

Научном већу Института за физику

Извештај комисије за избор др Ларса Бемстера у звање научни сарадник

На седници Научног већа Института за физику одржаној 20. јула 2020. године именовани смо за чланове комисије за избор др Ларса Бемстера (Lars Beemster) у звање научни сарадник.

Прегледали смо материјал који нам је достављен, који укључује писмо препоруке од стране проф. др Боба ван Ајка, ментора кандидата са његових основних, мастер и докторских студија. Научном већу Института за физику подносимо овај извештај.

Биографски подаци

Др Ларс Бемстер рођен је у Варланду, Холандија, 11. јула 1983. године, где је завршио основну и средњу школу. Основне студије уписао је 2005. године на Универзитету Твенте у Холандији. По завршетку основних студија, 2008. године (просек оцена 8.55), уписује мастер студије на смеру Физика честица и астрофизика на холандском националном институту за физику високих енергија, NIKHEF, у Амстердаму. Исте године био је изабран да учествује у ЦЕРН-овој летњој школи, где је провео три месеца. Током летњег програма учествовао је на пројекту HiSPARC (High School Project on Astrophysics Research with Cosmics - систем кластера детектора космичког зрачења) што је резултирало његовим дипломским радом. Мастер пројекат урадио је под руководством проф. др Боба ван Ајка на пројекту ANTARES (Astronomy with a Neutrino Telescope and Abyss environmental RESearch), са темом "Multi-messenger correlation studies: the ANTARES neutrino telescope and the Pierre Auger Ultra High Energy Cosmic Ray Observatory". Резултати истраживања објављени су у часопису *Astrophysical Journal*, а теза је одбрањена 2010. године са почастима. Исте године започео је докторске студије на Универзитету Твенте, такође под менторством проф. др Боба ван Ајка радећи истраживања на експерименту ATLAS на Великом сударачу хадрона (Large Hadron Collider - LHC) у ЦЕРН-у. Радио је на пројекту унапређења редукције шума при реконструкцији цетова који се користе у систему тригера. Такође био је експерт за контролу квалитета прикупљених података и проверу и отклањање грешака у раду тригера. Испитивао је и утицај производње пара вектор-

ских бозона у процесу двоструке интеракције партона на студије Хигсовог бозона и структуре протона. Докторску тезу “Same sign W pair production in double parton interactions” одбранио је у јануару 2017. године. Током студија учествовао је у промоцији науке на институту NIKHEF и Универзитету Твенте. По завршетку докторских студија радио је у софтверској компанији HVR као софтверски инжењер и касније у финансијској корпорацији Solid FX као аналитичар, где је примењивао знање стечено током студија на испитивање тржишта девиза. У том периоду остао је у контакту са колегама са Универзитета у Твентеу допринесући развоју програма за обраду података ROOT. Члан колаборације ANTARES био је од 2008. до 2010. године, а члан колаборације ATLAS од 2010. до 2017. године. Изабран је у звање истраживач сарадник 5. новембра 2019. године. У јулу 2020. године одобрено му је запослење на Институту за Физику у Београду у Лабораторији за физику високих енергија.

Преглед научне активности

На дипломском пројекту HiSPARC, на институту NIKHEF др Ларс Бемстер развио је симулацију детектора космичког зрачења који се користио у експериментима. Током мастер студија, кандидат је радио истраживање у оквиру међународне колаборације ANTARES, у оквиру Групе за честичну астрофизику на институту NIKHEF. Колаборација ANTARES се бави детекцијом неутрина помоћу подводног неутрино телескопа, лоцираног у Средоземном мору, јужно од Марсеја, у Француској. Овај експеримент је базиран на низовима оптичких модула који региструју Черенковљево зрачење које потиче од ретких интеракција мионских неутрина са морском водом. На основу карактеристичног облика детектованог сигнала могуће је реконструисати путању мионских неутрина и локацију могућег астрофизичког извора ове честице. Пошто су у питању изузетно ретке реакције и Черенковљево зрачење је расејано у води, неопходне су детаљне статистичке Монте Карло симулације и такозвана “blinded” анализа да би се одредио статистички значај детектованих сигнала. Кандидат је развио комплексан софтверски пакет за Монте Карло симулације за ову анализу: MMP software package. Ова анализа је примењена на 2190 неутрина које је регистровао телескоп неутрина ANTARES и 69 високоенергијских космичких зрака које је детектовала Pierre Auger радио опсерваторија. Скретање космичких зрака у интергалактичком простору у оквиру GZK (Greisen–Zatsepin–Kuzmin) лимита такође је узето у обзир у овој анализи. Горњи лимит за неутрино флукс од $5 \times 10^{-8} \text{ GeV cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ је изведен под претпоставком униформног флукса неутрина из свих праваца и E^{-2}

