

## Извештај комисије за избор др Ненада Врањеша у звање научни саветник

На седници Научног већа Института за физику у Београду одржаној 10. маја 2022. године именовани смо у комисију за избор др Ненада Врањеша у звање научни саветник. Прегледом материјала који је достављен, као и на основу личног познавања кандидата и увида у његов рад и публикације, Научном већу Института за физику подносимо овај извештај.

### 1 Биографски подаци

Ненад Врањеш је рођен 1980. у Београду, где је завршио основну школу и IX београдску гимназију. Студије физике на Физичком факултету уписао је 1999, а дипломирао је 1. јула 2004. на смеру теоријска и експериментална физика са средњом оценом 9.44 и оценом 10 на дипломском испиту. На истом факултету 2004. године уписао је постдипломске студије на смеру Нуклеарна физика и физика елементарних честица. Положио је све предвиђене испите са средњом оценом 10, а магистарски рад под називом “Могућности АТЛАС детектора за мерење продукције парова  $W$  бозона на Великом хадронском колајдеру” одбранио је октобра 2007. под руководством др Љиљане Симић. Докторирао је на Физичком факултету Универзитета у Београду 11. новембра 2011. са темом “Трагање за новим тешким наелектрисаним градијентним бозонима на АТЛАС детектору (*A Search for New Heavy Charged Gauge Bosons at ATLAS*)”. Докторска дисертација је реализована у оквиру Споразума о заједничком менторству над докторским дисертацијама између Универзитета у Београду и Националног и каподистријског универзитета у Атини и урађена је под руководством проф. др Драгана Поповића и проф. др Кристине Коуркоумелис.

Ненад Врањеш ради од 2004. у Лабораторији за физику високих енергија Института за физику, најпре као стипендиста Министарства за науку, а затим као истраживач приправник од марта 2005. У звање истраживач сарадник изабран је децембра 2008, у звање научни сарадник изабран је 18. јула 2012, а у звање виши научни сарадник 29. новембра 2017. У периоду 2011-2014. био је на постдокторском усавршавању у француском институту *CEA-Saclay (Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives)*, и био је базиран у ЦЕРН-у. Био је ангажован на пројектима основних истраживања бр. 101488 “Експерименти са електрон-позитрон, протон-протон и језгро-језгро сударима на високим енергијама”, потом на пројекту бр. 141037 “Прецизна мерења параметара Стандардног модела и трагање за новим честицама на АТЛАС експерименту”, а у периоду од 2011-2019. на пројекту бр. 171004 “АТЛАС експеримент и физика честица на Великом хадронском сударачу”. Током 2017-2019 је руководио једним билатералним пројектом на проблематици машинског учења. За свој рад на мерењу масе  $W$  бозона на експерименту АТЛАС добио је Годишњу награду Института за физику за 2018. годину. Два пута је биран за

члана Научног већа Института за физику (2017-2019, 2021-2023) и члан је Управног одбора Фондације Института за физику (од 2018). До сада је био ментор је или коментор три докторске дисертације (једна комплетирана, две у изради), и четири мастер рада. Од 2019. на докторским студијама Физичког факултета предаје предмет Анализа података у физици високих енергија.

Ожењен је и отац две кћерке.

## 2 Преглед научне активности

Током своје досадашње каријере, др Ненад Врањеш је био укључен у неколико истраживачких пројеката везаних за експеримент АТЛАС на Великом сударачу хадрона (*Large Hadron Collider*, ЛХЦ) у ЦЕРН-у. Ови пројекти се односе на мерење параметара Стандардног модела (СМ), као и на директне потраге за новим честицама чије постојање предвиђају различити феноменолошки модели који представљају проширење Стандардног модела. Током рада на овим пројектима имао је прилику да размењује искуства са иностраним колегама, показује иницијативу, учествује у планирању будућих истраживачких активности, као и да руководи радом студената и већих група у оквиру колаборације.

У оквиру експеримента АТЛАС др Ненад Врањеш је до сада учествовао у следећим истраживањима и активностима:

- прецизна мерења параметара Стандардног модела и калибрација импулса миона;
- апсолутна калибрација измерене луминозности;
- мерење пресека за продукцију  $W$  и  $Z$  бозона;
- потрага за новим тешким наелектрисаним градијентним бозонима.

Следи приказ најбитнијих научних резултата које је кандидат остварио у оквиру поменутих истраживања.

### 2.1 Прецизна мерења параметара Стандардног модела и калибрација импулса миона

Основна тема истраживања др Ненада Врањеша односи се на мерење параметара Стандардног модела. С обзиром на велику статистику узорака који садрже честице СМ-а, експеримент АТЛАС на ЛХЦ-у омогућава експериментално одређивање неких од фундаменталних параметара теорије елементарних честица. Ова мерења, пре свега мерење масе  $W$  бозона, масе топ кварка, као и масе и спрезања Хигсовог бозона, омогућавају да се разјасни динамика нарушења симетрије у електрослабим интеракцијама. Кандидат је током своје досадашње каријере учествовао у свим овим истраживањима.

Прва тема истраживања односи се на мерење масе  $W$  бозона у Дрел-Јан продукцији кроз лептонске канале распада. Маса  $W$  бозона се на хадронским сударањима мери користећи карактеристичне опсервабле као што су трансверзални импулс лептона и трансверзална маса лептон-неутрино система. У питању је мерење изузетне комплексности: да би се резултати могли упоредити са теоријским предвиђањима потребно је достићи екстремну прецизност од 0.01%. Поређења ради, типична прецизна мерења на ЛХЦ-у имају за циљ прецизност реда величине 1%. У оквиру поменуте тематике др Н. Врањеш је радио на калибрацији импулса миона, мерењу ефикасности реконструкције и тригерована миона,

калибрацији хадронског узмака (недостајуће трансверзалне енергије), селекцији догађаја од интереса, као и на укупној анализи података у мионском каналу. Треба напоменути да је калибрација импулса лептона најкритичнија компонента мерења масе  $W$  бозона на хадронским сударачима. Кандидат је такође радио и на мерењу карактеристика  $Z$  бозона у циљу тестирања изведених експерименталних корекција и теоријског моделовања продукције  $W$  бозона, као и на коначној екстракцији масе  $W$  бозона из анализираних података. У сарадњи са другим колегом, кандидат је написао и целокупни програмски оквир за анализу догађаја. Добијени резултат по прецизности  $\pm 19$  MeV одговара најпрецизнијим резултатима мерења претходно оствареним на експериментима ЦДФ и Д0 на сударачу Теватрон, док је средња вредност компатибилна са тадашњом светском средњом вредношћу (добитом усредњавањем свих експерименталних мерења) као и најмодернијим теоријским предвиђањима. Прелиминарни резултати добијени подацима из протон-протон судара прикупљеним током 2011. године објављени су у једној јавној ноти АТЛАС колаборације, док је коначан резултат са незнатним изменама прихваћен за штампу у децембру 2017. у *European Physical Journal C*:

- Aaboud, M., ... , Vranjes N., *et al.* [ATLAS Collaboration], *Measurement of the  $W$ -boson mass in  $pp$  collisions at  $\sqrt{s} = 7\text{TeV}$  with the ATLAS detector*, Eur.Phys.J. C78 (2018) no.2, 110, [arXiv:1701.07240 \[hep-ex\]](https://arxiv.org/abs/1701.07240), Erratum: Eur.Phys.J.C 78, 898 (2018);
- ATLAS Collaboration, *Measurement of the  $W$ -boson mass in  $pp$  collisions at  $\sqrt{s} = 7\text{TeV}$  with the ATLAS detector*. [ATLAS-CONF-2016-113](https://arxiv.org/abs/1606.02266), CERN (2016).

Као један од најкомпетентнијих сарадника са кључним доприносом овој студији Ненад Враћеш је изабран да буде коресподентни аутор наведене публикације. Према бази InspireHEP овај рад је до сада цитиран 293 пута. **Истиче се податак да је у питању прво (и за сада најпрецизније) мерење  $m_W$  на ЛХЦ-у**, те је због тога укључен у [Particle Data Group](https://arxiv.org/abs/2008.08865) од 2020. Резултат је до сада приказан на посебном ЦЕРН-овом семинару и најзначајнијим конференцијама из области. Због посебног значаја резултат је попримио ширу пажњу кроз ЦЕРН-ово [саопштење](https://arxiv.org/abs/1701.07240) за медије, и [чланак](https://arxiv.org/abs/1701.07240) у *CERN Courier*.

