

Projekt za 21. vek u CERN-u Large Hadron Collider (LHC)

U Evropskoj organizaciji za nuklearna istraživanja CERN, poznatoj i pod imenom Evropska laboratorija za fiziku čestica, nadomak čineve, uveliko se gradi Veliki hadronski sudarac LHC, najveći akceleratori kompleks za istraživanja u fizici visokih energija. Ova instalacija ima osnovni cilj da ponudi istraživačke programe najvišeg dometa svim fizičarima čestica u svetu, a njen završetak gradnje i puštanje u pogon predviđeno je za 2007. godinu. U gradnji ovog grandioznog kompleksa učestvuje veliki broj država u svetu i gotovo sve evropske države među kojima i naša posredstvom Ministarstva za nauku, tehnologije i razvoj Republike Srbije. U pripremanju eksperimenata na akceleratorskom kompleksu LHC, radi veliki broj istraživačkih timova iz naučnih institucija sa skoro svih kontinenata. Među ovim istraživačkim timovima nalazi se i grupa naših istraživača koju čine fizičari visokih energija iz Instituta za nuklearne nauke "Vinča" i Fakulteta za fiziku Univerziteta u Beogradu.

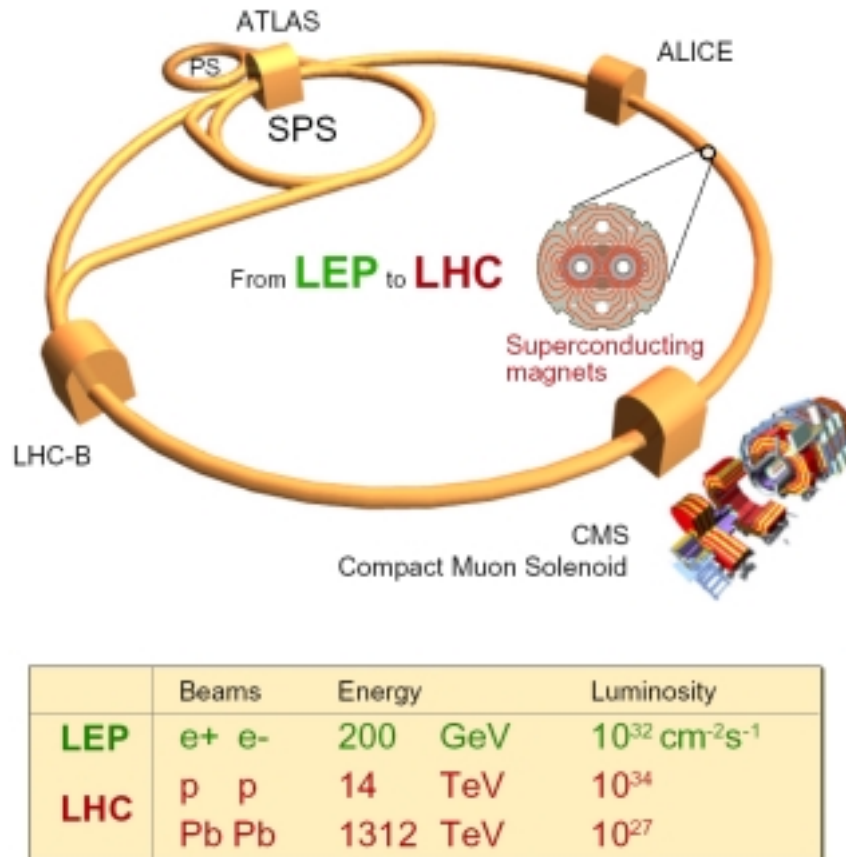
Akceleratori sa sudarajućim snopovima

Ideja korišćenja sudarajućih snopova (colliding beams) pojavila se prvi put 1960. godine, a dobila je u aktuelnosti sa zahtevom za izvođenje eksperimenata na sve višim energijama u cilju otkrivanja novih čestica i izučavanja njihovih svojstava. Dotadašnja konfiguracija eksperimenata u fizici visokih energija sa tzv. fiksiranom metodom, kada se snopom čestica bombarduje stacionarna meta, a onda izučavaju produkti reakcija, nije mogla da obezbedi dovoljno visoke energije za kreaciju masivnih čestica.

