

PRIJAVA TEME DOKTORSKE DISERTACIJE

OPŠTI PODACI O DOKTORANDU	
Titula, ime i prezime	Jelena Mijušković
Fakultet	Prirodno - matematički fakultet
Studijski program	Fizika
Broj indeksa	1/18
Ime i prezime roditelja	Dragan Mijušković
Datum i mjesto rođenja	14.12.1993, Nikšić, Crna Gora
Adresa prebivališta	Marka Miljanova 3, 81400 Nikšić, Crna Gora
Telefon	+38268660343
E-mail	jelenamijuskovic@yahoo.com
BIOGRAFIJA I BIBLIOGRAFIJA	
Obrazovanje	Magistar u oblasti fizike, Prirodno - matematički fakultet, Univerzitet Crne Gore, 2018, B (10.00) Specijalista u oblasti fizike, Prirodno - matematički fakultet, Univerzitet Crne Gore, 2016, B(9.25) Bachelor u oblasti fizike, Prirodno - matematički fakultet, Univerzitet Crne Gore, 2015, (8.72)
Radno iskustvo	Jul 2017 – danas – Istraživač u CMS grupi Univerziteta Crne Gore (Evropska organizacija za nuklearna istraživanja) Oktobar 2018 – Predavač u okviru art@CMS programa na Otvorenim danima nauke 2018 (Ministarstvo nauke Crne Gore) Mart 2018 – Predavač i asistent na International Masterclass 2018 - Hands on Particle Physics (Ministarstvo nauke Crne Gore) Oktobar 2017 – Asistent na Otvorenim danima nauke 2017 Januar 2017 – Oktobar 2017 – Nastavnik u Gimnaziji "Stojan Cerović", Nikšić Mart 2017 – Asistent na Zimsko školi nauke (Fondacija za promovisanje nauke - PRONA) Mart 2017 – Predavač i asistent na International Masterclass Hands on Particle Physics (Ministarstvo nauke Crne Gore) Jun 2016 – Avgust 2016 – Polaznik Ljetnje škole CERN-a (Evropska organizacija za nuklearna istraživanja) Septembar 2015 – Asistent na CERN-ovoj izložbi u okviru Otvorenih dana nauke (Ministarstvo nauke Crne Gore)
Popis radova	(Podatke hronološki unositi od novijih datuma ka starijim)
NASLOV PREDLOŽENE TEME	
Na službenom jeziku	Od Z bozona do Higs bozona uz ograničenja na broj džetova nastalih pri produkciji bozona na LHC-u
Na engleskom jeziku	From the Z boson to the Higgs boson, constraining the number of associated jets in the production of a boson at the LHC

Obrazloženje teme

Higs mehanizam ili postojanje tzv. Higsova polja je temelj u teroji fizike elementarnih čestica, Standardnom modelu, kojim se opisuje proces u kojem sve fundamentalne čestice dobijaju svoju masu. Kao i svako fundamentalno polje i ovo polje ima svoju česticu koja ga kreira – Higs bozon. Postojanje Higs bozona je pretpostavljeno 70-ih godina prošlog vijeka a otkriven je dugo vremena posle toga na eksperimentima u CERN-u u julu 2012.

Fuzija gluona i fuzija vektorskih bozona su dominantni mehanizmi produkcije Higs bozona. Procesi sa fuzijom vektorskih bozona su osjetljivi na sprezanje tj. jačinu interakcije Higs bozona i vektorskih bozona dok je fuzija gluona osjetljiva na sprezanje sa fermionima iz fermionskog kruga koji se pri tome formira. Mjerenje jačine sprezanja tj. interakcije Higs bozona sa fermionima i vektorskim bozonima zahtjeva razdvajanje i raspoznavanje ova dva kanala za produkciju Higs bozona.

