

## НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ ФИЗИЧКОГ ФАКУЛТЕТА УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ

Пошто смо на трећој седници Наставно-научног већа Физичког факултета Универзитета у Београду одржаној 25. децембра 2024. године одређени за чланове Комисије за преглед и оцену докторске дисертације „Development of the DREENA model for quark-gluon plasma tomography“ (на српском језику: „Развој ДРЕЕНА модела за томографију кварк-глуонске плазме“) из научне области Физика високих енергија и нуклеарна физика, коју је кандидат Душан Жигић, мастер физичар, предао Физичком факултету Универзитета у Београду 23. децембра 2024. године, подносимо следећи

### ИЗВЕШТАЈ

#### 1. Основни подаци о кандидату

##### 1.1. Биографски подаци

Душан Жигић је рођен 19.10.1991. године у Сремској Митровици где је завршио основну школу и Митровачку гимназију. Основне студије уписао је 2012. на Физичком факултету, смер Примењена и компјутерска физика и дипломирао је 2017. године са просечном оценом 9,75. Мастер студије, уписане 2017. на Физичком факултету, завршава 2018. године са просечном оценом 9,67. Мастер тезу под називом ”Предвиђања пригушења и елиптичког тока високоенергијских честица при релативистичким сударима Pb+Pb на LHC-у” ради под менторством др Магдалене Ђорђевић у оквиру Лабораторије за физику високих енергија Института за физику у Београду. Ови резултати су објављени у J. Phys. G 46, no.8, 085101 (2019) раду на којем је Душан Жигић први аутор. Септембра 2019. године Физички факултет Универзитета у Београду, доделио му је награду ”проф. др Љубомир Ђирковић” за најбољи мастер рад одбрањен у претходној години.

2018. године на Физичком факултету Универзитета у Београду уписује докторске студије у области истраживања релативистичких судара тешких јона и кварк-глуонске плазме. Истраживање ради под менторством др Магдалене Ђорђевић и др Игора Салома на пројекту основних истраживања Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије ОИ 171004 (”ATLAS експеримент и физика честица на LHC енергијама”) у Лабораторији за физику високих енергија Института за физику у Београду, као и, од 01. 10. 2018. до 31. 08. 2023, на пројекту Horizon 2020 ERC-2016-CoG:72574 (”A novel Quark-Gluon Plasma tomography tool: from jet quenching to exploring the extreme medium properties”). Тему докторске дисертације под називом “Development of the DREENA model for quark-gluon plasma tomography” (”Развој ДРЕЕНА модела за томографију кварк-глуонске плазме”) Колегијум докторских студија прихвата 30.06.2021. За менторе су одређени др Магдалена Ђорђевић, научни саветник и др Игор Салом, виши научни сарадник. 11.12.2018. године добија звање истраживач приправник и од 01.01.2019. године запослен је на Институту за физику.

До сада је објавио 8 научних радова у области теоријске нуклеарне физике (7 категорије M21 и 1 категорије M22) од којих је наведен као први аутор на пет радова. Такође, објавио је три рада у области рачунарске системске биологије од којих је један категорије M21a, један категорије M21 и један категорије M22.

## 1.2. Научна активност

Истраживање Душана Жигића је у области феноменолошког проучавања кварк-глуонске плазме (КГП). Циљ истраживања је развој и употреба DREENA (Dynamical Elastic and Radiative Energy loss Approach) модела за проучавање особина кварк-глуонске плазме помоћу анализе губитака енергије високоенергијских честица.

У свом досадашњем истраживању он је прво радио на развоју DREENA-C модела, који је био део његове мастер тезе и за коју је био награђен наградом "проф др Љубомир Ћирковић" за најбољу мастер тезу (награду додељује Физички факултет). Резултати су објављени у J. Phys. G 46, no.8, 085101 (2019), а Душан Жигић је био први аутор. У овом раду је први пут презентован DREENA-C модел за рачунање пригушења високоенергијских честица заснован на динамичком формализму губитака енергије у средини константне температуре и коначних димензија. Генерисана су заједничка предвиђања нуклеарног модификационог фактора,  $R_{AA}$ , и елиптичног тока,  $v_2$ , за лаке и тешке честице, као и за различите централности код олово-олово судара на Великом хадронском сударању, LHC, и упоређена су са доступним експерименталним подацима.

