

## Наставно-научном већу Физичког факултета Универзитета у Београду

Дана 28.06.2017. године, на IX редовној седници Наставно-научног већа Физичког факултета Универзитета у Београду, именовани смо за чланове Комисије за преглед и оцену докторске тезе: *Методe мерења односа гранања Хигсовог бозона у процесима  $H \rightarrow \mu^+ \mu^-$  и  $H \rightarrow ZZ^*$  на 1.4 TeV на будућем линеарном сударачу CLIC*, кандидаткиње Гордане Милутиновић-Думбеловић, дипломираног физичара. Кандидаткиња је докторску тезу предала на преглед и оцену дана 28.06.2017., на Физичком факултету Универзитета у Београду, а Комисија у саставу: др Иванка Божовић Јелисавчић, научни саветник Института за нулеарне науке Винча, др Воја Радовановић, редовни професор Физичког факултета Универзитета у Београду, др Јован Пузовић, ванредни професор Физичког факултета Универзитета у Београду, на основу прегледа достављеног материјала, подноси Наставно-научном већу Физичког факултета Универзитета у Београду следећи

### ИЗВЕШТАЈ

#### 1 Стручна биографија и научни радови кандидаткиње

##### 1.1 Стручна биографија

Гордана Милутиновић-Думбеловић, је рођена 13.05.1986. године у Крагујевцу, Република Србија.

Школске 2005/2006 године уписала је основне академске студије на Природно-математичком факултету, Универзитета у Крагујевцу. Дипломирала је 17.07.2009. године као студент генерације са општим успехом 9.57 у току студија и оценом 10 на дипломском испиту под насловом "Примена дифузионог модела судара на реакцију  $^{132}\text{Xe}$  са  $^{238}\text{U}$  на енергији 17.0 MeV по нуклеону", чиме стиче академски назив дипломирани физичар за примењену физику. У току студија била је добитник више стипендија и награда:

- Стипендија Фонда за младе таленте Републике Србије за завршну школску 2008/2009. годину,
- Стипендија Фонда "Др Драгослав Срејовић" у Крагујевцу (2006-2009),
- Стипендија Министарства просвете Републике Србије (2006-2009),
- Награда Природно-математичког факултета за најбољег дипломираног студента генерације 2005/2006. године,
- Четири годишње награде (2006-2009) Природно-математичког факултета за најбољег студента у току текуће године.
- Награда Универзитета у Крагујевцу (2009) за најбољег дипломца Природно-математичког факултета.

Докторске студије у области физике честица и језгара уписала је на Физичком факултету Универзитета у Београду школске 2009/2010 године и положила све испите са средњом оценом 10.00 у току студија.

Од 01.11.2009. до 31.12.2012. била је запослена у Институту за физику као истраживач приправник и била је члан ATLAS колаборације у CERN (Европска организација за нуклеарна истраживања). Од 01.01.2013. године запослена је у Институту за нуклеарне науке "Винча", Лабораторија за физику, на пројекту "Физика и развој детектора у експериментима са акцелераторима високих енергија", (пројекат ОИ171012), као истраживач сарадник. Од фебруара 2013. године члан је CLICdp колаборације у CERN. Тада започиње са израдом докторске тезе под насловом *Методe мерења односа гранања Хигсовог бозона у процесима  $H \rightarrow \mu^+ \mu^-$  и  $H \rightarrow ZZ^*$  на 1.4 TeV на будућем линеарном сударачу CLIC*, у оквиру групе за експерименталну физику високих енергија у Институту Винча.