Током рада на овој проблематици изучаване су и неодређености услед теоријског моделовања продукције и распада  $W$  бозона. Н. Враћеш је био задужен за процену утицаја експерименталних ефеката услед резолуције лептона и недостајуће енергије, а резултат је објављен у следећој јавној ноти:

- ATLAS Collaboration, *Studies of theoretical uncertainties on the measurement of the mass of the  $W$  boson at the LHC*. [ATL-PHYS-PUB-2014-015](https://arxiv.org/abs/1405.5023), CERN, (2014).

У оквиру мерења масе  $W$  бозона калибрација импулса миона и ограничење систематских неодређености које произилазе из тога је од кључног значаја за постизање одговарајуће прецизности мерења. Реконструкција миона у симулираним догађајима је коригована како би се поклопила са скалом и резолуцијом измереним у подацима из детектора. У ову сврху коришћени су калибрациони узорци добро изучених процеса велике статистике: продукција  $J/\psi$  мезона и продукција  $Z$  бозона и њихови распади на парове миона. Анализирани подаци су прикупљени током прве фазе рада ЛХЦ-а (*Run-1*), у 2011. и 2012. години. Н. Враћеш је дизајнирао, имплементирао и експлоатисао иновативне алгоритме и технике за потребе калибрације импулса миона на експерименту АТЛАС. Велика статистика и кинематичке карактеристике ових догађаја омогућавају кориговање ефеката локализованих у простору, што је од кључног значаја за мерење масе Хигсовог бозона у четворолептонском

каналу где је статистика сигнала релативно мала. Корекције су изведене независно за мионе чији је импулс измерен у унутрашњем детектору и мионском спектрометру детектора АТЛАС, из фита инваријантних маса две резонанце, као и разлике измереног импулса у ова наведена два подсистема. Експлоатација разлике измерених импулса омогућила је мапирање корекције енергетских губитака проласка миона кроз калориметре. Показано је да су корекције енергетских губитака приближно 1% укупних енергетских губитака миона приликом проласка кроз калориметре и неактиван материјал испред мионског спектрометра. Резултати су компатибилни са расподелом материјала у симулацији детектора заснованој на GEANT 4 програму. Развијена процедура калибрације импулса миона представља значајан напредак у односу на претходне резултате на експерименту у кинематичком опсегу вредности трансверзалног импулса између 6 GeV и 100 GeV. Систематска неодређеност скале импулса миона ограничена је на  $\pm 0.05\% - 0.2\%$  у зависности од региона детектора, док је неодређеност резолуције  $\pm 1\% - 3\%$ . Сви ови резултати су документовани у једном раду АТЛАС колаборације објављеном у врхунском међународном часопису:

- Aad, G., ... , Vranjes N., *et al.* [ATLAS Collaboration], *Measurement of the muon reconstruction performance of the ATLAS detector using 2011 and 2012 LHC proton-proton collision data*, Eur.Phys.J. C74 (2014) no.11, 3130, [arXiv:1407.3935 \[hep-ex\]](#).

Н. Враћеш је био један од главних едитора наведене публикације.

Прва важна примена калибрације лептона на АТЛАС-у је било мерење масе Хигсовог бозона, мерење јачина спрезања са другим честицама као и мерење пресека за продукцију Хигсовог бозона у протон-протон сударима. За ове студије анализирали су подаци прикупљени током периода *Run-1*. Измерена маса Хигсовог бозона у четворолептонском каналу (4 миона, 4 електрона и два миона и два електрона) са релативном прецизношћу 0.3% је заснована на унапређеној калибрацији импулсне скале лептона. Захваљујући прецизној калибрацији импулса лептона у коначном резултату доминира статистичка неодређеност, док је у мерењима спрезања Хигсовог бозона поред статистичке од значаја једино теоријска неодређености. Резултати су објављени у три високо цитирана рада у врхунским часописима:

- Aad, G., ... , Vranjes N., *et al.* [ATLAS Collaboration], *Measurement of the Higgs boson mass from the  $H \rightarrow \gamma\gamma$  and  $H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4\ell$  channels with the ATLAS detector using 25  $fb^{-1}$  of  $pp$  collision data*, Phys.Rev. D90 (2014) no.5, 052004, [arXiv:1406.3827 \[hep-ex\]](#),
- Aad, G., ... , Vranjes N., *et al.* [ATLAS Collaboration], *Measurements of Higgs boson production and couplings in the four-lepton channel in  $pp$  collisions at center-of-mass energies of 7 and 8 TeV with the ATLAS detector*, Phys.Rev. D91 (2015) no.1, 012006, [arXiv:1408.5191 \[hep-ex\]](#),
- Aad, G., ... , Vranjes N., *et al.* [ATLAS Collaboration], *Fiducial and differential cross sections of Higgs boson production measured in the four-lepton decay channel in  $pp$  collisions at  $\sqrt{s}=8$  TeV with the ATLAS detector*, Phys.Lett. B738 (2014) 234-253, [arXiv:1408.3226 \[hep-ex\]](#).

Поред ових активности радио је на процени неодређености расподеле материјала у унутрашњем детектору коришћењем вишеструког расејања миона, као и процени ефеката утицаја поравнања детекторских елемената унутрашњег детектора на измерени импулс трагова. Нетачан опис позиције детекторских елемената у симулацији унутрашњег детектора

води погрешном мерењу сагите (одступања од праве линије трага наелектрисане честице у магнетном пољу). Кориговање сагите као и процена повезаних систематских неодређености веома значајна за мерење масе  $W$  бозона на ЛХЦ-у услед различитог утицаја на позитивно и негативно наелектрисане мионе. Урачунавање утицаја погрешног мерења сагите је од значаја и за мерење пресека за продукцију  $Z$  бозона у зависности од инваријантне масе дилептонског пара, рапидитета  $Z$  бозона и угла у Колин-Сопер систему референце (тро-струко диференцијално мерење пресека за продукцију  $Z$  бозона). Резултати ове студије су објављеној у:

- Aaboud, M., ... ,Vranjes N., *et al.* [ATLAS Collaboration], *Measurement of the Drell-Yan triple-differential cross section in pp collisions at  $\sqrt{s} = 8$  TeV*, JHEP 1712 (2017) 059, [arXiv:1710.05167 \[hep-ex\]](#)

Добијени резултати су од великог значаја за разумевање динамике протон-протон интеракција, једног од главних извора неодређености у мерењу масе  $W$  бозона у наредном периоду.

Наведене активности се надовезују на изучавање карактеристика реконструисаних миона поређењем експерименталних података са предвиђањима Монте Карло симулација. Са првим подацима из протон-протон судара сакупљеним током 2009. године на енергији  $\sqrt{s} = 0.9$  TeV и  $\sqrt{s} = 2.36$  TeV анализирани су карактеристични спектри миона. Резултати су приказани у једном колаборацијском раду:

- G. Aad,...,N. Vranjes *et al.* [ATLAS Collaboration], *Performance of the ATLAS Detector using First Collision Data*, JHEP, 1009, 056 (2010); [arXiv:1005.5254 \[hep-ex\]](#).

Како би био достигнут коначни циљ ултимативне прецизности на ЛХЦ-у процењене на  $O(\delta_{m_W}) \approx 10$  MeV, потребно је даље ограничити пре свега теоријску неодређеност у мерењу  $m_W$ . Један од главних извора теоријске неодређености је непрецизно моделовање трансверзалног импулса  $W$  бозона, пре свега у области ниских вредности импулса где доминирају непертурбативни ефекти. Кандидат је био део групе која је предложила прикупљање података са ниским вредностима *pile-up*-а, где је радио на процени резолуције хадронског узмака у зависности од вредности параметара *pile-up*-а и утицаја на  $m_W$ . Резултати су сумирани у једној јавној ноти. Са другом групом сарадника је припремио интерни предлог за колаборацију са оптимизованим вредностима параметара *pile-up*-а за посебне *pp* сударе пред крај периода *Run-2*. Као резултат ових студија (документованих у наведеној интерној ноти) током последње две године узимања података у *Run-2* подаци са ниским *pile-up*-им су прикупљени у *pp* сударима на енергијама  $\sqrt{s} = 13$  TeV и  $\sqrt{s} = 5$  TeV:

- ATLAS Collaboration, *Prospects for the measurement of the W-boson transverse momentum with a low pileup data sample at  $\sqrt{s} = 13$  TeV with the ATLAS detector* [ATL-PHYS-PUB-2017-021](#), CERN, (2017);
- Alvarez Gonzalez Barbara, .... ,Vranjes, Nenad, *et al.*, *Physics potential of 200 pb<sup>-1</sup> of pp collisions with low pile-up at  $\sqrt{s} = 13$  TeV*, [ATL-COM-PHYS-2017-1271](#), CERN, (2017).