С обзиром да  $R_{AA}$  опсервабла није значајно осетљива на еволуцију средине, Жигићеви прорачуни базирани на DREENA-C моделу су искоришћени и да се предложи нова опсервабла за екстраковање зависности губитака енергије од дужине пређеног пута што је објављено у раду Phys. Rev. C 99, no.6, 061902 (2019).

Након тога, његово истраживање се наставило у смеру увођења температурских еволуција у DREENA модел. Први корак је било увођење Бјоркен експанзије у којој температура има аналитичку зависност само од времена. То истраживање је објављено у Phys. Lett. B 791, 236-241 (2019).

DREENA-B модел је искоришћен за испитивање различитих сценарија губитака енергије у раним стадијумима еволуције кварк-глуонске плазме пре термализације. Ови резултати су објављени у раду Phys. Rev. C 101, no.6, 064909 (2020).

Фокус његовог истраживања се затим пребацио на даље развијање DREENA формализма, тј. ка компјутерској реализацији DREENA-A модела који користи реалистичне (2+1)-димензионе температурске еволуције КГП. Праћење губитака енергије високоенергијских честица при проласку кроз овако моделирану кварк-глуонску плазму представља велики корак напред у томографији овог стања материје и проучавању њених особина. Први резултати везани за ову фазу истраживања објављени су у раду Front. Phys. 10:957019 (2022).

Реалистичније моделовање еволуције кварк-глуонску плазме омогућило је и испитивање значаја виших хармоника тока у томографији. Пажљива анализа на основу нумеричких резултата које је Душан Жигић добио коришћењем DREENA-A модела, показала је постојање значајних корелација коефицијената виших хармоника са различитим особинама КГП и њене еволуције, пре свега са флукуацијама почетног стања. Резултати су објављени у раду Phys. Rev. C 106, no.4, 044909 (2022).

Ово је омогућило прецизније испитивање и одређивање неких основних физичких параметра кварк-глуонске плазме. Истраживање Душана Жигића се затим конкретно усмерило ка коришћењу ове методологије у испитивању важног  $\eta/s$  параметра (однос вискозности смицања и густине ентропије). Резултати овог дела истраживања објављени су у Phys. Rev. C 108, no.4, 044907 (2023).

Душан Жигић се тренутно бави даљом применом DREENA-A модела на тзв. догађај-по-догађај (event-by-event) анализу кварк-глуонске плазме. Део ових резултата је већ објављен у раду Phys. Rev. C 110, no.4, 044906 (2024).

Искуство из нумеричке анализе података је применио и у квантитативној биологији, на актуелном проблему – разумевању динамике преношења COVID-19 у популацији. Душан је дао допринос истраживањима која су резултира у чак три рада из ове области: *Advances in Protein Chemistry and Structural Biology*, 127, 291 (2021), *Frontiers in Ecology and Evolution* 8, 524, (2021) и *Environmental Research*, 201, 111526 (2021).

Представио је своје резултате на бројним међународним конференцијама и радионицама у облику говора и постера, укључујући и предавање по позиву у августу 2023. године на Интернационалном симпозијуму о вишечестиочној динамици (ISMD 2023, Gyongyos, Hungary).

