila in timp ce 25% este formata dintr-o materie intunecata (nebarionica) rece. Acesti parametri folositi in modelul standard cosmologic dau la ora actuala rezultatele cele mai apropiate de marimile experimentale observate. Acest lucru insa nu exclude posibilitatea ca modelul standard cosmologic sa trebuiasca a fi modificat.

IV.3.1 Contributia romaneasca, obiective propuse

In fizica, simetriile sunt legate de legile de conservare din natura, conducand la simplificarea anumitor probleme complexe din fizica, permitand de asemenea clasificarea solutiilor. In spatiu-timpurile curbate simetriile continue (izometriile) sunt generate de campurile vectoriale Killing, fiecaruia corespunzandu-i o marime conservata. Pe langa izometrii, un spatiu-timp mai poate poseda simetrii ascunse, generate fie de campuri tensoriale simetrice, fie antisimetrice. Astfel de simetrii nu se afla in legatura directa cu invarianta metricii la difeomorfisme, reprezentand mai degraba simetrii de un tip special din spatiul fazelor decat din spatiul configuratiilor. Astfel, tensorii Killing simetrici conduc la marimi conservate de ordin superior in impuls si stau la baza separabilitatii ecuatiilor pentru campurile scalare. Pe de alta parte, un obiect mai putin cunoscut, insa la fel de important este tensorul antisimetric Killing-Yano, aflat in stransa legatura cu separabilitatea ecuatiilor campurilor cu spin, prezenta sarcinilor conservate si al operatorilor de tip Dirac [37-45].

La nivel cuantic, acestor simetrii clasice le corespund operatori cuantici cu structuri supersimetrice, putand prezenta anomalii gravitationale. Anomaliile apar atunci cand cuantificarea altereaza sau chiar distruge o simetrie clasica. Investigarea acestor anomalii reprezinta o etapa obligatorie in constructia modelelor din gravitatie si cosmologie, absenta anomaliilor reprezentand o conditie necesara pentru ca aceste teorii sa existe la nivel cuantic [46-49].

Inexistenta unei teorii cuantice a interactiei gravitationale o singularizeaza pe aceasta si face imposibila unificarea tuturor interactiilor fundamentale din natura intr-o teorie care sa respecte cerintele uzuale unei teorii cuantice de camp renormabila. Mai mult decat atat,

diferitele structuri din Univers (gauri negre, stele neutronice, aglomerari stelare) implica interactii la energii inalte si distante mici intre constituentii materiei ce nu pot fi intelese si descrise in afara teoriei cuantice. Rezultatele obtinute pana in prezent au permis formularea de modele teoretice si computationale ce ofera noi cai de abordare a problematicii cosmologiei si astrofizicii moderne.

Tranzitiile de faza in universul timpuriu pot produce diferite tipuri de defecte topologice cu implicatii in cosmologie. Astfel de defecte pot fi bidimensionale (pereti), unidimensionale (corzi) sau punctuale (monopoli). Studiul metricilor care admit configuratii de monopoli sunt relevante in evolutiile timpurii ale Universului si in constructia teoriilor unificatoare de tip Kaluza-Klein. In acest context, ecuatiile de flux Ricci prezinta un puternic interes, reprezentand un instrument fundamental in investigarea singularitatilor spatio-temporale, inclusiv a problemelor de existenta si regularitate care apar in studiul unor modele cosmologice, gauri negre, etc [50-52].

Recent, in [53], s-a folosit o tehnica de generare a unor solutii in 5 dimensiuni, in cazul particular a doua inele negre statice si incarcate electric. Aceasta metoda se poate extinde cu succes pentru a construi solutii ce descriu configuratii cu un numar arbitrar N de gauri negre, cat si in prezenta unui camp scalar cuplat cu campul Maxwell in 5 dimensiuni. Solutiile exacte ce descriu astfel de configuratii, pe langa importanta lor intrinseca, sunt de un real folos atat in descrierea de exemplu a fortelor de interactiune intre doua sau mai multe corpuri incarcate in spatii cu dimensiuni extinse, cat si a situatiilor in care astfel de configuratii pot fi in echilibru.