спектра енергије. За анализу статистичког значаја корелације између посматраних праваца неутрина и космичких зрака, Монте Карло симулација са 10 милиона псеудоексперимената је генерисана. На овај начин се може утврдити колико се неутрина очекује у случајној корелацији са космичким зрацима и могу се одредити вредности које би представљале статистички значајан резултат. Ово је урађено за различите вредности параметара магнетног скретања и одређена је оптимална величина бина по угаоној потрази да буде $4^{\circ}.9$, а у оквиру бина те величине се претпоставља да су неутрини и космички зраци (протони) у корелацији и да долазе из истог космичког извора. Резултати овог рада описани су у публикацији:

- S. Adrian–Martinez, ..., **L. J. Beemster**, et al., “Search for a correlation between ANTARES neutrinos and Pierre Auger Observatory UHECRs arrival directions”, *ASTROPHYS J*, 2013, 774, 19.
M21; DOI: 10.1088/0004-637x/774/1/19; IF2013=6.28.

и одговарајућим интерним нотама колаборације:

- J Petrovic, **L.J. Beemster**, “MMP – a software package for multi-messenger data analysis”, ANTARES internal note 2011.
- J. Petrovic, **L.J. Beemster**, Correlation of arrival directions of ANTARES 5 line neutrino candidate events and UHECRs observed by the Pierre Auger Observatory, ANTARES internal note ANTARES-PHYS-2010-010 (2010)

За своје докторске студије на експерименту ATLAS, кандидат је радио на унапређењу тригера на вишем, софтверском нивоу (HLT - High Level Trigger). Развио је нови алгоритам који је побољшао редукацију шума у реконструкцији цетова који се користе за тригере. Овај алгоритам имплементиран је у мени тригера и користио се у другом периоду прикупљања података на LHC-у (2015-2018).

У свом докторском раду кандидат је проучавао производњу пара векторских бозона, прецизније пара W -бозона, истог наелектрисања у процесу двоструке интеракције партона (DPI – double parton interaction) у оквиру групе за Електрослабе интеракције на експерименту ATLAS. У овом процесу, за разлику од уобичајене интеракције која укључује по један партон из сваког протона, два партона из сваког протона учествују у интеракцији. Проучавање овог процеса додатно доприноси разумевању структуре протона. Само опажање и мерење овог процеса допринело би и побољшању Монте Карло симулација протон-протон интеракција. Ови процеси такође представљају фон у проучавању особина Хигсовог бозона као и потрази за

новим честицама. У овој анализи обрађени су подаци прикупљени 2012. године на енергији центра масе 8 TeV и интегралне луминозности 20 fb^{-1} .

