

OCJENA PODOBNOSTI DOKTORSKE TEZE I KANDIDATA

OPŠTI PODACI O DOKTORANDU	
Titula, ime i prezime	Mr Itana Bujanja
Fakultet	Prirodno - matematički fakultet
Studijski program	Fizika
Broj indeksa	1/2020
Podaci o magistarskom radu	„Analiza dileptonskih parova iz raspada Z bozona nastalih u proton-proton interakcijama na energiji od 5 TeV na CMS eksperimentu“, Eksperimentalna fizika čestica, Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet Crne Gore, 23.9. 2019, A (9.92).
NASLOV PREDLOŽENE TEME	
Na službenom jeziku	Produkcija naelektrisanih leptonskih parova kroz Drel-Jan proces u proton-proton sudarima na LHC-u
Na engleskom jeziku	Production of charged lepton pairs through the Drell-Yan process in proton-proton collisions at the LHC
Datum prihvatanja teme i kandidata na sjednici Vijeća organizacione jedinice	24.12.2021.
Naučna oblast doktorske disertacije	Eksperimentalna fizika elementarnih čestica
Za navedenu oblast matični su sljedeći fakulteti	
Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet Crne Gore	
A. IZVJEŠTAJ SA JAVNE ODBRANE POLAZNIH ISTRAŽIVANJA DOKTORSKE DISERTACIJE	
Dana 16. marta 2022. godine s početkom u 11:00 sati održana je odbrana polaznih istraživanja doktoranda Mr Itane Bujanje. Komisija za obranu bila je u sastavu: 1. Dr Slobodan Backović 2. Dr Ivana Pićurić 3. Dr Hannes Jung 4. Dr Laurent Favart 5. Dr Nataša Raičević Obrana (prezentacija početnog istraživanja doktoranda, pitanja, odgovori i diskusija) je završena u 12:00 sati. Tokom obrane doktorandkinja je predstavila motivaciju istraživanja i kratak pregled aktualne publikacije CMS kolaboracije koja se odnosi na emisiju leptonskih Drell Yan parova u proton-proton sudarima. Kandidatkinja je detaljno objasnila svoj dosadašnji rad na doktorskom istraživanju koji je ukratko sadržan u sljedećem: 1. Prvi rezultati sa raspodjelama transverznog impulsa leptonskog para za različite invarijantne	

masene binove u Drell-Yan analizi podataka iz 2017. godine. Eksperimentalni rezultati su upoređeni sa potpunom simulacijom detektora uz korištenje Madgraph generatora događaja. Takođe, fonski doprinosi su u potpunosti simulirani. Analiza je napravljena korištenjem tzv. SHEARS okvira koji se koristi na CMS-u (The Simple and Handy Event Analysis ROOT-based Suite).

2. Prva analiza produkcije Z bozona za podatke iz proton-proton interakcija na energiji od 13 TeV iz 2016. godine uz korišćenje novog formata podataka koji je nazvan NanoAOD. Ovo je format poput Ntuple-a, sa informacijama koje po događaju zauzimaju oko 1Kb memorijskog prostora što predstavlja značajno smanjenje u odnosu na prethodno korišćene formate. Pored osnovnih raspodjela lepton i parova, po prvi put je analizirana raspodjela po azimutalnom otvoru između lepton iz para ($\Delta\Phi$) i pri tome diskutovana njegova korelacija s transverzalnim impulsom para.

3. Softverski paket Rivet (Robust Independent Validation of Experiment and Theory) korišćen je za validaciju generatora Monte Karlo događaja. To je jedan od važnih koraka u odobravanju radova u procesu interne recenzije CMS kolaboracije prije slanja konačnih rezultata u časopis. Kako bismo bili sigurni da je Rivet rutina u skladu sa kodom analize koji je korišćen za dobijanje rezultata mjerenja diferencijalnih efikasnih presjeka Drell Yan leptonskih parova koje će CMS kolaboracija uskoro publikovati, sprovedeno je nekoliko koraka validacije što je od izuzetnog značaja.

4. Upoređivanje različitih modela za simulaciju poddogađaja (engl. underlying event) i višepartonskih interakcija (Multi-parton interactions) koji se koriste u CMS kolaboraciji. Teorijski rezultati su takođe upoređeni s eksperimentalnim mjerenjima efikasnih presjeka po transverzalnom impulsu para.