У циљу достигања ултимативне прецизности  $m_W$  започета је [студија](#) поновног прецизнијег мерења масе  $W$  бозона са подацима из 2011. године. Кандидат је од септембра прошле године постављен је за ко-руководиоца (*analysis contact*) ове радне групе. Стратегија је да се коришћењем унапређених партонских дистрибутивних функција, побољшањем

теоријског моделовања продукције и распада  $W$  бозона (између осталог и на основу директног мерења трансверзалног импулса  $W$  бозона коришћењем података са ниским  $p_{T,W}$ -ом) и прецизнијим експерименталним неодређеностима и новим статистичким приступом заснованим на методу максималне веродостојности  $m_W$  измери са мањом неодређеношћу. Додатни циљ ове студије је да се директно измери и ширина  $W$  бозона, што до сада није урађено на ЛХЦ-у.

У јануару 2016. године Н. Врањеш је изабран за члана рецензентског тима за студију која се бави мерењем масе топ кварка у догађајима са два лептона коришћењем података из  $pp$  судара на енергији  $\sqrt{s} = 8$  TeV. Добијени резултат представља прво мерење масе топ кварка са поменутиим подацима. У оквиру АТЛАС колаборације, рецензентски тим заједно са ауторима има одговорност да произведе и објави научну публикацију врхунског квалитета. У поређењу са претходним мерењем масе топ кварка на експерименту, селекција догађаја је унапређена коришћењем средње вредности лептон- $b$ -џет система како би се увећао удео тачно реконструисаних догађаја и последично смањиле систематске неодређености. Неодређеност измерене вредности масе топ кварка износи 0.84 GeV, док је комбиновањем са претходним резултатим постигнута укупна неодређеност 0.7 GeV, односно 0.4% релативне прецизности. Ненад Врањеш је био члан рецензентских тимова за студије које се баве прецизним мерењем масе Хигсовог бозона у четворолептонском каналу распада, односно комбинацијом података из два канала  $H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4\ell$  и  $H \rightarrow \gamma\gamma$ . Ови резултати су добијени са подацима прикупљеним током дела *Run-2*, а остварена је прецизност 0.2% при чему доминира статистичка неодређеност (и до скоро најпрецизније мерење масе Хигсовог бозона на експерименту АТЛАС). По завршетку наведених студија резултати су презентовани на више водећих међународних конференција и објављени у престижним међународним часописима:

- Aaboud, M., ... , Vranjes N., *et al.* [ATLAS Collaboration], *Measurement of the top quark mass in the  $t\bar{t} \rightarrow$  dilepton channel from  $\sqrt{s} = 8$  TeV ATLAS data*, Phys.Lett. B761 (2016) 350-371, [arXiv:1606.02179 \[hep-ex\]](https://arxiv.org/abs/1606.02179),
- Aaboud, M., ... , Vranjes N., *et al.* [ATLAS Collaboration], *Measurement of the Higgs boson mass in the  $H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4\ell$  and  $H \rightarrow \gamma\gamma$  channels with  $\sqrt{s} = 13$  TeV  $pp$  collisions using the ATLAS detector*, Phys. Lett. B784(2018)345-366, [arXiv:1806.00242 \[hep-ex\]](https://arxiv.org/abs/1806.00242),
- ATLAS Collaboration, *Measurement of the Higgs boson mass in the  $H \rightarrow ZZ \rightarrow 4\ell$  and  $H \rightarrow \gamma\gamma$  channels with  $\sqrt{s} = 13$  TeV  $pp$  collisions using the ATLAS detector*, [ATLAS-CONF-2017-046](https://arxiv.org/abs/1704.05237).

Од јуна 2021. кандидат је председавајући рецензентског тима (*chair of the editorial board*) за студију везану за директно мерење природне ширине топ кварка са подацима из протон-протон судара на енергији  $\sqrt{s} = 13$  TeV. У овој студији ширина топ кварка се мери користећи метод максималне веродостојности који омогућава ограничавање систематских неодређености. За мерење се користе топ кваркови из дилептонског и семилептонског канала распада селектовани мултиваријантном техником. Главна опсервабла за мерење овог параметра је инваријантна маса лептона и одговарајућег  $b$ -џета. Могуће је студију проширити на симултано одређивање масе и ширине топ кварка. Доминантна неодређеност је теоријске природе. Одобравање овог резултата се очекује до краја текуће године.

Поред тога, у оквиру студија које се тичу проспекта рада Великог судараха хадрона у условима високе луминозности, HL-LHC, др Ненад Врањеш је учествовао у студији која се бави изучавањем могућности за мерење троструке продукције градијентних бозона, што је

важан тест нарушења симетрије у електрослабом сектору Стандардног модела који може указати на постојање физике изван СМ. Студије су обухватиле продукцију  $WWW$ ,  $WWZ$ ,  $WZZ$  бозона у лептонским и семи-хадронским финалним стањима. Допринос кандидата овој студији односи се на све аспекте саме анализе, и резултати су сумаризовани у засебној јавној ноти [ATL-PHYS-PUB-2018-030](https://arxiv.org/abs/1803.05467) која је објављена као саставни део поглавља у истакнутој монографији међународног значаја:

- P. Azzi, ... Vranjes, N, et al., *Report from Working Group 1 : Standard Model Physics at the HL-LHC and HE-LHC*,  
Published in: CERN Yellow Rep.Monogr. 7 (2019) 1-220, CERN-LPCC-2019-01,  
[DOI:https://doi.org/10.23731/CYRM-2019-007.1](https://doi.org/10.23731/CYRM-2019-007.1), e-Print: 1902.04070 [hep-ph]

Поменути резултат је једина анализа продукције три бозона на ЛХЦ-у која је публикована у оквиру *CERN Yellow Report* монографије. Такође, одабран је да буде део документа који је представљен Савету ЦЕРН-а у оквиру програма Европске стратегије за физику високих енергија.

Једна од текућих [студија](#) на којој кандидат ради односи се на изучавање радијативних распада  $W$  бозона на хадронским сударањима. На хадронским сударањима  $W$  бозони се изучавају кроз лептонске и, ређе, кроз инклузивне хадронске распаде. Ексклузивно кварк-антикварк парови чијом хадронизацијом настају џетови могу да дају, кроз радијативне распаде, мезон (било векторски мезон или псеудоскалар) и фотон у финалном стању:  $W \rightarrow \pi\gamma$ ,  $W \rightarrow \rho\gamma$ . Мотивација за изучавање ових распада лежи пре свега у тестирању факторизационе теореме у квантној хромодинамици. Такође, радијативни распади су осетљиви на спрезања  $W$  бозона са фотоном, а евентуалне аномалне вредности измереног фактора гранања би указала на постојање физике изван Стандардног модела. Ексклузивни хадронски распади  $W$  бозона до сада нису опсервирани на експериментима, али постоје експерименталне горње границе за факторе гранања за неке од њих ( $W \rightarrow \pi\pi\pi$ ,  $W \rightarrow \pi\gamma$ ,  $W \rightarrow D_s\gamma$ ). Циљ студије је мерење фактора гранања (или постављање горње границе) за распаде  $W \rightarrow (\rho/\pi/K)\gamma$  анализирањем података прикупљених детектором АТЛАС током *Run-2* на енергији  $\sqrt{s} = 13$  TeV. Изучавање овог распада на ЛХЦ-у и уопште на хадронским сударањима представља велики изазов услед великог иредуцибилног фона. За одређивање лимита на фактор гранања користиће се статистички метод максималне веродостојности. Резултати су сумаризовани у једној интерној ноти колаборације и тренутно су у поступку унутрашње рецензије:

- Gottardo Carlo Alberto, Nikolopoulos, Konstantinos, Bakos Evelin, Chisholm Andrew, De Groot Nicolo, Owen Rhys Edward, Silva Julia Manuela, Vranjes Nenad, *Search for the exclusive  $W$  boson hadronic decays  $W \rightarrow \pi\gamma$ ,  $W \rightarrow K\gamma$  and  $W \rightarrow \rho\gamma$* , [ATL-COM-PHYS-2020-871](https://arxiv.org/abs/2002.0871).

Пре почетка рада ЛХЦ-а, Н. Врањеш је такође радио на изучавању могућности детектора АТЛАС за мерење продукције пара  $W$  бозона помоћу Монте Карло симулација. Детаљно изучавање овог процеса омогућава тестирање неабелове градијентне структуре СМ и постављање границе за трострука аномална спрезања градијентних бозона  $WWZ$  и  $WW\gamma$ . Евентуално одступање од предвиђања СМ би индиректно указало на постојање нових феномена на вишој енергетској скали од директно доступне на сударању. Одређене су карактеристике детектора за реконструкцију основних објеката (електрона, миона, џетова и недостајуће трансверзалне енергије) који су карактеристични за лептонски канал распада  $W$  пара и предложен је основни скуп кинематичких ограничења који омогућава ефикасно

издвајање сигнала од доминантних фонских процеса. Резултати везани за мерење продукције пара  $W$  бозона су објављени у следећим публикацијама:

- K.Bachas,..., Lj.Simic, D.S.Popovic,...,N.Vranjes *et al.*, *Diboson physics studies*, [ATL-PHYS-PUB-2009-038](#); publikovano i u monografiji: Detector, Trigger and Physics”, CERN-OPEN-2008-020, ISBN 978-92-9083-321-5, [arXiv:0901.0512 \[hep-ex\]](#), 1852 p. (2008).
- Lj.Simic, I.Mendas, N.Vranjes, D.S.Popovic, *Prospects for Measuring Triple Gauge Boson Couplings in WW Production at the LHC*, [ATL-PHYS-PUB-2006-011](#), CERN (2006).
- Lj.Simic, N.Vranjes, D.Reljic, D.Vudragovic, D.S.Popovic, *WW Production and Triple Gauge Boson Couplings at ATLAS*, Acta Physica Polonica B, 38 525 (2007).

Потребно је истаћи да је непосредно пре почетка рада Великог судараца хадрона у ЦЕРН-у 2009. године, АТЛАС колаборација као резултат трогодишњих студија објавила капиталну публикацију, “*Expected Performance of the ATLAS Experiment: Detector, Trigger and Physics*”, CERN-OPEN-2008-020, ISBN 978-92-9083-321-5, [arXiv:0901.0512 \[hep-ex\]](#), 1852 p. (2008), која укупно садржи 76 публикација са студијама о могућностима АТЛАС детектора да региструје различите експерименталне сигнатуре. Др Ненад Врањеш је остварио кључни допринос укупно у 2 такве публикације. Наведени резултати су приказани и на неколико међународних и домаћих конференција. Треба напоменути да су све претходно поменуто публикације АТЛАС колаборације, јавне ЦЕРН-ове ноте, пре почетка рада ЛХЦ-а биле основне званичне публикације са међународном рецензијом.

## 2.2 Апсолутна калибрација измерене луминозности на детектору АТЛАС

Након повратка у Србију Н. Врањеш је, у циљу јачања препознатљивости београдске АТЛАС групе, започео активност на апсолутној калибрацији измерене луминозности у сударима протона на детектору АТЛАС. Овај за експеримент виталан задатак се обавља у оквиру активности *Data Preparation* групе за мерење луминозности (*Luminosity Working Group*, раније *Luminosity Task Force*). Прецизно познавање интегралне луминозности је од значаја како за прецизна мерења на експерименту, тако и за потраге за новим честицама где се ниво фонских процеса одређује коришћењем Монте Карло симулација. Дакле, добијени резултати имају примену на велики број публикованих резултата АТЛАС колаборације. Даље, код мерења укупних и диференцијалних пресека за продукцију  $W$ ,  $Z$  бозона, топ кваркова, неодређеност интегралне луминозности представља доминантан извор неодређености, односно, одређује прецизност мерења.

У сврху апсолутне калибрације користе се подаци из специјалих судара протона при којима су снопови протона раздвојени (такозвани *van der Meer*, *vdM* сканови), где се луминозност измерена одговарајућим луминометрима калибрише вредношћу израчунатом из измерених параметара акцелератора. Н. Врањеш је радио на анализи података на енергији 8 TeV и током целог периода *Run-2* на енергијама 13 TeV, 5 TeV (скуп података са ниским *pile-up*ом) и 900 GeV (специјални скуп података намењен за мерење еластичног пресека  $pp$  расејања и одређивање  $\rho$  параметра). Треба напоменути да се *vdM* сканови обављају сваке године, за сваку енергију у систему центра масе посебно и да анализирање наведених података, премда методолошки слично, за сваки скуп података носи другачије изазове. Калибрациона константа се одређује за сваки алгоритам (и за сваки луминометар) понаособ, што је отприлике 20-ак алгоритама укупно, а кандидат је самостално анализирао различите систематске неодређености повезане са овом процедуром, пре свега *orbit drifts*,



электромагнетне интеракција снопова (одбијање и дефокусирање снопова), емпиријског модела фита и нивоа фонских процеса.

У подацима из 2012. ре-евалуиран је ниво фона који потиче од судара, као и систематске неодређености везане за избор емпиријске функције која описује пресек интеракције у зависности од величине сепарације снопова. Резултати су део публикације:

- Aaboud, M., ... Vranjes N., *et al.* [ATLAS Collaboration], *Luminosity determination in pp collisions at  $\sqrt{s} = 8$  TeV using the ATLAS detector at the LHC*, Eur.Phys.J. C76 (2016) no.12, 653, [arXiv:1608.03953 \[hep-ex\]](#),

Током *Run-2* за сваку годину посебно су одређене калибрационе константе и неодређености са добијеним вредностима 2.1% у 2015 и 2016, 2.4% у 2017. и 2.0% у 2018. години, односно 1.6% за податке прикупљене на енергији 5 TeV у 2017. години. Комбинована прелиминарна неодређеност је 1.7% (у том тренутку најпрецизније мерење луминозности на АТЛАС експерименту) а резултати публиковани у јавним нотама:

- ATLAS Collaboration, *Luminosity determination in pp collisions at  $\sqrt{s}=13$  TeV using the ATLAS detector at the LHC*, [ATLAS-CONF-2019-021](#), CERN, (2019);
- ATLAS Collaboration, *Luminosity determination for low-pileup datasets at  $\sqrt{s}=5$  and 13 TeV using the ATLAS detector at the LHC*, [ATLAS-CONF-2020-023](#), CERN, (2020).

Поред података релевантних за калибрацију луминозности на АТЛАС-у, анализирани су подаци из судара са различитим угловима судара снопова и различитим вредностима емитансе снопова. Добијени резултати су релевантни за планирање радних параметара целокупног ЛХЦ-а током 2017. и 2018. године до крај *Run-2*. Након тога кандидат је радио на побољшаном избору емпиријске функције за фитовање података, што ће довести до тачније вредности калибрационе константе и последично смањења укупне неодређености. Коначни резултати мерења луминозности за *Run-2* су документовани у неколико интерних колаборацијских нота (датих у прилогу) и сада су у фази интерне рецензије у оквиру колаборације. Очекује се да ће коначна неодређеност бити на % нивоу.

Поред наведених активности кандидат је са својим студентом анализирао и податке из *vdM* сканова прикупљених на енергији  $\sqrt{s} = 900$  GeV током октобра и новембра 2018. Анализирање овог скупа података представља значајан изазов услед високог фона као и неспецифичних карактеристика снопова (емитансе, интензитета и броја сударајућих група) које последично воде високој неодређености. Резултати су сумирани у једној интерној ноти, а постигнута је прецизност 1.4%.

