

# НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ ФИЗИЧКОГ ФАКУЛТЕТА УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ

Пошто смо на II седници Наставно-научног већа Физичког факултета Универзитета у Београду одржаној 29. новембра 2017. године одређени за чланове Комисије за припрему извештаја о докторском раду “ЕФЕКТИ ФЛУКТУАЦИЈА ПОЧЕТНИХ СТАЊА У СУДАРИМА РbРb И pРb У ЕКСПЕРИМЕНТУ CMS” из научне области физика високих енергија и нуклеарна физика коју је кандидат ДАМИР ДЕВЕТАК предао Физичком факултету у Београду дана 27. новембра 2017. године подносимо следећи

## РЕФЕРАТ

### 1. Основни подаци о кандидату

#### 1.1 Биографски подаци

Дамир Деветак је рођен 1981. године у Неготину, Република Србија. Дипломирао је 2007. године на Физичком факултету Универзитета у Београду, смер теоријска и експериментална физика, са просечном оценом 9.15. Дипломски рад на тему: “Анализа *scale-free* друштвене мреже користећи неекстензивну статистичку механику” одбранио је на Физичком факултету са оценом 10. Од јесени 2012., студент је докторских студија на Физичком факултету на смеру Физика честица и језгара под менторством др Јована Милошевића. Од фебруара 2013. је запослен у Групи за физику елементарних честица (српска Група CMS) Лабораторије за физику 010, Института за нуклеарне науке “Винча”. Као део групе, ангажован је на пројекту ОИ171019: ‘Физика високих енергија са детектором CMS’ и учествује у експерименту CMS на Великом хадронском сударачу (LHC) у CERN-у. У звање истраживач сарадник изабран је марта 2016. године. Дамир Деветак је, 2013. године учествовао у CERN Summer Student програму. Неколико пута је активно учествовао у организацији Master Class програма за ученике и наставнике средњих школа у Србији који је организован под покровитељством IPPOG (International Particle Physics Outreach Group). У оквиру ‘Flow/correlation’ Групе међународног експеримента CMS остварио је сарадњу са “Heavy-Ion групом” Универзитета Rice у Houston-у као и са водећим теоријским физичарима у области судара тешких јона, J.-Y. Ollitrault-ом (Institut de Physique Theorique, Universite Paris Saclay) и D. Teaney-ем (Department of Physics and Astronomy, Stony Brook University).

#### 1.2 Научна активност

Научна активност Дамира Деветака се одвија у области физике судара тешких језгара на високим енергијама. Од 2013. године учествује у раду колаборације CMS на Великом хадронском сударачу (LHC) у CERN-у. Као члан Flow/correlation групе бави се проблемом флукуација почетних стања у сударима тешких језгара. Флукуације почетних стања које су изузетно важне за опис колективног кретања кварк-глуонске плазме, новог стања нуклеарне материје насталог у судару тешких језгара. У оквиру тих активности, по први пут је показано нарушење факторизације двочестичног хармоника у производ

једночестичних хармоника – до тада неупитне претпоставке у опису кварк-глуонске плазме. Резултати те анализе су објављени у Phys. Rev. C **92** (2015) 034911 (одговарајућа нота CMS PAS HIN-14-012 и analysis note AN-14-037) и представљени на већем броју врхунских међународних конференција из области физике судара тешких језгара. Рад на проблему флукуација почетних стања у сударима тешких језгара, настављен је применом новог метода анализе главних компоненти (Principal Component Analysis - PCA) којим је по први пут експериментално откривено постојање ‘подтока’ који потиче од флукуација почетних стања. Резултати те анализе су објављени у Phys. Rev. C **96** (2017) 064902 (одговарајућа нота CMS PAS HIN-15-010 и analysis note AN-15-092) и представљени на већем броју врхунских међународних конференција из области физике судара тешких језгара. Зарад објашњења порекла флукуација почетних стања, PCA метод је примењен на податке генерисане HYDJET++ моделом. Резултати те анализе су објављени у Chin. Phys. C **41** (2017) 074001 и представљени на међународној конференцији.