Nakon obrane, članovi Komisije postavljali su pitanja, komentarisali dosadašnje rezultate i sugerisali dalji rad na disertaciji. Komisija je konstatovala da se radi o izazovnoj i zahtjevnoj temi koja će sadržati mjerenje diferencijalnih presjeka za proizvodnju Drell-Yan parova s najvećom preciznošću do sada na LHC-u. Komisija je takođe konstatovala da su dosadašnji rezultati kandidata na prilično visokom nivou.

B. OCJENA PODOBNOSTI TEME DOKTORSKE DISERTACIJE

B1. Obrazloženje teme

Rezultati koji će biti dobijeni u okviru ove teze pripadaju oblasti fizike elementarnih čestica to jest fizike visokih energija. Analizira se produkcija naelektrisanih parova lepton iz Drell-Yan procesa nastalih u proton-proton (pp) interakcijama pri energiji od 13 TeV. Fokus rada je na raspodjelama transverznog impulsa para lepton. Transverzalni impuls je projekcija impulsa na ravan normalnu na snop protona koji se sudaraju. Protoni se ubrzavaju unutar najvećeg do sad napravljenog akceleratora - Velikog hadronskog sudarača (eng. Large Hadron Collider – LHC). LHC je posljednji u nizu u CERN-ovom akceleratorском sistemu, smješten ispod Francusko-Švajcarske granice, u blizini Ženeve. Za prikupljanje podataka koji će biti analizirani u ovom radu koristi se jedan od detektorskih sistema u CERN-u - višenamjenski detektorski sistem pod nazivom Kompaktni mionski solenoid (eng. Compact Muon Solenoid – CMS).

Protoni nemaju tačkastu strukturu već se sastoje od mnogo konstituenata: naelektrisanih kvarkova i antikvarkova i neutralnih gluona (kvarkovi i antikvarkovi su čestice koje nemaju cjelobrojno naelektrisanje, već ono iznosi $\pm 2/3e$ ili $\pm 1/3e$, gdje je e naelektrisanje elektrona). Svi konstituenti protona se jednim imenom nazivaju partoni. Gluoni unutar protona posredstvom

jake interakcije drže na okupu partone. (Anti)kvarkovi međusobno interaguju razmjenom gluona koji su prenosioci jake interakcije. Ovo je detaljno opisano teorijom kvantne hromodinamike (eng. quantum chromodynamics – QCD). Sudari protona visokih energija su zapravo sudari partona koji ih čine.

U sudarima, kvark i antikvark iz interagujućih protona se mogu anihilirati te se kreira bozon. Ako je njihovo ukupno naelektrisanje i ukupni „aromat” nula, nastaju virtuelni foton (γ^*) ili Z bozon. Ako to nije slučaj, kreira se W bozon koji je naelektrisan. Proces u kome raspadom ovako nastalog γ^* ili Z bozona dobijamo par naelektrisanih leptona, lepton i njegova antičestica (l^+l^-), se naziva Drel-Jan proces. Nedugo nakon kreacije bozon se sa određenom vjerovatnoćom raspada na leptonski par. Ukupni impuls u samom procesu se održava tako da impuls para leptona odgovara impulsu γ^*/Z bozona. Ako je leptonski par nastao iz virtuelnog fotona onda je u pitanju elektromagnetni proces dok se proces kreacije leptonskog para iz Z bozona dešava posredstvom slabe interakcije. Invarijantna masa kreiranih leptonskih parova odgovara invarijantnoj masi bozona čijim su raspadom nastali. Za mase koje su značajno ispod energije mirovanja Z bozona, dominantan je elektromagnetni proces. Za mase čija je vrijednost bliska energiji mirovanja Z bozona, postaje dominantan proces koji se odvija pod dejstvom slabe interakcije. U ovom radu analizira se proces kreacije elektronskih (e^+e^-) i mionskih ($\mu^+\mu^-$) parova. Međutim, u stvarnosti, Drel-Jan proces nije tako lako izolovati i opisati. Prilikom interakcije ne dešavaju se samo čestice sudari već postoje i tzv. "poddogađaji" (eng. Underlying events – UE) koji se sastoje od čestica nastalih od „ostataka" interakcija (eng. beam-beam remnants – BBR) te onih partonskih interakcija koje ne predstavljaju početno rasijanje partona iz hadrona kao ni zračenja finalnog i inicijalnog stanja koje je povezano sa ovim procesima (eng. multiple-parton interactions – MPI).