### 2.3 Мерење пресека за продукцију $W$ и $Z$ бозона

Прецизна мерење тоталног, фидуцијалног (пресека у “фидуцијалној” запремини, односно за дате вредности кинематичких ограничења условљених перформансама детектора), као и диференцијалних пресека,  $W$  и  $Z$  бозона на ЛХЦ-у је од кључног значаја а одређивање партонских дистрибутивних функција (ПДФ) кваркова и глуона у протону. ПДФ представљају једну од основних извора неодређености у прецизним мерењима параметара СМ као и потрагама за новим честицама. Диференцијални пресеци су мерени у функцији трансверзалног импулса градијентних бозона, лептона из распада градијентних бозона или продуктованих цетова, као и (псеудо)рапидитета градијентних бозона (лептона). Мерење пресека за продукцију градијентних бозона са тешким кварковима (цетовима који

потичу од  $c$  и  $b$  кваркова) представља кључан инпут за унапређивање моделовања продукције ових процеса и боље квантитативно разумевање пертурбативних аспеката квантне хромодинамике. Наведени процеси представљау фонске процесе у продукцији Хигсовог бозона (пре свега у процесима где се Хигсов бозон распада на парове  $b$ -кваркова), као и у физици изван СМ са експерименталним сигнатурама које садрже лептоне и  $b$ -цетове. Како би се тестирало моделирање ових процеса Монте Карло програмима, потребно је упоредити дата предвиђања са експерименталним мерењима. Детекторски ефекти као што су резолуција и ефикасност тригера, реконструкције и идентификације лептона и цетова су урачунати.

Ненад Врађеш је дао значајан допринос резултатима везаним за ова мерења као званичан руководиоца групе истраживача у оквиру колаборације (*convener*  $W, Z$  групе). Као руководиоца групе учествовао је и детаљно дискутовао кључне аспекте наведених студија, што повремено подразумева и дневну интеракцију са тимовима који студије спроводе. Руководиоци се старају да су технике за анализу научно засноване, дужни су да прате све промене које долазе из домена прикупљања и припреме података, као и релевантних алатки, пре свега у *egamma*, *muon combined* и *jet/etmiss WG*. Конвинери имају улогу у унутрашњој рецензији резултата и писању публикација (јавних нота и радова за часописе). По потреби организовао је специјалне састанке (пред редовних, једнонедељних састанака групе). Такође, треба напоменути да су експертске активности кандидата везане за калибрацију луминозности кључне при мерењу тоталних, фидуцијалних и диференцијалних пресека.

Током претходног периода објављено је неколико значајних публикација везаних за ову проблематику. Пресеци су мерени у  $pp$  сударима на различитим вредностима енергије судара  $\sqrt{s} = 2.76, 5.02, 8, 13$  TeV, дакле за различите вредности опсега Бјоркеновог  $x$ . Диференцијални пресеци за продукцију  $Z$  бозона са  $b$ -цетовима су измерени у функцији великог броја кинематичких и угловних варијабли. Мерење трансверзалног импулса  $Z$  бозона (као и угловне расподеле  $\varphi^*$ ) има посебан значај за будуће мерење масе  $W$  бозона. Публиковани су следећи радови:

- Aad, G., ... , Vranjes N., *et al.* [ATLAS Collaboration], *Measurement of  $W^\pm$ -boson and  $Z$ -boson production cross-sections in  $pp$  collisions at  $\sqrt{s} = 2.76$  TeV with the ATLAS detector*, Eur. Phys. J. C79, 901 (2019), [arXiv:1907.03567 \[hep-ex\]](#);
- Aaboud, M., ... , Vranjes N., *et al.* [ATLAS Collaboration], *Measurements of  $W$  and  $Z$  boson production in  $pp$  collisions at  $\sqrt{s} = 5.02$  TeV with the ATLAS detector*, Eur. Phys. J. C79, 128 (2019), [arXiv:1810.08424 \[hep-ex\]](#), Eur.Phys.J.C 79 (2019) 5, 374 (erratum);
- Aad, G., ... , Vranjes N., *et al.* [ATLAS Collaboration], *Measurement of the cross-section and charge asymmetry of  $W$  bosons produced in proton–proton collisions at  $\sqrt{s} = 8$  TeV with the ATLAS detector*, Eur. Phys. J. C79, 760 (2019), [arXiv:1904.05631 \[hep-ex\]](#);
- Aad, G., ... , Vranjes N., *et al.* [ATLAS Collaboration], *Measurement of the inclusive cross-section for the production of jets in association with a  $Z$  boson in proton-proton collisions at 8 TeV using the ATLAS detector*, Eur. Phys. J. C79, 847 (2019), [arXiv:1907.06728 \[hep-ex\]](#);
- Aad, G., ... , Vranjes N., *et al.* [ATLAS Collaboration], *Measurement of the transverse momentum distribution of Drell–Yan lepton pairs in proton–proton collisions at  $\sqrt{s} = 13$  TeV with the ATLAS detector*, Eur. Phys. J. C80, 616 (2020), [arXiv:1912.02844 \[hep-ex\]](#);

- Aad, G., ... ,Vranjes N., *et al.* [ATLAS Collaboration], *Measurements of the production cross-section for a Z boson in association with b-jets in proton-proton collisions at  $\sqrt{s} = 13$  TeV with the ATLAS detector*, JHEP07(2020)044, [arXiv:2003.11960 \[hep-ex\]](#).

Сви наведени резултати су одобрени за објављивање (прошли унутрашњу рецензију колаборације) у периоду 2018-2019. године.

## 2.4 Потрага за новим тешким наелектрисаним градијентним бозонима

Постоји јака теоријска мотивација да се нови феномени, чије постојање не предвиђа Стандардни модел, могу очекивати на TeV енергетској скали. Једно могуће проширење Стандардног модела је проширење његове градијентне групе  $SU(3)_c \otimes SU(2)_L \otimes U(1)_Y$ , које у неким феноменолошким моделима доводи до постојања нових (тешких) градијентних бозона: наелектрисаних  $W'$  и неутралних  $Z'$ . У оквиру *Exotics Lepton+X* групе Н. Враџеш је радио на потрази за  $W'$  бозоном који се распада на лептон и неутрино. Резултати су добијени анализирањем података из протон-протон судара на енергијама  $\sqrt{s} = 7$  TeV и  $\sqrt{s} = 8$  TeV прикупљеним на експерименту АТЛАС током 2011. и 2012, који редом одговарају интегралној луминозности од  $4.7 \text{ fb}^{-1}$  односно  $20.3 \text{ fb}^{-1}$ . Основ за потрагу чини модел у коме нови градијентни бозони имају иста спрезања са фермионима као  $W$  и  $Z$  бозони из Стандардног модела. Поред наведеног модела, разматран је још и модел у коме нови наелектрисани градијентни бозон ( $W^*$ ) представља партнера наелектрисаног киралног бозона. У радовима у којима је Н. Враџеш дао кључни допринос установљено је, на нивоу поверења 95%, да маса  $W'$  не може бити мања од 3.24 TeV, чиме је у енергетском домену доступном на ЛХЦ-у дата значајна потврда Стандардног модела, и постављена су нова ограничења на одговарајуће алтернативне моделе физике елементарних честица. У трагању за  $W^*$  бозоном постављена је доња граница на његову масу од 3.21 TeV на нивоу поверења 95%. У оквиру ефективне теорије поља постављена су ограничења на пресек за интеракцију хипотетичких честица тамне материје са нуклеонима, као и на масену скалу нове непознате интеракције кроз коју би се парови честица тамне материје производили заједно са  $W$  бозоном који би се распадао лептонски.

Добијени резултати представљени су у четири рада објављена у врхунским међународним часописима:

- Aad, G., ... ,Vranjes N., *et al.* [ATLAS Collaboration], *Search for new particles in events with one lepton and missing transverse momentum in pp collisions at  $\sqrt{s} = 8$  TeV with the ATLAS detector*, JHEP 1409 (2014) 037, [arXiv:1407.7494 \[hep-ex\]](#),
- Aad, G., ... ,Vranjes N., *et al.* [ATLAS Collaboration], *ATLAS search for a heavy gauge boson decaying to a charged lepton and a neutrino in pp collisions at  $\sqrt{s}=7$  TeV*, Eur.Phys.J. C72 (2012) 2241, [arXiv:1209.4446 \[hep-ex\]](#).
- G. Aad,...,N. Vranjes *et al.* [ATLAS Collaboration] , *Search for a heavy gauge boson decaying to a charged lepton and a neutrino in  $1 \text{ fb}^{-1}$  of pp collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV using the ATLAS detector*, Physics Letters B **705**, 28-46 (2011) [arXiv:1108.1316 \[hep-ex\]](#).
- G. Aad,...,N. Vranjes *et al.* [ATLAS Collaboration], *Search for high-mass states with one lepton plus missing transverse momentum in proton-proton collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV with the ATLAS detector*, Physics Letters B **701**, 50-69 (2011) [arXiv:1103.1391 \[hep-ex\]](#).

