

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ ФИЗИЧКОГ ФАКУЛТЕТА УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ

Пошто смо на X седници Наставно-научног већа Физичког факултета Универзитета у Београду, одржаној 12.09.2018. године, одређени за чланове Комисије за припрему извештаја о докторској дисертацији „Анализа утицаја активности Сунца и метеоролошких параметара на концентрацију ^7Be у приземном слоју атмосфере“ из научне области ФИЗИКА ЈЕЗГРА И ЧЕСТИЦА, коју је кандидат Милица Рајачић предала Физичком факултету у Београду дана 06.09.2018. године, подносимо следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Основни подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Кандидат Милица Рајачић, рођена 12. маја 1986. године у Београду, дипломирала је на Физичком факултету, Универзитета у Београду, на смеру Примењена физика и информатика 2011. године, са просечном оценом 9,03. Исте године, на Физичком факултету Универзитета у Београду, уписала је докторске студије у ужој научној области Физика језгра и честица. Запослена је у Лабораторији за заштиту од зрачења и заштиту животне средине, Института за нуклеарне науке „Винча“ од 01.12.2011.

Ангажована је на пројекту „Нове технологије за мониторинг и заштиту животног окружења од штетних хемијских супстанци и радијационог оптерећења“ (III 43009) који је финансиран од стране Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије.

1.2. Научна активност

Кандидат Милица Рајачић се у свом истраживачком раду бавила детекцијом и одређивањем концентрације активности радионуклида, испитивањем могућности побољшања метода калибрације у гамаспектрометрији у случајевима рада на терену и са нестандардним облицима узорака.

Ужа област интересовања су јој гама емитери у атмосфери – могућност њиховог предвиђања и употребе као трасера при праћењу различитих природних процеса.

У оквиру професионалног усавршавања похађала је међународне курсеве „Applications of gamma-ray spectrometry to environmental samples“ (2001. и 2014. године), организоване од стране ЕС-JRC-IRMM (*Joint Research Centre - Institute for Reference Materials and Measurements*), “Harmonization of Procedures for Sampling Techniques including Practical Field Exercise”, организованог од стране ИАЕА (*International Atomic Energy Agency*), Terrestrial Environment Laboratory Agency’s Laboratories, као и Курс за рад са отвореним и затвореним изворима јонизујућег зрачења (2015. године), Центра за перманентно образовање, Института за нуклеарне науке „Винча“.

Учествовала је у међународној сарадњи „RER0033 Supporting Quality Assurance for the Measurement and Monitoring of Radioactivity in the Environment“ (2012–2013) и члан је групе за праћење нивоа радионуклида у ваздуху (The Ring of Five Network).

Радно искуство и резултате својих истраживања примењује у многобројним мерењима која укључују одређивање концентрације радионуклида у широком спектру сировина и узорака из животне средине, посебно у околини објеката који се сматрају потенцијалним радиолошким загађивачима.

Милица Рајачић је аутор 3 рада категорије М21а, 7 М21, 3 М22, 8 М23 и 1 рада категорије М24. Такође, један је од аутора два поглавља у монографијама категоризације М14 и два поглавља у монографији категоризације М45. На научним скуповима је објавила 20 радова категоризације М33 и 19 радова у категорији М34, као и 22 рада категорије М63 и 3 рада у М64 категорији. Радиоактивност атмосфере је обрађена у 15 публикација.

2. Опис предатог рада

2.1 Основни подаци

Ова дисертација је урађена под менторством др Драгане Тодоровић, научног саветника Института за нуклеарне науке „Винча“ Универзитета у Београду, која се више од 30 година успешно бави истраживањима у области заштите од зрачења, посебно

детекцијом радионуклида и одређивањем њихове активности методом гамаспектрометрије (објавила је 294 рада од, чега 73 у водећим међународним часописима).

Комплетна истраживања у оквиру ове тезе обављена су у Лабораторији за заштиту од зрачења и заштиту животне средине, Института за нуклеарне науке „Винча“, Универзитета у Београду.

Докторска дисертација „Анализа утицаја активности Сунца и метеоролошких параметара на концентрацију ^7Be у приземном слоју атмосфере“ кандидата Милице Рајачић је изложена у оквиру 12 поглавља са 66 слика, 33 табеле и 161 референцом, на укупно 165 страница, не рачунајући насловну страну, захвалнице, сажетак, садржај, биографију и изјаве аутора.

2.2. Предмет и циљ рада

Истраживања презентована у овој докторској дисертацији спадају у област Физике језгра и честица и заснивају се на утицају активности Сунца на интензитет космичког зрачења, односно концентрацију космогеног радиоактивног берилијумовог изотопа ^7Be , који настаје као последица интеракције космичког зрачења са молекулима атмосфере.

Циљ овог истраживања је да се изврши анализа утицаја активности Сунца и појединих метеоролошких параметара на концентрацију ^7Be у приземном слоју атмосфере и њено моделовање, доприносећи тиме побољшању одабира параметара за симулационе моделе.

У сврху остварења циља, први од покушаја формирања модела временске дистрибуције концентрације ^7Be у приземном слоју атмосфере је заснован искључиво на подацима о концентрацији активности овог изотопа у два медијума (ваздух – узорци аеросола и укупни депозит) измерених у протеклих 23 године (1995–2017). Од тога, резултати до 2017. су искоришћени за формирање модела, док су подаци из 2017. године употребљени за тестирање могућности њихове предикције.

Модел у основи користи Фуријеову анализу, која омогућава идентификацију периода садржаних у временској дистрибуцији података. На основу добијених резултата анализе, инверзном Фуријеовом трансформацијом, формиране су регресионе једначине које апроксимирају досадашње резултате мерења, а њиховом екстраполацијом су

предвиђени резултати мерења током 2017. године. Као предност овог модела се истиче то што не захтева мерење других параметара, док се као недостатак наводи изостајање њиховог утицаја.

Како су резултати претходно наведене анализе указали на могућност утицаја метеоролошких услова и Сунчевог магнетног поља, у другом делу истраживања испитана је њихова повезаност са променом концентрације ^7Be на територији Републике Србије (Београд). Одређени су коефицијенти међусобне линеарне корелираности и методом линеарне регресије формиране апроксимативне једначине за чије су параметре одабрани они са статистички најзначајнијим коефицијентима корелираности. Затим, на основу резултата мерења одабраних параметара из 2017. године, одређене су предвиђене вредности концентрације активности ^7Be и упућене са њеним измереним вредностима за исти период.

Вредности претпостављених узрочника промене, преузете су са одговарајућих интернет страница институција које се баве њиховим вишедеценијским праћењима, док су вредности концентрације активности ^7Be у оба разматрана медијума одређене методом гамаспектрометрије у Лабораторији за заштиту од зрачења и заштиту животне средине, Института за нуклеарне науке “Винча”, где се ова мерења врше од априла 1994. године.

Закључак који је и довео до постизања самог циља спроведеног истраживања је да се у временској дистрибуцији концентрације ^7Be у узорцима ваздуха уочава утицај оријентације Сунчевог магнетног поља, који је преко такозваног „drift“ ефекта уочљив и у промени интензитета космичког зрачења и да би укључивање периода промене од 22 године могло довести до побољшања квалитета њене симулације.

Овим истраживањем, по први пут је уочена могућност утицаја смера Сунчевог магнетног поља на ниво концентрације ^7Be , чиме се, на још један начин, показује утицај Сунчевог магнетног поља на интензитет космичког зрачења на Земљи („drift“ ефекат). Показало се да увођење овог параметра у регресионе једначине концентрације ^7Be у ваздуху доприноси смањењу апсолутног одступања резултата, како апроксимације, тако и предикције у односу на измерене вредности. Такође, први пут је испитан утицај Сунчевог магнетног поља на концентрацију ^7Be у депозиту, као и могућности њеног предвиђања.

Резултати овог истраживања могу бити од користи при избору параметара за дизајнирање наредних симулационих модела концентрације ^7Be , али и других космогених радионуклида, којима би се могли уочити аномални догађаји како у прошлости, тако и у будућности. Предикција концентрације ^7Be би била корисна и за предвиђање атмосферских кретања, а тиме и процену загађења животне околине.

2.3. Публикације

Из уже области теме докторске дисертације, кандидат Милица Рајачић је публиковала следеће радове (три рада са $\text{IF} > 1$):

M21a Међународни часопис изузетних вредности

1. Rajačić M., Todorović D., Krneta Nikolić J., Janković M., Djurdjević V., The Fourier analysis applied to the relationship between ^7Be activity in the Serbian atmosphere and meteorological parameters, *Environmental Pollution* 216 (2016) 919–923, ISSN: 0269-7491 (IF=5,099 / 2016)

M21 Врхунски међународни часопис

1. Rajačić M., Todorović D., Janković M., Nikolić J., Sarap N., Pantelić G., ^7Be in atmospheric deposition: determination of seasonal indices, *Journal Radioanalytical Nuclear Chemistry* Vol.303 No.3 (2015) 2535–2538, ISSN: 0236-5731 (IF= 1,415/ 2013)

M22 Истакнути међународни часопис

1. Rajačić M., Todorović D., Krneta Nikolić J., Puzović J., The impact of the Solar magnetic field on ^7Be activity concentration in aerosols, *Applied Radiation and Isotopes* 125 (2017) 27–29, ISSN: 0969-8043 (IF= 1,136 / 2015)

M23 Међународни часопис

1. Janković M., Todorović D., Nikolić J., Rajačić M., Pantelić G., Sarap N., Temporal changes of beryllium-7 and lead-210 in Serbia, *Hemijaska industrija* Vol.68 No.1 (2014) 83–88, ISSN: 0367-598X (IF = 0,562 / 2013)

M45 Поглавље у књизи M42 или рад у тематском зборнику националног значаја

1. Todorović D., Rajačić M., Janković M., Krneta Nikolić J., Sarap N., Pantelić G., Radioaktivnost atmosfere u Institutu za nuklearne nauke "Vinča" u periodu 1985–2015, Poglavlje u *Monografija "Černobilj 30 godina posle"* (2016), ISBN: 978-86-7306-138-2, 53–71

M63 Рад саопштен на скупу националног значаја, штампан у целини

1. Rajačić M., Todorović D., Đurđević V., Petrović I., Janković M., Krneta Nikolić J., Pantelić G., Sarap N., Korelacija između specifične aktivnosti ^7Be u aerosolima i ukupnom depozitu i meteoroloških indeksa NAO, EA, EAWR I SCA, *XXVIII Simpozijum DZZ SCG*, Srbija, Vršac, 30. Septembar – 02. Oktobar (2015), Zbornik radova, ISBN: 978-86-7306-135-1, 28–34

2. Rajačić M., Todorović D., Krneta Nikolić J., Vukanac I., Pantelić G., Sarap N., Janković M., Uticaj kalibracije efikasnosti na određivanje koncentracije ^7Be i ^{210}Pb u vazduhu, *XXIX Simpozijum DZZ SCG*, Srbija, Srebrno jezero, Septembar 27–29 (2017), Zbornik radova, ISBN: 978-86-7306-144-3, 443–448

2.4. Преглед научних резултата изложених у дисертацији

Садржај докторске дисертације Милице Рајачић је конципиран у 12 поглавља и то: Увод, Радиоактивност, Сунце и његово магнетно поље, Утицај Сунца на интензитет космичког зрачења, Утицај космичког зрачења и магнетне активности Сунца на атмосферске процесе, Примена космогених радионуклида, Берилијум-7, Метода мерења - Гамаспектрометрија, Експериментални део, Примењена анализа, Резултати и дискусија и Закључак.

После кратког прегледа садржаја у Уводном делу, у другом поглављу следи увођење појмова и описивње појава из области радиоактивности, метеорологије и радиоекологије, где су објашњени и појмови космичког зрачења и космогених радионуклида.

Поглавља 3-5 се баве структуром Сунца и појавама у његовим унутрашњим и спољашњим слојевима, као и прегледом литературе из области астрофизике и метеорологије која се бави утицајем Сунчеве активности на интензитет космичког зрачења на Земљи и њиховог деловања на атмосферске процесе.

У шестом поглављу, кроз објављену литературу, наведена је и објашњена примена космогених радионуклида, која је и темељ мотивације за ово истраживање.

Седмо поглавље се бави главним предметом истраживања – космогеним радионуклидом ^7Be , његовим еколошким значајем, пореклом и временском и просторном дистрибуцијом, које му пружају могућност примене у области метеорологије, нуклеарне и астрофизике.

Следећа два поглавља дају детаљан опис методе мерења и примењених експерименталних поступака калибрације инструмената, прикупљања и припреме узорака, као и сам начин анализе мерних података.

Примењени статистички параметри за описивање резултата мерења и математички модели обраде измерених вредности, објашњени су у десетом поглављу.

Претпоследње поглавље, у ком су представљени и дискутовани резултати истраживања, најпре се бави статистичким описом резултата мерења, кроз приказ временске дистрибуције концентрације ^7Be и њеног сезонског карактера, као и пружањем увида у радиолошки значај присутне концентрације овог изотопа у приземном слоју атмосфере. Затим следи приказ резултата математичке анализе измерених вредности концентрације методом Фуријеове трансформације, на чијим темељима су засниване идеје и претпоставке за испитивања описана у последњем одељку овог поглавља. Пре тога, испитана је и оправданост претпоставки и идеја које су произашле из резултата Фуријеове анализе, одређивањем коефицијената корелираности претпостављених узрочника промена у временској дистрибуцији концентрације ^7Be .

На крају поглавља са приказом и дискусијом резултата целокупног истраживања, изложен је детаљан статистички опис разматраних могућности апроксимације и предикције концентрације радиоактивног изотпа ^7Be у узорцима ваздуха (аеросола) и укупног (сувог и мокрог) депозита прикупљених у приземном слоју атмосфере.

У последњем поглављу су сумирани закључци истраживања презентованих у докторској дисертацији.

3. Списак значајнијих публикација кандидата

I. M21a Међународни часопис изузетних вредности

- I.1 Nikolić J., Joković D., Todorović D., Rajačić M., Application of GEANT4 simulation on calibration of HPGe detectors for cylindrical environmental samples, *Journal of Radiological Protection* Vol. 34 No.2 (2014) 47-55, ISSN: 0952-4746 (IF= 1.702 / 2014)
- I.2 Rajačić M., Todorović D., Krneta Nikolić J., Janković M., Djurdjević V., The Fourier analysis applied to the relationship between ^7Be activity in the Serbian atmosphere and meteorological parameters, *Environmental Pollution* 216 (2016) 919-923, ISSN: 0269-7491 (IF=5.099 / 2016)
- I.3 Masson O, Steinhauser G, Wershofen H, Mietelski J.W, Fischer H.W, Pourcelot L, Saunier O, Bieringer J, Steinkopff T, Hyža M, Moller B, Bowyer T.W, Dalaka E, Dalheimer A, de Vismes-Ott A, Eleftheriadis K, Forte M, Gasco Leonarte C, Gorzkiewicz K, Homoki Z, Isajenko K, Karhunen T, Katzlberger C, Kierepko R, Kövendine Konyi J, Mala H, Nikolić J, Povinec P.P, Rajačić M., Ringer W, Rulić P, Rusconi R., Safrany G, Sykora I, Todorović D, Tschiersch J, Ungar K. and B. Zorko, Potential Source Apportionment and Meteorological Conditions Involved in Airborne ^{131}I Detections in January/February 2017 in Europe, *Environmental Science and Technology* Vol. 52 No.15 (2018) 8488–8500, ISBN:0013-936X (IF: 6,653 / 2017)

II. M21 Врхунски међународни часопис

- II.1 Pantelić G., Eremić Savković M., Živanović M., Nikolić J., Rajačić M., Todorović D., Uncertainty evaluation in radon concentration measurement using charcoal canister, *Applied Radiation and Isotopes* 87 (2014) 452 - 455, ISSN: 0969-8043 (IF= 1.231 / 2014)
- II.2 Nikolić J., Vidmar T., Joković D., Rajačić M., Todorović D., Calculation of HPGe efficiency for environmental samples: comparison of EFFTRAN and GEANT 4, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A* 763 (2014) 347-353, ISSN: 0168-9002 (IF = 1.316 / 2013)
- II.3 Pantelić G., Todorović D., Nikolić J., Rajačić M., Janković M., Sarap N., Measurement of radioactivity in building materials in Serbia, *Journal Radioanalytical Nuclear Chemistry* Vol.303 No.3 (2015) 2517-2522, ISSN: 0236-5731 (IF= 1.415/ 2013)

- II.4 Rajačić M., Todorović D., Janković M., Nikolić J., Sarap N., Pantelić G., ^7Be in atmospheric deposition: determination of seasonal indices, *Journal Radioanalytical Nuclear Chemistry* Vol.303 No.3 (2015) 2535-2538, ISSN: 0236-5731(IF= 1.415/ 2013)
- II.5 Sarap N., Janković M., Dolijanović Ž., Kovačević D., Rajačić M., Nikolić J., Todorović D., Soil to plant transfer factor for ^{90}Sr and ^{137}Cs , *Journal Radioanalytical Nuclear Chemistry* Vol.303 No.3 (2015), 2523-2527, ISSN: 0236-5731(IF= 1.415/ 2013)
- II.6 Nikolić J., Puzović J., Todorović D., Rajačić M., Application of PHOTON simulation software on calibration of HPGe detectors, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A* 799 (2015) 159-165, ISSN: 0168-9002 (IF=1.316 / 2013)
- II.7 Sarap N., Rajačić M., Đalović I., Šeremešić S., Đorđević A., Janković M., Daković M., Distribution of natural and artificial radionuclides in chernozem soil/crop system from stationary experiments, *Environmental Science and Pollution Research* Vol.23 No.17 (2016) 17761-17773, ISSN: 0944-1344 (IF=2.828/ 2014)

III. M22 Истакнути међународни часопис

- III.1 Nikolić J., Pantelić G., Zivanović M., Rajačić M., Todorović D., Comparison of two methods for HPGe detector efficiency calibration for charcoal canister radon measurement, *Radiation Protection Dosimetry* Vol.162 No.1-2 (2014) 47-51, ISSN: 0144-8420 (IF = 0.913 / 2014)
- III.2 Krneta Nikolić J., Rajačić M., Todorović D., Vidmar T., The first experimental test of the MEFFTRAN software on HPGe detector calibration for environmental samples, *Journal of Environmental Radioactivity* 165 (2016), 191-196, ISSN: 0265-931X (IF=2.483 / 2014)
- III.3 Rajačić M., Todorović D., Krneta Nikolić J., