

НАУЧНОМ ВЕЋУ ИНСТИТУТА ЗА ФИЗИКУ У БЕОГРАДУ

Извештај комисије за избор др Марка Војиновића у звање научни саветник

На седници Научног већа Института за физику у Београду одржаној 07.11.2023. године именовани смо у комисију за избор др Марка Војиновића у звање научни саветник.

Прегледом материјала који нам је достављен, као и на основу личног познанства са кандидатом и увида у његов рад и публикације, Научном већу Института за физику у Београду подносимо овај извештај.

1. БИОГРАФСКИ И СТРУЧНИ ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ

Кандидат др Марко Војиновић је рођен 28.03.1978. године у Панчеву, Србија. Након завршене Математичке гимназије у Београду 1997. године, уписује студије на Физичком факултету Универзитета у Београду, и дипломира 2002. године, са дипломским радом под називом „Симетрија дуалности у Борн-Инфелдовој електродинамици“, под руководством проф. др Маје Бурић. Потом уписује постдипломске студије и магистрира 2006. године са тезом „Кретање класичне струне у закривљеном просторвремену“, а затим и докторира 2008. године са тезом „Кретање екстендираних објеката у гравитационом пољу са торзијом“, под менторством др Милована Василића.

Запослен је на Институту за физику у Београду од 01.11.2003. године, у Групи за гравитацију, честице и поља. У звање истраживач приправник изабран је 2002. године, у звање истраживач сарадник 2007. године, у звање научни сарадник 2009. године, а у звање виши научни сарадник 2016. године, са реизбором 29.11.2021. године у исто звање. Од 01.11.2003. године ангажован је на пројекту 101486 Министарства за науку и технолошки развој, „Градијентне теорије гравитације – симетрије и динамика“. Од 01.01.2006. године ангажован је на пројекту 141036 Министарства за науку и заштиту животне средине, „Алтернативне теорије гравитације“. Од 01.01.2012. године ангажован је на пројекту 171031 Министарства просвете, науке и технолошког развоја, „Физичке импликације модификованог просторвремена“. Од 01.03.2008. године ангажован на међународном пројекту „Constituents, Fundamental Forces and Symmetries of the Universe“, Marie Curie Research Training Network (EU FP6), и у оквиру тог пројекта борави 3 месеца на INRNE институту у Софији, Бугарска. У периодима 2009-2012. и 2013-2016. године борави на постдокторском усавршавању на Универзитету у Лисабону, Португал (укупно 6 година). Током постдока у Португалу учествује на 4 португалска национална пројекта (три при Универзитету у Лисабону и један при Универзитету у Коимбри), као и у једном билатералном пројекту између Португала и Србије. Затим се, 2016. године, враћа у Србију на Институт за физику у Београду, где и данас ради. Од 01.07.2018. године руководио је билатералним пројектом између Србије и Аустрије, „Каузалност у квантној механици и квантној гравитацији“, а од 01.01.2021. учествовао на пројекту SQ2020 у оквиру програма Дијаспора Фонда за науку Републике Србије, као и на билатералном пројекту између Србије и Португала, „Симетрије и квантизација 2020“, под руководством др Игора Салома. Коначно, почев од 01.01.2022. године руководи пројектом „Квантна гравитација преко виших гејџ теорија“ (QGHG-2021) из програма ИДЕЈЕ Фонда за науку Републике Србије.

Др Војиновић је у свом досадашњем раду објавио преко 40 научних публикација, међу којима 1 истакнуту међународну монографију у категорији M11, 1 рад у категорији M21a, 21 у категорији M21, 4

у категорији M22, 2 у категорији M31, 10 у категорији M33, као и два зборника радова са међународних скупова, категорија M36. Према бази података Web of Science, његови радови су цитирани укупно 207 пута, од тога 124 пута не рачунајући самоцитате, док према бази података Scopus, цитиран је укупно 247 пута, од тога 112 пута не рачунајући самоцитате и цитате коаутора. Према обе базе, Хиршов индекс др Војиновића износи 10.

2. ПРЕГЛЕД НАУЧНЕ АКТИВНОСТИ

Научна активност др Војиновића примарно спада у истраживања везана за класичну и квантну гравитацију, теорију елементарних честица, а у последњих неколико година и питања заснивања квантне механике и везу између квантне гравитације и квантне теорије информација. Према Упутству МОФ, ове области истраживања се позиционирају у дисциплине «гравитација и астрофизика», «физика високих енергија» и «квантна и математичка физика». Према природи ових области, методолошки приступ овој врсти истраживања је теоријски.

Квантизација гравитационог поља је један од основних нерешених проблема савремене фундаменталне теоријске физике. Људско знање о природи се ослања на два велика стуба теоријске физике. Са једне стране, Ајнштајнова Општа теорија релативности описује основне особине простора, времена и гравитације, од свакодневних феномена на Земљи па све до највећих космолошких скала (реда 10^{26} метара). Са друге стране, Стандардни Модел физике елементарних честица описује микросвет, од атомских скала па све до веома малих растојања која се могу мерити у акцелераторским експериментима (реда 10^{-20} метара). Обе ове теорије демонстрирају убедљиво слагање са познатим операционим/експерименталним подацима свака теорија у свом домену применљивости.

Међутим, Општа теорија релативности је класична теорија, док Стандардни Модел представља квантну теорију, што доводи до њихове међусобне некомпатибилности. Водећи се принципом да се природни свет око може описати конзистентном теоријом, један од главних задатака фундаменталне физике је да на одређени начин модификује како Општу теорију релативности тако и квантну теорију поља (која укључује Стандардни Модел) са циљем да се нађе њихов јединствени оквир, чувајући притом све њихове добре особине потврђене експериментима.

Овај задатак је крајње нетривијалан, и постоји много приступа проблему квантизације Ајнштајнове Опште теорије релативности, међу којима се издвајају теорија струна и квантна гравитација на петљама као два најзаступљенија програма. Такође, у последњих неколико година, појавила се иницијатива за решавање проблема квантне гравитације од стране истраживача из области заснивања квантне механике и квантне теорије информација. Док су теорија струна и квантна гравитација на петљама доминантно геометријски приступи конструкцији теорије квантне гравитације, овај трећи приступ је превасходно оријентисан ка информационом опису физике, па самим тим и квантне гравитације.