U slučaju čeonog sudara dve čestice istih masa koje se kreću istim relativističkim brzinama, na raspolaganju je celokupna oslobođena energija za kreiranje čestica i one je jednaka zbiru energija obe čestice. Ova prednost sudaraca (kolajdera) u dostizanju viših energija, na žalost, ima jednu manu, a to je vrlo mala verovatnoća sudara koja se meri luminoznošću. Fizički smisao parametra luminoznosti odgovara broju događaja u jedinici vremena po jedinici površine [$cm^{-2}s^{-1}$] za određenu reakciju. Intenzitet ili broj čestica u jedinici vremena pri sudaru dva snopa (unutar konture približno jednakoj površini koja zahvata površinu poprečnog preseka snopa), tretira se kao "izvor" ili "sjajnost izvora interakcija" (otuda termin luminoznost). Nedostatak kolajdera je niska frekvencija sudara, odnosno mali broj interakcija čestica, zbog čega je mnogo manja luminoznost u odnosu na akcelerator koji operiše sa stacionarnim metama. Ove metode, koje zavise od eksperimenta mogu da budu u vrstom ili gasovitom stanju, svojom visokom gustinom obezbeđuju dovoljan broj interakcija sa upadnim snopom u poređenju sa akceleratorima sa sudarajućim snopovima gde ustvari svaki snop zasebno predstavlja metu u odnosu na onaj drugi. Nastojanje da se ovaj nedostatak kod kolajdera ublaži, posebno kod onih kod kojih jedan od snopova čine antičestice, a broj sudara povećao, doveo je do pronalaska i uspešne primene metoda poboljšavanja kvaliteta (hlađenja) snopova. Osnovni cilj ove kompleksne metode "stohastičkog hlađenja", je povećanje intenziteta, a samim tim i gustine snopa.

Zbog prirode fizičkog procesa kreacije čestica, neophodna energija u sistemu centra mase mora da bude ista ili veća od mase neutralne čestice, odnosno jednaka ili veća od dvostruke mase naelektrisanе čestice. Na primer, pri sudaru čestica i antičestica zakon održanja naelektrisanja ne dozvoljava proizvodnju samo jedne naelektrisanе čestice, već par suprotno naelektrisanih čestica. Danas u svetu postoji nekoliko akceleratori skih instalacija u kojima se sudaraju snopovi elektrona, protona ili teških jona. Zajedničko za

sve eksperimente sa sudarajućim snopovima su tipični ogromni i kompleksni detektori sagrađeni od više detektorskih slojeva u cilindričnoj geometriji duž ose akceleratorne cevi, simetrično u odnosu na mesto sudara snopova (Sl. 1).



Slika 1. Akceleratorski lanac u CERN-u

Dva snopa istih čestica ili čestica i anti-čestica, ubrzavaju se u suprotnim smerovima, a oko mesta gde dolazi do njihovih sudara izgrađeni su xinovski višeslojni multidetektorski sistemi sa ciljem da uhvate i registruju u prostornom uglu 4π (to je moguće veći broj produkata interakcija nastalih u tim sudarima. Osnovni cilj gradnje ovih kompleksnih detektora čije dimenzije u proseku prevazilaze desetine metara, je nastojanje da se postigne visoka verovatnoća registracije i identifikacije čestica koje izlaze iz mesta sudara u prostornom uglu 4π .

