



УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ
ПРИРОДНО-МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ

ПРИМЉЕНО: 14.11.2023.	
Орг. број: ВРД 1 Год. отврежност:	
02	520/252 - -

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ
ПРИРОДНО-МАТЕМАТИЧКОГ ФАКУЛТЕТА
УНИВЕРЗИТЕТА У КРАГУЈЕВЦУ И
ВЕЋУ ЗА ПРИРОДНО-МАТЕМАТИЧКЕ НАУКЕ
УНИВЕРЗИТЕТА У КРАГУЈЕВЦУ

Предмет: Извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Горана Качаревића.

Веће за природно-математичке науке Универзитета у Крагујевцу је на предлог Наставно-научног већа Природно-математичког факултета у Крагујевцу (Одлука број 370/XII-1 од 30.08.2023. године) на седници одржаној 20.09.2023. године донело одлуку број IV-01-685/14 о именовању председника и члanova Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације под насловом „**Метод мерења односа гранања Хигсовог бозона $BR(H \rightarrow \gamma\gamma)$ на 3 TeV CLIC**“ кандидата **Горана Качаревића**, студента докторских академских студија физике на Институту за физику Природно-математичког факултета Универзитета у Крагујевцу (ментор дисертације је научни саветник др Иванка Божовић-Јелисавчић, Одлука број IV-01-452/9 од 9.06.2021. године) у следећем саставу:

1. др **Светислав Савовић**, редовни професор, Универзитет у Крагујевцу, Природно-математички факултет, ужа научна област: **Субатомска физика (председник комисије)**;
2. др **Мирко Радуловић**, доцент, Универзитет у Крагујевцу, Природно-математички факултет, ужа научна област: **Атомска, молекулска и оптичка физика** (члан);
3. др **Гордана Милутиновић-Думболовић**, научни сарадник, Институт за нуклеарне науке Винча - Институт од националног значаја за Републику Србију, Универзитет у Београду, научна област: **Физика** (члан).

Кандидат Горан Качаревић, студент докторских академских студија физике на Институту за физику Природно-математичког факултета Универзитета у Крагујевцу, је, у складу са Правилником о пријави, изради и одбрани докторске дисертације Универзитета у Крагујевцу, приложио текст докторске дисертације под насловом „**Метод мерења односа гранања Хигсовог бозона $BR(H \rightarrow \gamma\gamma)$ на 3 TeV CLIC**“ . На основу рукописа и приложене документације, Комисија подноси Наставно-научном већу Природно-математичког факултета у Крагујевцу следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Опис докторске дисертације

Предмет истраживања ове докторске дисертације проистиче из препоруке Стратегије коју је 2020. године Европска комисија за будуће акцелераторе донела за област физике елементарних честица (ESPPU - European Strategy for Particle Physics Update), истичући



електрон-позитронске судараче високих енергија (такозване Хигсове фабрике) као највећи приоритет ове области. Тренутно су у фази планирања и развоја неколико таквих пројеката, од којих је Компактни линеарни сударач (CLIC) један од најконкурентнијих, пре свега у погледу домета програма физичких мерења када је реч о реализацији нове физике у Хигсовом сектору. Ово пре свега захваљујући чињеници да је доступна скала од 3 TeV у систему центра масе за директна, односно виште десетина TeV за индиректна мерења. Пројекат је предложен за реализацију у Европској организацији за нуклеарна истраживања (CERN), у оквиру колаборације у којој учествује група за физику високих енергија Института за нуклеарне науке Винча - Института од националног значаја за Републику Србију, чији је кандидат члан и у оквиру које је и урађено предметно истраживање. Како би на индиректан начин била тестирана евентуална реализација физике изван Стандарданог модела (BSM), мерења велике тачности у Хигсовом сектору окосница су програма истраживања будућих Хигсовых фабрика.

Распад Хигсовог бозона на пар фотона од посебног је интереса јер се одвија на нивоу петљи и самим тим има осетљивост на евентуалну измену темпних честица, укључујући и оне неоткривене. Реализација BSM модела директно би се рефлектовала на однос гранања који је предмет овог псевдо-мерења, и консеквентно и на величину Хигсовог спрезања са фотонима. Овај ефекат је у већини случајева реда процента.

Стога се **основна хипотеза** ове докторске дисертације може сумирати у једној реченици: „*Могуће је мерење Хигсовог односа гранања за двофотонски распад са процентном тачношћу, у појединачном мерењу на енергији у систему центра масе на CLIC.*“

Питање тачности мерења, односно осетљивости мерења на присуство физике изван Стандарданог модела је кључно питање валидације програма истраживања на будућим Хигсовим фабрикама, односно одабира за реализацију истих. Из тог разлога, велики део међународне научне заједнице спроводи оваква истраживања како би се квантификовao потенцијал будуће (планетарне) машине за истраживања у овој области.

У складу са горе наведеним, за **циљ** истраживања узето је квантifikовање релативне статистичке и систематске неодређености мерења односа гранања $BR(H \rightarrow \gamma\gamma)$ у псевдо-експерименту, у случају када се Хигсови бозони производе механизmom WW-фузије, на енергији у систему центра масе 3 TeV на сударачу CLIC.