Prije anihilacije, kvark-antikvark parovi koji učestvuju u Drel-Jan procesu mogu da izrače gluon. Takođe, kvark i antikvark koji učestvuju u procesu ne moraju da dolaze direktno iz interagujućih protona već gluoni unutar tih protona mogu da izrače te kvarkove. Ovo znači da pored kreacije leptona iz neutralnih bozona može doći i do emisije dodatnih kvarkova i gluona. Prema QCD teoriji, ovako nastali kvarkovi i gluoni – partoni, u procesu hadronizacije formiraju čestice koje se detektuju – hadrone, koji se emituju unutar uskog konusa čija osa leži duž ose inicijalnog partona. U fizici visokih energija ovakve strukture se nazivaju hadronski džetovi. Iako sa manjom vjerovatnoćom, dakle može se desiti da se džetovi emituju zajedno sa neutralnim bozonom. Vjerovatnoća da se neki proces desi je predstavljena efikasnim presjekom tog događaja. Produkcija bozona sa više džetova visoke energije je process koji se dešava sa malom vjerovatnoćom. Međutim, kad govorimo o kreaciji džetova manjih energija, situacija je drugačija. Drel-Jan parovi lako mogu biti kreirani sa nekoliko „mekih” džetova.

U cilju što kvalitetnijih mjerenja, kao i mjerenja presjeka procesa koji se odvijaju sa manjom vjerovatnoćom, potrebno je obezbijediti što veću količinu eksperimenalnih podataka tj. statistiku. Kako bi se obezbijedila veća statistika, akceleratori rade u uslovima velike luminoznosti - veliki broj interakcija u sekundi. Proton-proton interakcije se dešavaju kada se takva dva paketića protona sudare. Razmak između paketića protona koji se ubrzavaju u LHC-u je oko 25 ns, a odvije se oko 20 interakcija po jednom sudaru paketića. Iz ovog razloga, veliki izazov za mjerenja je prisustvo značajnog broja proton-proton interakcija koje se "preklapaju" sa interakcijom od interesa, njih u prosjeku 35 (predstavljaju tzv. *pileup*) i dešavaju se praktično istovremeno kao i interakcija tokom koje se kreira leptonski par. Dakle, pri ovakvim uslovima, doprinos koji dolazi od pileup događaja nije zanemarljiv. Kako su čestice i džetovi nastali u ovakvim sudarima nižih energija, njihov doprinos se redukuje uvođenjem kriterijuma za selekciju po energiji detektovanih objekata. Ovo znači i da se u analizu ne uključuju produkti interakcija od interesa koji imaju niske energije. Takođe, ne zabilježava se sve što dolazi iz pp interakcija, već samo onaj dio značajan za analize, dio koji prođe selekzione kriterijume.

„Meki“ gluoni, iako ne mogu biti detekovani kao pojedinačne čestice, utiču na proces. Razlog za ovo je činjenica da gluoni odnose dio energije, a zbog zakona održanja ovo utiče na kompletan sistem. Zbog toga, mjereći impuls nastalih bozona tj. dileptonskih parova, možemo dobiti informaciju o „mekim“ procesima iako nisu detektovani te ih možemo identifikovati.

Teorija perturbacija se koristi za računanje verovatnoće da se neki proces desi tokom pp interakcija. Uzima se da emitovani objekti, čestice i džetovi, imaju mnogo veću energiju od protona u stanju mirovanja te se ne može primijeniti za situaciju gdje imamo emisiju „mekih“ gluona. Za ovaj dio niskih energija modelovanje „mekih“ procesa se mora odraditi i tako dobijen model se upoređuje sa eksperimentalnim podacima.

B2. Cilj i hipoteze

Cilj rada

Cilj ove teze je da se dobije diferencijalni efikasni presjek za Drel-Jan proces u funkciji od transverznog impulsa para leptonu i azimutalnog otvora među leptonima iz para u širokom masenom opsegu invarijantne mase para. Analiza se radi na kompletnoj statistici podataka prikupljenih tokom Run II perioda rada LHC-a. Zbog toga se očekuje da ovo bude najpreciznije mjerene diferencijalnog efikasnog presjeka za Drel-Jan proces ikad dobijeno u okviru CMS kolaboracije.