Osnovni motiv za velike investicije u gradnji ovakvih akceleratorskih postrojenja i kompleksnih detektora su fundamentalna istraživanja u fizici čestica. U najkraćem, to uključuje produkciju elementarnih čestica, njihovu detekciju, izučavanje njihovih interakcija kao i fenomena koji nastaju u specijalnim detektorskim medijumima na osnovu merenja njihovih impulsa, energija i rekonstrukcija tragova. Treba istaći da cilj ovakvih istraživanja skoro da ostaje nepromenjen još od osnivanja moderne fizike početkom 20. veka, a pojednostavljenim rečnikom, to je da se dostignu (to je moguće) više energije u "malom prostoru" kako bi se "videli" najsitniji delovi strukture materije i kako bi se eventualno bolje upoznala postojeća slika mikrosveta.

Najveće, sinhroni-kolajderi predstavljaju poslednji stepen u lancu spregnutih akceleratora (videti šematski prikaz akceleratorskog lanca u CERN-u). Ubrzavanje dva snopa čestica istog naboja mora da se obavi u odvojenim akceleratorskim cevima,

dok proces ubrzavanja dva snopa čestica različitih naelektrisanja u suprotnim smerovima može da se obaviti u istoj akceleratorskoj cevi (to pojednostavljuje konstrukciju i znatno smanjuje troškove kako pri gradnji, tako i pri funkcionisanju i održavanju postrojenja. Danas u svetu postoji nekoliko velikih akceleratorskih instalacija u kojima dominiraju istraživanja u fizici visokih energija, a svakako najveća i najpoznatija među njima je u CERN-u.

Akceleratorski kompleks LHC

Veliki hadronski sudarač LHC čini sinhrotronski prsten od dve akceleratorске cevi u kojima se ubrzavaju snopovi protona u suprotnim smerovima, svaki do energije 7 TeV, a zatim dovode u stanje sudara pri ukupnoj energiji u sistemu centra mase od 14 TeV. Osnovnu komponentu tog prstena predstavlja superprovodni kvadrupolni magnet u čijem središtu su smeštene dve akceleratorске cevi. U toku procesa ubrzavanja, da bi sledili orbitu definisanu samom akceleratorskom cevi, protoni su podvrgnuti dejstvu snažnog magnetskog polja, indukcije od 8.4 T. Elektromagnetski namotaji načinjeni od superprovodnog (Ni-Ti) materijala, koji se kao i sama sredina kvadrupolnog magneta održavaju uz pomoć superfluidnog helijuma na temperaturi blizu apsolutne nule (1.8 K), generišu izuzetno jako magnetsko polje istog intenziteta u obe cevi, ali suprotnog smera (jer je neophodno da se dva protonска snopa ubrzavaju u suprotnim smerovima). Sam prsten će biti instaliran u tunelu dugom 27 km gde se već nalazio prsten poznatog elektronskog sinhrotrona LEP (Veliki sudarač elektrona i pozitrona), na prosečnoj dubini od 100 m. Ceo kompleks se prostire između vajcarske i Francuske, u predgrađu Evry (Sl. 2).

Zahvaljujući već postojećoj infrastrukturi izgrađenoj za LEP, očekuje se da buxet LHC-a ne pređe 3.5 milijarde CHF. Kada bude završen i pušten u pogon 2007. godine, LHC će predstavljati najskuplji i verovatno najslabiji projekat ikada preduzet u svetu nauke. To je instalacija za 21. vek sa ciljem da ponudi istraživačke programe vrhunskog kvaliteta u fizici čestica za sve fizičare sveta. U dizajniranju i konstrukciji ove instalacije koriste se poslednja dostignuća u modernim tehnologijama, elektronici, materijalima, kompjuterskoj tehnici. Ne pamti se da je ikada tako veliki i odabrani broj vrhunskih naučnika bio angažovan na jednom zajedničkom projektu. Za te potrebe, kao i u pripremi budućih eksperimenata, angažovan je ogroman broj naučnika i specijalista različitog profila iz svih krajeva sveta, uključujući i fizičare iz naše sredine. Očekuje se da će ovaj projekat omogućiti da Evropa i CERN bar u prvoj dekadi 21. veka zadrže svetski primat u fizici visokih energija koji su preuzeli još početkom osamdesetih godina od SAD.