Током рада у Институту за физику и Институту Винча, добија стипендије за похађање неколико престижних школа у области физике елементарних честица:

- PSI Zuoz Summer School on Particle Physics, Gearing up for LHC Physics, 1-7 август 2010, Zuoz, Швајцарска;
- ISSCSMB'10: International Summer School on High Energy Physics: Standard Model and Beyond, 27 август - 5 септембар 2010, Акјака, Турска;
- ISTAPP 2011, International School of Theory and Analysis in Particle Physics, 31 јануар - 11 фебруар 2011, Истанбул, Турска;
- The 2011 Hadron Collider Physics Summer School, 8 - 17 јун 2011, CERN, Женева, Швајцарска;
- Fourth Linear Collider Physics School, 7 - 9 октобар 2013, DESY, Хамбург, Немачка;
- The 2014 European School of High-Energy Physics (ESHEP), 18 јун - 1 јул, Амстердам, Холандија;

## 1.2 Научни радови везани за тему докторске тезе

До сада је објавила 3 рада у водећим часописима међународног значаја, са импакт фактором већим од 1, од којих су два, везана за тему докторске тезе, објављена у часопису European Physical Journal C. Particles and Fields, са импакт фактором 5.331 за 2016. годину.

1. H.Abramowicz, I. Bozovic-Jelisavcic, G. Kacarevic, S. Lukic, G. Milutinovic-Dumbelovic, M. Pandurovic, et al. [CLICdp collaboration], Higgs Physics at the CLIC Electron-Positron Linear Collider, accepted to Eur. Phys. J. C, DOI: 10.1140/epjc/s10052-017-4968-5, ISSN:1434-6044.
2. G. Milutinovic-Dumbelovic, I. Bozovic-Jelisavcic, C. Greife, G. Kacarevic, S. Lukic, M. Pandurovic, P. Roloff, I. Smiljanic, Physics potential for the measurement of  $\sigma(H\nu\nu) \times BR(H \rightarrow \mu^+ \mu^-)$  at the 1.4 TeV CLIC collider, Eur. Phys. J. C 75 (2015) 515, ISSN:1434-6044.

Рад наведен под бројем 1 је колаборативни рад CLICdp колаборације у коме су представљене све до сада завршене анализе везане за мерења у Хигсовом сектору на будућем Компактном линеарном сударачу CLIC, укључујући и две анализе кандидаткиње које су предмет њене докторске тезе. Рад наведен под бројем 2 односи се на једну од две

теме њене докторске тезе - мерења спрезања Хигсовог бозона и миона на будућем Компактном линеарном сударачу CLIC где је кандидаткиња први аутор. Рад који се односи на спрезање Хигсовог и Z бозона, укључујући и нову анализу распада Хигсовог бозона на пар Z бозона на енергији 3 TeV, где је Г. Милутиновић-Думбеловић такође први аутор, је у припреми.

Предавач или коаутор рада за зборник са међународног скупа била је 6 пута, од којих 3 пута номиновани предавач испред CLICdp колаборације на неким од најзначајнијих скупова у области из серије ICHEP, EPS-HEP, LCWS.