Mjerenja koja će biti dobijena tokom izrade ove teze su:

1. Detektorske raspodjele za sve relevantne varijable za Drel-Jan parove, kako za dielektronski tako i za dimionski kanal: transverzalni impuls leptonu, pseudorapiditet leptonu, invarijantna masa para leptonu, rapiditet para leptonu, transverzalni impuls para leptonu, azimutalni otvor među leptonima iz para $\Delta\Phi$.
2. Poređenje eksperimentalnih rezultata i pune Monte Carlo (MC) simulacije za gore nabrojane raspodjele. MC simulacije se sastoje od simulacije odgovora svake detektorske sredine CMS detektora kao i od simulacija fizičkog doprinosa leptonskih parova i svih značajnih fonskih procesa iz pp sudara.
3. Mjerenje inkluzivnog diferencijalnog efikasnog presjeka u zavisnosti od transverznog impulsa para leptonu za razičite invarijantne mase.
4. Odnos inkluzivnog diferencijalnog efikasnog presjeka u zavisnosti od transverznog impulsa para leptonu u različitim masenim opsezima i inkluzivnog efikasnog presjeka za region Z pika, za oba kanala kao i kombinovani elektronski i mionski kanal.
5. Mjerenje inkluzivnog diferencijalnog efikasnog presjeka u zavisnosti od varijable $\Delta\Phi$ za razičite invarijantne mase.
6. Odnos inkluzivnog diferencijalnog efikasnog presjeka u zavisnosti od varijable $\Delta\Phi$ u različitim masenim opsezima i inkluzivnog efikasnog presjeka za region Z pika.
7. Mjerenje inkluzivnog diferencijalnog efikasnog presjeka za produkciju Z bozona sa jednim džetom visoke enrgije u zavisnosti od transverznog impulsa bozona. Mjerenje će biti takođe rađeno u različitim opsezima invarijantne mase leptonskog para nastalog raspadom Z bozona.
8. Odnos inkluzivnog diferencijalnog efikasnog presjeka za produkciju Z bozona i jednog džeta u zavisnosti od transverznog impulsa para leptonu u različitim masenim opsezima para i inkluzivnog efikasnog presjeka za region Z pika.
9. Poređenje gore nabrojanih mjerenja sa najskorijim teorijskim predviđanjima koja uključuju različite scenarije u okviru QCD teorije kao i resumaciju „mekih“ gluona.

10. Poređenja gore nabrojanjih mjerenja sa različitim teorijskim predikcijama koje uključuju različite parametre za modeliranje poddogađaja.

Hipoteza 1: Detektorske raspodjele za naelektrisane leptone, e^+e^- i $\mu^+\mu^-$ parove su dobro opisane Monte Carlo simulacijom.

Hipoteza 2: Izmjereni diferencijalni efikasni presjeci za Drel-Jan proces i odgovarajući odnosi opisuju se teorijskim modelima koji uključuju QCD i različite scenarije za resumaciju mekih gluona.

Hipoteza 3: Efikasni presjeci za Drel-Jan proces i odgovarajući odnosi zavise od simulacije poddogađaja.