Da bi se stekao utisak o kakvom grandioznom projektu je reč, najbolje je navesti nekoliko osnovnih podataka o novom istraživačkom kompleksu LHC. U svakom od dva prstena LHCsinhrotrona nalazi se 1152 dipolna magneta, a od ukupno 27 km dužine, 24 km prstena biće okupirano magnetima različitih tipova (ukupno 6000 magnetskih elemenata). Jedan primerak dipolnog superprovodnog magneta, prosečne dužine 13.6 metara, u stanju je da propušta struju između 6600 i 9500 ampera koja će na minimalnoj temperaturi od približno 1.8 °K (sasvim blizu apsolutne nule) generisati maksimalnu magnetsku indukciju od 8.4 T. Ovako snažni magneti su neophodni da bi se snopovi protona tako visokih energija održavali u postojećem akceleratorskom prstenu, dok se ubrzavanje istog snopa obavlja promenljivim električnim poljem visokih frekvencija (preko 400 MHz). Najveće, akceleratorски kompleksi ovakvog tipa imaju u proseku četiri pozicije gde se snopovi ukrštaju, odnosno sudaraju i gde su postavljeni ogromni detektorski sistemi sa pratećim eksperimentalnim prostorijama. Samo na dva eksperimentalna mesta: kolaboracije ATLAS i CMS, biće angažovano skoro 4000 ljudi. Buxet obezbeđuju uglavnom članice CERN -a i najrazvijenije i vodeće države Evropske unije (80%), a značajnu kontribuciju u izgradnji LHC instalacije, kako novčanu tako i hardversku, obezbeđuju Japan, SAD, Rusija i

Kanada. Skoro sve dr`ave Evrope, uklju-uju}i i na{u, participiraju u ovom velikom projektu.



Slika 2. Avionski snimak LHC kompleksa s ozna-enim konturama akceleratora

Fizika na LHC

Osnovni cilj fizike elementarnih ~estica je izu-avanje strukture materije, najelementarnijih delova od kojih je materija sastavljena (kvarkovi i leptoni), kao i izu-avanje interakcija koje me|u njima vladaju. Uprkos velikom uspehu Standardnog modela, vladaju}e teorije u fizici ~estica, u opisivanju elektromagnetske, slabe i jake interakcije, postoji jo{ veliki broj fenomena koje fizi-ari nedovoljno razumeju. Na primer, postoje}e te{ko}e u razumevanju masenog spektra elementarnih ~estica u mnogome podse}aju na slu-aj od pre jednog veka kada je otkri}em periodnog sistema hemijskih elemenata na-injen odlu-uju}i korak i kona~no uveden red u, do tada, konfuzni svet hemije, ali se ipak na kona~na razja{njenja moralo ~ekati sve do pojave planetarnog modela atoma (E. Rutherford) i njegovog kompletnog razvoja. U tom svom nastojanju i neprekidnoj `elji da se dostignu {to vi{e energije i da se pribli`e {to ranijem stadijumu razvoja univerzuma, fizi-ari svoja izu-avanja ~esto poistove}uju sa putovanjem u pro{lost. @elja za poznavanjem stanja materije neposredno posle Velike eksplozije kada su, veruje se, sve interakcije bile ujedinjene, zaista se mo`e nazvati putem u srce materije. LHC nas sa svojim energijama (14 TeV) vodi do strukture materije dimenzija 10^{-18} m {to odgovara vremenskom trenutku od 10^{-12} dela sekunde od Velike eksplozije kada su interakcije dominirale izme|u leptona i kvarkova i kada je temperatura bila 10^{16} stepeni.

Ostvarenom dostignu}u ujedinjenja elektromagnetske i slabe interakcije nedostaje jo{ jedan korak: eksperimentalna potvrda postojanja Higgs bozona, ~estice za koju se veruje da je odgovorna za generisanje masa ostalih ~estica u prirodi. Registrovanje i odre|ivanje mase Higgs bozona predstavlja jedan od najva`nijih istra`iva~kih programa budu}eg LHC sudara~a u CERN-u.