Modelele de spatiu-timp anizotrope sunt in prezent foarte studiate, in incercarea de a descrie micile, dar semnificativele anizotropii din radiatia de fond cosmic de microunde asa cum se observa in datele recente obtinute de la sateliti. Studiul modelelor de tip Bianchi I reprezinta cadrul adecvat pentru descrierea anizotropiilor din Univers si a modului in care acestea au evoluat de la universul timpuriu pana in prezent. In acest context este necesar sa se analizeze comportarea in timp si spatiu a anizotropiilor, urmarindu-se elaborarea unei proceduri de mediere adecvata [54-56].

Una din consecintele geometrizarii gravitatiei este lipsa unei definitii adecvate a tensorului energie-impuls pentru campul gravitational. Constructia de tensori locali care sa posede proprietatile esentiale ale tensorilor energie-impuls uzuali, cunoscuti sub numele de tensori de tip super-energie sau Bel-Robinson, este necesara in elaborarea unor modele cosmologice corecte, in acord cu principiile de baza ale relativitatii generale [57]. De asemenea, neunicitatea definirii complexelor energie-impuls impune compararea diferitelor

prescriptii si amendarea acestora in vederea obtinerii unor valori acceptabile pentru energia si impulsul sistemelor in interactie gravitationala.

O idee importanta in gravitatie se refera la posibilitatea formularii unor teorii de tip Yang-Mills, bazate pe un grup Lie compact semisimplu si a grupurilor Lorentz omogene si neomogene, care actioneaza atat pe spatiu-timp, cat si pe campurile dinamice, in scopul construirii unor teorii gauge extinse pentru gravitatie si restul materiei. In acest context, Universul Einstein a jucat un rol esential, in testarea dinamicii campurilor semi-clasice si cuantice, generalizarea imediata fiind universul Friedmann-Robertson-Walker, dominat de materie sau de radiatie [58,59].

O problema importanta care nu a fost inca solutionata, pe cale teoretica, in cadrul modelului standard si al Teoriei Big-Bang a Universului, este cea a dominantei materiei fata de antimaterie, in universul observabil. Pentru moment, sigur este faptul ca trebuie satisfacute asa-numitele conditii Sakharov. Daca prima dintre acestea, anume conditia de evolutie universala, departe de echilibru (termodinamic), poate fi incorporata in diverse modele pre-Big-Bang si de Inflatie, celelalte doua, referitoare la baryo-lepto-geneza si violarea simetriei combinate CP, trebuie cautate in extensiunile de etalonare generalizata ale Modelului $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$, din fizica particulelor elementare. Analiza proceselor fizice semnificative de dezintegrare a mezonilor B, prin includerea contributiilor supersimetrice, ne-a permis testarea limitele Modelului Standard [60]

Bazandu-ne pe directiile descrise mai sus, precum si pe expertiza cercetatorilor implicati, propunem pentru viitor urmatoarele obiective:

- **Studiul gravitatiei cuantice in cadrul formalismului cauzal (Epstein-Glaser)**
Considerarea gravitatiei de masa nenula. Formalismul cuantic bazat pe abordarea cauzala a teoriei perturbative a campurilor poate fi extins si la particule cu helicitate 2 – gravitoni. Se poate de asemenea extinde acest formalism chiar si la gravitoni de masa nenula (care corespund unei constante cosmologice nenule) si exista speranta ca materia intunecata sa poata fi descrisa cu succes.
- **Teorii de camp pe grup, propunere de cuantificare a gravitatiei**

Acest formalism a fost dezvoltat ca generalizare a modelelor matriciale bidimensionale pentru cazul a 3 si 4 dimensiuni ale spatiu-timpului. Astfel, teoriile de camp pe grup sunt duale modelului Ponzano-Regge, atunci cand consideram gravitatia cuantica in 3 dimensiuni ale spatiu-timpului, sau modelului Ooguri, atunci cand consideram 4 dimensiuni ale spatiu-timpului. Aceste modele pot fi interpretate astazi ca o propunere

coerenta pentru o formulare cuantica a teoriei gravitatiei. In spatele acestei afirmatii importante sta ideea ca, daca teoriile cuantice de camp sunt teorii PE spatiu-timp, teoriile de camp pe grup sunt teorii ALE spatiu-timpului.