B3. Metode i plan istraživanja

Eksperimentalni material i teorijski modeli

Eksperimentalni podaci koji se koriste za izradu ove teze, su dobijeni pomoću CMS detektora koji se nalazi u CERN-u, u Ženevi. Podaci su prikupljeni u periodu od 2016. do 2018. godine, tzv. Run II period rada LHC-a. Simulacije Drel-Yan signala kao i fonskog procesa $\tau^+\tau^-$ su proizvedene koristeći MADGRAPH5 generator sa NLO (engl. next-to-leading-order), AMC@NLO. Kaskade partona, hadronizacija i QED radijacija su uključene koristeći PYTHIA8 generator. Efikasni presjek dobijen direktno iz generatora se koristi za normalizaciju teorijskih predikcija na kontrolnim graficima kao i za upoređivanje sa mjerenjima. Parovi leptona koji se rekonstruišu, ne dolaze samo iz Drel-Jan procesa već i od ostalih procesa koji se nazivaju fonski procesi. Dominantni fonski proces u oblasti visokih invarijantih masa leptonskih parova (iznad mase Z bozona) dolaze od produkcije di-bozona koji se raspadaju na leptone. U oblastima invarijantih masa ispod mase Z bozona, najveći doprinos fonskim procesima dolazi od Drel-Jan produkcije $\tau^+\tau^-$ para. Pri veoma niskim invarijantim masama (do 40 GeV), fonski procesi su uglavnom QCD događaji sa više džetova. Situacija je nešto drugačija za elektronski kanal. Pri nizim invarijantim masama, fonski procesi su uglavnom događaji sa $\tau^+\tau^-$, dok je doprinos procesa QCD sa više džetova znatno manji zbog strožije selekcije elektrona tj. pozitrona u poređenju sa mionima. Događaje koji dolaze iz fonskih procesa je potrebno procijeniti i oduzeti od događaja koji su eksperimentalno izmjereni. Za sve setove dobijene Monte Carlo simulacijom, odziv detektora na prolazak čestice kroz detektorski materijal je takođe simuliran. Simulacija odziva je izvedena koristeći GEANT4 paket sa detaljnim opisom CMS detektorskog materijala i njegovih akseptansi. Rekonstrukcija simuliranih događaja se vrši pomoću istog softvera koji se koristi za rekonstrukciju eksperimentalno prikupljenih podataka.

Napomena: Svi pomenuti generatori i modeli su u PD formularu dati sa odgovarajućim referencama.

Metode

CMS detektor je detektor kompaktne strukture sa više subdetektorskih sistema. Centralni dio CMS detektora je veliki superprovodni solenoid dužine 12.5 m i radijusa 6 m. Magnetno polje, koje ovaj solenoid proizvodi, dostiže vrijednost od 4 T. Sistem za rekonstrukciju trajektorija naelektrisanih čestica, elektomagnetni kalorimetar (ECAL) i hadronski kalorimetar (HCAL) se nalaze unutar solenoida. Gvozdena povratna sprega se nalazi izvan solenoida, i isprepljetana je

mionskim komorama. Rekonstrukcija i identifikacija čestica u CMS eksperimentu se vrši pomoću PF (engl. Particle Flow) algoritma. Ovaj algoritam kombinuje informacije iz svih subdetektorskih sistema CMS-a. Pomoću PF algoritma, na najbolji mogući način se vrši identifikacija čestica kao i određivanje njihove energije. Informacije o trajektorijama čestica se dobijaju u sistemu za rekonstrukciju trajektorija i mionskom sistemu, dok se energija čestica mjeri pomoću ECAL i HCAL. PF algoritam se koristi za identifikaciju i rekonstrukciju elektrona, miona, fotona, neutralnih i naelektrisanih hadrona. Ovaj algoritam takodje ima ulogu u rekonstrukciji džetova kao i određivanju tzv "nedostajućeg" transverznog impulsa. Proces rekonstrukcije za relevantne čestice je sledeći:

- Elektroni i fotoni - ove čestice svoju energiju deponuju u ECAL-u. Krećući se kroz ovaj detektorski materijal oni interaguju pri čemu se kreiraju tzv "tuševe" elektrona i fotona. Depoziti energije ovih čestica u ECAL-u se nazivaju super-klasteri. Elektroni takođe ostavljaju trag i u sistemu za rekonstrukciju trajektorija kroz proces jonizacije ili kreacije para electron-šupljina u poluprovodničkim komponentama.
- Naelektrisani i neutralni hadroni - ove čestice se identifikuju unutar HCAL-a i ECAL-a. Iako ove čestice započinju kreaciju "tuševa" unutar ECAL-a, potpuno su absorbovani u HCAL-u. Naelektrisani hadroni ostavljaju trag unutar sistema za rekonstrukciju trajektorija i odgovarajući klaster u HCAL-u. Kombinujući ove informacije, pozicija i energija ovih čestica se određuje. Neutralni hadroni se identifikuju pomoću depozita energije u ECAL-u i HCAL-u, pri čemu se taj depozit energije ne može povezati sa tragom iz sistema za rekonstrukciju trajektorija. Za svaku interakciju, nastali džetovi hadrona su rekonstruisani koristeći anti-kt algoritam. Impuls džeta je određen kao vektorska suma impulsa čestica u džetu.
- Mioni - ove čestice jonizuju gas unutar mionskih komora, čime proizvode električni signal na žicama i trakama detektora. Ovaj signal, zajedno sa signalom iz sistema za rekonstrukciju trajektorija se koristi za određivanje kinematičkih svojstava miona.