Postoji generalno verovanje da se mo`da neka nova fizika krije u oblasti energija reda TeV (1000 GeV). LHC je dizajniran tako da omogu}i izu~avanje ba{ u tom domenu energija pri ~emu je naglasak stavljen na Higgs sektor ~ija fenomenologija sa elementarnim Higgs bozonom kome je pridru`en veliki broj tzv. supersimetri-nih ~estica, mo`da izgleda druga-ije i slo`enije nego {to mi znamo danas. Ve} dugo vremena, posebno posle definitivne dominacije Standardnog modela, jedna od velikih zagonetki fizike je da li priroda pri spontanom naru{enju tzv. kalibracione (gauge) simetrije zaista koristi Higgs -ov mehanizam za generisanje masa ~estica koje opa`amo. U GWS modelu elektroslabih interakcija ovaj koncept je implementiran posredstvom kompleksnog skalarnog polja ~iji je osnovni kvant skalarni bozon danas poznat kao Higgs ~estica. Registrovanje jednog od Higgs bozona (na primer, putem jednog od raspada: $h^0 \rightarrow \gamma\gamma$, $H^\pm \rightarrow llll$, $lljj$), smatra se mo`da najzna~ajnijim zadatakom u fizici ~estica po~etkom 21. veka. Zato, osnovnom skupu elementarnih ~estica (12), kao i broju bozona-medijatora interakcija (3), treba dodati bar jo{ jednu, Higgs bozon.

Supersimetrijom (SUSY), vezanom za Supersimetri-ni GUT (Grand Unification) model koji uklju~uje unifikaciju sve ~etiri interakcije, uspostavljena je simetrija izme|u fermiona i bozona tako da svakom fermionu odgovara supersimetri-ni bozonski partner (slepton, squark) u istom supermultipletu, a svakom bozonu odgovara supersimetri-ni fermionski partner (photino, gluino, higgsino, gravitino). Na ovaj na~in, svi fundamentalni bozoni i fermioni se mogu shvatiti kao razli-ite supersimetri-ne manifestacije jedne zajedni-ke "super-estice". Supersimetrija u tom smislu predstavlja mo`da i kona-nu teoriju kompletne unifikacije svih ~estica. Mada ni jedan supersimetri-ni partner jo{ nije eksperimentalno registrovan, o~ekuje se da u prvoj dekadi 21. veka SUSY model bude predmet intenzivnog eksperimentalnog izu~avanja. Prvi eksperimenti ~iji je glavni cilj registrovanje jedne od "s" ~estica (chargino, neutralino,...), bili su zapo~eti u CERN-u (LEP200), a nastavi}e se po zavr{etku akceleratorskog kompleksa LHC.

U okviru LHC programa o~ekuju se tako |e eksperimenti vezani za izu~avanje novih ~estica. Jedan od ciljeva sigurno biti leptokvarkovi, nove elementarne ~estice. Njihovo eventualno registrovanje bi moglo da dovede mo`da i do promene nekih fundamentalnih teorija u fizici.

Detektori za eksperimente na LHC

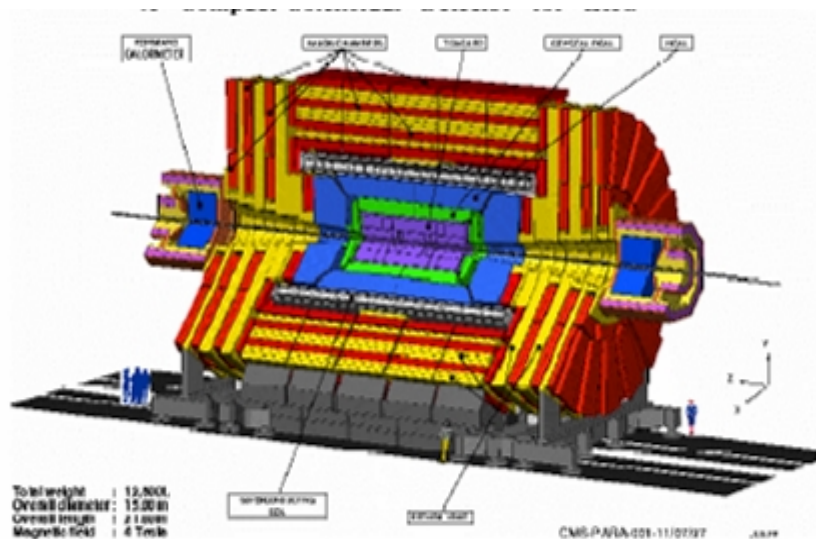
U eksperimentalnoj fizici visokih energija kompleksni detektorski sistemi uglavnom treba da zadovolje tri zahteva: identifikaciju, vreme interakcije ili vreme ulaska ~estice u detektor i informaciju o polo`aju ~estice. S obzirom da ne postoji jedan nezavisan detektor koji }e zadovoljiti sva tri zahteva istovremeno, dana{nji detektori predstavljaju kompleksne, vi{eslojne multidetektorske sisteme cilindri-ne forme, u kojima su objedinjene sve ove funkcije.

Detekcija i identifikacija ogromnog broja ~estica nastalih u sudarima dva snopa, kao i visoka preciznost rekonstrukcije njihovih tragova, omogu}eni su zahvaljuju}i postojanju modernih kompjuterskih sistema i razvojem vrhunskih software-a za ovu oblast istra`ivanja. Svakako da su{tinski doprinos uspe{nosti ovih istra`ivanja, kao {to je to uostalom slu-aj danas i u drugim granama istra`ivanja izvan fizike, predstavljaju precizne kompjuterske simulacije pri postavljanju eksperimenata. Ovim simulacijama je mogu}e predvideti najkompleksnije pojedina-ne doga|aje u skladu sa va`ejim teorijama. To je sasvim razumljiv postupak ako se imaju u vidu velika sredstva koja se ula`u u komplikovane eksperimente, jer pre same njihove realizacije, na osnovu kompjuterskih simulacija, ve} se unapred mo`e govoriti o ciljevima, fizi-koj realnosti, kao i o njihovoj svrsishodnosti.

Kao što je to uobičajeno, uz gradnju LHC kompleksa se istovremeno odvija i gradnja detektora za buduće eksperimente. Planirana su četiri eksperimentalna mesta gde se snopovi protona sudaraju i na svakom od tih mesta se gradi jedan kompleksni višeslojni detektorski sistem sa određenom namenom. To su detektori: ALICE, ATLAS, CMS i LHCb po kojima i odgovarajuće međunarodne kolaboracije nose imena (Sl. 1). Sva četiri detektora moraju da budu spremna za prve eksperimente 2007. godine kad LHC bude pušten u rad.

ATLAS (A Toroidal LHC Aparatus) i CMS (Compact Muon Solenoid) detektor imaju slične namene: izučavanje procesa i fenomena u proton-proton sudarima. Pored preciznog merenja parametara teške familije (mase i raspada top i bottom kvarka), spektroskopije, kao i izučavanje retkih raspada B hadrona (teška u kojoj sastav ulazi b kvark), ti fenomeni obuhvataju: registrovanje Higgs bozona, izučavanje mehanizama spontanog narušenja simetrija (narušenje elektroslabe, CP simetrije), potragu za supersimetričnim tešćicama, novim gauge bozonima (tešćicama medijatorima interakcija), leptokvarkovima (novim elementarnim tešćicama).