- **Simetrii ascunse si anomalii gravitationale**

Se poate estima ca in continuare aceste tematici VOR reprezenta unele dintre cele mai active domenii ale cercetarii fundamentale, pe plan mondial intreprinzandu-se cercetari intense pentru obtinerea unei teorii cuantice a gravitatiei si unificarea acesteia cu celelalte interactii fundamentale. Studiul simetriilor si al legilor de conservare la nivel clasic si cuantic reprezinta un pas necesar in intelegerea problemelor ce apar in abordarea cuantica a gravitatiei cu implicatiile cosmologice si astrofizice ce decurg.

- **Modele cosmologice cu anizotropii, singularitati spatio-temporale**

- **Acceleratia cosmica si modelele cosmologice non-standard**

- **Solutii exacte ale ecuatiilor de camp cu semnificatie in astrofizica particulelor elementare**

Inca de la conceperea teoriei relativitatii generalizate, solutiile exacte ale ecuatiilor Einstein au jucat un rol insemnat in dezvoltarea cunostintelor noastre actuale privind natura spatiu-timpului si a Universului ca intreg. Gaurile negre sunt printre cele mai interesante solutii ale ecuatiilor Einstein. Recent, in lumina noilor experimente care se efectueaza la LHC la CERN, s-a argumentat ca la energii foarte inalte s-ar putea forma gauri negre in spatii cu dimensiuni extinse si, prin urmare, studiul unor solutii ce descriu configuratii cu astfel de gauri negre este foarte important. Configuratiile ce descriu gauri negre multiple sunt in mod particular relevante in intelegerea fazelor specifice anumitor clase de gauri negre in spatii cu dimensiuni extinse.

- **Modele geometrodinamice in numar extins de dimensiuni**

Aplicatii in fizica gaurilor negre si a altor structuri spatio-temporale neconventionale.

Referinte

- [1] M. Kobayashi and T. Maskawa, *Progr. Theor. Phys.* **49**,652 (1973)
- [2] C.Amsler *at al.*, (Particle Data Group), *Phys. Lett. B* **667**, 1 (2008)
- [3] C. Jarlskog, *Z.Phys. C* **29**, 491 (1985); *Phys. Rev. D* **35**, 1685 (1987)
- [4] C. Jarlskog and R. Stora, *Phys. Lett.* **208**, 268 (1998)
- [5] I. Caprini and J. Fischer, Determination of ρ : a conformal mapping approach, invited talk at the 11th International Workshop on Tau Lepton Physics, Manchester, UK, 13-17 September 2010, to appear in *Nucl. Phys. B Suppl.* (2011)
- [6] I. Caprini, J. Fischer, Analytic continuation and perturbative expansions in QCD, *Eur. Phys.J. C* **24**, 127 (2002)
- [7] I. Caprini, J. Fischer, Accelerated convergence of perturbative QCD by optimal conformal mapping of the Borel plane, *Phys. Rev. D* **60**, 054014 (1999)
- [8] B. Ananthanarayan, I. Caprini, I.S. Imsong, Implications of the recent high statistics determination of the pion electromagnetic form factor in the timelike region, *Phys. Rev. D* **83**, 096002 (2011)
- [9] I.Caprini, L.Lellouch, M. Neubert, Dispersive bounds on the shape of $B \rightarrow D^{*1/2}$ form factors, *Nucl. Phys. B* **530**, 153 (1998)
- [10] G. Abbas, B. Ananthanarayan, I. Caprini, I.S. Imsong and S. Ramanan, Theory of unitarity bounds and low energy form factors, *Eur. Phys. J.* **A45**:389 (2010)
- [11] G. Abbas, B. Ananthanarayan, I. Caprini and I.S. Imsong, Improving the phenomenology of $K13$ form factors with analyticity and unitarity, *Phys. Rev. D* **82**: 094018 (2010)
- [12] I.Caprini, G. Colangelo and H. Leutwyler , Mass and width of the lowest resonance in QCD, *Phys. Rev. Lett.* **96**:132001 (2006)
- [13] I.Caprini, Finding the sigma pole by analytic extrapolation of pion pion scattering data, *Phys. Rev. D* **77**:114019 (2008)
- [14] G. Birkhoff, *Univ.Nac. Tucuman Revista A* **5** 147-151 (1946)
- [15] P. Diță, *Modern Physics Letters A*, **20** 1709-1721 (2005)
- [16] P. Diță, *J. Math. Phys.* , Separation of unistochastic matrices from the double stochastic ones: Recovery of a 3 x 3 unitary matrix from experimental data, **47**, 083510 (2006)
- [17] P. Diță, CP nonconservation in the leptonic sector, *Phys.Rev. D* **74**, 113010 (2006)
- [18] C. Acatrinei, Path integral formulation of noncommutative quantum mechanics, *JHEP* **0109** (2001) 007 [arXiv:hep-th/0107078]. C. S. Acatrinei, A Simple signal of