## **2. Опис предатог рада**

### **2.1. Основни подаци**

Дисертација је урађена под руководством др Магдалене Ђорђевић, научног саветника, и др Игора Салома, вишег научног сарадника, који су обоје запослени на Институту за физику у Београду. Др Магдалена Ђорђевић је примарно била задужена за аспекте тезе везане за теоријску физику кварк-глуон плазме, док је др Игор Салом руководио пре свега делом везаним за развој компјутерских алгоритама и примену различитих нумеричких метода истраживања. Ментори испуњавају услове Физичког факултета и Универзитета у Београду за руковођење израдом докторске дисертације јер су у научном звању и аутори су великог броја радова из области физике високих енергија и нуклеарне физике, као и математичке физике, а који су објављени у врхунским међународним часописима и представљени на међународним и домаћим конференцијама.

Дисертација је написана на енглеском језику на 142 стране, не рачунајући насловну страну, захвалнице, сажетак, садржај, биографију аутора и изјаве. У тексту се налази 33 слика, а у библиографији је наведено 233 референци. Теза је подељена у 8 поглавља и садржи 1 додатак.

### **2.2. Предмет и циљ рада**

Предложена докторска дисертација припада области физике високих енергија и нуклеарне физике, а дави се проучавањем кварк-глуонске плазме.

Кварк-глуонска плазма је ново стање материје које настаје у експериментима који укључују сударе тешких јона убрзаних до ултрарелативистичких брзина у Великом сударачу хадрона (LHC) и у Релативистичком сударачу тешких јона (RHIC). Она се састоји од слободних кваркова, антикваркова и глуона. На основу модерне космологије, кварк-глуонска плазма је постојала убрзо након Великог праска, те је проучавање кварк-глуонске плазме од фундаменталне важности. Тиме се стиче увид у ново стање материје чије особине одређује јака интеракција, унапређујући разумевање раног универзума.

Након судара два језгра, већина насталих честица (99.9%) које чине кварк-глуонску плазму има ниску енергију и формира термализовану средину. Мали број (0.1%) честица има високу енергију - оне настају при самом судару језгара, пролазе кроз средину интерагујући са њом посредством јаке интеракције, и на тај начин носе посредну информацију о особинама средине. Ово је главна идеја истраживања у предложеној дисертацији. Резултати показују како теорија, нумерички прорачуни и експериментални подаци за високоенергијске честице могу бити коришћени заједно са физиком нискоенергијских честица како би се одредиле важне особине кварк-глуонске плазме.

Резултати се могу поделити у три целине: они везани за апроксимацију средине константне температуре - тј. који користе DREENA-C модел; затим они везани за еволуцију кварк-глуонске плазме у Бјоркеновој апроксимацији лонгитудиналне експанзије, тј. за развој

DREENA-B модела; и коначно, везани за моделирање проласка високоенергијских партона кроз средину произвољно задатог температурског профила, реализовано у форми DREENA-A модела.

Иако су развој и алгоритамска реализација DREENA-C модела били предмет још мастер тезе Душана Жигића, њихова каснија примена довела је до нових увида у особине кварк-глуонске плазме. Конкретно, DREENA-C модел је омогућио да се истражи зависност губитака енергије високоенергијских партона од дужине путање кроз кварк-глуонску плазму. Циљ је био да се испита како се губици енергије настали услед различитих механизма (губици услед судара, еластични, и губици услед зрачења/израчивања, нееластични), понашају у смислу њихове осетљивости на дужину пређеног пута кроз средину. Ова зависност од дужине путање представља кључни начин да међусобно разликујемо моделе и механизме губитака енергије, као и начин за разумевање саме основе физике интеракција партона и средине.

Системи анализирани у овом контексту укључивали су олово-олово сударе на ЛХЦ енергијама, као и мање системе попут ксеон-ксеон, криптон-криптон, аргон-аргон и кисеоник-кисеоник, на енергијама судара одабраним тако да би се минимизирале разлике у температури средине. Ово је омогућило јасно извођење закључака о зависности губитака енергије од дужине путање, фокусирањем на величину система као примарну променљиву. Анализа је открила да губици енергије услед израчивања глуона показују квадратичну зависност од дужине путање, док су губици услед судара ближи линеарној зависности. Демонстрирано је да је разматрање зависности губитака енергије високоенергијских партона у зависности од дужине пређеног пута важан метод у прецизној томографији кварк-глуонске плазме.