Samo u kolaboracije ATLAS i CMS trenutno je uključeno ukupno blizu 4000 fizičara i inženjera. Oni dolaze iz 150 institucija iz 34 države (ATLAS), odnosno iz 151 institucije iz 31 države (CMS), iz svih krajeva sveta. I to pokazuje da LHC zaista predstavlja svetski projekat. Detektori ATLAS i CMS oko kojih su okupljene istoimene kolaboracije, do sada su najveći i najkompleksniji detektori ikada izgrađeni za eksperimente u fizici. Dovoljno je spomenuti samo da dužina superprovodnog toroidnog magneta cilindrične forme, koji zauzima centralni deo detektora ATLAS i koji generiše magnetsko polje indukcije 2T, ima dužinu 26, a dijametar 19.5 metara. S druge strane, dužina CMS detektora iznosi 21.6, a dijametar 15 metara. U unutrašnjosti CMS detektora čija ukupna težina prelazi 12500 tona (Sl. 3), nalazi se moćni superprovodni magnet (solenoid) koji generiše snažno magnetsko polje indukcije 4T. Pri tipičnom broju od 800 miliona sudara protona u sekundi koliko se očekuje da obezbedi LHC, ovi detektori će omogućiti dobijanje i do 10 miliona informacija po svakom sudaru. Zato, elektronika visoke tehnologije koja se ugrađuje u detektore ovog tipa, ima vrlo kompleksan zadatak u okviru postojećeg trigger sistema (trigger/Data Acquisition, 10^5 Hz): izdvajanje, identifikaciju i obeležavanje najvažnijih (interesantnih) događaja koji nastaju pri svakom od 800 miliona sudara u sekundi. Konačno, ceo poduhvat ne bi bio moguć bez učesnika i kontrole moćnih kompjuterskih sistema poslednje generacije. Za prihvatanje i obradu tako velikog broja ukupnih (sirovih) događaja iz eksperimenata, najsavremeniji kompjuterski sistemi (CPU= 2×10^6 MIP) moraju u toku jedne godine da obezbede prostora od 1 Petabyte (1PB= 10^{15} byte). Budžet za izgradnju ATLAS i CMS detektora je isti i na samom početku bio je limitiran na 475 miliona CHF za svaki posebno, a danas je zbog ušteda taj limit čak spušten na približno 450 MCHF. Fizičari iz Grupe za fiziku elementarnih teških Instituta u Vinu zajedno sa kolegama sa Fakulteta za fiziku Univerziteta u Beogradu (CMS Belgrade Group) aktivno učestvuju već više od godinu dana u pripremi eksperimenata na detektoru CMS-u (Sl. 3). Uskoro se očekuje da se druga grupa fizičara iz Instituta za fiziku u Zemun, takođe zvanog, pridruži kolaboraciji ATLAS. Kao doprinos projektu LHC, Republika Srbija je posredstvom Ministarstva za nauku, tehnologiju i razvoj Republike Srbije, obezbedila pojedine delove za detektore CMS i ATLAS koje su specijalno za tu namenu proizvele ("Zastava alati" iz Kragujevca) ili će tek proizvesti odgovarajuće srpske industrijske firme.



Slika 3. Detektor CMS na budućem kolajderu LHC u koji se gradi u CERN-u

Detektor ALICE (A Large Ion Collider Experiment) je dizajniran za izučavanje osnove nuklearne materije i kvark gluon plazme u sudarima teških jona olova (Pb-Pb) koje će takođe moći da se ubrzavaju u akceleratorском prstenu LHC. Ova kolaboracija trenutno broji više od 750 ljudi koji dolaze iz 70 institucija iz 27 zemalja. Detektor ALICE je specijalno sagrađen za izučavanje sudara snopova jezgara olova pri energijama koje će omogućiti proizvodnju gustine materije koja će približno odgovarati gustinama materije neposredno po njenom nastanku posle Velikog praska.