Да би тако добијена квантитативна процена била реалистична, **методолошки** је неопходно у потпуности симулирати *експериментално окружење* на CLIC (структуре снопа, спектар луминозности и машинске шумове), *одговор детектора* (интеракцију честица са супстанцијалном средином у претпостављеном дизајну, технологији и геометрији детектора, дигитализацију сигнала и реконструкцију и идентификацију честица), *одабир сигнала* (изолацију лентона и фотона и реконструкцију млавеза коришћењем алгоритама какви би се користили у реалном експерименту), као и *употребу додатних оруђа* (нпр. мултиваријантне анализе на начин на који би она била коришћена у *off-line* анализи). Експеримент изведен под оваквим условима назива се *псевдо-експериментом*.



Да би се постављени циљ остварио, примењена је **метода** мерења заснована на следећим корацима:

1. Реконструкција догађаја са два изолована фотона;
2. Преселекција у циљу супримирања шумова великих ефикасних пресека;
3. Мултиваријантна анализа осетљивих опсервабли у циљу даље редукције шума;
4. Математички опис издвојеног сигнала и шума функцијама густине вероватноће (PDF);
5. Дефинисање функције фита псеудо-података којом се, као слободни параметар, екстражује број догађаја сигнала;
6. Извођење великог броја (>1000) псеудо-експеримената да би се одредило статистичко расписане очекивање вредности резултата мерења;
7. Процена систематске грешке мерења.

Структура докторске дисертације прати предложену методологију кроз следећа поглавља:

1. Стандардни модел у физици честица
 - 1.1. Феноменологија Стандардног модела у физици честица
 - 1.2. Хигсов механизам
 - 1.3. Испитивање Хигсовог сектора на CLIC
2. Компактни линеарни сударац (CLIC)
 - 2.1. Акцелератор
 - 2.2. Детектор
 - 2.3. Експериментално окружење
3. Продукција и распад Хигсовог бозона и конкурентни процеси
 - 3.1. Продукција Хигсовог бозона на CLIC
 - 3.2. Двофотонски распад Хигсовог бозона
 - 3.3. Шумови
 - 3.4. Узорци псеудо-података и софтверски алати
4. Селекција догађаја
 - 4.1. Реконструкција Хигсовог бозона
 - 4.2. Преселекција
 - 4.3. Мултиваријантна анализа
5. Мерење односа гранања $BR(H \rightarrow \gamma\gamma)$
 - 5.1. Псеудо-експеримент
 - 5.2. Статистичка неодређеност мерења
 - 5.3. Систематска неодређеност мерења
 - 5.4. Дискусија резултата

Увод и Закључак доносе оквир, односно постављају проблем истраживања (Увод) и сумирају резултате истраживања (Закључак). Увод у овој докторској тези обрађује значај



истраживања Хигсовог сектора у контексту нових открића и изазова у физици високих енергија. После открића Хигсовог бозона 2012. године и изостанка доказа физике изван Стандардног модела, фокус истраживања је стављен на Хигсов сектор. Будући e+e- акцелератори су идентификовани као значајни за производњу Хигсовых бозона без смешања квартонске квантове хромодинамике (QCD шум). Ови акцелератори обећавају минималне грешке и мерења независно од модела распада Хигсовог бозона. Тачност мерења у Хигсовом сектору има кључни значај, посебно за детектовање одступања од предвиђених вредности у Стандардном моделу, која би могла да укажу на нову физику. Закључак ове докторске тезе наглашава значај потпуне симулације мерења спрезања Хигсовог бозона са фотонима на акцелератору CLIC на енергији од 3 TeV. Истраживање на овом акцелератору има потенцијал да допринесе повећању тачности у Хигсовом сектору и да открије одступања од Стандардног модела. Ова теза наглашава важност таквих истраживања за физику изван Стандардног модела и додатно потврђује значај будућих e+e- акцелератора у физици високих енергија.

Поглавље 1. - Стандардни модел у физици честица ове докторске тезе представља општи теоријски оквир у физици честица, фокусирајући се на структуру и принципе Стандардног модела. Једна од најзначајнијих компоненти Стандардног модела је Хигсов механизам, који описује механизам спонтаног нарушења локалних симетрија у теорији. Хигсов механизам је одговоран за давање масе фундаменталним честицама и објашњава како долази до нарушења електрослабе симетрије. Овај механизам има суштинску улогу у објашњавању процеса спонтаног нарушења симетрије и додавања маса бозонима W и Z. У овом поглављу, приступа се Стандардном моделу и Хигсовом механизму као теоретским основама које су неопходне за разумевање физике честица и физике Хигсовог бозона. Теоријски оквир Стандардног модела и Хигсов механизам служе као почетна тачка за разматрање дубљих истраживања која ће бити представљена у овој докторској тези.

Поглавље 2. - Компактни линеарни сударац (CLIC) објашњава будући сударац честица, акцелератор CLIC, који је од изузетног значаја за истраживања у физици високих енергија. Ово поглавље се фокусира на детаљан опис акцелератора, детектора и њихових кључних карактеристика. Посебан акцент стављен је на електромагнетни калориметар, који је од изузетног значаја за идентификацију и реконструкцију фотона. Објашњава се како електромагнетни калориметар функционише, како мери енергију фотона и како омогућава прецизно мерење идентификације фотона у контексту истраживања Хигсовог бозона. Овај одељак представља основу и технички контекст за разумевање истраживања која ће бити изложена у следећим поглављима и дубље истражује важне аспекте технологије и инструментације коришћене на CLIC акцелератору.