- noncommutative space, *Mod. Phys. Lett. A* **20** (2005) 1437 [arXiv:hep-th/0311134].
- [19] R. Gurau and A. Tanasa, Dimensional regularization and renormalization of non-commutative QFT, *Annales Henri Poincare* **9** (2008) 655 [arXiv:0706.1147 [math-ph]]
A. de Goursac, A. Tanasa and J. C. Wallet, Vacuum configurations for renormalizable non-commutative scalar models, *Eur. Phys. J. C* **53** (2008) 459 [arXiv:0709.3950 [hep-th]]
- [20] S. Gurrieri, J. Louis, A. Micu and D. Waldram, Mirror symmetry in generalized Calabi-Yau compactifications, *Nucl. Phys. B* **654** (2003) 61 [arXiv:hep-th/0211102]
- [21] J. Louis and A. Micu, Type 2 theories compactified on Calabi-Yau threefolds in the presence of background fluxes, *Nucl. Phys. B* **635** (2002) 395 [arXiv:hep-th/0202168].
- [22] J. Louis and A. Micu, Heterotic string theory with background fluxes, *Nucl. Phys. B* **626** (2002) 26 [arXiv:hep-th/0110187].
- [23] J. Louis and A. Micu, Heterotic-Type IIA duality with fluxes, *JHEP* **0703** (2007) 026 [arXiv:hep-th/0608171]
- [24] S. Gurrieri and A. Micu, Type IIB theory on half flat manifolds, *Class. Quant. Grav.* **20** (2003) 2181 [arXiv:hep-th/0212278]
- [25] O. Aharony, M. Berkooz, J. Louis and A. Micu, Non-Abelian structures in compactifications of M-theory on seven-manifolds with SU(3) structure, *JHEP* **0809** (2008) 108 [arXiv:0806.1051 [hep-th]]
- [26] A. Micu, Heterotic type IIA duality with fluxes - towards the complete story, *JHEP* **1010** (2010) 059 [arXiv:1009.2357 [hep-th]]
- [27] B. de Carlos, S. Gurrieri, A. Lukas and A. Micu, Moduli stabilisation in heterotic string compactifications, *JHEP* **0603** (2006) 005 [arXiv:hep-th/0507173]
- [28] A. Micu, E. Palti and G. Tasinato, Towards Minkowski Vacua in Type II String Compactifications, *JHEP* **0703** (2007) 104 [arXiv:hep-th/0701173]
- [29] S. Gurrieri, A. Lukas and A. Micu, Heterotic on half-flat, *Phys. Rev. D* **70** (2004) 126009 [arXiv:hep-th/0408121]
- [30] S. Gurrieri, A. Lukas and A. Micu, Heterotic String Compactifications on Half-flat Manifolds. II, *JHEP* **0712** (2007) 081 [arXiv:0709.1932 [hep-th]].
- [31] C. Angelantonj, C. Condeescu, E. Dudas, M. Lennek, Stringy Instanton Effects in Models with Rigid Magnetised D-branes, *Nucl. Phys.* **B818**, 52-94 (2009) [arXiv:0902.1694 [hep-th]]
- [32] P. G. Camara, C. Condeescu, E. Dudas, M. Lennek, Non-perturbative Vacuum Destabilization and D-brane Dynamics, *JHEP* **1006**, 062 (2010). [arXiv:1003.5805 [hep-