Detektor LHCb nije samo ime fizičarima već dovoljno govori kakvoj vrsti fizike je namenjen, predstavlja, kao i ALICE, detektor dizajniran za specijalnu namenu. Kolaboracija okupljena oko detektora LHCb broji blizu 650 ljudi iz 50 institucija sveta. Eksperimenti su usmereni ka izučavanju i registrovanju narušenja CP simetrije u hadronskim sistemima koji sadrže b kvark, pri čemu C i P predstavljaju simetrije u odnosu na naelektrisanje i parnost, respektivno (simetrija CP je poznata i kao “ogledalska simetrija”). U najkraćem, osnovni cilj ovih izučavanja je bolje razumevanje i eventualno razjašnjenje problema vezanog za odsustvo antimaterije u prirodi. Oduvek se verovalo, a današnje teorije nas još uvek tako uče, da su materija i antimaterija bile stvorene u istim količinama pri samom nastanku univerzuma, tako da uzrok nastanka te asimetrije i dalje predstavlja misteriju. Ovaj problem, pored gotovo svih grana prirodnih nauka, ne ostavlja ravnodušnim ni filozofe, ali su, ipak, njime najviše opterećeni fizičari. Zajedno sa pitanjem porekla mase (prvenstveno kvarkova i leptona), moglo bi se reći da pitanje porekla asimetrije materije i antimaterije predstavlja fundamentalni problem u fizici koji vrlo dugo zaokuplja fizičare. Narušenje CP simetrije za koju se smatra da bi mogla biti uzrok postojeće asimetrije materije i antimaterije u prirodi, biće proučavano u neutralnim hadronskim sistemima koji sadrže b kvark, B⁰ mezon. Do sada, ovaj slabi efekat (0.1%) potvrđen je jedino u eksperimentima sa neutralnim K mezonima (K⁰), ali se veruje da bolje šanse za njegovo jasnije registrovanje i efikasnije izučavanje nude neutralni sistemi koji sadrže b kvark gde bi, zbog veće mase, efekat narušenja CP simetrije mogao biti izraćeniji.

Umesto zaključaka

Fizičari očekuju da će im LHC svojim moćnim protonskim snopovima omogućiti da reše mnoge nedoumice i steknu nova saznanja o fundamentalnim interakcijama i elementarnim česticama na energijama i u uslovima u kojima za to do sada nikad nisu imali prilike da izučavaju. Realizacija ambicioznih istraživačkih programa planirana je na do sada najvišim energijama i pri rekordnim vrednostima luminoznosti (to će stvoriti

specifične uslove u kojima će morati besprekorno da funkcionišu svi detekcioni sistemi. U takvim ekstremnim eksperimentalnim uslovima i uz izuzetno visoke zahteve, neophodna je visoka pouzdanost svakog dela detektorskog sistema. Imajući u vidu postojeće višegodišnje iskustvo u ovoj oblasti fizike, nema sumnje da će takvi ambiciozni istraživački zahtevi podstaći i promovisanje novih tehnoloških zahteva koji treba da omoguće nov zamah i napredak evropske industrije u razvoju najmodernijih tehnoloških rešenja, prvenstveno u nauci o materijalima, elektronici i kompjuterskoj tehnologiji. Najbolji primer za ovu tvrdnju predstavlja upravo CERN, institucija u kojoj rade vrhunski istraživački timovi, čije su laboratorije opremljene modernom opremom i gde je nedavno (krajem 2000.) priveden kraju istraživački program na Velikom sudaru elektrona i pozitrona (LEP). Izgradnja i više nego uspešna jedanaestogodišnja eksploatacija ovog još uvek najvećeg akceleratorskog kompleksa koji je ikada izgrađen, predstavljaju dragoceno iskustvo u gotovo idealnom spoju rezultata vrhunskih fundamentalnih istraživanja i njihove neposredne primene. Treba uvek imati u vidu, pored svoje dominantne uloge u podizanju standarda na polju istraživanja i u obrazovanju naučnih kadrova, fundamentalna istraživanja su uvek bila generator razvoja primenjenih istraživanja i generator razvoja novih tehnologija koje pak, s druge strane, na najdirektniji način stimulišu generaciju novih eksperimenata, a iz kojih će opet proizaći novi istraživački zahtevi.