Поглавље 3. - Продукција и распад Хигсовог бозона и конкурентни процеси детаљно анализира механизме продукције Хигсовог бозона на акцелератору CLIC. Описане су карактеристике двофотонског распада Хигсовог бозона, укључујући кинематичке и статистичке аспекте. Такође, разматрани су конкурентни шумови који могу утицати на прецизно идентификовање Хигсовых бозона. Представљени су софтверски алати који су коришћени за симулацију сложеног експерименталног окружења и алати за анализу



података, као и платформе за обраду симулirаних података које су користиле дeљиве ресурсе ILС виртуелних организација.

Поглавље 4. - Селекција догађаја је фокусирано на процес селекције догађаја и реконструкцију Хигсовог бозона у двофотонском каналу распада, што представља кључни аспект истраживања физике Хигсовог бозона на акцелератору CLIC. Овај процес је од суштинског значаја јер омогућава идентификацију и анализу Хигсовых бозона, одвајање њиховог сигнала од потенцијалних шумова у подацима и процену њихових својстава. З овом поглављу описаны су кораци селекције догађаја од интереса (реконструкција Хигсовог бозона, преселекција и мултиваријантна анализа). Први корак у овом процесу је реконструкција Хигсовог бозона, што укључује идентификацију и анализу двофотонског распада Хигсовог бозона. Описане су методе и технике које се користе за препознавање ових фотона и мерење њихових параметара, као што су енергија и углови распада. Након реконструкције Хигсовых бозона, следи процес преселекције, где се издвајају догађаји који су повезани са Хигсовим бозонима. Ово укључује филтрирање и селекцију података који испуњавају одређене критеријуме. Додатно, у оквиру овог поглавља, разматра се и примена методе машинског учења познате као BDTG (Booster Decision Tree with Gradient Boosting), која има за циљ раздвање сигнала и шума. Ова метода је корисна за аутоматско препознавање и класификацију Хигсовых бозона у двофотонском каналу распада, и у супротстављању потенцијалним шумовима у подацима.

Поглавље 5. - Мерење односа гранања $BR(H \rightarrow \gamma\gamma)$ бави се важним аспектом мерења односа гранања $H \rightarrow \gamma\gamma$ који представља однос распада Хигсовог бозона у двофотонски канал. Ово мерење је од изузетног значаја у физици Хигсовог бозона и игра кључну улогу у оцењивању истинских вредности параметара Хигсовог бозона и статистичке тачности мерења. Први корак у овом поглављу укључује математички опис издвојеног сигнала и шума користећи функције густине вероватноће. Ове функције омогућавају раздвајање сигнала и шума у анализи и мерењу Хигсовых бозона. Следећи корак је фитовање псеудоподатака како би се екстраховао број догађаја сигнала и шума као слободни параметри фита. Ово фитовање има за циљ одређивање статистичких својстава распада Хигсовог бозона и утицај шума на мерења. Достаљно се разматра и питање статистичке тачности одређеног броја догађаја сигнала. Овај аспект је испитан кроз извршење многобројних псеудо-експеримената, где се анализира статистичка дисипација очекиване вредности мерења у оквиру статистичке популације. Овај процес помаже у оцени статистичке тачности мерења и оцени негативног утицаја стохастичких процеса на резултате. Резултати ове анализе се интерпретирају користећи тест z-вредности и стављају у контекст са осталим мерењима на CLIC акцелератору, укључујући сличне анализе на другим енергијама и глобални фит над подацима из свих фаза рада акцелератора CLIC. Ово има за циљ да обезбеди комплексно разумевање статистичке тачности мерења Хигсовых бозона и унапреди надежност и конзистентност резултата у контексту физике Хигсовог бозона на CLIC акцелератору.

На крају, поглавља **Биографија кандидата и Библиографија кандидата** дају информације о личним подацима кандидата Горана Качаревића, студента докторских академских студија физике, истраживача у Институту за нуклеарне науке Винча - Институту



од националног значаја за Републику Србију, Универзитета у Београду, о досадашњем научно-истраживачком раду и достигнућима током студија. Библиографски подаци кандидата су поређани по одговарајућим категоријама. Кандидат уз биографију и библиографске јединице прилаже и наводе објављених резултата из докторске дисертације у поглављу **Публиковани резултати докторске дисертације**, чиме испуњава услов прописан Правилником о пријави, изради и одбрани докторске дисертације, докторског уметничког пројекта Универзитета у Крагујевцу и Правилником о пријави, изради и одбрани докторске дисертације Природно-математичког факултета Универзитета у Крагујевцу (надаље Правилник). Приложени текст докторске дисертације је технички исправан и у складу са Правилником.

2. Значај и допринос докторске дисертације са становишта актуелног стања у одређеној научној области

Докторска дисертација **Горана Качаревића** под насловом „**Метод мерења односа гранања Хигсовог бозона $BR(H \rightarrow \gamma\gamma)$ на 3 TeV CLIC**“ припада научној области Физика, односно ужој научној области Субатомска физика (физика елементарних честица).