Прво је испитивао колико ови процеси доприносе као фон у потрази за Хигсовим бозоном који се распада на два W бозона. Кандидат је помоћу Монте Карло симулације генерисао познате електрослабе процесе и користио експерименталне методе да из реалних података опише процесе које је тешко прецизно симулирати, као на пример $W + \text{jets}$ догађаје. Потом је развио анализу за испитивање производње пара W бозона из DPI-а у финалном стању са два лептона истог наелектрисања. У овој анализи за процену фона користио је методе развијене у оквиру групе за проучавање Хигсовог бозона. У финалном стању где два бозона истог наелектрисања дају два миона истог наелектрисања фон може бити подељен у три категорије на основу броја миона који потичу из примарне интеракције (директни миони). Прва група догађаја има један директни мион и један из другог извора за који је типично да није изолован од других честица. Највише догађаја у овој групи потиче из процеса $W + \text{jets}$, где неизолован мион потиче из распада тежих кваркова, b или c . Овај фон одредио је из стварних података. Како се за догађаје сигнала тражи да оба миона задовољавају одређен услов изолованости, у процени овог фона овај услов изолације је слабији. У конторлним скуповима података, кандидат је проверио исправност претпоставке да се расподеле догађаја са јаче и слабије изолованим другим мионом поклапају у оквиру грешке. Друга група су догађаји са три директна миона, од којих један није оставио запис у детектору. Ова група догађаја се готово искључиво састоји од процеса $W + \gamma^*/Z$. Овај процес је симулиран помоћу Монте Карла. Отприлике 95% свих фонских догађаја налази се у ове две групе. Трећа група са четири директна миона из процеса ZZ узима се у обзир, али нема великог ефекта на резултате. Кроз студију догађаја кандидат је показао да се при датој осетљивости експеримента и сакупљеној количини података не може потврдити постојање других процеса у скупу података осим догађаја из три фонске групе. Коначни резултат указује на то да се DPI догађаји не могу лако разликовати од процеса фона. У области сигнала, односно међу догађајима који су слични сигналу, укупно је идентификовано 750 догађаја, а горња граница са 95% C.L. је 60 догађаја од DPI процеса. То значи да је допринос фонских процеса доминантан и након селекције интресантних догађаја.

Др Бемстер је испитивао хипотезу постојања DPI-ја користећи проширење уобичајеног теоријског приказа DPI-ја где су кваркови у истом протону статистички независни један од другог (изузев аромата, *eng. flavour*), који узима у обзир ефекат поларизације индивидуалних кваркова и укупне поларизације протона. У својој тези кандидат је показао да овај ефекат резултира смањењем догађаја у којима оба

протона обезбеђују и кварк и антикварк у DPI процесу, и повећањем броја догађаја у којима један протон обезбеђује оба кварка, а други оба антикварка. Ово утиче на дистрибуцију рапидитета одлазећих лептона због већег импулса који у протону носе кваркови у односу на антикваркове. Др Бемстер је проценио да допринос овог ефекта може да буде до око 10 % за однос између догађаја где оба лептона пролазе кроз исту хемисферу у односу на онај када пролазе супротном.

Елементи за квалитативну анализу рада кандидата

Квалитет научних резултата

Др Ларс Бемстер био је члан колаборације АТЛАС од 2010. до 2017. године и у том периоду аутор на свим радовима колаборације. Међутим, у складу са препорукама о категоризацији колаборацијских радова, овде је обрађен само један рад колаборације АТЛАС где кандидат има значајан допринос. То значи да су у овом извештају обрађена укупно два рада М21 категорије.

Значај научних резултата

Као најзначајнији радови кандидата, издвајају се рад из астрофизике на корелацији између неутрина и UHECR-а које су открили неутрински телескоп ANTARES и опсерваторија Pierre Auger:

1. S. Adrian-Martinez, ..., **L. J. Beemster**, et al., “Search for a correlation between ANTARES neutrinos and Pierre Auger Observatory UHECRs arrival directions”, *ASTROPHYS J*, 2013, 774, 19.
M21; DOI: 10.1088/0004-637x/774/1/19; IF2013=6.28.

и одговарајуће интерне ноте колаборације која описују његов рад:

- J Petrovic, **L.J. Beemster**, “MMP – a software package for multi-messenger data analysis”, ANTARES internal note 2011.
- J. Petrovic, **L.J. Beemster**, Correlation of arrival directions of ANTARES 5 line neutrino candidate events and UHECRs observed by the Pierre Auger Observatory, ANTARES internal note ANTARES-PHYS-2010-010 (2010)

Други резултат описан је у докторској тези:

- Lars Beemster, “Same sign W pair production in double parton interactions”, ISBN: 978-94-028-0500-0, University of Twente (2017)

која укључује рад на вишем нивоу тригера HLT:

2. ATLAS Collaboration, "Performance of the ATLAS Trigger System in 2015", Eur. Phys. J. C 77 (2017) 317.
M21, DOI: 10.1140/epjc/s10052-017-4852-3, IF2017=5.17.