Рад Phys. Rev. C **92** (2015) 034911 (M21) до сада има 65 цитата. Одговарајућа нота CMS PAS HIN-14-012 има 1 цитат. Рад Phys. Rev. C **96** (2017) 064902 (M21) је објављен 05.12.2017 и за сада има 1 цитат. Одговарајућа нота CMS PAS HIN-15-010 има 1 цитат. Рад Chin. Phys. C **41** (2017) 074001 (M21a) за сада има 1 цитат. Сви цитати су наведени према Inspire бази и не садрже аутоцитате и цитате колаборације CMS.

Дамир Деветак је имао предавања по позиву на следећим врхунским међународним конференцијама: Quark Matter 2014, Darmstadt, Немачка и EPS HEP 2015, Viena, Аустрија, као и на мањим међународним конференцијама: WPCF 2014, Gyongyos, Мађарска, eQCD 2016, Costa da Saonica, Португалија и Low-x 2017, Bari, Италија.

Дамир Деветак учествује на националном пројекту ОИ171019 МПНТР и учествовао је у међународном Swiss National Foundation пројекту SCOPES 2014-2017.

## **2. Опис предатог рада**

### **2.1 Основни подаци о докторској дисертацији**

Дисертација је урађена под руководством др Јована Милошевића, Вишег научног сарадника ИНН Винча. Ментор испуњава услове Физичког факултета за руковођење израдом докторске дисертације јер је у научном звању и аутор је великог броја радова управо из области физике судара тешких језгара а који су објављени у водећим међународним часописима. За руководиоца ове докторске дисертације именован је од стране ННВ Физичког факултета на седници одржаној 20.01.2016. године.

Докторска дисертација “ЕФЕКТИ ФЛУКТУАЦИЈА ПОЧЕТНИХ СТАЊА У СУДАРИМА РbРb И pРb У ЕКСПЕРИМЕНТУ CMS“ написана је на српском језику. Има 126 страна и садржи Увод, 9 Поглавља, Закључак и 12 Додатака. Такође, има 70 слика, 8 табела и 95 референци. Након кратког Увода, у Поглављу 2 дат је кратак преглед физике честица Стандардног модела и основних карактеристика кварк-глуонске плазме. Поглавље 3 је увод у физику судара тешких језгара на високим енергијама. Поглавље 4 садржи теоријски опис модела релативистичке хидродинамике који је коришћен за поређење са резултатима дате тезе. Поглавље 6 садржи опис детектора CMS и начин прикупљања података за коначну физичку анализу. Поглавља 7 и 8 дају детаљан преглед методологије рада са дефиницијама мерених опсервабли. У Поглављу 9 су детаљно представљени и дискутовани резултати. У Поглављу 10, а у циљу поређења са експерименталним резултатима, су изложени резултати PCA анализе добијени са подацима генерисаним HYDJET++ моделом.

## 2.2 Предмет и циљ рада

Докторска теза припада области физика високих енергија и нуклеарна физика, а ужа подобласт је физика судара тешких језгара. Једно од основних питања у овој области је шта се догађа са материјом на екстремним густинама и температурама какве су постојале у првим микросекундама после Великог праска. Дискретна квантна хромодинамика (или QCD на решетци) која третира интеракцију између партона непертурбативно, предвиђа да се при таквим температурама дешава фазни прелаз хадронске материје у ново стање које се назива кварк-глуонска плазма (QGP). Кварк-глуонска плазма је јако интерагујућа средина (радијуса  $\sim 10$  fm) која показује одлике скоро идеалног флуида. Тиме, релавистичка хидродинамика представља успешан теоријски оквир за третирање еволуције кварк-глуонске плазме у режиму тзв. меких процеса ( $p_T < 3$  GeV/c). Експериментално мерени колективни ефекти на енергијама којима располажу SPS, RHIC и LHC акцелератори указују на стварање јако интерагујућег флуида кваркова и глуона ("QCD флуид"). Перфектност флуида зависи од односа вискозности и ентропије ( $\eta/s$ ). Однос  $\eta/s$  рачунат за јако QCD спрезање даје вредност од  $\hbar/4\pi k_B$  која одговара универзалној доњој граници идеалног флуида. Мерења  $\eta/s$  на експерименту RHIC показују да је та граница готово достигнута. Експериментални подаци на детектору CMS у PbPb и pPb сударима омогућавају знатно проширење анализе колективних ефеката не само у смислу прецизније провере хидродинамичких модела и мерења односа  $\eta/s$  већ и флукуација почетних стања судара која снажно утичу на колективно понашање материје. Управо, истраживање утицаја флукуација почетних стања судара на колективно понашање материје је предмет анализа представљених у овој докторској дисертацији.