Као један од најкомпетентнијих истраживача Н. Врањеш је био изабрани едитор рада ЈНЕР 1409 (2014) 037. Резултати са Монте Карло симулацијама, као и прелиминарни резултати колаборације, објављени су у већем броју јавних нота АТЛАС колаборације:

- ATLAS Collaboration, *Search for high-mass states with one lepton plus missing transverse momentum in  $pp$  collisions at  $\sqrt{s}=8$  TeV with the ATLAS detector*, [ATLAS-CONF-2014-017](#), CERN (2014).
- ATLAS Collaboration, *Search for high-mass states with one muon plus missing transverse momentum in proton-proton collisions at  $\sqrt{s}=7$  TeV with the ATLAS detector*, [ATLAS-CONF-2011-082](#), CERN (2011).
- ATLAS Collaboration, *Physics potential of  $Z'$  and  $W'$  searches with the ATLAS Detector as a function of the LHC center-of-mass energy*, [ATL-PHYS-PUB-2011-002](#), CERN (2011).
- ATLAS Collaboration, *Search for high-mass states with electron plus missing transverse energy using the ATLAS Detector at  $\sqrt{s}=7$ TeV*, [ATLAS-CONF-2010-089](#), CERN (2010).
- ATLAS Collaboration, *ATLAS sensitivity prospects to  $W'$  and  $Z'$  at 7 TeV*, [ATL-PHYS-PUB-2010-007](#), CERN (2010).
- D.L.Adams, D.Fassouliotis, C.Kourkoumelis, B.R.Mellado Garcia, M.I.Pedraza Morales, N.Vranjes, S.L.Wu, *Lepton plus missing transverse energy signals at high mass*, [ATL-PHYS-PUB-2009-07](#); publikovano i u monografiji: "Detector, Trigger and Physics", CERN-OPEN-2008-020, ISBN 978-92-9083-321-5, [arXiv:0901.0512 \[hep-ex\]](#), 1852 p. (2008).

## 2.5 Обезбеђивање поузданог рада детектора и квалитета прикупљених података

Додатне активности и задаци који омогућавају поуздан рад детектора АТЛАС и квалитет прикупљених података за анализу на којима је др Ненад Врањеш учествовао (*service work*) су: праћење бележења података из АТЛАС детектора, њиховог складиштења, дистрибуирања и реплицирања унутар компјутерске мреже Грид, као и праћење квалитета података сакупљених појединачним деловима АТЛАС-а и посебно квалитета података везаних за реконструкцију миона. Поред тога, Н. Врањеш учествује у сменама за праћење квалитета података сакупљених различитим луминометрима што је од значаја за поуздано мерење луминозности на АТЛАС-у. Кандидат је до сада обавио преко 150 8-часовних смена (у АТЛАС-овој контролној соби и *offline*). Сам рад на калибрацији измерене луминозности описан у одељку 2.2 се такође посматра као експертски *service work* од ширег интереса у оквиру колаборације. Кандидат је до данас провео нешто више од 2 године ефективног рада (*Full Time Equivalent*, видети прилоге) на експертским сервисним пословима, од тога око половину након претходног избора у звање.

## 2.6 Препознатљивост у оквиру АТЛАС колаборације

Др Ненад Врањеш је коаутор свих радова АТЛАС колаборације, од којих је приближно једна половина објављена након претходног избора у звање. Скоро сви радови, до овог тренутка преко 1020, су објављени у врхунским међународним часописима. Од тог броја, након избора у звање виши научни сарадник др Ненад Врањеш је дао кључни допринос у десет публикација кроз све аспекте анализе података, а био је изабрани (контакт) едитор неколико публикација у оквиру АТЛАС колаборације. Према InspireHEP бази података,

наведени радови са кључним доприносом кандидата до сада су цитирани преко 500 пута без аутоцитата. Све релевантне публикације излистане су у списку научних публикација кандидата.

Кандидат је по позиву организатора конференције 31st Rencontres de Blois on Particle Physics and Cosmology, 2-7 June 2019, Blois одржао пленарно предавање у име три колаборације са ЛХЦ-а (АТЛАС, ЦМС и ЛHCb). Поред тога, у својој досадашњој каријери више пута је по позиву АТЛАС-овог одбора за селекцију предавача на конференцијама и школама (*ATLAS Speakers Committee*) представљао резултате свог рада и резултате АТЛАС колаборације (и у неколико наврата у име АТЛАС и ЦМС колаборација) на водећим међународним конференцијама у: Шведској (The Fourth Annual Large Hadron Collider Physics, LHCP2016) 3-18. јун 2016, Лунд; Француској (26th Rencontres de Blois, 18-23 мај 2014), Русији (LHC on the March), 16-18 новембар, 2011, Протвино.

Детаљни преглед активности Ненада Врањеша дат је у опису научне активности. Треба напоменути да је кандидат препознат као веома активан члан АТЛАС колаборације, с обзиром да је своје, као и резултате у име целих група у којима је радио, презентовао око 100 пута (од претходног избора у звање) на састанцима радних група АТЛАС колаборације, и то на састанцима *Standard Model* радне групе као и *Luminosity WG*, а пре претходног избора у звање и *Muon Combind Performance*, *Inner Detector WG*, *Higgs WG*. Неке од ових презентација су дате на генералним састанцима током *ATLAS Week*, *Muon Week*, као и седмичном *ATLAS Weekly*.

Као један од најкомпетентнијих, и истраживач са главним доприносом био је један од едитора у три публикације АТЛАС колаборације: JHEP 1409 (2014) 037, Eur.Phys.J. C74 (2014) no.11, 313, Eur. Phys. J. C78, 110 (2018), као и неколико јавних нота (са прелиминарним подацима или резултатима Монте Карло студија). Од стране АТЛАС колаборације именован за едитора капиталне публикације која обухвата петогодишње резултате првог мерења масе  $W$  бозона. Од јуна 2021. године је председавајући АТЛАС-овог рецензентског тима за студију мерења ширине топ кварка. Објављивање резултата ове студије (могуће заједно са симултаним мерењем масе топ кварка) очекује се током ове године. Такође, био је члан АТЛАС-овог рецензентског тима за студију мерења масе топ кварка, као и рецензентског тима за студију мерења масе Хигсовог бозона.

Посебно треба истаћи да је Ненад Врањеш од стране колаборације именован за руководиоца (*convener-a*) групе за анализу података са  $W$  и  $Z$  бозонима од 1. октобра 2017. на период од две године. У питању је једна од највећих група у АТЛАС колаборацији са преко 20 текућих пројеката на којима тренутно ради око 150 истраживача свих академских рангова. Активности групе се односе на мерење параметара СМ ( $m_W$ , Вајнбергов угао), тоталних и диференцијалних пресека за продукцију  $W$  и  $Z$  бозона (инклузивних, и у асоцијацији са џетовима, посебно са џетовима из тешких кваркова), као и спектра  $W$  и  $Z$  бозона у областима фазног простора од инетерса (ниски трансверзални импулси, ниске и високе вредности инваријантне масе дилептона) и други. У септембру прошле године постављен је за ко-руководиоца (**analysis contact**) радне групе за студију поновног прецизнијег мерења масе  $W$  бозона са подацима из 2011. године.

## 3 Елементи за квалитативну оцену научног доприноса кандидата

### 3.1 Квалитет научних резултата

Др Ненад Врањеш је у свом досадашњем научном раду дао кључни допринос у укупно 21 раду у међународним часописима са ISI листе, од чега 20 категорије М21 (врхунски међународни часописи) и један категорије М23 (међународни часописи), као и у шест радова категорије М24 (међународни часописи признати посебном одлуком МНО). Поред тога, коаутор је једног поглавља у истакнутој монографији међународног значаја (М13). По позиву АТЛАС-овог одбора за селекцију предавача на конференцијама седам пута је на водећим међународним конференцијама презентовао свој рад и резултате АТЛАС колаборације 3 пута, а једном по позиву самог организатора.

Након претходног избора у звање, др Ненад Врањеш је дао кључни допринос у 9 радова у међународним часописима са ISI листе и коаутор је једног поглавља у истакнутој монографији међународног значаја. Сви наведени радови припадају категорији М21 (врхунски међународни часописи).

За све наведене радове у материјалу који је поднет поводом овог избора у звање дат је списак интерних и јавних нота, као и изабраних презентација које је кандидат одржао на састанцима АТЛАС колаборације и међународним конференцијама, као и други неопходни показатељи, чиме се директно доказује ауторство на датим радовима.