са интерном нотом колаборације:

- Beemster L. (editor), Begel M., Campanelli M., Chapleau B., Igonkina O., "Jet cleaning in the HLT", ATLAS internal note, ATLAS-COM-DAQ-2013-036

За први рад [1], др Бемстер је радио на новој комбинованој, тзв. мултимесинџер (eng. multimessenger) анализи која по први пут разматра корелацију праваца посматраних неутрина и високо-енергијских космичких зрака. Као што је већ поменуто, кандидат је развио софтверски пакет за анализу и користио га за статистичку обраду добијених података. Овај рад представља прву анализу података где је истраживана корелација између космичких неутрина детектованих помоћу телескопа ANTARES и космичких зрака ултра високих енергија (UHECR) примећених на радио опсерваторији Pierre Auger. Није примећена значајна корелација и постављена је горња граница на флуks неутрина из различитих извора. Да би се објаснио овај недостак корелације, ова оригинална идеја користи се у данашњим експериментима. Ово истраживање је и даље један од водећих пројеката у ANTARES колаборацији, а анализа и оригинална идеја се примењују у посматрањима IceCube неутрино телескопа, што је резултирало у бројним радовима у врхунским часописима. Сам рад цитиран је директно 7 пута, у врхунским часописима (на пример Journal of Cosmology and Astroparticle Physics, Physical Review D итд), а такође је цитиран у књизи Neutrino Astronomy, Chapter 9: The Dawn of Multi-Messenger Astronomy, 2017, Marcos Santander. Пројекат је био финансиран од стране NWO - Холандске Научне Организације као нова и оригинална идеја за multimessenger анализу.

Докторски рад укључује технички рад на систему тригера експеримента ATLAS. Систем тригера развија се да би се снимили само интресантни догађаји. У том процесу неопходно је такође одбацити све објекте који не потичу од примарне интеракције. Кандидат је развио, имплементирао и оптимизовао селекционе критеријуме тригера како би издвојио цетове који не долазе од примарне интеракције већ од шума или од додатних интеракција, који онда не би били снимљени. Овај алгоритам имплементиран је у мени тригера и користио се током другог периода прикупљања података, Run 2. Детаљно је описан у неведеној интерној ноти колаборације и укључен је у публикацију о тригеру [2]. Тригери са цетовима се користе у великом

броју анализа на експерименту ATLAS. Рад кандидата на развоју овог алгоритма је допринео побољшаном раду тригера и ефикаснијем прикупљању података.

Главну тему докторског рада описану у тези кандидата представља анализа дво-струке партонске интеракције (DPI) и истраживање њеног потенцијала за испитивање структуре протона. У оквиру рада на докторској тези кандидат је испитивао улогу DPI-а као фонског процеса у потрази за Хигсовим бозоном када је показао да је фон из овог процеса занемарљив. Сама DPI као процес није претходно била потврђена на експериментима LHC-а у финалном стању са два W бозона, а стање са два миона истог знака одабрано је пошто се показало да има највећи потенцијал због малог фона од осталих процеса из стандардног модела. Током првог периода прикупљања података на шта је био фокусиран рад кандидата није било довољно података да би се утврдило постојање процеса DPI.

Кандидат је показао да се помоћу овог финалног стања, са два W бозона истог знака, сигнал DPI може видети са више прикупљених података и употребом модерних алатки за анализу, што ће резултирати у узбудљивој перспективи испитивања структуре протона. Показано је да се спинске корелације између кваркова у протону могу одредити поредећи разлику у броју догађаја када два лептона истог наелектрисања пролазе кроз исту односно супротну хемисферу. Разлика је последица различитог пресека и може се видети само у процесима DPI. Овакво истраживање побољшало би наше разумевање квантне хромодинамике и прецизније одредило функције густине расподеле партона које се користе у сваком Монте Карло генератору који се данас користи.