У тези су применом дводимензионалних ( $\Delta\phi$ - $\Delta\eta$ ) двочестичних расподела мерени Fourier хармоници анизотропног тока у PbPb и pPb сударима. У симетричним сударима се због поједностављења геометрије и симетрије сматрало да сви Fourier хармоници реда вишег од 2 морају да буду једнаки нули. То је долазило отуд што су сударајућа језгра у трансверзалној равни нормалној на осу снопа идеализована круговима и што је расподела нуклеона унутар њих хомогена. Ипак, Fermi-јево кретање нуклеона доводи до асиметрија које неминовно доводе до ненултих вредности Fourier хармоника реда вишег од 2. У тези је систематски испитивана, до тада непозната, зависност угла равни догађаја од трансверзалног импулса  $p_T$  и псеудо-рапидитета  $\eta$  која настаје услед флукуација густине енергије у почетном стању чак и када је једини извор корелација колективно кретање. До тада се сматрало да је раван догађаја глобална величина независна од  $p_T$  и  $\eta$ . Прецизност мерења детектора CMS је толика да може да 'види' громуљасту партонску структуру, која у претходним експериментима на нижим енергијама није била видљива. Та нехомогеност доводи до тога да раван догађаја зависи како од  $p_T$  тако и од  $\eta$ . Овај ефекат, предвиђен од стране теоретичара U. Heinz-а и J.-Y. Ollitrault-а доводи до нарушења релације факторизације и систематски је истраживан у овој дисертацији. Значај ефекта није само у томе, већ и у могућности да се поређењем са хидродинамичким моделима који укључују  $p_T$  и  $\eta$  зависну раван догађаја поставе ограничења на могућа почетна стања AA и pA судара (Glauber или Kharzeev-Levin-Nardi (KLN)). Показано је да Glauber почетни услови добро описују централне сударе, док су семицентрални и периферни судари добро описани KLN почетним условима. Резултати ове анализе су објављени у Phys. Rev. C **92** (2015) 034911 и имаће велики утицај на теоријске радове у будућности који се баве моделирањем хидродинамичке еволуције створеног система. Дамир Деветак је представио резултате овог рада на најважнијој међународној конференцији физике судара тешких језгара, Quark Matter 2014 у Дармштату, Немачка, Nucl. Phys. A **931** (2014) 954.

Ollitrault и Heinz су предвидели и постојање подтока. Нехомогена густина енергије доводи до мале, али ипак мерљиве декорелације равни догађаја екстрахованих у области малих и у области великих  $p_T$  (који припадају хидродинамичком домену). У тези је експериментално откривен sub-leading flow (подток) у PbPb и pPb сударима на 2.76 и 5.02 TeV. По први пут су PCA методом издвојени ортогонални модови дво-честичних Fourier хармоника који представљају нове опсервабле директно повезане са ефектом нарушења факторизације. Прва два мода (тзв. "водећи ток" и "подток") дво-честичних корелација рачунати су за елиптичке и триангуларне анизотропије у PbPb и pPb сударима у функцији  $p_T$  за различите централности и мултиплицитете. Резултати показују да је водећи ток практично еквивалентан анизотропном Fourier хармонику добијеним стандардном методом дво-честичних корелација. Подток представља нову експерименталну опсерваблу која одређује највећи део мереног интензитета ефекта нарушења факторизације. Веза између ових резултата и резултата нарушења факторизације је дискутована. Резултати анализе објављени су Phys. Rev. C **96** (2017) 064902.