Pri produkciji Higs bozona kroz fuziju vektorskih bozona, dolazi do nastanka dva hadronska džeta (mlazovi hadrona koji se emituju u uskim konusima i nastaju u procesu hadronizacije kvarkova ili gluona). Ovako nastali džetovi su prilično razdvojeni (po rapiditetu) i ovo svojstvo predstavlja njihovo glavno obilježje po kojem su ovi procesi prepoznati tj. identifikovani. Pri mjerenju jačine sprezanja Higs i drugih čestica, znatan doprinos grešci mjerenja daje greška mjerenja efikasnog presjeka koja potiče od rekonstrukcije samih džetova. Da bi se povećala preciznost mjerenja, u ovoj tezi će biti predlažen novi metod za razdvajanje navedenih kanala nastanka Higs bozona bez rekonstruisanja džetova. S ovim ciljem iz eksperimentalnih podataka dobijenih u CMS eksperimentu prvi put će se mjeriti varijabla nazvana N-džetnost (engl. N-jettiness) koja je povezana sa brojem džetova nastalih u proton-proton interakciji. Ova varijabla se računa direktno iz izmjerenih impulsa detektovanih čestica.

U ovom radu biće razvijen novi metod za mjerenje presjeka produkcije vektorskih bozona sa džetovima u proton-proton interakcijama. Metod je zasnovan na mjerenju nove varijable, N-džetnost, i prvi put se koristi u analizama na CMS eksperimentu. Ovo će ujedno biti i prvo eksperimentalno mjerenje ove varijable u događajima u kojima dolazi do emisije vektorskih bozona i džetova. Primjenom ovog metoda očekuje se da se dobiju mjerenja efikasnog presjeka za procese u kojima dolazi do produkcije Z ili Higs bozona i džetova sa većom preciznošću u odnosu na prethodna mjerenja dobijena korišćenjem standardnih metoda. U radu će se mjeriti i konstante sprezanja Higs bozona sa fermionima i vektorskim bozonima. Eksperimentalne raspodjele vezane za produkciju bozona biće upoređene sa Monte Karlo simulacijom čime će se testirati teorijski modeli koji se koriste za opisivanje ovih procesa na LHCu.

Svi eksperimentalni rezultati biće dobijeni analizom događaja nastalih u proton-proton interakcijama sa energijom interakcije od 13 TeV koje nastaju ubrzavanjem protona na Velikom hadronskom sudaraču, LHC-u (engl. Large Hadron Collider) koji se nalazi u laboratoriji CERN u Ženevi. Eksperimentalni material dobijen je detektovanjem čestica nastalih iz proton-proton interakcija CMS (engl. Compact Muon Solenoid) eksperimentalnom aparaturom tokom tzv. LHC RUN II perioda rada LHC akceleratora.

Pregled istraživanja

Standardni model je kompleksna teorija koja sadrži čitav set matematičkih formula zasnovanih na kvantnoj teoriji polja i opisuje elementarne čestice i interakcije među njima. Ova teorija počela je da se razvija polovinom prošlog vijeka kroz rad velikog broja naučnika širom svijeta i zaokružena je 70-ih godina prošlog vijeka. Eksperimentalne potvrde mnogih aspekata ove teorije su dobijene nakon ovoga - top kvark je otkriven 1995, tau neutrino je detektovan 2000. a Higs bozon otkriven 2012. bio je posljednja kockica koja je nedostajala za eksperimentalnu potvrdu ove teorije. Više od 30 Nobelovih nagrada je dodijeljeno teorijskim i eksperimentalnim fizičarima čestica za rezultate dobijene u okviru Standardnog Modela. Za otkriće Higs bozona na CMS i