th]]

- [33] M. Visinescu, *Progr. Theor. Phys.* 42, 136-137 (1969)
- [34] I. I. Cotaescu, M. Visinescu, *Class. Quantum Gravity* 18, 3383-3393 (2001)
- [35] M. Visinescu, *Int. J. Mod. Phys. A*17, 1049-1054 (2002)
- [36] I. I. Cotaescu, M. Visinescu, *Journ. Math. Phys.* 43, 2978-2987 (2002)
- [37] I. I. Cotaescu, M. Visinescu, *General Relativity and Gravitation* 35, 389-400 (2003)
- [38] I. I. Cotaescu, M. Visinescu, *Classical Quantum Gravity* 21, 11-28 (2004)
- [39] I. I. Cotaescu, M. Visinescu, *Mod. Phys. Lett. A*19, 1397-1409 (2004)
- [40] M. Visinescu, *Theor. Math. Phys.* 144, 1054-1052 (2005)
- [41] I. I. Cotaescu, S. Moroianu, M. Visinescu, *J. Phys. A: Math. Gen.* 38, 7005-7019 (2005)
- [42] S. A. Carstea, M. Visinescu, *Mod. Phys. Lett. A*20, 2393-3002 (2005)
- [43] S. Moroianu, M. Visinescu, *J. Phys. A: Math. Gen.* 39, 6575-6581 (2006)
- [44] B. Saha V. Rikhhvitsky, M. Visinescu, *Mod. Phys. Lett. A* 21, 847-861 (2006)
- [45] I. I. Cotaescu, M. Visinescu, *Fortschr. Phys.* 54, 1142-1164 (2006)
- [46] I. I. Cotaescu, M. Visinescu, *J. Phys. A: Math. Theor.* 40, 11987-11999 (2007)
- [47] S. I. Vacaru, M. Visinescu, *Int. J. Mod. Phys.* 22, 1135-1159 (2007)
- [48] E. Radu, M. Visinescu, *Mod. Phys. Lett. A* 22, 1621-1634 (2007)
- [49] I. I. Cotaescu, M. Visinescu, *Fortschr. Phys.* 56, 400-405 (2008)
- [50] M. Visinescu, *J. Phys. A: Math. Theor.* 41, 164072 (2008)
- [51] B. Saha, M. Visinescu, *Astrophys. Space Sci.* 315, 99-104 (2008)
- [52] S. Ianus, M. Visinescu, G. E. Vilcu, *SIGMA* 5, 022 (2009)
- [53] B. Saha, V. Rikhhvitsky, M. Visinescu, *Cent. Eur. J. Phys.* 8, 113-119 (2010)
- [54] M. Visinescu, *Commun. Nonlinear Sci. Numer. Simulat.* 15, 823-834 (2010)
- [55] M. Visinescu, *Mod. Phys. Lett. A* 25, 341-350 (2010)
- [56] B. Saha, M. Visinescu, *Int. J. Theor. Phys.* 49, 1411-1421 (2010)
- [57] M. Visinescu, *EPL Europhys. Lett.* 90, 41002 (2010)
- [58] S. Ianus, M. Visinescu, G. E. Vilcu, *Physics of Atomic Nuclei* 73, 1925-1930 (2010);
Yadernaia Fizika 73, 1977-1982 (2010)
- [59] M. Visinescu, *SIGMA* 7, 037 (2011)
- [60] C.S. Acatrinei, *Phys. Rev. D*67 045020 (2003)
- [61] C.S. Acatrinei, *J. Phys. A*41, 215401
- [62] R. Gurau, J. Magnen, V. Rivasseau, A. Tanasa, A Translation-invariant renormalizable non-commutative scalar model, *Commun. Math. Phys.* **287**, 275-290 (2009)
[arXiv:0802.0791 [math-ph]]