Научна активност др Војиновића повезана је са сва три програма, и резултати његових истраживања могу се грубо поделити у три групе.

1. Истраживање у оквиру теорије струна и класичне гравитације

Централни резултати кандидатовог истраживања у оквиру теорије струна и класичне гравитације објављени су у шест радова:

- [1] M. Vasilic, M. Vojinovic, "Classical String in Curved Backgrounds", *Phys. Rev. D* **73**, 124013 (2006).
- [2] M. Vasilic, M. Vojinovic, "Classical Spinning Branes in Curved Backgrounds", *JHEP* **07**(2007)028.
- [3] M. Vasilic, M. Vojinovic, "Zero-size Objects in Riemann-Cartan Spacetime", *JHEP* **08**(2008)104.
- [4] M. Vasilic, M. Vojinovic, "Interaction of particle with the string in pole-dipole approximation", *Fortschr. Phys.* **56**, 542 (2008).
- [5] M. Vasilic, M. Vojinovic, "Spinning branes in Riemann-Cartan spacetime", *Phys. Rev. D* **78**, 104002 (2008).
- [6] M. Vasilic, M. Vojinovic, "Test membranes in Riemann-Cartan spacetimes", *Phys. Rev. D* **81**, 024025 (2010).

Радови [1-6], као и неколико других радова (из разних штампаних извештаја са међународних и домаћих конференција), представљају програм истраживања који је започет кроз кандидатов магистарски рад и докторску дисертацију. Централни резултат радова [1,2,4,5] представљају најопштије реалистичне једначине кретања p -димензионалне бране у D -димензионалном просторвремену чија геометрија садржи нетривијалну кривину, односно кривину и торзију. Ово је врло важан резултат, јер даје нов увид у интерпретацију интеракције материје са кривином и торзијом. Рад [6] се надовезује на ове резултате и даје одговарајуће тумачење сигма-модела за 1-брану и 2-брану који је уграђен у основе теорије струна. Рад [3] дискутује кретање честице (0-бране) у просторвремену са кривином и торзијом, са специјалним нагласком на Диракову честицу која испољава неке занимљиве особине кроз интеракцију са торзијом. Осим тога, резултати добијени овим програмом истраживања налазе примену и у другим областима физике, као што је на пример хидродинамика не-Њутновских флуида.

Др Војиновић је свим овим радовима дао суштински допринос, јер је до свих резултата дошао самостално, под менторским вођством др Милована Василица.

2. Истраживање у оквиру квантне гравитације на петљама

Најзначајнији резултати кандидатовог истраживања у оквиру квантне гравитације на петљама објављени су у следећих 15 радова:

- [7] A. Mikovic, M. Vojinovic, "Large-spin asymptotics of Euclidean LQG flat-space wavefunctions", *Adv. Theor. Math. Phys.* **15**, 801 (2011).
- [8] A. Mikovic, M. Vojinovic, "Effective action and semiclassical limit of spin foam models", *Class. Quant. Grav.* **28**, 225004 (2011).
- [9] A. Mikovic, M. Vojinovic, "Poincaré 2-group and quantum gravity", *Class. Quant. Grav.* **29**, 165003 (2012).
- [10] A. Mikovic, M. Vojinovic, "A finiteness bound for the EPRL/FK spin foam model", *Class. Quant. Grav.* **30**, 035001 (2013).
- [11] M. Vojinovic, "Cosine problem in EPRL/FK spinfoam model", *Gen. Relativ. Gravit.* **46**, 1616 (2014).

- [12] A. Miković, M. Vojinović, “Solution to the Cosmological Constant Problem in a Regge Quantum Gravity Model”, *Europhys. Lett.* **110**, 40008 (2015).
- [13] A. Miković, M. A. Oliveira, M. Vojinović, “Hamiltonian analysis of the BF CG theory for the Poincaré 2-group”, *Class. Quant. Grav.* **33**, 065007 (2016).
- [14] M. Vojinović, “Causal Dynamical Triangulations in the Spincube Model of Quantum Gravity”, *Phys. Rev. D* **94**, 024058 (2016).
- [15] A. Miković, M. A. Oliveira, M. Vojinović, “Hamiltonian analysis of the BFCG formulation of general relativity”, *Class. Quant. Grav.* **36**, 015005 (2019).
- [16] T. Radenković, M. Vojinović, “Higher gauge theories based on 3-groups”, *JHEP* **10**(2019)222.
- [17] T. Radenković, M. Vojinović, “Hamiltonian Analysis for the Scalar Electrodynamics as 3BF Theory”, *Symmetry* **12**, 620 (2020).
- [18] A. Miković, M. Vojinović, „Standard Model and 4-groups“, *Europhys. Lett.* **133**, 61001 (2021).
- [19] T. Radenković, M. Vojinović, „Gauge symmetry of the 3BF theory for a generic semistrict Lie three-group“, *Class. Quant. Grav.* **39**, 135009 (2022).
- [20] T. Radenković and M. Vojinović, „Topological invariant of 4-manifolds based on a 3-group“, *JHEP* **07**(2022)105.
- [21] M. Đorđević, T. Radenković, P. Stipsić and M. Vojinović, „Henneaux-Teitelboim gauge symmetry and its applications to higher gauge theories“, *Universe* **9**, 281 (2023).

Радови [7,8,10,11] се баве тзв. формализмом спинских пена за квантизацију гравитације, конкретно отвореним проблемима коначности квантне теорије гравитације и њеног семикласичног лимита. У том смислу ови радови су имали велики допринос како разумевању ова два проблема, тако и методама за њихово решавање. У раду [10] је доказано да проблем коначности теорије може да се реши успешно одговарајућом редифиницијом мере у функционалном интегралу гравитационог поља, и да та редифиниција не нарушава класичан лимес теорије. Ово је један од првих резултата те врсте уопште. Радови [7,8,11] доносе нов увид у питање семикласичног лимеса квантне гравитације, и обезбеђују ефективан метод за одређивање облика класичне теорије у задатој апроксимацији. Ово је такође први резултат те врсте. Као додатни резултат, показано је да у теорији у којој је у квантном режиму нарушена симетрија дифеоморфизама, у класичном лимесу теорије ова симетрија се поново успоставља, чиме је решена једна дугогодишња загонетка односа дискретизованог и глатког просторвремена.