Pozicija duž ose snopa na kojoj se desi proton-proton interakcija se naziva verteks. Pri uslovima velikog broja pileup interakcija, postoji veliki broj verteksa u glavnom događaju međutim samo jedan od njih se naziva primarni verteks. Primarni verteks je onaj za koji je kvadrirana suma transverznog impulsa fizičkih objekata najveća. Događaji od interesa su selektovani koristeći trigger sistem koji se sastoji iz dva nivoa. Trigger prvog nivoa (L1) se sastoji iz hardverskog procesora, koristi signal iz kalorimetara i mionskih detektora kako bi selektovao određeni događaj. Učestalost L1 je oko 100 kHz. Trigger višeg nivoa nivoa – HLT trigger (eng High Level Trigger), koristi informacije dobijene primjenom softvera koji izvodi punu rekonstrukciju interakcije optimizovanu za brzu obradu. HLT smanjuje učestalost događaja na oko 1 kHz prije skladištenja. U ovoj analizi, događaji su selektovani u nekoliko koraka:

- Dva najenergičnija leptona istog aromata ali suprotnog naelektrisanja se selektuju. Selekcija na onovu transverznog impulsa leptona zavisi od dostupnog triggera. Potrebno je da leptoni zadovolje određene kriterijume za rekonstrukciju i identifikaciju tj. da budu visokog kvaliteta identifikacije i izolacije;
- Leptoni su emitovani u geometrijskoj oblasti koju pokriva detektor, tj. pseudorapiditet leptona je $|\eta| < 2.4$;
- Trajektorije čestica koji ne pripadaju primarnom verteksu su identifikovane kao pileup i ne ulaze u sastav energije i impulsa džetova.
- Smanjenje uticaja pileup događaja je dodatno umanjeno zahjevom za određeni minimlani transverzalni impuls džeta i određenim zahtjevima za kvalitet rekonstrukcije džeta. Selektovani džet mora biti u opsegu rapiditeta $|y| \leq 2.4$;

Monte Karlo simulacije odziva detektora, rezolucije i efikasnosti potrebno je da budu sto bliže moguće eksperimentalnoj situaciji, što znači da efikasnost primjenjenih selekcija mora biti uzeta u obzir. Kako bi se to postiglo, dodatni korekcionni faktori su primjenjeni na simulirane događaje. Uticaj ograničene rezolucije i efikasnosti detektora su korigovane u tzv. procesu dekonvolucije koji se vrši upoređivanjem generisanih i (detektorom) rekonstruisanih događaja jer je rekonstrukcija simuliranih (generisanih) događaja ista kao i za ekperimentalne podatke. Kako bi se analizirali dobijeni podaci, programski jezici C++ i Python u CMS softverskom okruženju su korišćeni. Analizirane raspodjele se crtaju uz pomoć ROOT paketa, koji je široko korišćen softverski paket u fizici elementarnih čestica.

Plan istraživanja

Kako bi se dobili rezultati za efikasni presjek, uobičajni koraci u analizi su:

- Selekcija događaja;
- Implementacija korekcija efikasnosti;
- Procjena fona;
- Oduzimanje fona;
- Dekovolucija;
- Korekcija migracija događaja zbog ograničene rezolucije detektora;
- Aplikacija korekcija za ograničenu geometriju i efikasnost detektora;
- Korekcija migracija zbog radijacije u finalnom stanju;
- Procjena sistematskih grešaka za svaki korak analize.

B4. Naučni doprinos

Kako se produkcija Drel-Jan parova dešava u sudarima protona kao posledica sudaranja njihovih konstituenata – partona, očekivana mjerenja velike preciznosti će omogućiti veoma značajan uvid u unutrašnju strukturu protona kao i u evoluciju partona.