У својој дисертацији кандидат је на уверљив и једноставан начин изложио теоријски и експериментални оквир свога истраживања, као и примењену методологију. У сложеној и захтевној симулацији самог експерименталног мерења односа гранања $BR(H \rightarrow \gamma\gamma)$ у CLIC експерименту на енергији 3 TeV у систему центра масе, на математички основан начин је показано да се може постићи експериментална тачност реда 5%, која превасходно потиче од лимитиране статистике сигнала.

Овај резултат представља прво мерење односа гранања за двофотонски распад Хигсовог бозона, обављено на псеудо-подацима симулираним на енергији 3 TeV у систему центра масе и превазилази у погледу тачности процене добијене на основу псеудо-мерења на енергији 1.4 TeV у систему центра масе. Овај резултат кандидата публикован је у 2022. години у међународном часопису водећег значаја (M21): G. Kacarevic, I. Bozovic-Jelisavcic, N. Vukasinovic, G. Milutinovic-Dumbelovic, I. Smiljanic, M. Radulovic, J. Stevanovic, T. Agatonovic-Jovin, Measurement of the Higgs boson branching ratio $BR(H \rightarrow \gamma\gamma)$ at a 3 TeV CLIC, Phys. Rev. D 105 (2022).

3. Оцена да је урађена докторска дисертација резултат оригиналног научног рада кандидата у одговарајућој научној области

Након детаљног разматрања доступних библиографских података релевантних за тематску област предложене докторске дисертације, као и претходно наведених циљева, теме и методологије истраживања, уз узимање у обзир постигнутих резултата, Комисија је утврдила да докторска дисертација под насловом „**Метод мерења односа гранања Хигсовог бозона $BR(H \rightarrow \gamma\gamma)$ на 3 TeV CLIC**“ представља оригинални научни допринос кандидата **Горана Качаревића**, што је потврђено позитивним извештајем ментора о провери оригиналности докторске дисертације, поднетом на основу Извештаја о провери на



плагијаризам број **IV-01-790/4** од **6.11.2023.** године који је Природно-математичком факултету доставио Универзитет у Крагујевцу. Комисија је даље констатовала да су детектоване подударности унутар текста искључиво последица цитата, навођења општих података о кандидату, установа и чланова Комисије, општеприхваћених термина и усталених израза у оквиру методологије који су у широкој употреби за одговарајуће методе истраживања као и претходно публикованих резултата из докторске дисертације кандидата који су уредно цитирани у складу с академским правилима. Софтверском провером установљено је да поменутих подударности има укупно **9%**, од којих **7%** потиче из наведених референци коришћене литературе а **2%** из библиографских података кандидата **Горана Качаревића.**

4. Преглед остварених резултата рада кандидата у одређеној научној области

Горан Качаревић, дипломирани физичар, запослен је у групи за физику високих енергија Лабораторије за физику Института Винча - Институту од националног значаја Републике Србије од 2014. године. Године 2013. дипломирао је на основним академским студијама на Природно-математичком факултету Универзитета у Крагујевцу. са општим успехом 8.27 у току студија и оценом 10 на дипломском испиту „**Контролисана термонуклеарна физија**“, чиме је стекао академски и стручни назив дипломирани физичар за примењену физику. Јануара 2014. године уписао је докторске академске студије на Природно-математичком факултету Универзитета у Крагујевцу. У предвиђеном року положио је све испите на докторским студијама са средњом оценом 9.5. Године 2018. фактички започиње израду тезе под насловом „**Метод мерења односа гранања Хигсовог бозона $BR(H \rightarrow \gamma\gamma)$ на 3 TeV CLIC**“, под менторством др Иванке Божовић-Јелисавчић, научног саветника Института Винча јер колега са којим је до тада сарађивао одлази у иностранство. У току 2018. године, боравио је на Универзитету Тохоку, Јапан, као стипендиста програма „Tohoku University Research-Oriented Incoming Student (ROIS) Scholarship“. Докторску тезу пријавио је на Природно-математичком факултету Универзитета у Крагујевцу 2021.

У оквиру групе за физику високих енергија Института Винча, кандидат се превасходно бави физиком Хигсових бозона на будућим сударачима CLIC и ILC (у оквиру колаборација CLICdp и ILD). Активан је и у колаборацијама ILD (у оквиру пројекта ILC) и CEPC. Истраживања кандидата су усмерена на физику са Хигсовим бозоном, као и на мерење луминозности на будућим електрон-позитронским сударачима CLIC, ILC и CEPC (такозваним Хигсовим фабрикама).

Услед доста разгранате активности и интересовања како за физичка мерења тако и за симулацију и развој детектора, кандидат је аутор/коаутор већег броја научних радова, од којих су 4 рада, посвећена управо мерењу Хигсових односа гранања на будућим Хигсовим фабрикама, објављена у водећим међународним часописима категорије M21. Један од тих радова: G. Kacarevic, I. Bozovic-Jelisavcic, N. Vukasinovic, G. Milutinovic-Dumbelovic, I. Smiljanic, M. Radulovic, J. Stevanovic, T. Agatonovic-Jovin, Measurement of the Higgs boson branching ratio $BR(H \rightarrow \gamma\gamma)$ at a 3 TeV CLIC, Phys. Rev. D 105 (2022) директно представља



резултате докторске тезе кандидата. Као номиновани предавач испред CLICdp колаборације, представио је ове резултате на водећем међународном скупу посвећеном будућим Хигсовим фабрикама: The 2021 International Workshop on Future Linear Colliders (LCWS2021), организованом од стране CERN, 2021. године.