На основу докторског рада др Бемстера, студија новог метода истраживања структуре протона је настављена у NIKHEF-у после његовог одласка. Та студија је потврдила да ће LHC прикупити довољно података да се изолује DPI процес од интреса. Та анализа додатно је потврдила да је мерење односа између броја догађаја где су оба лептона у истој хемисфери у односу на број догађаја када су у супротној посебно осетљива на спинске корелације између два кварка у протону, што је кандидат студирао у својој тези. Први експериментални рад који је показао постојање овог процеса и користио методе које је кандидат користио у својој докторској тези на LHC објавила је CMS колаборација 2019. године користећи 77 fb^{-1} .

Да бисмо илустровали високо мишељење које о др Ларсу Бемстеру има његов ментор, из писма препоруке проф. др Боба ван Ајка издвојили бисмо следећу констатацију: *"Lars has a firm understanding of this subject and the field as a whole, and I am confident that his contributions in the future will be of high quality"*.

Параметри квалитета часописа

Кандидат др Ларс Бемстер је као члан колаборације АТЛАС аутор на великом броју радова. У складу са правилима о колаборацијским радовима, у извештају се наводе само радови са директним доприносом и наводе се са пуном тежином, односно без нормирања по броју аутора. Према томе, др Бемстер има два објављена рада у међународним часописима са следећим показатељима:

- 1 рад у врхунском међународном часопису The Astrophysical Journal (M21, IF2013=6.28, SNIP2013=1.43)
- 1 рад у врхунском међународном часопису European Physical Journal C – Particles & Fields (M21, IF2017=5.17, SNIP2017=1.65)

	IF	M	SNIP
Укупно	11.45	16	3.08
Усредњено по чланку	5.73	8	1.54

Позитивна цитираност научних радова

Рад из астрофизике цитиран је 10 пута по бази InSpire, од тога 7 пута у публикацијама и једном у монографији. Рад који описује систем тригера детектора АТЛАС цитиран је 221 пут по Web Of Science, односно 146 пута по CrossRef, а укупно има 19 цитата без аутоцитата. Укупан Хиршов индекс кандидата је 2.

Међународна сарадња

Кандидат је био члан међународних колаборација АТЛАС и ANTARES и има значајне резултате сарадње у свету, који укључују:

- АТЛАС: Међународна колаборација АТЛАС проучава процесе у физици високих енергија који настају у сударима честица помоћу Великог сударача хадрона (LHC - Large Hadron Collider) у ЦЕРН-у. Кандидат је боравио у ЦЕРН-у више месеци у неколико наврата. У склопу програма учествовао је у припреми програма за студенате који похађају почетне курсеве физике честица.
- ANTARES и опсерваторија Пјер Оже: Кандидат је био члан међународних колаборација ANTARES и Pierre Auger. ANTARES је неутрински телескоп који се налази у Средоземном мору и користи се за детекцију миона из космичких неутрина високих енергија. Опсерваторија Pierre Auger направљена је за проучавање космичких зрака ултра високих енергија. Кандидат је неколико пута

презентовао своје резултате на радионицама колаборација и интензивно учествовао у раду обе колаборације.

Нормирање броја коауторских радова

У складу са препорукама о вредновању колаборацијских радова, овде су приказани само радови са значајним доприносом кандидата. Они се рачунају са пуном тежином.

Учешће у пројектима, потпројектима и пројектним задацима

Кандидат је радио у оквиру Astroparticle Department на институту NIKHEF у Амстердаму. Директор групе је био Маартен де Јонг, а потпројекат број 680-47-124. Након овога кандидат је радио у NIKHEF групи за експеримент ATLAS, директор групе је био Стан Бентвелсен.

Ангажованост у формирању научних кадрова

Педагошки рад

Кандидат је надгледао рад наставника и ученика средњих школа у оквиру колаборације HiSPARC. Ова колаборација у Холандији ради заједно са ученицима средњих школа и њиховим наставницима у реализацији велике мреже детектора честица за детекцију космичких зрака. Наставници посећују институте како би припремили материјал за наставу, а др Бемстер је учествовао у програму као инструктор где је објашњавао физику космичких зрака и техничке детаље детектора. У свом раду користио је симулацију детектора у програму GEANT4 и алгоритам за коинцидентну детекцију које је развио.