Радови [9,12] се баве категоријским уопштењем модела спинских пена на тзв. спинкуб моделе квантне гравитације. Овим поступком се ефикасно решава проблем комбиновања гравитације са осталим интеракцијама и фермионском материјом, што је такође први резултат те врсте. У моделима спинских пена који су досад изучавани у литератури било је ефективно доказано да фермионску материју није никако могуће укључити у формализам теорије, и ово је био велики проблем свих разматраних модела. Категоријска генерализација модела спинских пена на спинкуб моделе на неочекиван али елегантан начин превазилази овај проблем, и самим тим представља много бољу основу за изградњу реалистичне теорије квантне гравитације. Истовремено, теорија сугерише нов приступ решавању фундаменталног проблема космолошке константе, а отвара се и могућност унификације гравитације са осталим интеракцијама — могућност која је била потпуно недостижна у свим досадашњим моделима квантне гравитације. Канонска структура спинкуб модела је изучена у радовима [13,15], док је рад [14] посвећен вези између спинкуб модела и једног технички сличног али концептуално различитог приступа квантизацији гравитационог поља, под именом каузалне динамичке триангулације (CDT). Уочен је занимљив резултат да се CDT модели могу разумети као специјалан случај спинкуб модела, што на изванредан начин повезује два приступа квантној гравитацији у једну заједничку целину.

У оквиру систематизације и уопштења резултата из радова [7-15], др Војиновић је заједно са коаутором А. Миковићем објавио и монографију:

[22] A. Miković and M. Vojinović, *State-Sum Models of Piecewise Linear Quantum Gravity*, World Scientific, Singapore (2023), pp. 1-184, [ISBN: 978-981-126-931-8].

Монографија обухвата све горе наведене резултате, и заједно са другим познатим резултатима из литературе, представља систематску рекапитулацију свих досадашњих модела сума по стањима као модела квантне гравитације на део-по-део равним многострукостима. Одлуком Матичног одбора за физику донетом 29.09.2023. године, ова монографија је класификована у категорију М11, односно као истакнута монографија међународног значаја.

Током проучавања спинкуб модела уочена је потреба да се изврши још једно категоријско уопштење, овај пут преласком са алгебарског појма групе (која одговара моделима спинских пена) и 2-групе (која одговара спинкуб моделима) на појмове 3-групе или чак 4-групе. Ово ново уопштење омогућава да се не само гравитационо, него и сва остала поља у природи опишу једном обједињеном алгебарском структуром. Одговарајући модел класичне гравитације куплован са Стандардним Моделом елементарних честица базиран на 3-групи формулисан је у раду [16], и представља праву полазну основу за квантизацију свих поља у природи на јединствен начин. Резултати овог истраживања представљени су предавањем по позиву на међународном скупу у Крајови (Румунија) у септембру 2020. године, и штампани у целини:

[23] T. Radenković, M. Vojinović, “Quantum gravity and elementary particles from higher gauge theory”, *Ann. Univ. Craiova Phys.* **30**, 74 (2020).

Након формулисања овог новог модела, почело је изучавање његових особина. Радови [17,19,21] баве се анализом канонске структуре и њеним симетријама, док се у раду [20] формулише тополошка инваријанта 4-димензионалних многострукости базирана на структури 3-групе, што представља како изузетно важан резултат у области алгебарске топологије, тако и први корак у квантизацији теорије методом суме по стањима. Коначно, рад [18] изучава још једно уопштење теорије, као наставак радова [9] и [16], овај пут полазећи од појма 4-групе као структуре која описује гејџ симетрију теорије.

Резултати [15-23], укључујући и монографију [22], остварени су након кандидатског претходног избора у звање. У свим радовима др Војиновић је дао суштински допринос свим аспектима истраживања.

3. Истраживање у оквиру информационе квантне гравитације

Најзначајнији досадашњи резултати кандидатског истраживања у оквиру информационе квантне гравитације, која је врло млада област истраживања, објављени су у следећих пет радова:

[24] N. Paunković, M. Vojinović, “Gauge protected entanglement between gravity and matter”, *Class. Quant. Grav.* **35**, 185015 (2018).

[25] F. Pipa, N. Paunković, M. Vojinović, “Entanglement-induced deviation from the geodesic motion in quantum gravity”, *Jour. Cosmol. Astropart. Phys.* **09**, 057 (2019).

[26] N. Paunković, M. Vojinović, “Causal orders, quantum circuits and spacetime: distinguishing between definite and superposed causal orders”, *Quantum* **4**, 275 (2020).

[27] N. Paunković and M. Vojinović, “Equivalence principle in classical and quantum gravity”, *Universe* **8**, 598 (2022).

[28] R. Faleiro, N. Paunković and M. Vojinović, “Operational interpretation of the vacuum and process matrices for identical particles”, *Quantum* **7**, 986 (2023).

Рад [24] се бави појавом квантне уплетености у контексту квантне гравитације. Испоставља се да група дифеоморфизама, као локална симетрија гравитације, намеће ограничења на могућа квантна стања гравитационог поља и материје, која практично елиминишу сва сепарабилна стања, остављајући искључиво уплетена стања као могуће почетне услове за било какву динамику. У раду [25] се разматра кретање честице у квантној суперпозицији две различите конфигурације гравитационог поља. Присуство другог гравитационог поља скреће честицу са геодезијске путање у односу на прво гравитационо поље, доводећи до нарушења слабог принципа еквиваленције у квантној гравитацији. Рад [26] проучава тзв. квантни прекидач, квантни протокол у коме се редослед операција над квантним системом ставља у суперпозицију. Анализира се просторвременски опис квантног прекидача у контексту каузалног поретка догађаја. Такође се уводи појам тзв. гравитационог прекидача, који имплементира квантни прекидач користећи суперпозицију две конфигурације гравитационог поља. Испоставља се да гравитациони прекидач испољава квалитативно нове особине, које не постоје у случају обичног квантног прекидача. На ове резултате се надовезује и рад [28], у коме се упоредо са квантним прекидачем разматра још један квантни протокол, и из њиховог поређења се изводи закључак да је неопходно интеракцију апаратуре са вакуумом увек третирати као квантну операцију. Коначно, рад [27] се бави појмом принципа еквиваленције, дајући рекапитулацију познатих класичних варијанти тог принципа, као и разматрајући неке покушаје уопштавања принципа еквиваленције на ниво квантне теорије.

Резултати [24-28] остварени су након кандидатовог претходног избора у звање, и допринос кандидата сваком од ових радова је значајан у свим аспектима радова.

3. ЕЛЕМЕНТИ ЗА КВАЛИТАТИВНУ ОЦЕНУ НАУЧНОГ ДОПРИНОСА КАНДИДАТА

3.1. Квалитет научних резултата

3.1.1. Научни ниво и значај резултата, утицај научних радова

Др Марко Војиновић је у својој досадашњој каријери објавио преко 40 научних публикација, међу којима 1 истакнуту међународну монографију у категорији М11, 1 рад у категорији М21а, 21 рад у категорији М21, 4 у категорији М22, 2 у категорији М31, 10 у категорији М33, као и два зборника радова са међународних скупова, категорија М36.

Од тога, у периоду након претходног избора у звање, др Војиновић је објавио 1 монографију у категорији М11, 1 рад у категорији М21а, 7 радова у категорији М21, 4 у категорији М22, 1 у категорији М31, 4 у категорији М33, и 2 у категорији М36.

У периоду након претходног избора у звање, следећих пет радова кандидата се могу сврстати у најзначајније:

[1] N. Paunković and M. Vojinović, “Causal orders, quantum circuits and spacetime: distinguishing between definite and superposed causal orders”, *Quantum* **4**, 275 (2020).

Категорија M21a, DOI: 10.22331/q-2020-05-28-275

[2] F. Pipa, N. Paunković and M. Vojinović, “Entanglement-induced deviation from the geodesic motion in quantum gravity”, *Jour. Cosmol. Astropart. Phys.* **09**, 057 (2019).

Категорија M21, DOI: 10.1088/1475-7516/2019/09/057

[3] A. Miković, M. A. Oliveira and M. Vojinović, “Hamiltonian analysis of the BFCG formulation of general relativity”, *Class. Quant. Grav.* **36**, 015005 (2019).

Категорија M21, DOI: 10.1088/1361-6382/aace25

[4] N. Paunković and M. Vojinović, “Gauge protected entanglement between gravity and matter”, *Class. Quant. Grav.* **35**, 185015 (2018).

Категорија M21, DOI: 10.1088/1361-6382/aad7f1

[5] T. Radenković and M. Vojinović, “Quantum gravity and elementary particles from higher gauge theory”, *Ann. Univ. Craiova Phys.* **30**, 74 (2020).

Категорија M31

Прва четири рада су категорије M21, и за њих су приложени DOI бројеви. Пети рад представља саопштење по позиву на међународном скупу штампано у целини (категорија M31, Proceedings of the Workshop on Quantum Fields and Nonlinear Phenomena, 24-29 September 2020, Craiova, Romania, позивно писмо се налази у приложеној документацији), и укључен је на списак пет најзначајнијих радова како би се истакла утицајност и међународна препознатост научног истраживања и резултата др Војиновића. У свих пет радова допринос кандидата је био суштински и супстанцијалан – будући да су сви радови са само једним односно два коаутора, појединачни доприноси се не могу ограничити на неки конкретан подскуп резултата радова. Теоријска природа и тематика свих пет радова је таква да су сви аутори дали приближно једнаке доприносе свим аспектима истраживања, што се свакако односи и на др Војиновића.

Први рад је посвећен појму каузалности у тзв. информационом приступу квантној гравитацији. Информациона квантна гравитација је приступ конструкцији квантне теорије гравитације са тачке гледишта квантне теорије информација. У раду се разматра тзв. квантни прекидач, протокол који ставља у суперпозицију два различита поретка операција над квантним системом. У литератури је постојала интерпретација која улогу квантног прекидача посматра као суперпозицију два различита каузална поретка између догађаја, и овај рад детаљно анализира концептуалну разлику између појма догађаја као интеракције агента са квантним системом (квантно-информациони приступ) и појма догађаја као просторвременске тачке (геометријски приступ). Основни резултат рада је да ова два појма догађаја нису еквивалентна, и експлицитно је конструисана опсервабла која их разликује, на примеру квантног прекидача. За ову анализу је уведен и нов појам гравитационог прекидача, протокола над квантним системом који се одвија у суперпозицији две различите конфигурације гравитационог поља. Доказано је да је само у случају гравитационог прекидача могуће поистоветити два појма догађаја на конзистентан начин, и да се само у том случају може заиста говорити о правој суперпозицији каузалних поредака.

Други рад се бави питањем кретања честице у суперпозицији две различите конфигурације гравитационог поља. У оквиру апстрактног формализма квантне гравитације, поља гравитације и

материје се генерички налазе у уплетеном стању. Тада се може посматрати ситуација у којој су поља материје добро локализована дуж једне светске линије у просторвремену, реализујући конфигурацију која се обично разуме као честица. Пошто су поља материје у уплетеном стању са гравитационим пољем, ефективна честица се креће у простору чија се метрика налази у квантномеханичкој суперпозицији две различите конфигурације, па присуство друге конфигурације скреће честицу са геодезијске путање одређене првом конфигурацијом гравитације. Ово води ка нарушењу слабог принципа еквиваленције, што представља ефекат квантне гравитације. Будући да је резултат изведен у оквиру апстрактног формализма квантне гравитације, требало би да генерички важи у већини конкретних модела квантне гравитације.

У трећем раду размотрена је канонска Хамилтонова структура ВFCG формулације Опште теорије релативности. Ова формулација је базирана на структури 2-групе, што представља уопштење стандардне формулације у којој се гејд симетрија описује обичном Лијеовом групом. Ово уопштење је изузетно згодно за каснију квантизацију теорије у контексту спинфоум модела. Поред овог коваријантног приступа квантизацији, у принципу је могуће радити и канонску квантизацију теорије, и за то је потребно детаљно разумевање гејд структуре теорије у 3+1 формализму, што води питању Хамилтонове структуре теорије. Одговарајућа анализа је детаљно урађена у овом раду, презентоване су везе прве и друге класе, и пребројани физички степени слободе у теорији. Као што је и очекивано у Општој теорији релативности, добијено је да постоје два пропагирајућа степена слободе. Резултати добијени Хамилтоновом анализом представљају први корак ка непертурбативној канонској квантизацији теорије, по аналогији са канонском квантном гравитацијом на петљама.

Тема четвртог рада је утицај локалне симетрије на квантномеханичку уплетеност у контексту квантне гравитације са материјом. Уколико важи генеричка претпоставка да инваријантност на дифеоморфизме није нарушена на квантном нивоу, ова локална симетрија кроз одговарајући аналогон Гупта-Блојлерових услова намеће рестрикције на могућа стања гравитације и материје. Конкретно, постоје три везе које се морају наметнути – Лоренцова веза, веза тродимензионалних дифеоморфизама и скаларна (Хамилтонова) веза. Испоставља се да последња од ових веза намеће такав тип ограничења на квантномеханичка стања који елиминише продукт-стања материје и гравитације. Другим речима, продукт-стања материје и гравитације нису гејд инваријантна, и због тога се морају елиминисати из Хилбертовог простора теорије. У Хилбертовом простору тада остају само уплетена стања гравитације и материје. Овај резултат је затим потврђен и нумерички, у једноставном моделу Реце квантне гравитације купловане са једним реалним скаларним пољем.

У петом раду аутори се баве категоријским уопштењем модела спинских пена и спинкуб модела квантне гравитације на моделе базиране на појму 3-групе. Овим поступком се ефикасно решава проблем комбиновања гравитације са осталим интеракцијама и фермионском материјом. У моделима спинских пена који су досад изучавани у литератури било је ефективно доказано да фермионску материју није никако могуће укључити у формализам теорије, и ово је био велики проблем свих разматраних модела. Категоријско уопштење на спинкуб моделе је указало на пут којим је могуће превазићи овај проблем, док је уопштење на структуру 3-групе реализовало ту идеју до краја, дефинишући много бољу основу за изградњу реалистичне теорије гравитације, уз унификацију гравитације са осталим пољима присутним у Стандардном Моделу елементарних честица.

3.1.2. Цитираност научних радова кандидата

Према бази података Web of Science, укупан број цитата др Војиновића је 207, од тога 124 хетероцитата. Према бази података Scopus, укупан број цитата др Војиновића је 247, од тога 112 цитата не укључујући самоцитате и цитате коаутора. Према обе базе, Хиршов индекс износи 10. Детаљни подаци о цитираности дати су у прилозима.

3.1.3. Параметри квалитета радова и часописа

Збирни импакт фактор др Војиновића је 104,473 (односно 52,001 након претходног избора у звање), а укупан нормирани број М поена износи 239,67 (односно 109,67 након претходног избора у звање).

Током изборног периода, кандидат је објављивао радове у веома угледним часописима из области, међу којима се издвајају:

- Quantum (ИФ=7,900)
- Journal of High Energy Physics (ИФ=6,376)
- Journal of Cosmology and Astroparticle Physics (ИФ=5,524)
- Classical and Quantum Gravity (ИФ=3,487)
- Symmetry (ИФ=2,713)

Библиометријски показатељи за радове кандидата из категорија M20 у периоду након претходног избора у звање (импакт фактор, М поени и СНИП) приказани су у табели:

	ИФ	М	СНИП
Укупно	52,001	86	14,79
Усредњено по чланку	4,333	7,167	1,233
Усредњено по аутору	22,457	37,750	6,510

3.1.4. Степен самосталности и степен учешћа у реализацији радова у научним центрима у земљи и иностранству

У области истраживања којом се кандидат бави уобичајено је да се аутори потписују на радове абecedним редом, и не постоји концепт првог аутора. Ово је пракса у радовима из теоријске физике високих енергија, и примењена је систематски у свим кандидатовим радовима. У том смислу, кандидатов допринос у објављеним радовима треба разумети као потпуно равноправан између свих потписаних аутора.

Такође, од укупно 26 објављених радова у категоријама M21a, M21 и M22, кандидат је објавио 2 рада самостално, 15 радова са једним коаутором, 4 рада са два коаутора и 1 рад са три коаутора. Од тога, у свим радовима са два коаутора један од коаутора је сарадник, а други коаутор је студент (мастер односно докторских студија), а у једином раду са три коаутора сва три коаутора су студенти. У периоду након претходног избора у звање, кандидат је објавио укупно 12 радова у категоријама M21a, M21 и

M22, при чему је 8 радова објављено са по једним коаутором, 3 рада са два коаутора, и 1 рад са три коаутора.

Будући да су сви радови (осим једног) објављени са највише два коаутора, допринос кандидата изради сваког од радова је значајан. Др Војиновић је учествовао у осмишљавању, формулацији и дискусији проблема, аналитичким прорачунима и самом писању радова, укључујући и комуникацију са рецензентима током процеса објављивања. У раду са три коаутора, сви коаутори су студенти др Војиновића, па је његов допринос и у том случају био значајан. Додатно, самосталност кандидата се огледа како у пет радова која је објавио са својим студентима (два рада у часопису *Journal of High Energy Physics*, један рад у часопису *Classical and Quantum Gravity*, један рад у часопису *Symmetry* и један рад у часопису *Universe*), тако и у два рада која је др Војиновић објавио као једини аутор (у часописима *Physical Review D* и *General Relativity and Gravitation*). Коначно, велики број кандидатових радова објављен је у сарадњи са колегама у иностранству (коаутори А. Миковић, Н. Паунковић, М. А. Оливеира и Ф. Пипа).

3.1.5. Награде

У периоду након претходног избора у звање, кандидат је 2017. године био добитник JESH гранта аустријске Академије наука (Joint Excellence in Science and Humanities).

У периоду пре претходног избора у звање, др Војиновић је 2015. године био добитник STSM гранта COST акције MP1405 (Short Term Scientific Mission grant), два постдокторска гранта (2009. и 2013. године) португалске Фондације за Науку и Технологију (FCT), као и EU FP6 гранта "Marie Curie Research Training Network" 2008. године. Добитник је награде "Проф. Др Љубомир Ћирковић" Физичког факултета Универзитета у Београду за најбољи дипломски рад одбрањен 2002. године, као и диплому Студента генерације Универзитета у Београду за 2002. годину.