Као аутор или коаутор, Горан Качаревић је објавио укупно 5 радова категорије M21, од којих се 4 (наводи 1-3 и 5 из библиографије) односе на мерење односа гранања Хигсовог бозона, као и 2 рада категорије M23. Уз то, директно је допринео остваривању низа резултата представљених на међународним скуповима.

Радови публиковани у врхунским међународним часописима (категорија M21)

1. G. Milutinović-Dumbelović, I. Božović-Jelisavčić, C. Grefe, **G. Kačarević**, S. Lukić, M. Pandurović, P. Roloff, I. Smiljanić, Physics potential for the measurement of $\sigma(Hvv) \times BR(H \rightarrow \mu^+ \mu^-)$ at the 1.4 TeV CLIC collider, Eur. Phys. J. C 75 (2015) 515, ISSN:1434-6044, IF: 5.084
DOI: 10.1140/epjc/s10052-015-3742-9,
2. H. Abramowicz, I. Božović-Jelisavčić, **G. Kačarević**, S. Lukić, G. Milutinović-Dumbelović, et al. (CLICdp collaboration), Higgs Physics at the CLIC Electron-Positron Linear Collider, Eur. Phys. J. C 77 (2017) 475, ISSN:1434-6044, IF: 5.084
DOI: 10.1140/epjc/s10052-017-4968-5,
3. H. Abramowicz, Ivanka Bozovic-Jelisavcic , **G. Kacarevic**, N. Vukasinovic et al. (FCAL Collaboration), Performance and Molière radius measurements using a compact prototype of LumiCal in an electron test beam, Eur.Phys.J. C 79 (2019) 579, ISSN 1434-6044, IF: 5.17
DOI: 10.1140/epjc/s10052-019-7077-9
4. **G. Kacarevic**, I. Bozovic-Jelisavcic, N. Vukasinovic, G. Milutinovic-Dumbelovic, I. Smiljanic, M. Radulovic, J. Stevanovic, T. Agatonovic-Jovin, Measurement of the Higgs boson branching ratio $BR(H \rightarrow \gamma\gamma)$ at a 3 TeV CLIC, Phys. Rev. D 105 (2022), ISSN: 2470-0010
DOI: 10.1103/PhysRevD.105.092009
5. N. Vukasinovic, I. Bozovic-Jelisavcic, **G. Kacarevic**, G. Milutinovic-Dumbelovic, T. Agatonovic-Jovin, I. Smiljanic, M. Radulovic, J. Stevanovic, Measurement of the H to ZZ branching fraction at a 350 GeV and 3 TeV CLIC, Phys. Rev. D 105 (2022), ISSN: 2470-0010
DOI: 10.1103/PhysRevD.105.092008

Радови публиковани у међународним часописима (категорија M23)

1. Ivan Smiljanic, Ivanka Bozovic Jelisavcic, **Goran Kacarevic**, Natasa Vukasinovic, Ivana Vidakovic and Vladimir Rekovic, Systematic uncertainties in integrated luminosity measurement at CEPC, JINST 17 (2022) P09014, ISSN: 1748-0221
DOI: 10.1088/1748-0221/17/09/P09014



2. N.Vukasinovic, T. Agatonovic-Jovin, I. Bozovic-Jelisavcic, **G. Kacarevic**, G. Milutinovic-Dumbelovic, el al., CPV in $e^+ e^-$ at 1 TeV ILC, Moscow Univ. Phys. Bull. 77 (2022) 268-269, ISSN: 0027-1349, IF: 0,436
DOI: 10.3103/S002713492202103X

Саопштење са међународног скупа штампано у целини (M33)