Промоција науке

Др Бемстер је активно учествовао у организацији више манифестација под називом “Open day at NIKHEF”. Идеја ових манифестација је била да се шири јавност упозна са честичном физиком и радом детектора, међу којима ATLAS, LHC, ANTA-

RES, Km3Net итд. Др Бемстер је такође одржавао презентације о детектору ATLAS и ЦЕРН-у у неколико средњих школа у Амстердаму.

Утицај научних резултата

За рад категорије M21 са импакт фактором 6.18 који је објављен у оквиру ANTARES колаборације, др Бемстер је радио на новој multimessenger анализи која по први пут разматра корелацију праваца посматраних неутрина и високо-енергијских космичких зрака. Овај рад је цитиран директно 7 пута, у врхунским часописима као на пример Journal of Cosmology and Astroparticle Physics, Physical Review D итд, а такође је цитиран у књизи Neutrino Astronomy, Chapter 9: The Dawn of Multi-Messenger Astronomy, 2017, Marcos Santander.

Публикација категорије M21 са импакт фактором 5.047 “Performance of the ATLAS Trigger System in 2015” приказује и детаљно описује перформансе система тригера експеримента ATLAS. Цитиран је у 19 публикованих радова, без аутоцитата.

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

Кандидат је своје резултате остварио на Универзитету Твенте и Институту NIKHEF у Холандији. Такође је остварио сарадњу са ЦЕРН-ом. За рад из астрофизике, кандидат је развио екстензивни Монте Карло софтвер за анализу. Током израде своје докторске тезе, развио је нови алгоритам који је побољшао смањивање шума у реконструкцији цетова који се користе за тригере. За испитивање процеса DPI кандидат је урадио целу анализу, од припреме података до коначне обраде резултата.

Елементи за квантитативну анализу рада кандидата

Остварени резултати

Категорија	М бодова по публикацији	Број публикација	Укупно М бодова
M21	8	2	16
M70	6	1	6
Укупно			22

Поређење са минималним квантитативним условима за избор у звање научни сарадник

Минимални број М бодова		Остварено
Укупно	16	22
M10 + M20 + M31 + M32 + M33 + M41 + M42	10	16
M11 + M12 + M21 + M22 + M23	5	16

Подаци о цитираности кандидата

Сви радови на којима је др Бемстер аутор цитирани су 29102 пута. Радови на којима је др Бемстер имао значајан допринос су цитирани 26 пута, без аутоцитата у врхунским часописима као што су Journal of High Energy Physics, European Physical Journal C, Physical Review D, Journal of Cosmology and Astroparticle Physics итд.

Списак објављених радова

Рад у врхунском међународном часопису (M21)

1. S. Adrian-Martinez, ..., L. J. Beemster, et al., "Search for a correlation between ANTARES neutrinos and Pierre Auger Observatory UHECRs arrival directions", ApJ, 2013, 774, 19
2. ATLAS Collaboration, "Performance of the ATLAS Trigger System in 2015", Eur. Phys. J. C 77 (2017) 317

Одбрањена докторска дисертација (M70)

1. Lars Beemster, "Same sign W pair production in double parton interactions", ISBN: 978-94-028-0500-0, University of Twente (2017)

Закључак и предлог

Др Ларс Бемстер испуњава све услове за избор у звање научни сарадник предвиђене правилником Министарства просвете, науке и технолошког развоја о поступку, начину вредновања и квантитативном исказивању научно-истраживачких резултата. Објавио је два рада у врхунским међународним часописима, категорије М21. У писму препоруке посебно су истакнуте његове софтверске вештине: *"He is a highly dedicated and talented physicist with outstanding programming skills"*.

Имајући у виду квалитет научно истраживачког рада, задовољство нам је да предложимо Научном већу Института за физику да донесе одлуку о прихватању предлога за избор др Ларса Бемстера у звање научни сарадник.

У Београду,
15. 9. 2020. године

Чланови комисије:



др Лидија Живковић,
Научни саветник,
Институт за физику, Београд



др Ненад Брањеш,
Виши научни сарадник,
Институт за физику, Београд



Проф. др Предраг Миленовић,
Ванредни професор,
Физички факултет, Универзитет у Београду