Друга целина се бави развојем и применом DREENA-B модела, који подразумева (1+1)-димензиону Бјоркенову експанзију кварк-глуонске плазме. Са техничког аспекта, први проблем у овом контексту било је како укључити нетривијалну временску еволуцију средине, а да се у пуном обиму задржи прецизност моделирања интеракције високоенергијских партона са средином. Истовремено се морало водити рачуна о ограниченим рачунарским ресурсима, тако да је имплементација алгоритма са Бјокреновим моделом еволуције температуре захтевала и примену извесног броја специфичних оптимизација.

Када је једном софтверски реализован, DREENA-B модел је успешно генерисао предвиђања за фактор нуклеарне модификације ( $R_{AA}$ ) и елиптички коефицијент протока ( $v_2$ ), и за лаке, и за тешке партоне. Предвиђања су се слагала са експерименталним подацима из ALICE, ATLAS и CMS експериментата за велик број централности и за сударе различитих врста јона. Показало се да овако добијена предвиђања  $v_2$  вредности успешно решавају постојећу „ $v_2$  загонетку“ - тј. чињеницу да су ранији модели систематски потцењивали експериментално добијене вредности.

Имплементација Бјоркенове лонгитудиналне експанзије омогућила је и да се на нов начин испита утицај ране фазе температурске еволуције кварк-глуонске плазме на експерименталне опсервабле. Поређена су четири различита сценарија почетне еволуције: i) “профил слободног тока” (“free-streaming”) где у средини у почетној фази ефективно нема интеракција пре термализације, ii) “профил линеарног раста”, у коме температура расте линеарно до тренутка термализације, iii) “константни профил”, у којем средина одржава константну температуру пре времена термализације; и iv) “дивергентни профил” у коме температура континуирано еволуира на начин који се глатко надовезује на каснију еволуцију након тренутка термализације. Притом, сви сценарији конвергирају истој хидродинамичкој еволуцији након термализације, са идејом да се изолира утицај динамике средине који потиче искључиво од иницијалне фазе.

Испоставило се да  $R_{AA}$  јесте (умерено) осетљив на почетне фазе еволуције кварк-глуонске плазме, при чему се супресија прогресивно повећава од сценарија “слободног тока” ка

сценарију “дивергентног профила”. Супротно очекивањима и ранијим студијама, вредност  $v_2$  је пак показала врло ограничену осетљивост на почетну фазу еволуције, без обзира на тип честице (наелектрисани хадрони, D-мезони и В-мезони). Дакле, резултати изнети у тези указују да је  $v_2$  више под утицајем разлика у завршним фазама еволуције средине него разлика у раним фазама.

Трећа целина истраживања спроведених у оквиру рада на тези односи се на развој и примену DREENA-A модела. Ово је уједно и природан финални корак, јер дозвољава прорачуне губитака енергије високоенергијских партона у плазми произвољно задатог температурског профила и еволуције. Ова општост природно, а приори, доводи до изузетног повећања рачунске комплексности проблема: због нехомогености и неизотропности средине, губици више не зависе просто од дужине пређеног пута и времена, већ их је потребно усредњавати по свим могућим путањама које партон може да има кроз пролазећи кроз средину. Узимајући у обзир ограниченост компјутерских ресурса, да би DREENA-A модел био примењив у пракси, било је неопходно не само алгоритамски имплементирати модел, већ и осмислити и реализовати нове методе оптимизација (најзначајнијом оптимизацијом се испоставило одустајање од Монте-Карло базираних метода и прелаз на еквидистантно узорковање трајекторија). Једном успешно имплементиран, DREENA-A модел је постао моћан алат за томографију, који омогућава прецизну екстракцију транспортних коефицијената кварк-глуонске плазме и анализу губитка енергије у различитим сударним геометријама. Решавајући ограничења претходних рачунских модела и интегришући најсавременије механизме губитка енергије, DREENA-A модел - на чијем развоју је радио Душан Жигић – има потенцијал да постане својеврсни модерни основ у проучавању динамике и својстава кварк-глуонске плазме.