3. Ivan Smiljanic (VINCA Inst. Nucl. Sci., Belgrade), Ivanka Bozovic-Jelisavcic(VINCA Inst. Nucl. Sci., Belgrade), Goran Kacarevic (VINCA Inst. Nucl. Sci., Belgrade), Suen Hou(Taiwan, Inst. Phys.), Hongbo Zhu(Beijing, KITPC), Integrated luminosity measurement at CEPC, (Nov 27, 2020)Published in: PoS ICHEP2020 (2021) 715.
4. I. Smiljanić, I. Božović-Jelisavčić, G. Kačarević, N. Vukašinović, T. Agatonović-Jovin, G. Milutinović-Dumbelović, J. Stevanović, M. Radulović, Integrated luminosity measurement at CEPC, International Workshop on Future Linear Colliders (LCWS2021), 15-18 March 2021, C21-03-15.1., pp. 7, arXiv:2105.06245v2[physics.ins-det].
5. G. Kačarević, I. Božović-Jelisavčić, N. Vukašinović, G. Milutinović-Dumbelović, M.Radulović, J. Stevanović, Ivan Smiljanić, T. Agatonović-Jovin, [on behalf of the CLICdp Collaboration], Measurement of the Higgs branching ratio $BR(H \rightarrow \gamma\gamma)$ at 3 TeV CLIC, International Workshop on Future Linear Colliders (LCWS2021), 15-18 March 2021, C21-03-15.1., CLICdp-Conf-2021-002, pp. 6, arXiv:2105.06795v2[hep-ex].
6. N. Vukašinović, I. Božović-Jelisavčić, I. Smiljanić, G. Kačarević, G.Milutinović-Dumbelović, T. Agatonović-Jovin, M. Radulović, J. Stevanović, [on behalf of the CLICdp Collaboration], Measurement of the H to ZZ branching fraction at 350 GeV and 3 TeV CLIC, International Workshop on Future Linear Colliders (LCWS2021), 15-18 March 2021, C21-03-15.1., CLICdp-Conf-2021-001, pp. 8, arXiv:2105.06792v2[hep-ex].
7. Gordana Milutinović-Dumbelović, Ivanka Božović-Jelisavčić, Christian Grefe, Goran Kačarević, Strahinja Lukić, Mila Pandurović, Philipp Roloff, Ivan Smiljanic, 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, pp. 4.
8. T. Agatonović-Jovin(VINCA), N. Vukašinović (VINCA), I. Božović-Jelisavčić (VINCA), G. Kačarević (VINCA), M. Radulović (Kragujevac U.), J. Stevanović (Kragujevac U.), G. Milutinović-Dumbelović (VINCA), I. Smiljanić (VINCA); CP violation in the Higgs sector at ILC; European Physical Society Conference on High Energy Physics 2021 (EPS-HEP2021); ILD-PHYS-PROC-2021-011; e-Print: 2110.12830 [hep-ph], 4 pp. 2021; M33
9. G.Kacarevic, I. Bozovic-Jelisavcic, N. Vukasinovic, M. Radulovic, J. Stevanovic, Measurement of the Higgs to $\gamma\gamma$ branching fraction at 3TeV CLIC, PoS(BPU11)092.
10. N. Vukasinovic, I. Bozovic-Jelisavcic, G.Kacarevic, Measurement of the CPV Higgs mixing angle in ZZ-fusion at 1 TeV ILC, International Workshop on Future Linear Colliders (LCWS 2023), 15-19 May 2023. C23-05-15.3, ILD-PHYS-PROC--2023-006



5. Оцена о испуњености обима и квалитета докторске дисертације у односу на пријављену тему

На основу прегледаног текста докторске дисертације, Комисија је утврдила да планирани обим и циљеви истраживања, научни садржај рада, предмет и примењена методологија, као и представљени резултати и њихов значај са становишта актуелности у области Физике, у потпуности одговарају пријављеној теми „**Метод мерења односа гранања Хигсовог бозона $BR(H \rightarrow \gamma\gamma)$ на 3 TeV CLIC**“, а добијени резултати представљају оригинални научни допринос ужој научној области Субатомска физика (физика елементарних честица).

6. Научни резултати докторске дисертације

Резултати докторске дисертације „**Метод мерења односа гранања Хигсовог бозона $BR(H \rightarrow \gamma\gamma)$ на 3 TeV CLIC**“ кандидата Горана Каћаревића публиковани су у виду 1 рада у научним часописима са SCI листе (категорије M21) и 2 саопштења на међународним скуповима штампана у целини (категорије M33). Резултати везани за тему докторске дисертације публиковани су у следећим часописима међународног значаја:

Врхунски међународни часописи (категорија M21)

1. G. Milutinović-Dumbelović, I. Božović-Jelisavčić, C. Grefe, **G. Kaćarević**, S. Lukić, M. Pandurović, P. Roloff, I. Smiljanić, Physics potential for the measurement of $\sigma(Hvv) \times BR(H \rightarrow \mu^+ \mu^-)$ at the 1.4 TeV CLIC collider, Eur. Phys. J. C 75 (2015) 515, ISSN:1434-6044, IF: 5.084
DOI: 10.1140/epjc/s10052-015-3742-9,
2. H. Abramowicz, I. Božović-Jelisavčić, **G. Kaćarević**, S. Lukić, G. Milutinović-Dumbelović, et al. (CLICdp collaboration), Higgs Physics at the CLIC Electron-Positron Linear Collider, Eur. Phys. J. C 77 (2022) 475, ISSN:1434-6044, IF: 5.084
DOI: 10.1140/epjc/s10052-017-4968-5
3. **G. Kacarevic**, I. Bozovic-Jelisavcic, N. Vukasinovic, G. Milutinovic-Dumbelovic, I. Smiljanic, M. Radulovic, J. Stevanovic, T. Agatonovic-Jovin, Measurement of the Higgs boson branching ratio $BR(H \rightarrow \gamma\gamma)$ at a 3 TeV CLIC, Phys. Rev. D 105 (2022), ISSN: 2470-0010, IF: 4,994
DOI:10.1103/PhysRevD.105.092009
4. N. Vukasinovic, I. Bozovic-Jelisavcic, **G. Kacarevic**, G. Milutinovic-Dumbelovic, T. Agatonovic-Jovin, I. Smiljanic, M. Radulovic, J. Stevanovic, Measurement of the H to ZZ branching fraction at a 350 GeV and 3 TeV CLIC, Phys. Rev. D 105 (2022), ISSN: 2470-0010, IF: 4,994
DOI: 10.1103/PhysRevD.105.092008,

као и на следећим конференцијама међународног значаја:



Саопштење са међународног скупа штампано у целини (M33)

1. G. Kačarević, I. Božović-Jelisavčić, N. Vukašinović, G. Milutinović-Dumbelović, M. Radulović, J. Stevanović, Ivan Smiljanić, T. Agatonović-Jovin, [on behalf of the CLICdp Collaboration], Measurement of the Higgs branching ratio $BR(H \rightarrow \gamma\gamma)$ at 3 TeV CLIC, International Workshop on Future Linear Colliders (LCWS2021), 15-18 March 2021, C21-03-15.1., CLICdp-Conf-2021-002, pp. 6, arXiv:2105.06795v2[hep-ex],
2. G. Kacarevic, I. Bozovic-Jelisavcic, N. Vukasinovic, M. Radulovic, J. Stevanovic, Measurement of the Higgs to $\gamma\gamma$ branching fraction at 3TeV CLIC, PoS(BPU11)092.