У тези су такође анализирани водећи ток и подток екстраховани истом техником коришћеном у раду Phys. Rev. C **96** (2017) 064902, али примењеном на PbPb сударе на 2.76 TeV симулиране HYDJET++ моделом. HYDJET++ описује хидродинамичку еволуцију система и мултипартонску фрагментацију унутар формираног хидродинамичког система. На први поглед изненађујуће, HYDJET++ модел предвиђа постојање подтока који је по облику и интензитету сличан оном мереном у експерименталним подацима. Тако би се интерпретација појаве подтока могла довести у везу са непотпуно 'растопљеним' jet-овима у области  $p_T$  од око 3 GeV/c где доминантност хидродинамике почиње да се губи у односу на утицај jet-ова. Резултати ове анализе су објављени у неколаборацијском раду Chin. Phys. C **41** (2017) 074001.

## 2.3 Публикације

У овој докторској тези су представљени резултати 3 рада [A1, A2, A3] објављена у часописима са импакт факторима већим од 1. Од тога 2 рада [A1, A2] категорије M21 и 1 рад [A3] категорије M21a. Рад [A1] има 65+1 цитат. Рад [A2] за сада има 1+1 цитат. Рад [A3] има 1 цитат. Наведени цитати не садрже аутоцитате и цитате колаборације CMS. Одговарајући јавно доступни *Physics Analysis Summary* (PAS) и њима одговарајуће интерне ноте *Analysis Note* (AN) су наведени као [A4, A5]. Кандидат Дамир Деветак за своју докторску дисертацију пријављује 3 рада [A1, A2, A3]. У раду [A2] он је кључни аутор, док је у радовима [A1, A3] дао изузетно значајан допринос. Као најзначајнији, на сајт Физичког факултета се стављају радови [A1] и [A2].

## 2.4 Преглед научних резултата изложених у дисертацији

Најважнији делови докторске дисертације представљени су у Поглављима 7-10.

### 2.4.1 Поглавље 7

Представљен је стандардни метод дво-честичних корелација и рачунања Pearson-овог  $r_n$  коефицијента у  $p_T$  димензији, али и нетривијална модификација у  $\eta$  димензији како за случај симетричног (j-на 7.37) тако и за случај асиметричног (j-на 7.40) судара. Модификација је била потребна да би се избегли ефекти кратко-дометних корелација [A1].

## 2.4.2 Поглавље 8

Представљен је новоуведени PCA метод. Проблем елиминације ефеката кратко-дометних корелација се појављује и у овом приступу и решен је увођењем  $\xi$  j-ном 8.13 [A2]. Такође, дата је процена вредности систематске грешке која потиче из више извора.

## 2.4.3 Поглавље 9

Детаљно су изложени резултати нарушења релације факторизације. Како се она квантификује Pearson-овим  $r_n$  коефицијентом, исти је представљен мереним расподелама у функцији разлике  $p_T$  и разлике  $\eta$  вредности парова честица за различите централности (PbPb) и мултиплицитете (pPb) судара као и за различите  $p_T$  интервале који припадају хидродинамичком домену [A1]. Одступање вредности  $r_n$  коефицијента од 1 означава да је релација факторизације нарушена. Што је веће одступање тим је веће и нарушење. Ефекат је мали и расте са порастом разлике  $p_T$  и разлике  $\eta$  вредности парова честица, као и са порастом  $p_T$  вредности придружене честице. Ефекат има најнижу вредност за семицентралне сударе, тј. тамо где глобална ‘елиптолика’ геометрија доминира. Интензитет ефекта драматично расте приближавајући се ултра-централним сударима, тј. тамо где је интензитет флукуација почетних стања најизраженији. Такође, интензитет ефекта расте и идући ка периферним сударима, где се због малог мултиплицитета повећава релативни утицај флукуација почетних стања. При сличним мултиплицитетима, ефекат има сличан интензитет и у PbPb и у pPb сударима. Такође, анализа показује да се за разлику од елиптичког тока, факторизација боље одржава у случају триангуларног тока.