ATLAS eksperimentima u CERN-u 2013. dodijeljena je Nobelova nagrada teoretičarima koji su predvidjeli njegovo postojanje. Nakon otkrića nove čestice, veliki naponi se ulažu u razumijevanje mehanizama njene kreacije i raspada kroz koje se proučavaju detaljno svojstva ove čestice. Takođe, što preciznija mjerenja svojstava Higs bozona, naročito jačine njegove interakcije sa elementarnim česticama, su od krucijalnog značaja ne samo za Standardni model kao teoriju, već i za nova otkrića do kojih se može doći samo ako postojeću teoriju razumijemo sa visokom preciznošću. Standardni model nije sveobuhvatna, niti zaokružena teorija koja vodi razumijevanju materije na fundamentalnom nivou i ne može objasniti mnoge fenomene čije je postojanje dokazano. Standardni model ne objašnjava mehanizme djelovanja gravitacione interakcije kao jedne od četiri fundamentalne interakcije. Standardni model ne opisuje niti može objasniti od čega je sazdano 95% Univerzuma, ne objašnjava šta je tamna energija, niti tamna materija. Standardni model takođe ne pruža odgovor zašto danas u Univerzumu postoji asimetrija između materije i anti-materije, niti predviđa postojanje mase neutrina. Dakle, mnogo je pitanja za koje se traže odgovori i mnogo je teorija koje pokušavaju da daju odgovor na ta pitanja. Takve teorije spadaju u domen Teorije izvan Standardnog Modela. Da bi se dobili odgovori i teorije dokazale ili opovrgle neophodan je eksperiment i mjerenja parametara Standardnog modela sa što većom preciznošću kako bi se uopšte o novim rezultatima moglo govoriti kao o eventualnim otkrićima koji izlaze iz domena Standardnog modela. Mjerenja konstanti sprežanja tj. interakcije Higs bozona sa što većom preciznošću su od izuzetnog značaja za što bolje razumijevanje strukture materije i davanje odgovora na mnoga neriješena pitanja. Varijabla N-džetnost, koja će se u ovom radu koristiti sa ciljem da dodemo do mjerenja produkcije vektorskih bozona na LHC-u sa što većom preciznošću, uvedena je 2010. godine sa ciljem da se identifikuju događaji sa džetovima i dobiju što preciznija mjerenja efikasnih presjeka za takve procese. Ova varijabla još uvijek nije eksperimentalno mjerena osim u slučaju kad je $N = 0$ i to u proton-proton interakcijama na energiji od 7 TeV u sistemu centra masa pri kojima nastaje Z bozon (ATLAS eksperiment).

Cilj i hipoteze

Cilj ovog rada je da se razvije novi metod za mjerenje efikasnog presjeka za produkciju vektorskih bozona uz emisiju džetova u proton-proton interakcijama. Prvi korak u radu biće mjerenje i testiranje nove varijable, N-džetnost, u događajima sa proton-proton interakcijama koje vode produkciji Z bozona i džetova. Z bozoni biće identifikovani kroz kanal raspada u dileptonski par. Ovo je uzorak visoke statistike sa vrlo jasnim signalom. Mjerenja ove varijable i varijabli korelisanih sa njom biće upoređena sa teorijskim modelima koji se koriste za simulaciju proton-proton interakcija uzimajući u obzir i efekte koji nastaju prolaskom čestica kroz eksperimentalnu aparaturu. Za ove procese sa kreacijom Z bozona, biće izmjeren diferencijalni efikasni presjek po novoj varijabli i procijenije se preciznost njegovog mjerenja. Nakon ovih mjerenja na uzorku sa produkcijom Z bozona ispitaće se potencijal N-džetnost varijable za razdvajanje ključnih procesa za produkciju Higs bozona, fuzije gluona i fuzije vektorskih bozona. Biće razrađena strategija analize produkcije Higs bozona korišćenjem N-džetnost varijable. U radu će se mjeriti efikasni presjeci za produkciju Higs bozona u procesima fuzije gluona i vektorskih bozona. Higs bozon će biti identifikovan kroz kanal raspada na dva fotona. Sva mjerenja će biti upoređena sa Monte Karlo simulacijom koja uključuje generisanje proton-proton interakcija i punu simulaciju detektorskog sistema.

H01 – Varijabla N-džetnost omogućava mjerenje efikasnog presjeka za produkciju Z bozona na LHC-u sa visokom preciznošću.

H02 – Varijabla N-džetnost ima potencijal za mjerenje efikasnog presjeka za produkciju Higs bozona sa visokom preciznošću.

- H1 – Pravci osa džetova mogu se rekonstruisati korišćenjem nove varijable bez eksplicitne rekonstrukcije džetova.
- H2 – Eksperimentalne raspodjele za produkciju Z bozona dobijene korišćenjem nove varijable se mogu opisati nekim od teorijskih modela koji se koriste na LHC eksperimentu.
- H3 – Eksperimentalne raspodjele za produkciju Higs bozona se mogu opisati nekim od teorijskih modela koji se koriste na LHC eksperimentima.
- H4 – Nove analize daju mjerenje konstanti sprezanja Higs bozona sa vektorskim bozonima i fermionima sa visokom preciznošću.
- * Pod mjerenjem visoke preciznosti podrazumjeva se mjerenje sa sistematskom greškom koja je manja od greške mjerenja koja je dobijena u prethodnim analizama ovih veličina.

Materijali, metode i plan istraživanja

U prvom dijelu ovog rada biće analizirani Drel – Jan procesi koji nastaju pri proton-proton sudarima u Velikom hadronskom sudaraču. Drel – Jan proces podrazumijeva anihilaciju kvark i antikvark parova iz hadrona, pri čemu nastaje Z bozon ili virtuelni foton koji se dalje raspada na lepton-antilepton par. Razumjevanje i analiza Drel-Jan procesa je veoma bitna, ne samo za testiranje i potvrđivanje Standardnog modela već i za dalje analize teorija izvan Standardnog modela, tako da je svako povećanje preciznosti mjerenja ovog procesa od velikog značaja. Takođe, Drel – Jan procesi su jedan od najznačajnijih fonskih procesa za mnoge analize, kao sto su analize raspada Higsovog bozona.

U drugom dijelu rada, analiza će biti fokusirana na Higsov bozon. Dominantan način produkcije Higsovog bozona, sa masom od 125 GeV, pri energiji interakcije 13 TeV je fuzija gluona. Fuzija gluona, za razliku od produkcije putem fuzije vektorskih bozona koja u finalnom stanju daje Higsov bozon sa dva kvarka od kojih hadronizacijom nastaju džetovi, u finalnom stanju sadrži samo Higsov bozon. Drugi načini produkcije koji se mogu posmatrati na LHC-u su produkcija Higa sa vektor bozonom kao i produkcija sa top kvark-antikvark parom. Po teoriji Standardnog modela, Higsov bozon ima izuzetno kratko vrijeme života tako da se ovaj bozon nikad ne posmatra direktno već se analiziraju produkti njegovog raspada. Najčešći način raspada Higsovog bozona je raspad na bb, ali zbog velikog hadronskog fona pri proton-proton sudarima, ovaj kanal raspada je vrlo teško eksperimentalno posmatrati. Kanali raspada koji imaju najveću osjetljivost, tj. najpogodnije ih je eksperimentalno posmatrati su raspad na dva fotona, koji će se posmatrati u ovom radu, i ZZ^* raspad (Z^* predstavlja virtuelni Z bozon, ili Z bozon izvan masene ljuske). Podaci koji će se koristiti za izradu ovog rada biće podaci sa eksperimenta CMS koji se izvodi u laboratoriji CERN u Ženevi. Radi se o eksperimentu koji se sastoji od velikog broja detektora pri čemu svaki ima svoju specifičnu funkciju. Centralni dio CMS-a čini superprovodljivi solenoid dužine 12.5 m i prečnika 6 m. Nominalna vrijednost magnetnog polja koje proizvodi ovaj solenoid je 4 T što je neophodna za ostvarivanje što veće zakrivljenosti trajektorija naelektrisanih čestica, a time i za bolju identifikaciju čestica visokih energija. Unutar solenoida se nalaze sistem za detekciju tragova, kao i elektromagnetni i hadronski kalorimetar. Izvan solenoida se nalazi gvozdena povratna sprega koja je ispreplijetana slojevima mionskih detektora.

Kombinacija informacija sa svih CMS subdetektorskih sistema, omogućava nam da rekonstruisemo i idetifikujemo različite vrste objekata nastale pri proton-proton sudaru. Algoritam koji u obzir uzima i kombinuje podatke sa svih subdetektorskih sistema naziva se PF algoritam (engl. Particle Flow), i pomoću njega osim fotona, neutralnih hadrona, naelektrisanih hadrona, elektrona i miona mogu se rekonstruisati i džetovi kao i proračunati transverzalna energija koja nedostaje. PF algoritam koristi podatke o tragovima iz sistema za detekciju tragova i mionskog sistema i informaciju o deponovanju energije iz elektromagnetnog i hadronskog kalorimetra. Čestice koje se koriste za analizu su rekonstruisane na sljedeći način:

- Mioni – trag čestice se dobija povezivanjem traga iz sistema za detekciju tragova i mionskog sistema, dok se informacija o energiji dobija iz zakrivljenosti traga.