3.1.6. Елементи применљивости научних резултата

Будући да је истраживачки рад кандидата чисто теоријске природе, и бави се физиком на скалама које су далеко ван опсега експерименталних могућности са тренутном технологијом, практична применљивост научних резултата др Војиновића огледа се пре свега у потенцијалу за обуку и школовање младих научних кадрова на високошколском нивоу (мастер и докторске студије). Истраживачки рад којим се бави др Војиновић може да служи као одлична платформа за учење напредних математичких техника и метода анализе физичких теорија, које студенти и млади истраживачи могу касније употребити у сврху нових истраживања која не морају бити директно везана за физику високих енергија и малих растојања, и која могу имати директнију практичну примену. Искуство показује да развој новог математичког апарата и формулације нових модела физичких теорија касније веома често нађу примену у другим областима како физике, тако и науке и технологије уопште.

3.2. Ангажованост у формирању научних кадрова

У периоду након претходног избора у звање, кандидат има четири млађа сарадника:

1. *Тијана Раденковић* је одбрала мастер тезу 27.09.2017. године под руководством др Војиновића, и докторску дисертацију 04.07.2023. године, такође под његовим руководством. Уверења и захвалнице из обе тезе налазе се у прилогу.

2. *Павле Ступсић* је студент докторских студија почев од школске 2020/2021. године, под руководством др Војиновића. На седници Наставно-научног већа Физичког факултета одржаној 20.09.2023. године усвојен је извештај Комисије за оцену испуњености услова и оправданост предложене теме за израду докторске дисертације, и одређен је др Војиновић као ментор. Релевантни делови записника са седнице налазе се у прилогу.

3. *Михаило Борђевић* је одбранио мастер тезу 28.09.2021. године под руководством др Војиновића (уверење о мастеру и захвалница из тезе налазе се у прилогу). Почев од школске 2022/2023. године, Михаило је студент докторских студија, такође под руководством др Војиновића, о чему сведочи један заједнички објављен рад:

- М. Ђорђевић, Т. Radenković, P. Stipsić and M. Vojinović, “Henneaux-Teitelboim gauge symmetry and its applications to higher gauge theories”, *Universe* **9**, 281 (2023).

4. *Петар Петрашиновић* је студент мастер студија почев од школске 2023/2024. године, под руководством др Војиновића. Улога ментора за Петра тек треба да се озваничи (одбраном мастер тезе односно одлуком Наставно-научног већа Физичког факултета).

До сада, др Војиновић је са својим млађим сарадницима објавио 5 радова (3 категорије М21, и 2 категорије М22), као и 2 саопштења са међународних скупова штампана у целини (1 категорије М31 и 1 категорије М33).

У оквиру педагошког рада, кандидат је био ментор за истраживачки рад двоје полазника у Петници, из области гравитационих таласа. На основу тог истраживања су полазници објавили рад:

- D. Cvijetić, M. Stošić, “Simulacija idealnih detektora gravitacionih talasa”, *Petničke Sveske* **78**, 67 (2019).

Прва страна њиховог рада, на којој је именован и др Војиновић као ментор, налази се у прилогу.

У периоду пре претходног избора у звање, током 2013-2015. године, кандидат је био коментор докторске дисертације Мигела Ангела Оливеире на Универзитету у Лисабону. Дисертација се делом базира на заједничком раду:

- A. Miković, M. A. Oliveira and M. Vojinović, “Hamiltonian analysis of the BFCG theory for the Poincaré 2-group”, *Class. Quant. Grav.* **33**, 065007 (2016).

У прилогу се налазе насловна страна и страна са захвалницом из његове докторске дисертације, као и изјава главног ментора, др Александра Миковића.

Др Војиновић се такође бавио и педагошким радом. У периоду 01.09.2012.-30.06.2013. године био је у својству спољњег сарадника ангажован као предавач предмета физика у Математичкој Гимназији у Београду. У току тог периода био је ментор за шест матурских радова ученика Математичке гимназије, и уручено му је признање за успехе његових ученика постигнуте на 51. државном такмичењу из физике за ученике средњих школа. Признање и уговор о извођењу наставе налазе се у прилогу.

3.3. Нормирање броја коауторских радова, патената и техничких решења

Кандидат је у периоду од претходног избора у звање објавио укупно 20 публикација, од тога 1 монографију категорије M11, 1 рад категорије M21a, 7 радова категорије M21, 4 рада категорије M22, 1 рад категорије M31, 4 рада категорије M33 и 2 зборника радова категорије M36. Притом, све публикације су објављене са једним односно два коаутора, изузев следећег рада категорије M22:

- М. Ђорђевић, Т. Радековић, Р. Стипић и М. Војиновић, “Henneaux-Teitelboim gauge symmetry and its applications to higher gauge theories”, *Universe* **9**, 281 (2023).

У складу са Правилником о поступку и начину вредновања и квантитативном исказивању научноистраживачких радова истраживача, радови са укупно два односно три аутора се не нормирају, па је ефективни број радова др Војиновића једнак укупном броју радова, са изузетком горњег рада, који има четири аутора и чији се број М-бодова $K = 5$ дели са коефицијентом 1,2 (на основу формуле $K/(1+0.2(n-3))$ за $n = 4$), тако да нормирана вредност износи 4,17 уместо 5. У том смислу, укупан број М-бодова од свих 20 радова износи 110,5, док нормирани број М-бодова износи 109,67, када се узме у обзир корекција за горњи рад. Детаљан преглед М-бодова по радовима дат је у одговарајућој табели у одељку 4 овог извештаја.

3.4. Руковођење пројектима, потпројектима и пројектним задацима

У периоду након претходног избора у звање, кандидат руководи пројектом „Quantum Gravity from Higher Gauge Theory 2021“ (QHG-2021), евиденциони број 7745968, у оквиру програма ИДЕЈЕ Фонда за науку Републике Србије. Пројект је почео са радом 01.01.2022. године, са трајањем од укупно три године. Очекиван завршетак пројекта је 31.12.2024. године.

Као доказ руковођења пројектом, у прилогу се налази годишњи административни извештај послат Фонду за науку након успешног завршетка прве године пројекта.

Такође, кандидат је руководио билатералним пројектом између Србије и Аустрије, који је са српске стране финансирало Министарство просвете, науке и технолошког развоја. Назив пројекта је „Каузалност у квантној механици и квантној гравитацији“, евиденциони број 451-03-02141/2017-09/02, и почео је са радом 01.07.2018. године, са трајањем од две године. Притом, због последица КОВИД-19 пандемије, Министарство је донело одлуку (два пута) да се трајање пројекта продужи док се поново не стекну услови за могућност путовања. Пројект је завршен 01.07.2021. године.

Као доказ руковођења пројектом, у прилогу се налази извештај послат Министарству након успешног завршетка прве године пројекта, као и имејл обавештење из Министарства о продужавању трајања пројекта до 01.07.2021. године.

У периоду пре претходног избора у звање, кандидат је био руководилац за три задатка на три међународна пројекта, у периоду од 2009. до 2014. године:

- задатак “Квантне групе и геометрија” на пројекту “Algebroids, geometry, quantum groups and applications” Универзитета у Коимбри, Португал (2009–2012),
- задатак “Квантна гравитација” на пројекту “Strategic Project - UI 208 - 2011-2012” Групе за Математички Физичу Универзитета у Лисабону (2011–2012),
- задатак “Квантна гравитација” на пројекту “Strategic Project - UI 208 - 2013-2014” Групе за Математичку Физичу Универзитета у Лисабону (2013–2014).

Сва три пројекта финансирала је португалска национална Фондација за Науку и Технологију (FCT). Потврде о руковођењу дате су у прилогу.

3.5. Активност у научним и научно-стручним друштвима

Група А

Др Војиновић је рецензент у следећим међународним научним часописима:

- Classical and Quantum Gravity,
- Foundations of Physics,
- Symmetry, Integrability and Geometry: Methods and Applications,
- Axioms.

У прилогу се налазе писма уредништва сваког од часописа кандидату са позивима за рецензије.

Група Б

У периоду након претходног избора у звање, кандидат је одржао три предавања по позиву на међународним научним скуповима:

- QISS 2020 Workshop, Hong Kong, Kina, 10.01.–19.01.2020. године,
- 12-th QFND Workshop, Kraјova, Rumunija, 24.–29.09.2020. године,
- SAC-19 Conference, Beograd, Srbija, 13.-17.10.2020. године.

Позивна писма за сва три скупа се налазе у прилогу. Притом, саопштење са међународног скупа у Крајови је штампано у целини (категорија М31):

- T. Radenković and M. Vojinović, “Quantum gravity and elementary particles from higher gauge theory”, *Ann. Univ. Craiova Phys.* **30**, 74 (2020).

Осим тога, др Војиновић је по позиву боравио у гостима на Департману за философију Универзитета у Женеви, у групи коју предводи проф. Christian Wüthrich, у периоду 17.-22.10.2016. године. Том приликом је такође одржао предавање по позиву, за чланове групе. Позивно писмо је дато у прилогу.

Др Војиновић је учествовао у организационим одборима два међународна научна скупа,

- 9th Meeting on Modern Mathematical Physics, 18.–23.09.2017, Београд, Србија, [<http://www.mphys9.ipb.ac.rs/>]
- 10th Meeting on Modern Mathematical Physics, 09.–14.09.2019, Београд, Србија, [<http://www.mphys10.ipb.ac.rs/>]

као и три домаћа скупа:

- 2023 Workshop on Gravity, Holography, Strings and Noncommutative Geometry, 03.02.2023, Београд, Србија, [<http://www.gravity.ipb.ac.rs/GHSNG2023/>]
- Workshop on Gravity, Holography, Strings and Noncommutative Geometry, 01.02.2018, Београд, Србија, [<http://www.gravity.ipb.ac.rs/GHSNG2018/>]
- Gravity and String Theory: New ideas for unsolved problems III, 07.–09.09.2018, Златибор, Србија. [<http://www.gst2018.ipb.ac.rs/>]

У периоду пре претходног избора у звање, др Војиновић је одржао предавање по позиву на међународном симпозијуму V Petrov International Symposium “High Energy Physics, Cosmology and Gravity”, Кијев, Украјина, 29.04.–05.05.2012. године, које је штампано у целини. Позивно писмо директора Богољубовљевог Института за Теоријску Физику у Кијеву, академика А. Zagorodny, дато је у прилогу.

Такође, др Војиновић је у периоду 2007-2016. године учествовао у организационим одборима следећих 5 међународних скупова:

- 5th Mathematical Physics Meeting: Summer School and Conference on Modern Mathematical Physics, 06.–17.07.2008, Београд, Србија. [<http://www.mphys5.ipb.ac.rs/>]
- Gravity: New ideas for unsolved problems, 12.–14.09.2011, Дивчибаре, Србија. [<http://www.gravity2011.ipb.ac.rs/>]
- Quantum Integrable Systems and Geometry, 03.–07.09.2012, Ољао, Португал. [<http://www.fctec.ualg.pt/qisg/>]
- 7th Mathematical Physics Meeting: Summer School and Conference on Modern Mathematical Physics, 09.–19.09.2012, Београд, Србија. [<http://www.mphys7.ipb.ac.rs/>]
- 8th Mathematical Physics Meeting: Summer School and Conference on Modern Mathematical Physics, 24.–31.08.2014, Београд, Србија. [<http://www.mphys8.ipb.ac.rs/>]

Осим тога, учествовао је и у организацији два домаћа скупа:

- Gravity: New Ideas for Unsolved Problems II, 19.–22.09.2013, Дивчибаре, Србија. [<http://www.gravity.ipb.ac.rs/divcibare2013.html>]
- GR100: Centennial of General Relativity, 23.06.2015, Београд, Србија. [<http://www.gravity.ipb.ac.rs/gr100/>]

3.6. Утицај научних резултата

Према бази података Web of Science, укупан број цитата др Војиновића је 207, од тога 124 хетероцитата. Према бази података Scopus, укупан број цитата др Војиновића је 247, од тога 112 цитата не укључујући самоцитате и цитате коаутора. Према обе базе, Хиршов индекс износи 10. Детаљни подаци о цитираности дати су у прилозима. Пун списак радова дат је у прилогу, као и подаци о цитираности сваког од радова, преузети са интернет страница база Web of Science и Scopus. Имајући у виду да су радови из фундаменталне теоријске физике, остварен број цитата сматра се веома задовољавајућим за област истраживања и теме којима се кандидат бави.

Додатни показатељ утицаја научних резултата др Војиновића је низ предавања по позиву на међународним скуповима и током гостовања у истраживачким групама на иностраним универзитетима. Такође, у периоду након претходног избора у звање, др Војиновић је објавио рад:

- A. Miković and M. Vojinović, “Standard Model and 4-groups”, *Europhys. Lett.* **133**, 61001 (2021),

који је уредништво часописа *Europhysics Letters* одлучило да истакне на својој интернет страници додељујући му одредницу „Editor’s choice“. Интернет страница је доступна на адреси:

- <https://iopscience.iop.org/article/10.1209/0295-5075/133/61001>

док се фотографија те интернет странице налази у прилогу.