Najniži red tj. vodeći red (eng. leading order (LO)) za Drel-Jan produkciju se opisuje kao takozvani s-kanal razmjene Z ili γ^* bozona. U ovakvom procesu, kvark iz jednog protona i antikvark iz drugog protona se anihiliraju i nastaje neutralni vektorski bozon posredstvom elektroslabe interakcije. Razmjena Z ili γ^* bozona se faktorizuje na procjenu tzv. kolinearne kvark i antikvark funkcije raspodjele partona u protonu (eng. parton distribution functions - PDF). U ovom, tzv. kolinearnom slučaju, transversalni impuls Drel-Jan para je jednak nuli. Ako postoji zračenje u početnom stanju (eng. initial state radiation – ISR) onda se radi o procesu višeg reda. ISR je QCD radijacija jer je povezana sa izračivanjem gluona od strane upadnih partona što daje vrijednost transversalnom impulsu para leptona. Doprinos od dodatne emisije sadrži množenje sa konstantom jake interakcije što je značajno za niže energije tj. „meke” procese gdje ova konstanta ima značajnu vrijednost. Dakle, oblast valikih vrijednosti transversalnog impulsa je rezultat QCD radijacije koja se opisuje proračunima fiksiranog reda u sklopu perturbativne QCD, dok se oblasti malih vrijednosti transversalnog impulsa opisuju resumacijom „mekih” gluona. Takođe, oblast malih vrijednosti transversalnog impulsa uključuje i efekte unutrašnjeg kretanja partona u protonima koje se modeluje uz korištenje određene parametrizacije. Mjerenje transversalnog impulsa para leptona testira validnost generalnog pristupa te testira preciznost različitih modela teorijskih predikcija. Teorijski proračuni mogu se dobiti u funkciji od transversalnog impulsa para ili invarijantne mase para i raspoloživi su do prvog sljedećeg višeg reda (eng. next-to-leading-order -NLO) za elektroslabe procese tj. do drugog višeg reda (eng. next-to-next-to-leading-order -NNLO) za perturbativnu QCD teoriju. Zbog toga, ovakva

mjerenja su test za perturbativnu teoriju unutar Standardnog modela kao i input za dalji razvoj teorije. Komplementarno, ova eksperimentalna mjerenja se takođe mogu koristiti za postavljanje ograničenja na funkcije raspodjele partona.

Par leptona iz finalnog stanja može izračiti fotone – kvantna elektrodinamika (eng. Quantum Electrodynamics – QED). Ovo značajno utiče na raspodjelu transverznog impulsa konačnog para leptona i naziva se QED zračenje finalnog stanja. QED zračenje finalnog stanja ima uticaj i na raspodjelu po invarijantnoj masi para, naročito za mase manje od mase Z bozona gdje mirgacije iz regiona pika mogu biti značajne. Zato se u MC simulacijama simulira kaskada partona sa generatorima kao što je Pythia8 koji uključuju QED zračenje iz raspada Z bozona u vodećem redu. Ova studija je takođe bitna kako bi se procijenile NLO elektroslabe korekcije koje su dostupne u MadGraph5_aMC@NLO.

Velika statistika dileptona kreiranih u Drel-Jan procesu predstavlja dominantni fon u mjerenjima rijetkih procesa u okviru Standardnog modela kao i za istraživanja van Standardnog modela. Zbog svega navedenog izuzetno je značajno dobiti precizna mjerenja efikasnog presjeka za produkciju Drel-Jan parova do najviših dostupnih energija.

B5. Finansijska i organizaciona izvodljivost istraživanja

Mr Itana Bubanja radi na zajedničkom doktoratu na osnovu Sporazuma potpisanog između Univerziteta Crne Gore i Free University of Brussels - ULB (Université libre de Bruxelles), Belgija. Plan je da doktorand provede oko pola svog istraživačkog vremena na doktorskom radu na svakom od univerziteta uz povremene boravke u CERN-u. Zbog kovid pandemije, doktorandkinja trenutno radi na Univerzitetu Crne Gore, Prirodno-matematičkom fakultetu kao saradnik u istraživanju i financirana je iz projekta podržanog od strane EU programa HORIZON 2020 (*"The strong interaction at the frontier of knowledge: fundamental research and applications"*) u kojoj učestvuje grupa za fiziku čestica s Prirodno-matematičkog fakulteta Univerziteta Crne Gore. Rezultati dokorskog rada dobiće se analizom eksperimentalnih podataka iz CMS eksperimenta koji vodi kolaboracija čiji je punopravni član od 2017. godine i Univerzitet Crne Gore. Putem punopravnog članstva, članovi kolaboracije imaju pravo na korištenje svih resursa ove saradnje - svi eksperimentalni podaci dobijeni pomoću CMS-a i cjelokupna detektorska i računarska infrastruktura dostupni su svakom doktorandu koji je član ove kolaboracije. Takođe, posjedovanjem kompjuterskog naloga u CERN-u student može koristiti sve baze podataka sa naučnim publikacijama iz područja prirodnih nauka, matematike i inženjerstva.