- [63] J. B. Geloun, A. Tanasa, One-loop beta functions of a translation-invariant renormalizable noncommutative scalar model, *Lett. Math. Phys.* **86**, 19-32 (2008).
[arXiv:0806.3886 [math-ph]]
- [64] C. Dariescu, S. Hamamoto and M.A. Dariescu, Quantizing de Sitter Spacetime in Heisenberg Picture, *Progress of Theoretical Physics* 95, p. 1199 (1996)
- [65] M. Dariescu, C. Dariescu and I. Gottlieb, Fermions in a Kerr-Newman Spacetime, *Found. Phys.* 25, p. 1523 (1995)
- [66] M.A. Dariescu, C. Dariescu and I. Gottlieb, Gauge Theory of Fermions on $S^3 \times R$ Spacetime, *Found. Phys.* 25, No. 6, p. 957 (1995)
- [67] C. Dariescu and M.A. Dariescu, The $SU(2) \times U(1)$ Gauge Theory of Bosonic and Fermionic Fields in $S^3 \times R$ Spacetime, *Found. Phys.* 24, p. 1577 (1994)
- [68] C. Dariescu, M.A. Dariescu, Lie Groups Method in Friedmann-Robertson-Walker Cosmology, *Romanian Astronomical Journal*, V, No. 1, p. 55-59 (1995)
- [69] C. Dariescu, M.A. Dariescu, N.G. Deshpande and D.K. Ghosh, CP Violating SUSY effects in penguin dominated modes $B \rightarrow K\phi$ and $\bar{B} \rightarrow \bar{K}\phi$ and $\bar{B} \rightarrow \bar{K}\eta'$, *Phys. Rev. D* 69:112003 (2004)
- [70] B. Chng, R. Mann, E. Radu, C. Stelea, Charging Black Saturn?, *JHEP* 12:009 (2008)

V. Resurse umane

In domeniul Particule si Teorii de Camp sunt implicati in momentul de fata un numar de 58 fizicieni si ingineri.

Distributia cercetatorilor si inginerilor participanti in domeniu in functie de institutul de care apartin si de functia pe care o ocupa este prezentata in Tabelul 1.

	CS1/Prof	CS2	CS3	C	Inginer	AsistentC	Tehnician	Student	Total
IFIN	19	4		1	1	7			38
ITIM	1	2	1	0	4	0	3	0	11
Poli	1				8				9
Total	21	6	1	1	13	7	3		58

Tabel 1

Componenta echipelor implicate in colaborarile internationale ATLAS, LHCb, H1, LC/FCAL si DAΦNE este reprezentata in Tabelul 2.

	CS1/Prof	CS2	CS3	C	Inginer	AsistentC	Tehnician	Student	Total
ATLAS	7	6	1	1	13	7	3	0	38
LHCb	1	2	2	2	1	4			12
H1	1	2		1					4
LC/FCAL	1			1		1		1	4
DAΦNE			1	2					3
Teorie camp	14	1	2			3			20

Tabel 2

VI. Infrastructura

Participarea in colaborarile internationale LHC-CERN, experiente de o complexitate deosebita care isi propun sa raspunda la intrebari fundamentale privind materia si fortele existente in Univers, necesita o putere de calcul uriasa, cantitatea de date experimentale si simulate acumulate in cadrul acestor experimente depasind 12-14 PB/an. Pornind de la aceasta cerinta si de la faptul ca in aceste colaborari participa un numar important de laboratoare si Universitati din lume (spre exemplu in Atlas participa 170 de institutii din 33 de tari cu un numar total de peste 3000 de membrii), a facut ca tehnologia GRID sa fie adoptata de aceste colaborari iar CERN-ul sa devina unul din cele mai importante centre GRID din lume.