У оквиру истраживања приказаних у тези, DREENA-A модел је и примењен за испитивање значаја виших хармоника у проучавању кварк-глуонске плазме, пре свега значаја тзв. тријангуларног ( $v_3$ ) и квадрангуларног ( $v_4$ ) тока. Испоставило се да су ове вредности врло сензитивне на “догађај-по-догађај” флукуације у почетним условима, поготово за сударе нижих централности. Без обзира на модел коришћен за генерисање почетних услова (Monte Carlo Glauber, TRENTo, IP-Glasma) симулације су производиле  $v_4$  вредности које су биле систематски ниже од оних добијених у експериментима - што је у тези окарактерисано као нова “ $v_4$  загонетка”. У сваком случају, резултати овог дела истраживања су јасно указали на осетљивост вредности виших хармоника на температурске профиле, транспортне коефицијенте и флукуације почетног стања, откривајући тако нове правце за будућа истраживања.

### 2.3. Публикације чији су резултати приказани у дисертацији

У овој докторској дисертацији су представљени резултати пет радова, сви објављени у часописима категорије M21:

1. M. Djordjevic, **D. Zigic**, M. Djordjevic and J. Auvinen, How to test path-length dependence in energy loss mechanisms: analysis leading to a new observable, Phys. Rev. C 99, no.6, 061902 (2019) (ISSN: 2469-9985, IF = 3.3)
2. **D. Zigic**, I. Salom, J. Auvinen, M. Djordjevic and M. Djordjevic, DREENA-B framework: first predictions of  $R_{AA}$  and  $v_2$  within dynamical energy loss formalism in evolving QCD medium, Phys. Lett. B 791 (2019), 236-241 (ISSN: 0370-2693, IF = 4.4)
3. **D. Zigic**, B. Ilic, M. Djordjevic and M. Djordjevic, Exploring the initial stages in heavy-ion collisions with high- $p_{\perp}$   $R_{AA}$  and  $v_2$  theory and data, Phys. Rev. C 101, no.6, 064909 (2020) (ISSN: 2469-9985, IF = 3.3)

4. **D. Zigic**, I. Salom, J. Auvinen, P. Huovinen and M. Djordjevic, DREENA-A framework as a QGP tomography tool, *Front. in Phys.* 10, 957019 (2022) (ISSN: 2296-424X, IF = 3.7)
5. **D. Zigic**, J. Auvinen, I. Salom, M. Djordjevic and P. Huovinen, Importance of higher harmonics and  $v_4$  puzzle in quark-gluon plasma tomography, *Phys. Rev. C* 106, no.4, 044909 (2022) (ISSN: 2469-9985, IF = 3.3)

## 2.4. Преглед научних резултата изложених у дисертацији

Ова докторска дисертација подељена је у седам поглавља.

**Поглавље 1** садржи увод у проблематику која је разматрана у дисертацији и укратко су описани концепти и физичке величине који су релевантни за проучавање кварк-глуонске плазме. Дате су теоријске основе квантне хромодинамике и објашњен је фазни дијаграм. Ово поглавље пружа и преглед конфинирања (заробљавања), асимптотске слободе и прелаза у слободно стање кваркова, пружајући контекст неопходан за разумевање губитка енергије високоенергијских партона у кварк-глуонској плазми. Дискутује се и о важности експерименталних опсервабли, као што су фактор нуклеарне модификације ( $R_{AA}$ ) и елиптички ток ( $v_2$ ), у контексту улоге формализма у моделовању интеракција високоенергијских партона и средине.