3.7. Конкретан допринос кандидата у реализацији радова у научним центрима у земљи и иностранству

Др Војиновић је значајно допринео сваком раду који је објавио. Сви радови објављени у периоду након претходног избора у звање урађени су са сарадницима из иностранства и са млађим колегама (студентима мастер и докторских студија). Др Војиновић је имао кључан допринос у свим публикацијама, битно је утицао на ток истраживања током израде радова, учествовао је у аналитичким прорачунима, методима и техникама приступа проблемима, писању текста радова, као и у комуникацији са рецензентима приликом поступка објављивања.

Везано за два публикована зборника радова са међународних скупова (категија М36), др Војиновић је учествовао у селекцији и рецензијама радова обухваћених зборницима, техничкој обради текста и припреми зборника за публикување, као и у писању увода и осталих делова зборника.

Др Војиновић је у периоду 2009-2012. и 2013-2016. године боравио на постдокторском усавршавању на Универзитету у Лисабону, Португал. Током укупно шест година боравка, објавио је 8 публикација категорије М21, затим 1 публикацију категорије М31 и 3 публикације категорије М33. Био је ангажован на четири научно-истраживачка пројекта, три на Универзитету у Лисабону и један на Универзитету у Коимбри. Након повратка са постдокторског усавршавања, др Војиновић је започео у Србији нову истраживачку тему (квантна гравитација на петљама), која до тада није била заступљена у оквиру истраживачког рада у Србији. Данас др Војиновић има четири млађа сарадника, и активно ради на формирању тима истраживача који ће проширити рад на овој истраживачкој теми. Тиме Институт за физику у Београду поступно постаје не само национални, него и регионални центар за овај приступ истраживањима квантне гравитације.

3.8. Уводна предавања на конференцијама, друга предавања и активности

У периоду након претходног избора у звање, др Војиновић је одржао три предавања по позиву на међународним научним скуповима:

- QISS 2020 Workshop, Hong Kong, Kina, 10.01.–19.01.2020. године,
- 12-th QFND Workshop, Krajova, Rumunija, 24.–29.09.2020. године,
- SAC-19 Conference, Beograd, Srbija, 13.–17.10.2020. године.

Позивна писма за сва три скупа се налазе у прилогу. Притом, саопштење са међународног скупа у Крајови је штампано у целини (категија М31):

- T. Radenković and M. Vojinović, “Quantum gravity and elementary particles from higher gauge theory”, *Ann. Univ. Craiova Phys.* **30**, 74 (2020).

Осим тога, др Војиновић је по позиву боравио у гостима на Департману за философију Универзитета у Женеви, у групи коју предводи проф. Christian Wüthrich, у периоду 17.-22.10.2016. године. Том приликом је такође одржао предавање по позиву, за чланове групе. Позивно писмо је дато у прилогу.

Такође, др Војиновић је током два месеца (у периоду 16.10.-15.12.2017. године) боравио у Бечу, гостујући у групи проф. Часлава Брукнера у Институту за квантну оптику и квантне информације (IQOQI) Универзитета у Бечу, као добитник JESH гранта (Joint Excellence in Science and Humanities) аустријске Академије наука. Током тог гостовања, остварена је значајна сарадња између Групе за гравитацију, честице и поља Института за физику у Београду и групе проф. Брукнера у институту IQOQI. Иако је време од два месеца било прекратко за објављивање заједничких радова, значајан резултат те сарадње је билатерални пројект између Србије и Аустрије који је добијен 2018. године и којим је др Војиновић руководио. Заједнички научноистраживачки рад двају група је још увек у току, и наставиће се у будућности.

У прилогу се налази позивно писмо проф. Антона Цајлингера, председника аустријске Академије наука, као и извештај о гостовању и успешно оствареној сарадњи од проф. Часлава Брукнера, директора IQOQI института.

4. ЕЛЕМЕНТИ ЗА КВАНТИТАТИВНУ ОЦЕНУ НАУЧНОГ ДОПРИНОСА КАНДИДАТА

Остварени резултати у периоду након одлуке Научног већа о предлогу за стицање претходног научног звања:

Категорија	М бодова по раду	Број радова	Укупно М бодова	Нормирани број М бодова
M11	14	1	14	14
M21a	10	1	10	10
M21	8	7	56	56
M22	5	4	20	19,17
M31	3,5	1	3,5	3,5
M33	1	4	4	4
M36	1,5	2	3	3
Укупно:		20	110,5	109,67

Поређење са минималним квантитативним условима за избор у звање научни саветник:

Минимални број М бодова	Неопходно за избор у звање	Остварено, број М бодова без нормирања	Остварено, нормирани број М бодова
Укупно	70	110,5	109,67
M10+M20+M31+M32+M33+M41+M42+M90	50	107,5	106,67
M11+M12+M21+M22+M23	35	100	99,17


5. ЗАКЉУЧАК

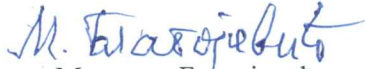
Имајући у виду изузетно високу вредност и оригиналност научних радова др Марка Војиновића, као и његово значајно искуство у међународној сарадњи, руковођењу пројектима и педагошком раду, мишљења смо да кандидат сигурно поседује високу истраживачку зрелост и научну компетентност. Истичемо његове радове у престижним међународним научним часописима, са нагласком на две публикације (категорије M21) које је др Војиновић објавио самостално, као једини потписани аутор. Ово је јасан знак како квалитета, тако и зрелости и самосталности кандидата за озбиљан научноистраживачки рад. Такође истичемо и кандидатово ангажовање за успостављање међународне сарадње на високом нивоу.


Због свега изложеног, задовољство нам је да предложимо Научном већу Института за физику у Београду да донесе одлуку о прихватању предлога за избор др Марка Војиновића у звање научни саветник.

У Београду, 01.12.2023.

Чланови комисије:


др Бранислав Цветковић
научни саветник
Институт за физику у Београду


др Милутин Благојевић
научни саветник у пензији
Институт за физику у Београду


проф. др Воја Радовановић
редовни професор
Физички факултет Универзитета у Београду