#### 3.1.1 Научни ниво и значај резултата, утицај научних радова

Сви радови у којима је др Н. Врањеш дао кључни допринос објављени су у врхунским међународним часописима категорије М21: 20 радова категорије М21 у целокупном научном раду, а након претходног избора у звање 9 радова категорије М21. Њихова утицајност се види по квалитету часописа, као и по цитираности.

Утицајност рада кандидата се види и по задужењима и именовањима унутар АТЛАС колаборације, као и по предавањима по позиву које је одржао у претходних неколико година.

Као пет најзначајнијих радова у којима је кандидат имао кључни допринос, као што је објашњено у одељку 2 могу се узети:

- Aaboud, M., ... ,Vranjes N., *et al.* [ATLAS Collaboration], *Measurement of the W-boson mass in pp collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV with the ATLAS detector*, Eur. Phys. J. C78, 110 (2018), [arXiv:1701.07240 \[hep-ex\]](https://arxiv.org/abs/1701.07240), [doi:10.1140/epjc/s10052-017-5475-4](https://doi.org/10.1140/epjc/s10052-017-5475-4)
- Aad, G., ... ,Vranjes N., *et al.* [ATLAS Collaboration], *Measurement of the muon reconstruction performance of the ATLAS detector using 2011 and 2012 LHC proton-proton collision data*, Eur. Phys. J. C74, 3130 (2014), [arXiv:1407.3935 \[hep-ex\]](https://arxiv.org/abs/1407.3935), [doi:10.1140/epjc/s10052-014-3130-x](https://doi.org/10.1140/epjc/s10052-014-3130-x)
- P. Azzi, ... Vranjes, N., *et al.*, *Report from Working Group 1 : Standard Model Physics at the HL-LHC and HE-LHC*,  
Published in: CERN Yellow Rep.Monogr. 7 (2019) 1-220, CERN-LPCC-2019-01,  
[DOI:https://doi.org/10.23731/CYRM-2019-007.1](https://doi.org/10.23731/CYRM-2019-007.1), e-Print: [1902.04070 \[hep-ph\]](https://arxiv.org/abs/1902.04070)
- Aad, G., ... ,Vranjes N., *et al.* [ATLAS Collaboration], *Search for high-mass states with one lepton plus missing transverse momentum in proton-proton collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV*

with the ATLAS detector, Phys. Lett. B701(2011)50-69, [arXiv:1103.1391 \[hep-ex\]](#), [doi: 10.1016/j.physletb.2011.05.043](#)

- Aad, G., ... , Vranjes N., *et al.* [ATLAS Collaboration], *Search for new particles in events with one lepton and missing transverse momentum in pp collisions at  $\sqrt{s} = 8$  TeV with the ATLAS detector*, JHEP09(2014)037, [arXiv:1407.7494 \[hep-ex\]](#), [doi:10.1007/JHEP09\(2014\)037](#)

Сваки од наведених радова су према *Scopus* бази цитирани више десетина пута, не рачунајући аутоцитате. Треба истаћи и јавну ноту које имају велики значај за многе публиковане резултате АТЛАС колаборације: *Luminosity determination in pp collisions at  $\sqrt{s}=13$  TeV using the ATLAS detector at the LHC*, [ATLAS-CONF-2019-021](#). Ноте немају *doi* број и стога ова публикација није одабрана да буде на списку 5 најзначајнијих радова.

### 3.1.2 Цитираност научних радова кандидата

Научни радови у којима је др Ненад Врањеш имао кључни допринос су према *Scopus* бази до сада укупно цитирани 1541 пута (1031 пута не рачунајући аутоцитате: цитате АТЛАС колаборације или чланова АТЛАС колаборације). Подаци су узети из базе на дан 06. 04. 2022, и ради прегледности да су у табели ниже. Приказана вредност *h-index*-а односи се на број цитата без аутоцитата. Вредност *h-index*-а израчунатог узевши у обзир све цитате наведених радова је 16.

База	Број цитата	Број цитата без аутоцитата	<i>h-index</i>
Scopus	1541	1031	15

Треба напоменути да у цитираност и Хиршов индекс нису урачунате две ЦЕРН-ове капиталне монографије [CERN-LPCC-2019-01](#) и [CERN-OPEN-2008-020](#). Ове две монографије су само у радовима везаним за феноменологију и теорију елементарних честица цитирани преко 300 пута (увидом у базу *InspireHep*), тако да је број цитата реално већи.

### 3.1.3 Параметри квалитета радова и часописа

Сви радови су објављени у часописима са високим импакт факторима ( $>4$ ). Колаборацијски радови у којима је др Н. Врањеш дао кључни допринос објављени су у *Physics Letters B* (импакт фактор 4.16), *Physical Review D* (импакт фактор 4.51), *European Physical Journal C* (импакт фактор 4.59) и *Journal of High Energy Physics* (импакт фактор 5.81).

У табели ниже су приказани библиометријски показатељи за све радове наведене приликом претходног и садашњег избора у звање. Монографије и јавне колаборацијске ноте нису рачунате.

	Импакт фактор	М бодови	СНИП
Укупно	98.32	163	30.30
Усредњено по чланку	4.92	8	1.52

Следећа табела приказује библиометријске показатеље за радове објављене након претходног избора у звање. Поглавље у монографији није рачунато.

	Импакт фактор	М бодови	СНИП
Укупно	42.50	72	12.79
Усредњено по чланку	4.72	8	1.42

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

Др Ненад Враћеш је препознат као веома активан члан АТЛАС колаборације. Своје резултате је презентовао велики број пута на састанцима радних група АТЛАС колаборације *SM WG*, *MCP WG*, *Higgs WG* и *Luminosity WG*. Више пута је приказивао статус резултата испред целе радне групе на релевантним састанцима колаборације и бранила резултате целе радне групе у процесу њиховог објављивања (*approval talks*).

Као један од најкомпетентнијих, и истраживач са главним доприносом у резултатима групе која ради на мерењу параметара Стандардног модела од 2017-2019 године именован је за координатора (*convener-a*) групе за физику *W* и *Z* бозона. Именован од стране АТЛАС колаборације за главног едитора капиталне публикације која обухвата резултате мерења  $m_W$ , као и за радове на мерењу и калибрацији миона на експерименту АТЛАС, и потрагу за новим тешким градијентним бозонима. Поред тога, именован је и за председавајућег рецензентског тима за мерење природне ширине топ кварка, а био је члан још два рецензентска тима за мерење масе Хигс бозона и масе топ кварка. У једном периоду био је контакт особа између Стандард модел групе и групе за реконструкцију миона.

### 3.1.5 Награде

Добитник је Годишње награде Института за физику за 2018. годину (<http://www.ipb.ac.rs/o-institutu/godisnja-nagrada-ipb/>).

### 3.1.6 Елементи применљивости научних резултата

Истраживачке активности и резултати кандидата које се односе на калибрацију луминозности представљају неопходни елемент за велики број мерења, пре свега укупних и диференцијалних пресека и параметара *SM*, на експерименту АТЛАС. Ове активности имају и ширу примену на акцелераторску физику и планирање радних параметара целог ЛХЦ-а. Слично, резултати кандидата везани за калибрацију импулса миона имали су кључан значај у мерењу фундаменталних параметера Стандардног модела: масе *W* бозона и масе *H* бозона, што има велики утицај на област елементарне физике честица. Анализа великих количина података и статистичке алатке које је кандидат користио или развијао имају потенцијалну примену и у областима ван физике.

## 3.2 Ангажованост у формирању научних кадрова

Др Ненад Враћеш је ментор или коментор три докторске дисертације:

- Александре Димитријевске (*Measurement of the  $W$  boson mass and the calibration of the muon momentum with the ATLAS detector*), дисертација одбрањена новембра 2017. на Физичком факултету;
- Евелин Бакош, *Radiative  $W$  boson decay studies and the upgrade of the ATLAS muon spectrometer readout system*, заједнички докорат са Универзитетом Радбоуд у Најмехену, коментор проф. Николо де Грут, одбрана се очекује до краја 2022;
- Вељка Максимовића, сада на трећој години докторских студија.

Поред тога кандидат је био ментор 4 мастер рада (формално коментор 3 мастер рада на ПМФ Нови Сад због локалних правила), и коментор једног дипломског рада. Сви



мастер студенти Вељко Максимовић, Евелин Бакош, Оливера Вујиновић и Милена Бајић су наставили своје докторске студије на експерименту АТЛАС.

Био је *local supervisor* студенту докторских студија Вељку Максимовићу приликом израде квалификационог задатка на експерименту АТЛАС.

Од 2019. на докторским студијама Физичког факултета предаје предмет Анализа података у физици високих енергија. Током три узастопне школске године 2018-2021. држао је предавања на мастер студијама ПМФ Нови Сад на смеру Нуклеарна физика из предмета Фундаменталне интеракције. Током 2008-2010. године редовно је држао семинаре студентима Физичког факултета у оквиру предмета Физика елементарних честица и Семинар савремене физике, на истраживачком смеру, из тематике физике честица на ЛХЦ-у и савремених детектора честица.

У оквиру семинара за наставнике средњих школа марта 2015. у Институту за физику кандидат је одржао предавање под називом „Откриће Хигсовог бозона: шта даље?”. Неколико година учествовао је у организацији међународног Masterclass програма за ученике и наставнике средњих школа у Србији под покровитељством IPPOG (*International Particle Physics Outreach Group*). Циљ овог програма је популаризација физике честица и истраживања у ЦЕРН-у.

### 3.3 Нормирање броја коауторских радова, патената и техничких решења

Др Ненад Врањеш је члан АТЛАС колаборације од 2004. године. Сви добијени резултати објављени су или презентирани на конференцијама по правилима АТЛАС колаборације формулисаним у два документа: “*ATLAS Publication Policy*” и “*ATLAS Authorship Policy*”. У свим наведеним радовима у материјалу који је поднет поводом овог избора у звање др Ненад Врањеш је имао кључан научни допринос који је демонстриран у прилозима. Примењени су критеријуми за вредновање доприноса и ауторства на радовима великих колаборација Матичног научног одбора за физику.

### 3.4 Руковођење пројектима, потпројектима и пројектним задацима

Др Ненад Врањеш је руководио билатералним пројектом са Немачком у периоду 2017-2019 под називом “Примена машинског учења у физици високих енергија”. Сарадња се одвијала између Универзитета у Мајнцу и Института за физику. У оквиру последњег националног пројекта 171004 руководио је потпројектом “Прецизна мерења параметара Стандардног модела.”

На експерименту АТЛАС руководио је следећим потпројектима или пројектним задацима:

- Координатор (convener) групе за физику  $W$  и  $Z$  бозона 2017-2019;
- Контакт особа између *Standard Model* радне групе и *Muon Combined Performance*, 2016-2017;
- Координатор (analysis contact)  $mW$  7TeV reanalysis групе од 2021. године.

### 3.5 Активност у научним и научно-стручним друштвима

Кандидат је главни организатор радионице Стандард модел групе колаборације АТЛАС (*ATLAS Standard Model Workshop*) која је одржана у периоду од 17-20. септембра 2019. у

Београду, а присуствовало је око 80 истраживача, експерименталаца и теоријских физичара: <https://indico.cern.ch/event/848766/>. Такође поред организације редовних седмичних састанака радних група којима је координирао, др Ненад Враћеш је организовао и дводневни *W* Mass workshop у ЦЕРН-у 2015. <https://indico.cern.ch/event/458880/> са прегледом резултата групе, статусом и плановима за наступајући период, као *sin<sup>2</sup>theta* and *low-mu* workshop: <https://indico.cern.ch/event/776453/> у лабораторији у ЛАЛ у Орсеју 2019. Повремено је рецензент часописа *Modern Physics Letters A* (M22, ИФ $\approx$ 2.0). Кандидат је изабран за члана Савета Друштва физичара Србије за научна истраживања и високо образовање, одсек за физику језгра, елементарних честица и основних интеракција 2016.

### 3.6 Утицајност научних резултата

Активност кандидата и утицајност резултата, као и подаци о цитираности дати су у одељцима 2, 3.1.1 и 3.1.2 овог документа.

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

Кандидат је значајно допринео сваком раду наведеном у овом документу кроз све кораке у анализи података, као и кроз писање публикације и одбрану резултата у току процеса провере валидности резултата унутар колаборације. Конкретан допринос је елабориран у одељку о научној активности кандидата. Сви радови су објављени у сарадњи са колегама из иностраних научних центара, чланица колаборације АТЛАС. Свим наведеним активностима значајно је повећана видљивост групе Института за физику у оквиру АТЛАС колаборације и отворене су нове истраживачке теме у оквиру истраживања везаних за прецизна мерења параметера Стандардног модела на Великом сударачу хадрона, као и у области акцелераторске физике везано за калибрацију луминозности на хадронским сударачима.

### 3.8 Уводна предавања на конференцијама и друга предавања

Кандидат је по позиву организатора конференција до сада одржао два пленарна предавања у Француској (31st Rencontres de Blois on Particle Physics and Cosmology, 2-7 June 2019, Blois) и на XII Конгресу физичара Србије (Врњачка Бања 2013).

Поред тога до сада је три пута је по позиву АТЛАС-овог одбора за селекцију предавача на конференцијама и школама (*ATLAS Speakers Committee*) представљао своје резултате и резултате АТЛАС колаборације на престижним међународним конференцијама и радионицама из области физике високих енергија: Шведској (The Fourth Annual Large Hadron Collider Physics, LHCP2016, 13-18. jun 2016, Lund, Француској „26th Rencontres de Blois”, 18-23 May 2014, Blois и Русији (LHC on the March”, 16-18 novembar, 2011, Protvino). Такође је једном позиву приказао резултате на конференцији националног значаја у Француској LHC France 2013, Annecy 2013. Марта 2017. одржао је [семинар](#) у Институту за физику под насловом ”Мерење масе *W* бозона АТЛАС детектором”. У новембру 2017. одржао је предавање у оквиру Семинара департмана за физику ПМФ Нови Сад под називом ”Прецизна мерења параметара Стандардног модела на експерименту АТЛАС у ЦЕРН-у”. У фебруару 2020. године, у оквиру циклуса [предавања](#) “Нови резултати експеримента АТЛАС у ЦЕРН-у”, у Задужбини Илије М. Коларца одржао је предавање под насловом “Прецизна мерења као мост ка новим феноменима у физици честица”.

#### 4 Елементи за квантитативну оцену научног доприноса кандидата

##### 4.1 Остварени резултати у периоду након претходног избора у звање

Категорија	М бодова по раду	Број радова	Укупно М бодова
M13	7	1	7
M21	8	9	72
M31	1	3.5	3.5


##### 4.2 Поређење са минималним квантитативним условима за избор у звање научни саветник


Минималан број М бодова	Остварено	
Укупно	70	82.5
$M10 + M20 + M31 + M32 + M33 + M41 + M42 + M90 \geq$	50	82.5
$M11 + M12 + M21 + M22 + M23 \geq$	35	72


## 5 Закључак


На основу материјала представљеног у овом извештају као и на основу личног познавања кандидата, констатујемо да је др Ненад Врањеш постигао врхунске научне резултате у области експерименталне физике високих енергија, која је на самом фронту основних истраживања структуре материје и природе фундаменталних интеракција на Великом сударачу хадрона у ЦЕРН-у. Његов рад на експерименту АТЛАС на истраживању Стандардног модела, карактерише способност да се успешно носи са врло комплексним и суптилним истраживачким изазовима, склоност за тимски и менторски рад, као и доказане лидерске способности. У оквиру колаборације АТЛАС постигао је завидне руководеће позиције на међународном плану. Својом укупном активношћу, значајно је допринео међународној сарадњи и препознатљивости српског тима у оквиру колаборације АТЛАС. На основу приказаних показатеља закључујемо да др Ненад Врањеш испуњава све квантитативне и квалитативне услове прописане Законом о научно-истраживачкој делатности, Правилником о стицању научно-истраживачких звања и критеријумима за вредновање доприноса и ауторства на радовима великих колаборација Матичног научног одбора за физику. Стога предлажемо Научном већу Института за физику у Београду да утврди предлог за избор др Ненада Врањеша у звање научни саветник.

Београд, 20. мај 2022.

  
академик проф. др Борђе Шијачки  
научни саветник у пензији,  
Институт за физику, Београд

  
др Лидија Живковић  
научни саветник,  
Институт за физику, Београд

  
др Магдалена Ђорђевић  
научни саветник,  
Институт за физику, Београд

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