1. G. Milutinovic-Dumbelovic, [*on behalf of the CLICdp Collaboration*], Higgs and BSM physics at CLIC, EPS Conference on High Energy Physics, 5-12 July 2017, Venice, Italy, [https://indico.cern.ch/event/466934/contributions/2583551/attachments/1488702/2313110/Higgs\\_and\\_BSM\\_physics\\_at\\_CLIC\\_EPSHEP\\_2017\\_GMilutinovicDumbelovic.pdf](https://indico.cern.ch/event/466934/contributions/2583551/attachments/1488702/2313110/Higgs_and_BSM_physics_at_CLIC_EPSHEP_2017_GMilutinovicDumbelovic.pdf)
2. Gordana Milutinovic-Dumbelovic et al., Measurement of the branching ratios for the Standard Model Higgs decays into muon pairs and into Z boson pairs at a 1.4 TeV CLIC, AIP Conf.Proc. 1722 (2016) 070006, C15-08-24.3, 2016, 4pp. (јавна нота CLICdp-Conf-2015-008)
3. Ivanka Bozovic-Jelisavcic, Gordana Milutinovic-Dumbelovic, Mila Pandurovic, Strahinja Lukic, Measurement of the Higgs decay to electroweak bosons at low and intermediate CLIC energies, International Workshop on Future Linear Colliders (LCWS15) : Whistler, B.C., Canada, November 02-06, 2015, C15-11-02.1, 2016, 8pp., arXiv:1603.08681 [hep-ex]
4. I. Bozovic-Jelisavcic, S. Lukic, G. Milutinovic Dumbelovic, P. Roloff, M. Pandurovic, Measurement of the Higgs to EW bosons decays at low and intermediate CLIC energies, International Workshop on Future Linear Colliders LCWS15, 2-6 November, 2015, Whistler, BC, Canada, Proceedings of LCWS15, SLAC eConf C151102.1
5. G. Milutinovic-Dumbelovic [*on behalf of the CLICdp Collaboration*], I.Bozovic-Jelisavcic, A. Robson, P. Roloff, Measurement of the  $H \rightarrow ZZ^*$  decay and Higgs production in ZZ fusion at 1.4 TeV CLIC, Proceedings of LCWS14, 6-10 October, Belgrade, Serbia, 2014, C14-10-06.2, 10pp., arXiv:1505.02929 [hep-ex]
6. G. Milutinovic-Dumbelovic, [*on behalf of the CLICdp Collaboration*] SM-like Higgs decay into two muons at 1.4 TeV CLIC, 37<sup>th</sup> International Conference of High Energy Physics (ICHEP2014), July 2-9, 2014, Nucl.Part.Phys.Proc. 273-275 (2016) 2454-2456, 3pp. (јавна нота CLICdp-Conf-2014-001)

Укупна цитираност наведених радова је 24. Комплетна библиографија кандидаткиње дата је у секцији 3 овог Извештаја.

## 2 Докторска теза

### 2.1 Општи подаци

Докторска теза Г. Милутиновић-Думбеловић, *Методe мерења односа гранања Хигсовог бозона у процесима  $H \rightarrow \mu^+ \mu^-$  и  $H \rightarrow ZZ^*$  на 1.4 TeV на будућем линеарном сударачу CLIC*, написана је на 152 пагиниране странице, има 4 дела, 22 поглавља, 4 прилога, 64 слике, 19 табела и 85 референци.

Теза је урађена у групи за физику високих енергија Института за нуклеарне науке Винча, у оквиру националног пројекта ОИ171012, под менторством др Иванке Божовић Јелисавчић, научног саветника Института Винча.

Рад везан за докторску тезу кандидаткиње одвијао се у оквиру Analyses Working Group, колаборације CLICdp у CERN.

### 2.2 Тема и научни значај добијених резултата

Након открића Хигсовог бозона у експериментима ATLAS и CMS 2012. године, и имајући у виду изостанак директних доказа евентуалне физике изван Стандардног модела, истраживања Хигсовог сектора су доспела у фокус научног интересовања како на текућим, тако и на будућим пројектима са акцелераторима високих енергија. Када је о пројектима будућих  $e^+e^-$  акцелератора реч, акценат је на потенцијалу ових пројеката да обезбеде значајну продукцију Хигсових бозона (приближно  $4 \text{ ab}^{-1}$  што је еквивалентно  $10^6$  Хигсових бозона детектованих у току 4 године рада будућег Компактног линеарног сударача CLIC, а подразумевајући детекциону ефикасност од 50%), као и експериментално окружење без QCD шума. У том смислу будући електрон-позитронски судрачи обезбеђују најмању могућу статистичку и систематску грешку, као и мерења независна од модела распада Хигсовог бозона у процесима где се Хигсов бозон продукује Higgsstrahlung-ом својственим за  $e^+e^-$  судараче. Тачност мерења у Хигсовом сектору (а и уопште) од посебног је значаја у погледу физике изван Стандардног модела која може бити видљива кроз одступања осетљивих опсервабли (нпр. Хигсових спрезања) од Стандардним моделом предвиђених вредности, тим пре уколико директних открића на Великом хадронском сударачу на буде (што је случај у овом тренутку).