**Поглавље 2** описује коришћену методологију. Оно нам даје преглед тзв. формализма динамичког губитка енергије, који пружа теоријску основу за сва даља нумеричка израчунавања у раду. Ту су дате експлицитне формуле за израчунавање радијативних и колизионих губитака енергије, које се односе на високоенергијски партон који пролази кроз кварк-глуонску плазму. Такође, у овом поглављу описана је укратко и методологија коришћена при софтверској имплементацији формализма динамичких губитака енергије, објашњени су ток развоја рачунских модела (DREENA-C, DREENA-B и DREENA-A) као и главне оптимизационе методе које су коришћене.

**Поглавље 3** се фокусира на тестирање зависности механизма губитка енергије од дужине пређеног пута партона, користећи формализам динамичког губитка енергије. Поглавље уводи одговарајуће опсервабле и системе за таква истраживања, са нагласком на односе супресије у сударним системима различитих величина. Анализа користи DREENA-C (константна температура средине) модел за испитивање поузданости ових опсервабли у опису ефеката дужине пута, чиме се потврђује њихова погодност за томографију КГП-а.

**Поглавље 4** описује развој и примену DREENA-B модела, који моделује кварк-глуонску плазму као средину која се лонгитудинално шири (Бјоркенова експанзија). Резултати DREENA-B модела упоређени су са експерименталним подацима, демонстрирајући предиктивну моћ модела за високоенергијске опсервабле обједињујући  $R_{AA}$  и  $v_2$  предвиђања високоенергијских партона. Ово поглавље истиче предности укључивања еволуције средине и температурних градијената у моделовање губитка енергије.

**Поглавље 5** истражује почетне фазе судара тешких јона, фокусирајући се на теоријско и рачунарско моделовање динамике у раним фазама пре времена термализације. Резултати пружају увид у понашање кварк-глуонске плазме у раним тренуцима еволуције и њихов утицај на губитке енергије партона. Ово поглавље премошћује јаз између моделовања почетних стања и хидродинамичке еволуције кварк-глуонске плазме, наглашавајући улогу почетних услова у одређивању финалних опсервабли.

**Поглавље 6** уводи DREENA-A модел (адаптивни температурски профил), који укључује (2+1)-димензионе хидродинамичке температурне профиле за моделовање еволуције кварк-глуонске плазме. Као моћан алат за томографију, DREENA-A омогућава прецизну екстракцију транспортних коефицијената средине и анализу губитка енергије у различитим

сударним геометријама. Тачност модела у репродукцији експерименталних резултата у различитим системима наглашава његову корисност у проучавању кварк-глуонске плазме.

**Поглавље 7** анализира значај виших хармоника тока у томографији КГП-а. Коришћењем DREENA-A модела истражују се флукуације, еволуција и ефекти почетног стања на коефицијенте тока. Анализа показује важност виших хармоника за откривање својстава средине и ограничавање параметара теоријских модела.

### 3. Списак публикација кандидата

Листа M20 публикација:

1. **Dusan Zigic**, Igor Salom, Jussi Auvinen, Marko Djordjevic, Magdalena Djordjevic, *DREENA-C framework: joint  $R_{AA}$  and  $v_2$  predictions and implications to QGP tomography*, J. Phys. G **46**, no.8, 085101 (2019) (ISSN: 0954-3899, M21, IF = 3.5)
2. Magdalena Djordjevic, **Dusan Zigic**, Marko Djordjevic, Jussi Auvinen, *How to test path-length dependence in energy loss mechanisms: analysis leading to a new observable*, Phys. Rev. C **99**, no.6, 061902 (2019) (ISSN: 2469-9985, M21, IF = 3.3)
3. **Dusan Zigic**, Igor Salom, Jussi Auvinen, Marko Djordjevic, Magdalena Djordjevic, *DREENA-B framework: first predictions of  $R_{AA}$  and  $v_2$  within dynamical energy loss formalism in evolving QCD medium*, Phys. Lett. B **791**, 236-241 (2019) (ISSN: 0370-2693, M21, IF = 4.4)
4. **Dusan Zigic**, Bojana Ilic, Marko Djordjevic, Magdalena Djordjevic, *Exploring the initial stages in heavy-ion collisions with high- $p_{\perp}$   $R_{AA}$  and  $v_2$  theory and data*, Phys. Rev. C **101**, no.6, 064909 (2020) (ISSN: 2469-9958, M21, IF = 3.3)
5. **Dusan Zigic**, Igor Salom, Jussi Auvinen, Pasi Huovinen, Magdalena Djordjevic, *DREENA-A framework as a QGP tomography tool*, Front. in Phys. **10**, 957019 (2022) (ISSN: 2296-424X, M21, IF = 3.7)
6. **Dusan Zigic**, Jussi Auvinen, Igor Salom, Magdalena Djordjevic, Pasi Huovinen, *Importance of higher harmonics and  $v_4$  puzzle in quark-gluon plasma tomography*, Phys. Rev. C **106**, no.4, 044909 (2022) (ISSN: 2469-9958, M21, IF = 3.3)
7. Bithika Karmakar, **Dusan Zigic**, Igor Salom, Jussi Auvinen, Pasi Huovinen, Marko Djordjevic, Magdalena Djordjevic, *Constraining  $\eta/s$  through high- $p_{\perp}$  theory and data*, Phys. Rev. C **108**, no.4, 044907 (2023) (ISSN: 2469-9958, M21, IF = 3.3)
8. Bithika Karmakar, **Dusan Zigic**, Magdalena Djordjevic, Pasi Huovinen, Marko Djordjevic, *Probing the shape of the quark-gluon plasma droplet via event-by-event quark-gluon plasma tomography*, Phys. Rev. C **110**, no.4, 044906 (2024) (ISSN: 2469-9958, M22, IF = 3.2)
9. Magdalena Djordjevic, Andjela Rodic, Igor Salom, **D. Zigic**, Ognjen Milicevic, Bojana Ilic, Marko Djordjevic, *A systems biology approach to COVID-19 progression in population*, Advances in Protein Chemistry and Structural Biology, **127**, 291 (2021) (ISSN: 1876-1623, M22, IF = 5.5)
10. Igor Salom, Andjela Rodic, Ognjen Milicevic, **D. Zigic**, Magdalena Djordjevic, Marko Djordjevic, *Effects of demographic and weather parameters on COVID-19 basic reproduction number*, Frontiers in Ecology and Evolution **8**, 524, (2021) (ISSN: 2296-701X, M21, IF = 4.5)

11. Ognjen Milicevic, Igor Salom, Marko Tumbas, Andjela Rodic, Sofija Markovic, **D. Zigic**, Magdalena Djordjevic, Marko Djordjevic, *PM<sub>2.5</sub> as a major predictor of COVID-19 basic reproduction number in the USA*, Environmental Research, **201**, 111526 (2021) (ISSN: 0013-9351, M21a, IF = 8.4)

#### 4. Закључак

На основу изложеног, Комисија закључује да резултати кандидата Душана Жигића приказани у оквиру ове докторске дисертације представљају изузетно оригиналан и значајан научни допринос у области физике високих енергија и нуклеарне физике. Из области дисертације кандидат има осам објављених радова у међународним часописима категорије М21 од којих је пет искоришћено за ову дисертацију. Сходно томе, комисија предлаже Наставно-научном већу Физичког факултета Универзитета у Београду да одобри јавну одбрану докторске дисертације под називом:

**„Development of the DREENA model for quark-gluon plasma tomography”**

**(„Развој ДРЕЕНА модела за томографију кварк-глуонске плазме”)**

У Београду, 26. децембра 2024. године

---

проф. др Маја Бурић  
редовни професор Физичког факултета

---

проф. др Воја Радовановић  
редовни професор Физичког факултета

---

др Бојана Илић  
научни сарадник  
Институт за физику у Београду