У дисертацији је показано да нарушење релације факторизације постоји и у  $\eta$  димензији [A1]. Као и у случају  $p_T$  димензије и у  $\eta$  димензији интензитет ефекта расте са порастом разлике по  $\eta$  између честица у пару. Најнижи интензитет има у семицентралним сударима и расте идући посебно ка периферним сударима. Ово указује на могућност да је створена кварк-глуонска плазма уврнута дуж осе снопа, или да густина енергије опада идући од нултог ка великим вредностима псевдорapidитета што доводи до релативног повећања интензитета флукуација почетних стања.

У овом Поглављу су детаљно изложени и резултати везани за експериментално откриће подтокова [A2]. Добијени резултати су представљени мереним расподелама водећег тока (који је у суштини једнак стандардно мереном току) и новооткривеног подтока у функцији трансверзалног импулса и за различите централности (PbPb) и мултиплицитете (pPb) судара. По први пут је експериментално мерен и други мод флукуација мултиплицитета у PbPb и pPb сударима. Такође, помоћу мода водећег тока и подтока, реконструисани су и Pearson-ови  $r_n$  коефицијенти и они су у релативно доброј сагласности са стандардно мереним Pearson-овим  $r_n$  коефицијентима у [A1].

## 2.4.4 Поглавље 10

У неколаборацијском раду [A3] су анализирани водећи и подтокови екстраховани истом техником коришћеном у раду [A2], али примењеном на PbPb сударе на 2.76 TeV симулиране HYDJET++ моделом. HYDJET++ модел описује хидродинамичку еволуцију система и мултипартонску фрагментацију унутар формираног хидродинамичког система. Постојање подтокова које предвиђа HYDJET++ модел објашњено је присутношћу непотпуно ‘растопљених’ jet-ова у области трансверзалног импулса од око 3 GeV/c где доминантност хидродинамике почиње да се губи у односу на утицај jet-ова. Ова анализа

открива да појава подтокова у PbPb сударима настаје од субнуклеонских флукуација почетних стања. Та су стања сада у жижи интересовања теоријских физичара а резултати анализе публиковани у раду [A2] су први такви експериментални резултати и стога су привукли изузетну пажњу на Quark Matter 2015, Кобе, Јапан. Резултати су представљени и на EPS-HEP 2017 конференцији у Венецији и на LHCP 2017 конференцији у Шангају као и на неколико мањих конференција. Рад [A3] је представљен и на ICNFP 2017 конференцији.

### 3. Списак публикација кандидата

#### А Радови у међународним часописима

[A1] V. Khachatryan, ..., D. Devetak, et al., CMS Collaboration, *Evidence for transverse momentum and pseudorapidity dependent event plane fluctuations in PbPb and pPb collisions*, Phys. Rev. C **92** (2015) 034911, DOI: [10.1103/PhysRevC.92.034911](https://doi.org/10.1103/PhysRevC.92.034911), arXiv:1503.01692 [nucl-ex] (2015), (internal note HIN-14-012, analysis note AN-14-037) IF=3.881

[A2] A. Sirunyan, ..., D. Devetak, et al., CMS Collaboration, *Principal-component analysis of two-particle azimuthal correlations in PbPb and pPb collisions at CMS*, Phys. Rev. C **96** (2017) 064902, DOI: [10.1103/PhysRevC.96.064902](https://doi.org/10.1103/PhysRevC.96.064902), arXiv:1708.07113 [nucl-ex] (2017), (internal note HIN-15-010, analysis note AN-15-092) IF=3.820

[A3] P. Cirkovic, D. Devetak, M. Dordevic, J. Milosevic and M. Stojanovic, “*Sub-leading flow modes in PbPb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$  TeV from HYDJET++ model*”, Chin. Phys. C **41** (2017) 074001, arXiv: 1611.06602, DOI: [10.1088/1674-1137/41/7/074001](https://doi.org/10.1088/1674-1137/41/7/074001) IF=5.084

#### Јавно доступне PAS и интерне AN публикације

[A4] D. Devetak, Jovan Milosevic and Wei Li, *Factorization breakdown of two-particle correlations and flow phenomena in pPb and PbPb collisions at CMS*, CMS PAS-HIN-14-012, CERN-PH-EP-2015-039 (internal note HIN-14-012, analysis note AN-14-037)