Анализе засноване на потпуној симулацији експерименталних мерења спрезања Хигсовог бозона са Z бозонима и са мионима, на енергији 1.4 TeV у систему центра масе на Компактном линеарном сударачу CLIC представљене су у овој тези. Претпостављен је пуни статистчки потенцијал машине који одговара узорку података од  $1,5 \text{ ab}^{-1}$ , при конзервативној детекционој ефикасности од 50%.

Добијени резултати симулације мерења опсервабле  $\sigma_{\text{BR}}$ , где је  $\sigma$  ефикасни пресек за продукцију Хигсовог бозона у процесу WW-фузије, а BR одговарајући однос гранања за распад на пар миона, односно Z бозона, укључени су у глобални фит резултата мерења из свих фаза рада машине, како би се са највећом могућом статистичком тачношћу одредила одговарајућа Хигсова спрезања. Добијени резултати у оба случаја надмашују, у погледу

укупне тачности мерења, естимације за  $300 \text{ fb}^{-1}$  LHC. Статистичка тачност мерења Хигсовог спрезања са мионима је упоредива са статистичком тачношћу мерења на HL-LHC при максималној статистици од  $3 \text{ ab}^{-1}$  експерименталних података, а значајно боља од исте у случају мерења Хигсовог спрезања са електрослабим бозонима и, конкретно са Z бозоном.

## 2.3 Структура тезе

Ова теза има 4 дела:

- Део I, општи део, у коме се кроз четири оглавља 1.1 до 1.4, представља акцелератор, детектор и програм мерења у Хигсовом сектору на CLIC (поглавља 1.1, 1.2), затим Стандардни модел у физици честица са Хигсовим механизмом (поглавље 1.3), и даје опис општих метода и оруђа коришћених у симулацији и реконструкцији догађаја и мултиваријантној анализи (поглавље 1.4).
- Део II, Метод мерења BR ( $H \rightarrow \mu^+ \mu^-$ ) на  $1.4 \text{ TeV}$  CLIC, поглавља од 2.1 до 2.9, у којима се дискутује: од узорака података (сигнала и шума) преко преселекције (поглавље 2.4), методе мултиваријантне анализе примењене у сепарацији сигнала од шума (поглавље 2.5), до дефинисања функција густине вероватноће које описују сигнал и шум у циљу одређивања средњег броја догађаја сигнала у 5000 поновљених псеудо-експеримената (поглавља 2.6 и 2.7). Утицај идентификације електрона детекторима предње области и утицај поларизације снопова дискутовани су у поглављима 2.2 и 2.8, а систематска неодређеност мерења у поглављу 2.9.
- Део III, Метод мерења BR ( $H \rightarrow ZZ^*$ ) на  $1.4 \text{ TeV}$  CLIC, поглавља од 3.1 до 3.7, у којима је изложена: дискусија узорка података (поглавља 3.1. и 3.3), преселекција (поглавље 3.4), сепарација сигнала од шума методама мултиваријантне анализе (поглавље 3.5) и статистичка и систематска неодређеност опсервабле  $\sigma_{\text{H}} \text{BR}(H \rightarrow ZZ^*)$  у поглављима 3.6 и 3.7, респективно. Такође, у поглављу 3.2 је дискутована оптимизација ефикасности идентификације излованих лептона и млазева у разматраним догађајима.
- Део IV, дискусија резултата, дат је у два поглавља 4.1 и 4.2, где је у поглављу 4.1 представљен глобални фит, изведен на модел-независан и модел-зависан начин, а у поглављу 4.2 дат је резиме резултата представљених у овој тези.