- Elektroni – deponovana energija u elektromagnetnom kalorimetru se povezuje sa tragom u unutrašnjem sistemu za detekciju tragova, energija se mjeri kombinacijom deponovane energije u elektromagnetnom kalorimetru i transverzalnim impulsom traga.
- Fotoni – deponovana energija u elektromagnetnom kalorimetru postoji pri čemu ne postoji trag u u sistemu za detekciju tragova koji se može povezati sa njom, energija se mjeri samo kao deponovana energija u elektromagnetnom kalorimetru.

Kako bi se analizirali navedeni procesi, potrebno je eksperimentalne podatke uporediti sa simulacijom. Monte-Carlo simulacija interakcija dobije se korišćenjem MADGRAPH5 AMC@NLO generatora pp interakcija. Ovako generisani događaji propuštaju se kroz simuliranu detektorsku aparaturu softverskim paketom GEANT4. Rekonstrukcija događaja kroz simuliranu detektorsku aparaturu vrši se na identičan način kao i u slučaju eksperimentalnih podataka. Analize koje će biti predstavljene u radu dobije se korišćenjem programskih jezika C++ i Python u okviru CMS softverskog okruženja. Grafici raspodjela dobije se korišćenjem softverskog paketa ROOT koji je opšte korišćeni softver u analizama u fizici čestica.

Plan istraživanja

Plan istraživanja može se podijeliti u dvije etape.

1. Mjerenje varijable N-džetnost.
 - Prvo mjerenje varijable N-džetnosti za različite vrijednosti N tj. broja džetova koji nastaju u proton-proton interakcijama uz produkciju Z bozona;
 - Upoređivanje eksperimentalnih raspodjela po varijabli N-džetnost sa Monte Carlo simulacijom koja obuhvata generisanje proton-proton interakcija i simulaciju cjelokupnog detektorskog sistema kroz koji prolaze čestice nastale u ovim interakcijama;
 - Ekstrakcija diferencijalnog efikasnog presjeka u funkciji od varijable N-džetnost uz primjenu tehnika za dekonvoluciju detektorskih efekata;
 - Upoređivanje izmjerenih vrijednosti za diferencijalni efikasni presjek sa analitičkim proračunima;
 - Korišćenje dobijenih mjerenja za podešavanje parametara Monte Carlo generatora događaja koji se koriste za modeliranje partonskih kaskada i čestica koje ne pripadaju analiziranom događaju;
 - Mjerenje varijable N-džetnost u procesima sa nastankom Z bozona van masene ljuske, a čija je masa bliska masi Higs bozona.
2. Mjerenje produkcije Higs bozona kroz kanal raspada na dva fotona.
 - Ispitivanje potencijala varijable N-džetnost za razdvajanje preseca koji vode produkciji Higs bozona, fuzije gluona i fuzije vektorskih bozona;
 - Razvoj strategije analize produkcije Higs bozona uz korišćenje varijable N-džetnost;
 - Mjerenje efikasnih presjeka za produkciju Higs bozona kanalima za fuziju gluona i fuziju vektorskih bozona;
 - Mjerenje konstanti sprezanja Higs bozona sa vektorskim bozonima i fermionima.

Očekivani naučni doprinos

Ovo je prvi rad u kojem će se iz eksperimentalnih podataka sa CMS eksperimenta mjeriti varijabla N-džetnost sa ciljem mjerenja produkcije vektorskih bozona i džetova u proton-proton interakcijama. Ujedno, ovo će biti prvo eksperimentalno mjerenje ove varijable pri energiji interakcije protona od 13 TeV u sistemu centra masa i prvo eksperimentalno mjerenje ove varijable za događaje u kojima je $N > 0$. U procesu minimizacije ove varijable očekuje se da će

biti moguće rekonstruisati ose džetova nastalih u interakciji bez rekonstrukcije samih džetova što bi bio značajan napredak u eksperimentalnim tehnikama koje se primjenjuju za analizu ovakvih procesa. Novi metod će se detaljno primijeniti i testirati za događaje sa produkcijom Z bozona. Dobiće se prvo mjerenje diferencijalnog efikasnog presjeka za produkciju Z bosona po varijabli N-džetnost. Nakon analiza s produkcijom Z bozona analiziraće se mogućnosti primjene novog metoda na događaje sa produkcijom Higs bozona. Ispitaće se potencijal novog metoda za razdvajanje procesa nastanka Higs bozona kroz fuziju gluona i procesa nastanka Higs bozona kroz fuziju vektorskih bozona koji bi mogao značajno smanjiti greške mjerenja koje su u prethodnim analizama unošene rekonstrukcijom džetova.

Spisak objavljenih radova kandidata

Kandidat još uvijek nema publikovanih radova.

Popis literature

1. CMS Collaboration, Observation of a New Boson at a Mass of 125 GeV with the CMS Experiment at the LHC - Phys.Lett. B716 (2012) 30-61 [1207.7235]
2. CMS Collaboration, Measurements of Higgs boson properties in the diphoton decay channel in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=13\text{TeV}$, JHEP11(2018) 185 [1804.02716].
3. Stewart, Iain W. et al. , N-Jettiness: An Inclusive Event Shape to Veto Jets, Phys.Rev.Lett. 105 (2010) 092002 [1004.2489]
4. Alioli, Simone et al. , Drell-Yan production at NNLL+NNLO matched to parton showers, Phys.Rev. D92 (2015) no.9, 094020 [1508.01475]
5. Gaunt, Jonathan et al. , N-jettiness Subtractions for NNLO QCD Calculations, JHEP 1509 (2015) 058 [1505.04794]
6. Berger, Carola F. et al. , Higgs Production with a Central Jet Veto at NNLL+NNLO, JHEP 1104 (2011) 092 [1012.4480]
7. Jouttenus, Teppo T. et al. , Jet mass spectra in Higgs boson plus one jet at next-to-next-to-leading logarithmic order , Phys.Rev. D88 (2013) no.5, 054031 [1302.0846]
8. Gangal, Shireen et al. , Rapidity-Dependent Jet Vetoes, Phys.Rev. D91 (2015) no.5, 054023 [1412.4792]
9. Alioli, Simone et al. , Matching Fully Differential NNLO Calculations and Parton Showers, JHEP 1406 (2014) 089 [1311.0286]
10. Tackmann, Frank J. et al. , Resummation Properties of Jet Vetoes at the LHC , Phys.Rev. D86 (2012) 053011 [1206.4312]
11. Gangal, Shireen et al. , Next-to-leading-order uncertainties in Higgs+2 jets from gluon fusion, Phys.Rev. D87 (2013) no.9, 093008 [1302.5437]
12. Stewart, Iain W. et al. , The Beam Thrust Cross Section for Drell-Yan at NNLL Order, Phys.Rev.Lett. 106 (2011) 032001 [1005.4060]
13. Stewart, Iain W. et al. , Theory Uncertainties for Higgs and Other Searches Using Jet Bins, Phys.Rev. D85 (2012) 034011 [1107.2117]
14. Stewart, Iain W. et al. , Phys.Rev. Jet p_T resummation in Higgs production at NNLL+NNLONNLL+NNLO, Phys.Rev. D89 (2014) no.5, 054001 [1307.1808]
15. Alioli, Simone et al. , Combining Higher-Order Resummation with Multiple NLO Calculations and Parton Showers in GENEVA, JHEP 1309 (2013) 120 [1211.7049]
16. CMS Collaboration, Combined measurements of Higgs boson couplings in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=13\text{TeV}$, Eur.Phys.J. C79 (2019) no.5, 421 [1809.10733]
17. Drell, S.D. et al. Massive Lepton Pair Production in Hadron-Hadron Collisions at High-Energies, Phys.Rev.Lett. 25 (1970) 316-320
18. Evans, Lyndon et al. , LHC Machine , JINST 3 (2008) S08001
19. CMS Collaboration, The CMS Experiment at the CERN LHC, JINST 3 (2008) S08004