[A5] D. Devetak, Jovan Milosevic and Wei Li, *Principal Component Analysis of two-particle azimuthal correlations in PbPb and pPb collisions at CMS*, CMS PAS-HIN-15-010, CERN-PH-EP-2017-133 (internal note HIN-15-010, analysis note AN-15-092)

#### В Радови у зборницима међународних конференција

1. D. Devetak, CMS Collaboration, *Probing initial-state fluctuations with  $p_T$ -dependent event-plane angle in pPb and PbPb collisions*, Nucl. Phys. A **931** (2014) 954, DOI: [10.1016/j.nuclphysa.2014.10.017](https://doi.org/10.1016/j.nuclphysa.2014.10.017), CMS-CR-2014/137

Quark Matter 2014, Darmstadt, Germany, 19-24 May 2014

2. D. Devetak, CMS Collaboration, *Flow and correlations results from CMS*, POS EPS-HEP2015 (2015) 194, CMS-CR-2015/209

EPS-HEP 2015, Viena, Austria, 22-29 Jul. 2015

3. D. Devetak, CMS Collaboration, *Leading and Sub-leading Flows at the LHC from the CMS*, Acta Phys. Polon. B Proc. Supp. **9** (2016) 377, DOI: [10.5506/APhysPolBSupp.9.377](https://doi.org/10.5506/APhysPolBSupp.9.377), CMS-CR-2016/062

Excited QCD 2016, Costa da Caparica, Portugal, 6-11 March 2016

## Г Радови у зборницима домаћих конференција

1. J. Milošević i D. Devetak, *Елиптички ток наелектрисаних и страних хадрона у PbPb сударима на 158 A GeV*

XII Конгрес физичара Србије, 28 април – 02 мај, 2013, Врњачка Бања, Србија

## 4. Цитати

[A1] V. Khachatryan, ..., J. Milošević, et al., CMS Collaboration, *Evidence for transverse momentum and pseudorapidity dependent event plane fluctuations in PbPb and pPb collisions*, Phys. Rev. C **92** (2015) 034911, arXiv:1503.01692 [nucl-ex], DOI: [10.1103/PhysRevC.92.034911](https://doi.org/10.1103/PhysRevC.92.034911)

Цитиран у:

1. L. Yan, arXiv:1712.04580
2. P. Bozek and W. Broniowski, arXiv:1711.03325
3. C. Chattopadhyay, R. S. Bhalerao, J.-Y. Ollitrault, Subrata Pal, arXiv:1710.03050
4. ATLAS Collaboration, Nucl.Phys. A967 (2017) 908
5. A. Sakai, K. Murase and T. Hirano, Nucl.Phys. A967 (2017) 445
6. PHENIX Collaboration, Nucl.Phys. A967 (2017) 912
7. ATLAS Collaboration, Nucl.Phys. A967 (2017) 51
8. C. Shen and B. Schenke, arXiv:1710.00881
9. ATLAS Collaboration, arXiv: 1709.012301
10. M. L. Mangano and B. Nachman, arXiv:1708.08369
11. B. Block, C. D. Jakel, M. Strickman and U. A. Wiedemann, arXiv:1708.08241
12. W. Ke, J. S. Moreland, J. E. Bernhard and S. A. Bass, Nucl.Part.Phys.Proc. 289-290 (2017) 483
13. ALICE Collaboration, Nucl.Part.Phys.Proc. 289-290 (2017) 346
14. ALICE Collaboration, JHEP 1709 (2017) 032
15. P. Bozek, W. Broniowski and S. Chatterjee, arXiv:1707.04420
16. Y. O. Gunaydin, M. Sahin and S. Sultansoy, arXiv:1707.00056
17. Zh. Chen, arXiv: 1709.03567
18. ALICE Collaboration, Phys. Lett. B 773 (2017) 68
19. S. Chatterjee and P. Bozek, Phys. Rev. C 96 (2017) 014906, arXiv:1704.02777
20. B. Schenke and S. Schlichting, Nucl. Phys. A 967 (2017) 285, arXiv: 1704.03018
21. W. Zhao, H.-j. Xu and H. Song, Eur. Phys. J. C 77 (2017) 645, arXiv:1703.10792
22. K. Okamoto and Ch. Nonaka, Eur. Phys. J. C 77 (2017) 383, arXiv:1703.01473
23. H. Song, Y. Zhou and K. Gajdosova, Nucl. Sci. Tech. 28 (2017) 99, arXiv:1703.00670
24. R. He, J. Qian and L. Huo, arXiv:1702.03137
25. ATLAS Collaboration, ATLAS-CONF-2017-003
26. G. Giacalone, J. Noronha-Hostler and J.-Y. Ollitrault, Phys. Rev. C 95 (2017) 054910, arXiv:1702.01730
27. A. Mazeliauskas, arXiv:1702.01202
28. J. Jia, M. Zhou and A. Trzupek, Phys. Rev. C 96 (2017) 034906, arXiv:1701.03830
29. J. Jia, P. Huo, G. Ma and M. Nie, J. Phys. G 44 (2017) 075106, arXiv:1701.02183
30. Ph. Di Francesco, M. Guilbaud, M. Luzum and J.-Y. Ollitrault, Phys. Rev. C 95 (2017) 044911, arXiv:1612.05634
31. W. Broniowski and P. Bozek, EPJ Web Conf. 141 (2017) 05003, arXiv:1610.09673
32. W. Ke, S. Moreland, J. Bernhard and S. Bass, Phys. Rev. C 96 (2017) 044912, arXiv:1610.08490
33. L. Ma, G. L. Ma and Y. G. Ma, Phys. Rev. C **94** (2016) 044915
34. S. Mohapatra, Nucl. Phys. A **956** (2016) 59
35. L.-G. Pang, H. Petersen, G.-Y. Qin, V. Roy and X.-N. Wang, Nucl. Phys. A **956** (2016) 272

36. Q. Wang, Nucl. Phys. A 956 (2016) 753
37. ATLAS Collaboration, Phys. Rev. C 96 (2017) 024908, arXiv:1609.06213
38. S. McDonald, Ch. Shen, F. Fillion-Gourdeau, S. Jeon and Ch. Gale, Phys. Rev. C 95 (2017) 064913, arXiv:1609.02958
39. Ch. Shen, J.-F. Paquet, G. S. Denicol, S. Jeon and Ch. Gale, Phys. Rev. C 95 (2017) 014906
40. P. Bozek, PoS LHCP2016 (2016) 116
41. J. Adam *et al.*, ALICE Collaboration, Phys. Lett. B 763 (2016) 238
42. F. G. Gardim, F. Grassi, M. Luzum and J. Noronha-Hostler, Phys. Rev. C 95 (2017) 034901
43. Y. Zhou, Adv. High Energy Phys. 2016 (2016) 9365637
44. K. Okamoto, Y. Akamatsu and Ch. Nonaka, Eur. Phys. J. C 76 (2016) 579
45. J. Qian and U. Heinz, Phys. Rev. C 94 (2016) 024910
46. ATLAS Collaboration, ATLAS-CONF-2016-026
47. K. Welsh, J. Singer and U. Heinz, Rev. C 94 (2016) 024919
48. A. Jaiswal and V. Roy, Adv. High Energy Phys. 2016 (2016) 9623034
49. G. Giacalone, L. Yan, J. Noronha-Hostler and J.-Y. Ollitrault, Phys. Rev. C 94 (2016) 014906
50. B. Schenke and Schlichting, Rev. C 94 (2016) 044907
51. J. Adam *et al.*, ALICE Collaboration, Phys. Lett. B 762 (2016) 376
52. C. Loizides, Nucl. Phys. A 956 (2016) 200
53. G.-L. Ma and Z.-W. Lin, Phys. Rev. C 93 (2016) 054911
54. P. Bozek, Phys. Rev. C 94 (2016) 044908
55. K. Murase and T. Hirano, Nucl. Phys. A 956 (2016) 276
56. W. Broniowski and P. Bozek, Phys. Rev. C 93 (2016) 064910
57. L. McLerran and V. Skokov, Nucl. Phys. A 947 (2016) 142
58. J. F. Grosse-Oetringhaus, ALICE Collaboration, PoS EPS-HEP2015(2015) 197
59. K. Dusling, W. Li, B. Schenke, Int. J. Mod. Phys. E 25 (2016) 1630002
60. A. Mazeliauskas and D. Teaney, Phys. Rev. C 93 (2016) 024913
61. K. Xiao, L. Yi, F. Liu and F. Wang, Phys. Rev. C 94 (2016) 024905
62. P. Bozek, W. Broniowski and A. Olszewski, Phys. Rev. C 92 (2015) 054913
63. J. Jia, S. Radhakrishnan, M. Zhou, Phys. Rev. C 93 (2016) 044905
64. P. Bozek and W. Broniowski, Phys. Lett B 752 (2016) 206
65. P. Bozek, W. Broniowski, A. Olszewski, Phys. Rev. C 91 (2015) 054912