## 2.4 Оригиналноост и допринос кандидата

Потпуна симулација експерименталног мерења спрезања Хигсовог бозона са мионима и са Z бозоном, на енергији  $1.4 \text{ TeV}$  у систему центра масе, по први пут је изведена у оквиру ове тезе. Кандидат је самостално прошао кроз све кораке анализе, осмисливши преселекцију сигнала, оптимизацију мултиваријантне методе сепарације сигнала од шума, као и оптимизацију постојећих софтверских оруђа за реконструкцију млазева и идентификацију излованих лептона за потребе конкретних анализа.

Посебно, дате су препоруке групи за дизајн, симулацију и истраживање и развој детектора за CLIC, у погледу: резолуције мерења импулса миона и ефикасности

идентификације електрона детекторима предње области, у контексту захтеваних перформанси за потребе ових анализа.

### 3. Библиографија

*Радови у међународним часописима (ИФ већи од 1)*

1. H.Abramowicz, I. Bozovic-Jelisavcic, G. Kacarevic, S. Lukic, G. Milutinovic-Dumbelovic, M. Pandurovic, et al. [CLICdp collaboration], Higgs Physics at the CLIC Electron-Positron Linear Collider, accepted to Eur. Phys. J. C, DOI: 10.1140/epjc/s10052-017-4968-5, ISSN:1434-6044.
2. G. Milutinovic-Dumbelovic, I. Bozovic-Jelisavcic, C. Grefe, G. Kacarevic, S. Lukic, M. Pandurovic, P. Roloff, I. Smiljanic, Physics potential for the measurement of  $\sigma(H\nu\nu)\times BR(H\rightarrow\mu^+\mu^-)$  at the 1.4 TeV CLIC collider, Eur. Phys. J. C 75 (2015) 515, ISSN:1434-6044.
3. I. Bozovic Jelisavcic, S. Lukic, G. Milutinovic Dumbelovic, M. Pandurovic and I. Smiljanic, Luminosity Measurement at ILC, *JINST* 8 P08012, August 2013, arXiv:1304.4082, ISSN: 1748-0221, IF 1.869.

*Зборници са међународних конференција*

1. Gordana Milutinovic-Dumbelovic et al., Measurement of the branching ratios for the Standard Model Higgs decays into muon pairs and into Z boson pairs at a 1.4 TeV CLIC, AIP Conf.Proc. 1722 (2016) 070006, C15-08-24.3, 2016, 4pp.
2. Ivanka Bozovic-Jelisavcic, Gordana Milutinovic-Dumbelovic, Mila Pandurovic, Strahinja Lukic, Measurement of the Higgs decay to electroweak bosons at low and intermediate CLIC energies, International Workshop on Future Linear Colliders (LCWS15) : Whistler, B.C., Canada, November 02-06, 2015, C15-11-02.1, 2016, 8pp., arXiv:1603.08681 [hep-ex]
3. I. Bozovic-Jelisavcic, S. Lukic, G. Milutinovic Dumbelovic, P. Roloff, M. Pandurovic, Measurement of the Higgs to EW bosons decays at low and intermediate CLIC energies, International Workshop on Future Linear Colliders LCWS15, 2-6 November, 2015, Whistler, BC, Canada, Proceedings of LCWS15, SLAC eConf C151102.1
4. G. Milutinovic-Dumbelovic [on behalf of the CLICdp Collaboration], I.Bozovic-Jelisavcic, A. Robson, P. Roloff, Measurement of the  $H\rightarrow ZZ^*$  decay and Higgs production in ZZ fusion at 1.4 TeV CLIC, Proceedings of LCWS14, 6-10 October, Belgrade, Serbia, 2014, C14-10-06.2, 10pp., arXiv:1505.02929 [hep-ex]
5. G. Milutinovic-Dumbelovic, [on behalf of the CLICdp Collaboration] SM-like Higgs decay into two muons at 1.4 TeV CLIC, 37<sup>th</sup> International Conference of High Energy Physics (ICHEP2014), July 2-9, 2014, Nucl.Part.Phys.Proc. 273-275 (2016) 2454-2456, 3pp.