Mišljenje i prijedlog komisije

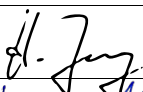
Nakon usmene obrane polaznih istraživanja, diskusije i odgovora kandidata na postavljena pitanja, Komisija se jednoglasno složila da se radi o originalnoj i izazovnoj naučno-istraživačkoj temi. Tokom obrane polaznih istraživanja, kandidatkinja je pokazala vrlo visok nivo znanja o temi kojom se bavi, a rezultati koje je do sada postigla predstavljaju solidnu osnovu za nastavak doktorskih istraživanja.

Stoga Komisija preporučuje Vijeću Prirodno-matematičkog fakulteta i Senatu Univerziteta Crne Gore da prihvate ovo izvješta i daju saglasnost na predloženu temu doktorske disertacije kandidata mr Itane Bubanje.

Prijedlog izmjene naslova

Prijedlog promjene mentora i/ili imenovanje drugog mentora

(titula, ime i prezime, ustanova)

Planirana odbrana doktorske disertacije		
2024.		
Izdvojeno mišljenje		
(popuniti ukoliko neki član komisije ima izdvojeno mišljenje)		
		Ime i prezime _____
Napomena		
(popuniti po potrebi)		
ZAKLJUČAK		
Predložena tema po svom sadržaju odgovara nivou doktorskih studija.	<u>DA</u>	NE
Tema je originalan naučno-istraživački rad koji odgovara međunarodnim kriterijumima kvaliteta disertacije.	<u>DA</u>	NE
Kandidat može na osnovu sopstvenog akademskog kvaliteta i stečenog znanja da uz adekvatno mentorsko vođenje realizuje postavljeni cilj i dokaže hipoteze.	<u>DA</u>	NE
Komisija za ocjenu podobnosti teme i kandidata		
Dr Slobodan Backović, CANU, Crna Gora		
Dr Ivana Pićurić, Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet Crne Gore, Crna Gora		
Dr Hannes Jung, DESY, Hamburg, Njemačka		
Dr Laurent Favart, F.R.S.-FNRS, IIHE, ULB, Brisel, Belgija		
Dr Nataša Raičević, Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet Crne Gore, Crna Gora		
U Podgorici, 28.3.2022.		
		DEKAN _____
MP		

PRILOG

PITANJA KOMISIJE ZA OCJENU PODOBNOSTI DOKTORSKE TEZE I KANDIDATA	
Dr Slobodan Backović	1. Danas ste pokazali nove raspodjele samo za mionske parove. Kakav je status analize elektronskih parova? 2. Kakva se logika trigera planira koristiti za ova mjerenja?
Dr Ivana Pićurić	1. Gdje očekujete najviše poboljšanja koristeći kompletnu RUN 2 statistiku ? 2. U svom magistarskom radu radili ste analizu Drell-Yan leptonskih parova iz sudara protona i protona pri energiji od 5 TeV. Planirate li proširiti ovu analizu u svom doktorskom radu ?
Dr Hannes Jung	1. Razumijete li zašto pik u $\Delta\Phi$ raspodjeli nije izraženiji s povećanjem invarijantne mase dileptona ? 2. Razumijete li odakle potiče tako velika razlika u efikasnim presjecima pri malom transverzalnom impulsu para kada koristite istu matricu za simulaciju poddogađaja i interakcije sa više partona ?
Dr Laurent Favart	Komentari i diskusija o prikazanim rezultatima i postavljenim pitanjima od strane članova Komisije.
Dr Nataša Raičević	1. Kakav je status nano-AOD-a ? Komentari i diskusija o prikazanim rezultatima i postavljenim pitanjima od strane članova Komisije.
PITANJA PUBLIKE DATA U PISANOJ FORMI	
(Ime i prezime)	
(Ime i prezime)	
(Ime i prezime)	
ZNAČAJNI KOMENTARI	