Tehnologia GRID permite punerea in comun a unui numar nelimitat de sisteme informationale care realizeaza o distribuire a sarcinilor in intreaga retea formata prin interconectarea acestor noduri. Calculul distribuit de tip Grid presupune integrarea la scara globala a sistemelor de calcul si de stocare de date prin retele de mare viteza, pentru a oferi accesul la capacitati de calcul si de stocare imense, care sunt distribuite geografic. Aceste centre de calcul GRID trebuie sa asigure o functionare fara intrerupere a resurselor de calcul si stocare puse la dispozitie de fiecare institutie colaboratoare, astfel incat sarcina de prelucrare si analiza a cantitatii uriasa de date sa poata fi realizata.

Cele patru experimente de la LHC, impreuna cu cateva proiecte de GRID internationale si nationale au realizat colaborarea globala **Worldwide LHC Computing Grid (WLCG)**. Misiunea proiectului WLCG este de a dezvolta si mentine infrastructura de analiza si stocare de date pentru intreaga comunitate de Fizica Energiilor Inalte care foloseste LHC la CERN. De asemenea colaborarile internationale de la LHC - CERN, Geneva solicita institutiilor colaboratoare crearea conditiilor necesare pentru ca fiecare cercetator, membru al colaborarii, indiferent de locul unde isi desfasoara activitatea, sa aiba acces la datele achizitionate si la programele de analiza si simulare Monte Carlo.

Luand in calcul cerintele de mai sus, grupurile romanesti din fizica particulelor elementare participante in colaborarile de la LHC CERN au dezvoltat o infrastructura de calcul de tip GRID necesara participarii cu succes in activitatile de cercetare din cadrul colaborarilor din care fac parte.

De aceea a fost constituita o federatie romaneasca de centre GRID de tip Tier-2, **RO-LCG**, cuprinzand mai multe centre de calcul distribuite la nivelul intregii tari, unele dedicate in intregime unui experiment, altele asigurand capacitati de calcul pentru toate experimentele de fizica particulelor elementare cu participare romaneasca.

Cele mai importante resurse GRID din domeniul fizicii particulelor elementare se afla concentrate in centrele GRID **RO-02-NIPNE (ATLAS)**, **RO-07-NIPNE (ATLAS, LHCb)**, **RO-11-NIPNE (LHCb)**, **RO-14-ITIM (ATLAS)**.

Centrul GRID RO-02-NIPNE (ATLAS)

Centrul RO-02-NIPNE (<http://gstat-prod.cern.ch/gstat/site/RO-02-NIPNE/>) este de tip Tier2 si are o capacitate de 400 nuclee de calcul si o capacitate de stocare de 230 TB.

Infrastructura de care dispune acest centru este urmatoarea:

- **Alimentare electrica neintreruptibila** asigurata de un echipament **APC Symmetra PX 160kW** 400V cu distributie modulara integrata, fiind un UPS de inalta eficienta trifazat si asigurand o un timp mediu de functionare pe baterii de peste o ora.
- **Sistem de racire cu apa modular APC** bazat pe o topologie de tip culoar cald - culoar rece si care consta din:

1. **Chiller de apa 160 kW** cu tanc de expansiune, asigurand o autonomie de aproximativ 1 ora in caz de intrerupere a alimentarii electrice;
 2. Unitate de distributie a apei reci catre unitatile individuale de racire;
 3. **12 unitati individuale de racire** cu apa de tip “**In Row**”
- **Sistem de administrare si monitorare “InfraStruXure Central Basic”** care poate administra pana la 20 de dulapuri (racks) de servere.
 - **Sistem de protectie si alarmare contra incendiilor** bazat pe o solutie cu gaz inert.
 - **Infrastructura de retea** bazata pe o solutie cu structura unificata Cisco si pe seria de switch-uri Cisco Nexus 5000/2000, special dezvoltate pe centre de date si care asigura o infrastructura de **retea locala mixta de 10 Gb/s si 1 Gb/s**. De asemenea implementeaza o structura unificata a retelei locale cu reseaua de stocare locala, precum si o administrare unificata a retelei de date.
 - Un **element de stocare**, SE (Storage Element), cu o capacitate actuala de **230 TB** bazat pe o retea de stocare mixta, iSCSI 10 Gb/s si Fibre Channel de 8 Gb/s.
 - Un **cluster** de calcul de **400 nuclee** de calcul administrat de doua CE (Computing Element).
 - Legatura de **retea catre exterior de 10 Gb/s**.

In viitor capacitatile de calcul si stocare vor fi marite in raport cu cerintele colaborarii ATLAS.

Centrul GRID RO-14-ITIM (ATLAS)

Centrul RO-14-ITIM (<http://gstat-prod.cern.ch/gstat/site/RO-14-ITIM/>) este de tip Tier2 si are o capacitate de calcul DE 125 procesoare si o capacitate de stocare de 100 TB.

Infrastructura de care dispune acest centru este urmatoarea:

- **Alimentare electrica neintreruptibila** asigurata de un echipament **APC Symmetra 96 kVA** cu distributie modulara integrata, fiind un UPS de inalta eficacitate trifazat si asigurand o un timp mediu de functionare pe baterii de peste jumătate de ora.
- **Sistem de racire cu aer** modular Uniflair. sistem de racire industrial, cu recircularea aerului prin podeaua tehnica, compus din 4 unitati Uniflair Leonardo, legate in retea, cu regim de functionare redundant N+N si ciclic.
- **Sistem de monitorizare APC** care monitorizeaza incinta centrului de date. Dispune de senzori de temperature, umiditate, fum, lichide si suopraveghere video.
- **Sistem de protectie si alarmare contra incendiilor** bazat pe o solutie cu gaz inert.
- **Infrastructura de retea** bazata pe o solutie cu structura unificata Cisco si pe seria de switch-uri Cisco Nexus 6509E/5000, special dezvoltate pentru centre de date si care asigura o infrastructura de **retea locala mixta de 10 Gb/s si 1 Gb/s**. De asemenea

implementeaza o structura unificata a retelei locale cu reseaua de stocare locala, precum si o administrare unificata a retelei de date.

- Un **element de stocare**, SE (Storage Element), cu o capacitate actuala de **60 TB** si un modul de stocare vazut ca si unitate de tip slave cu alti 50 TB.
- Un **cluster** de calcul de **125 de procesoare** de calcul administrat de un element central Cream
- Legatura de **retea catre exterior** este de **10 Gb/s**.

In viitor capacitatile de calcul si stocare vor fi marite in raport cu cerintele colaborarii ATLAS.

Materialul va fi completat cu informatiile referitoare la centrele RO-07-NIPNE, RO-11-NIPNE.

VII. Recomandari

- Existenta unui suport financiar constant si suficient pentru o participare in cadrul colaborarilor internationale la un nivel comparabil cu celelalte laboratoare participante.
- Suportul financiar acordat participarii in colaborarile internationale sa fie cunoscut inaintea inceperii anului calendaristic si avansul sa fie primit in primele luni ale anului in procent de cel putin 70%.
- Asigurarea financiara de stagii la CERN pentru tinerii cercetatori de minimum 3-4 luni.
- Existenta unui suport financiar continuu pentru intretinerea si dezvoltarea infrastructurii de cercetare.