### *Зборници са домаћих конференција*

1. М. Пандуровић, С. Лукић, Г. Милутиновић-Думбеловић, И. Божовић Јелисавчић, Мерење односа гранања  $X \rightarrow \mu^+ \mu^-$  на будућем Компактном линеарном сударацу CLIC, XII Конгрес физичара Србије, Зборник радова, ISBN 978-86-86169-08-2, Мау 2013, стр. 240-244.

### *Јавне ноте CLICdp колаборације*

1. Milutinović-Dumbelović G, Božović-Jelisavčić I, Greife C, Lukić S, Pandurović M, Roloff P, Physics potential for the measurement of  $\sigma(H\nu\nu) \times BR(H \rightarrow \mu^+\mu^-)$  at a 1.4 TeV CLIC collider, arXiv:1412.5791, CLICdp-Note-2014-005, 2014, 17 pp.
2. Milutinovic-Dumbelovic G, SM-like Higgs decay into two muons at 1.4 TeV CLIC, CLICdp-Conf-2014-006, 2014, 3 pp.
3. Milutinovic-Dumbelovic Gordana, Bozovic-Jelisavcic Ivanka, Robson Aidan, Roloff Philipp Gerhard, Measurement of  $\sigma(H\nu e \nu^-) \times BR(H \rightarrow ZZ^*)$  and Higgs production in ZZ fusion at a 1.4 TeV CLIC collider, CLICdp-Conf-2015-004, 2015, 10pp.
4. Bozovic-Jelisavcic Ivanka, Milutinovic-Dumbelovic Gordana, Pandurovic Mila, Lukic Strahinja, Measurement of the Higgs decay to electroweak bosons at low and intermediate CLIC energies, arXiv:1603.08681; CLICdp-Conf-2016-004, 2016, 9 pp.
5. Milutinovic-Dumbelovic Gordana, Bozovic-Jelisavcic Ivanka, Greife Christian, Kacarevic Goran, Lukic Strahinja, Pandurovic Mila, Roloff Philipp Gerhard, Smiljanic Ivan, Measurement of the branching ratios for Standard Model Higgs decays into muon pairs and into Z boson pairs at 1.4 TeV CLIC, CLICdp-Conf-2015-008, 2016, 5pp.

### *Технички документи*

1. I. Bozovic-Jelisavcic, G. Kacarevic, S. Lukic, G. Milutinovic-Dumbelovic, M. Pandurovic et al. [CLICdp Collaboration], *Updated baseline for a staged Compact Linear Collider*, Edited by Philip N. Burrows (University of Oxford), Philippe Lebrun (CERN), Lucie Linssen (CERN), Daniel Schulte (CERN), Eva Sicking (CERN), Steinar Stapnes (CERN), Mark A. Thomson (University of Cambridge), CERN-2016-004, ISBN 978-92-9083-432-8 (paperback), ISBN 978-92-9083-433-5 (PDF), ISSN 0007-832, DOI: [10.5170/CERN-2016-004](https://doi.org/10.5170/CERN-2016-004)

#### 4. Закључак и предлог комисије

Имајући у виду научни значај теме, оригиналност научног рада и публикабилност добијених резултата, сматрамо да докторска теза Гордане Милутиновић-Думбеловић, *Методe мерења односа гранања Хигсовог бозона у процесима  $H \rightarrow \mu^+ \mu^-$  и  $H \rightarrow ZZ^*$  на 1.4 TeV на будућем линеарном сударачу CLIC*, представља самосталан, оригиналан и значајан научни рад. Стога предлажемо Наставно-научном већу Физичког факултета Универзитета у Београду да упути кандидаткињу на одбрану докторске тезе.

Београд, 17. август 2017.

др Иванка Божовић Јелисавчић  
научни саветник Института за нуклеарне науке Винча

---

др Воја Радовановић  
редовни професор Физичког факултета Универзитета у Београду

---

др Јован Пузовић  
ванредни професор Физичког факултета Универзитета у Београду

---