7. Применљивост и корисност резултата у теорији и пракси

Резултати наведени у докторској дисертацији „Метод мерења односа гранања Хигсовог бозона $BR(H \rightarrow \gamma\gamma)$ на 3 TeV CLIC“ кандидата Горана Каџаревића представљају аутентичан допринос напорима међународне научне заједнице да валидира програме истраживања Хигсовог бозона на будућим лептонским сударачима високих енергија, пре свега квантификацијом релативне статистичке и систематске неодређености мерења односа гранања $BR(H \rightarrow \gamma\gamma)$ у псеудо-експерименту, у случају када се Хигсови бозони производе механизмом WW-фузије, на енергији у систему центра масе 3 TeV на сударачу CLIC. Валидација се огледа и у побољшавању мерења велике тачности у Хигсовом сектору која су, наравно, окосница програма истраживања будућих Хигсовых фабрика, а којима би, на индиректан начин, била тестирана евентуална реализација физике изван Стандардног модела (BSM).

8. Начин презентовања резултата научној јавности

Истраживачки рад кандидата Горана Каџаревића материјализован је у форми докторске дисертације под насловом „Метод мерења односа гранања Хигсовог бозона $BR(H \rightarrow \gamma\gamma)$ на 3 TeV CLIC“. Ови резултати су публиковани у међународним и националним часописима као и презентовани на конференцијама од међународног значаја.

Дисертација има 69 страница, а садржи 36 илустрација и 13 табела. Литература у вези дисертације садржи 43 цитиране библиографске јединице. Поред већ објављених радова и конференцијских саопштења, резултати ће бити изнесени и на јавној одбрани докторске дисертације након прихваташа овог Извештаја од стране Наставно-научног већа Природно-математичког факултета и Већа за природно-математичке науке Универзитета у Крагујевцу.



ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ КОМИСИЈЕ

Након детаљног прегледа достављеног рукописа и додатног материјала, Комисија сматра да докторска дисертација кандидата **Горана Качаревића**, дипломираног физичара, под насловом „**Метод мерења односа гранања Хигсовог бозона $BR(H \rightarrow \gamma\gamma)$ на 3 TeV CLIC**“, урађена под **менторством др Иванке Божовић-Јелисавчић**, научног саветника Института за нуклеарне науке Винча - Института од националног значаја за Републику Србију представља конкурентан и међународно препознат резултат из уже научне области Субатомска физика, прецизније физике елементарних честица, и представља део напора међународне заједнице да валидира програме истраживања Хигсовог бозона на будућим лептонским сударачима високих енергија.

Квалитет научних резултата поменуте докторске дисертације потврђен је публиковањем четири рада у научним часописима са SCI листе, као и четири саопштења на међународним конференцијама. Такође истичемо да је кандидат Горан Качаревић први потписани аутор рада који је описан у докторској дисертацији, док укупан M фактор узимајући у обзир све радове објављене у часописима на SCI листи износи **11.625**. Уз све ово такође треба истаћи да је кандидат Горан Качаревић је зрео и самосталан истраживач, способан да поставља и креативно решава проблеме у својој области.

На основу свега горе изнесеног, Комисија закључује да су испуњени сви неопходни научни, стручни и административни критеријуми за прихватање докторске дисертације као оригиналног научног рада. Стoga, имајући у виду све наведене чињенице, Комисија предлаже Наставно-научном већу Природно-математичког факултета и Већу за природно-математичке науке Универзитета у Крагујевцу да прихвате докторску дисертацију под наведеним насловом кандидата **Горана Качаревића**, као и да иницирају даљу процедуру са циљем одобравања одбране докторске дисертације.

У Крагујевцу,
10.11.2023. године.

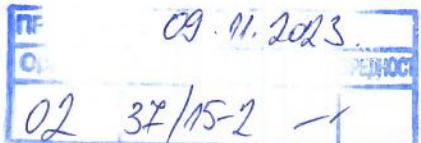


Чланови комисије:

др Светислав Савовић, редовни професор,
Универзитет у Крагујевцу, Природно-математички факултет,
ужа научна област: Субатомска физика (председник комисије);

др Мирко Радуловић, доцент,
Универзитет у Крагујевцу, Природно-математички факултет,
ужа научна област: Атомска, молекулска и оптичка физика;

др Гордана Милутиновић-Думбеловић, научни сарадник,
Универзитет у Београду, Институт за нуклеарне науке Винча - Институт од националног
значаја за Републику Србију,
ужа научна област: Физика.



УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ
ПРИРОДНО-МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ
ДЕКАНУ ФАКУЛТЕТА

ОЦЕНА МЕНТОРА О ИЗВЕШТАЈУ О ПРОВЕРИ ОРИГИНАЛНОСТИ ДОКТОРСКЕ
ДИСЕРТАЦИЈЕ ОДНОСНО ДОКТОРСКОГ УМЕТНИЧКОГ ПРОЈЕКТА

НАЗИВ ДИСЕРТАЦИЈЕ	Метод мерења односа гранања Хигсовог бозона $BR(H \rightarrow \gamma\gamma)$ на 3 TeV CLIC
Кандидат	Горан Качаревић
Ментор	Др Иванка Божовић Јелисавчић, научни саветник
Датум пријема потпуног извештаја о провери оригиналности докторске дисертације, односно докторског уметничког пројекта	08.11.2023

Као ментор у изради докторске дисертације кандидата Горана Качаревића, а који је израдио докторску тезу у Групи за физику високих енергија Института за нуклеарне науке Винча – Института од националног значаја за Републику Србију, којом руководим, тврдим:

- да је докторска дисертација резултат оригиналног истраживања које је кандидат одабио, и да представља први резултат мерења односа гранања Хигсовог бозона за дво-фотонски распад, добијен у пуној симулацији на енергији 3 TeV у систему центра масе на пројекту Компактног линеарног судача CLIC у CERN; Као такав, резултат је публикован у часопису водећег међународног значаја (M21);
- да су поштована академска правила цитирања, навођења извора и сл.;

У том смислу дајем следеће образложение о подударањима текста (која нису последица цитата, личних имена, библиографских података о коришћеној литератури, тзв. општих места и података, као и претходно публикованих резултата докторандових истраживања):

Утврдила сам да се означенено подударање (9% текста, ознаке од 1-4) односи на неколико категорија чињеница, без смислене повезаности, па самим тим и без значаја утврђеног подударања:

a. Категорија **кључне речи**: у ову категорију спадају уобичајени појмови у физици високих енергија попут: енергија у систему центра масе, спрезања Хигсовог бозона, локалне фазне трансформације, ротације, Фејнманов дијаграм (Feynman), енергија која недостаје, WW-фузија, ефикасни пресек, и слично;

b. Категорија **речи или синтагме које се односе на CLIC колаборацију, акцелератор или детектор**: CLIC колаборација, детектор, лумизност, симулација, реконструкција, псеводоподаци, као и делови који се односе на општи опис детектора и акцелератора;

c. Категорија **речи које се односе на примењени метод** и као такве могу се наћи и у другим публикацијама кандидата и/или колаборације: PDF функције, мултиваријантна анализа, преселекција, као и фраза која се односи на опис рада методе машинског учења познате као *дрво одлуке*;

На основу достављеног материјала, смислености и повезаности означеног текста, у складу са чланом 7 Правилника о поступку провере на плагијаризам Универзитета у Крагујевцу, оцењујем да:

достављени извештај указује на оригиналност докторске дисертације, те се прописани поступак припреме за одбрану може наставити (позитивна оцена).

08.11.2023.

ПОТПИС МЕНТОРА: Др Иванка Божовић Јелисавчић, научни саветник



Крагујевац

13.11.2023. године

**УПРАВНИКУ ИНСТИТУТА ЗА ФИЗИКУ И НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ
ПРИРОДНО-МАТЕМАТИЧКОГ ФАКУЛТЕТА УНИВЕРЗИТЕТА У КРАГУЈЕВЦУ**

Предмет: Извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата **Горана Качаревића.**

Веће за природно-математичке науке Универзитета у Крагујевцу је на предлог Наставно-научног већа Природно-математичког факултета у Крагујевцу (Одлука број 370/XII-1 од **30.08.2023. године**) на седници одржаној **20.09.2023.** године донело одлуку број IV-01-685/14 о именовању председника и чланова Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације под насловом „**Метод мерења односа гранања Хигсовог бозона $BR(H \rightarrow \gamma\gamma)$ на 3 TeV CLIC**“ кандидата **Горана Качаревића**, студента докторских академских студија физике на Институту за физику Природно-математичког факултета Универзитета у Крагујевцу (ментор дисертације је научни саветник др Иванка Божовић-Јелисавчић, Одлука број IV-01-452/9 од **9.06.2021.** године) у следећем саставу:

1. др **Светислав Савовић**, редовни професор, Универзитет у Крагујевцу, Природно-математички факултет, ужа научна област: **Субатомска физика (председник комисије);**
2. др **Мирко Радуловић**, доцент, Универзитет у Крагујевцу, Природно-математички факултет, ужа научна област: **Атомска, молекулска и оптичка физика (члан);**
3. др **Гордана Милутиновић-Думбеловић**, научни сарадник, Институт за нуклеарне науке Винча - Институт од националног значаја за Републику Србију, Универзитет у Београду, научна област: **Физика (члан).**

Кандидат је, у складу са Правилником о пријави, изради и одбрани докторске дисертације Универзитета у Крагујевцу, приложио текст докторске дисертације. На основу рукописа и приложене документације, Комисија подноси Извештај Наставно-научном већу Природно-математичког факултета у Крагујевцу.

Као Руководилац ДАС констатујем да су сви услови испуњени да се Извештај проследи у даљу процедуру.

УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ
ПРИРОДНО-МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ

ПРИМЕНОД:	14.11.2023.	
Орг.	—	ПРЕДНОСТ
02	520/25-1	—

Руководилац ДАС физике

Марковић Владисав
Доц. др Владимир Марковић