[A2] A. Sirunyan, ..., D. Devetak, et al., CMS Collaboration, *Principal-component analysis of two-particle azimuthal correlations in PbPb and pPb collisions at CMS*, Phys. Rev. C 96 (2017) 064902, arXiv:1708.07113 [nucl-ex] (2017), DOI: [10.1103/PhysRevC.96.064902](https://doi.org/10.1103/PhysRevC.96.064902)

Цитиран у:

1. P. Bozek, arXiv:1711.07773

[A3] P. Cirkovic, D. Devetak, M. Dordevic, J. Milosevic and M. Stojanovic, “*Sub-leading flow modes in PbPb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$  TeV from HYDJET++ model*”, Chin. Phys. C 41 (2017) 074001, arXiv: 1611.06602, DOI: [10.1088/1674-1137/41/7/074001](https://doi.org/10.1088/1674-1137/41/7/074001)

Цитиран у:

1. P. Bozek, arXiv:1711.07773

[A4] D. Devetak, Jovan Milosevic and Wei Li, *Factorization breakdown of two-particle correlations and flow phenomena in pPb and PbPb collisions at CMS*, CMS PAS-HIN-14-012, CERN-PH-EP-2015-039

Цитиран у:

1. I. Kozlov, M. Luzum, G. S. Denicol, S. Jeon and Ch. Gale, Nucl. Phys. A 931 (2014) 1045, arXiv:1412.3147



[A5] D. Devetak, Jovan Milosevic and Wei Li, *Principal Component Analysis of two-particle azimuthal correlations in PbPb and pPb collisions at CMS*, CMS PAS-HIN-15-010, CERN-PH-EP-2017-133

Цитиран у:

1. F. G. Gardim, F. Grassi, P. Ishida, M. Luzum, P. S. Megalhaes and J. Nornha-Hostler, arXiv:1712.03912
2. S. Mohapatra, Nucl. Phys. A 956 (2016) 59

## ЗАКЉУЧАК

На основу изложеног Комисија закључује да докторски рад „ЕФЕКТИ ФЛУКТУАЦИЈА ПОЧЕТНИХ СТАЊА У СУДАРИМА Р<sub>β</sub>Р<sub>β</sub> И рР<sub>β</sub> У ЕКСПЕРИМЕНТУ СМС“, који је предао кандидат Дамир Деветак, даје значајан допринос физици судара тешких језгара на високим енергијама. Делови тезе кандидата су публиковани у врхунским међународним часописима, већ имају велики број цитата и представљени су на врхунским међународним конференцијама из области. Пошто су сви остали прописани услови за одбрану тезе задовољени,

### ПРЕДЛАЖЕМО

Наставно-научном већу Физичког факултета Универзитета у Београду да одобри њену одбрану.

Београд, 20.12.2017.

Комисија:

.....  
др Јован Милошевић, виши научни сарадник  
ИНН “Винча“

.....  
Проф. др Петар Ацић, редовни професор  
Физички факултет, Универзитет у Београду

.....  
Проф. др Маја Бурић, редовни професор  
Физички факултет, Универзитет у Београду

.....  
др Љиљана Симић, научни саветник у  
пензији, Институт за физику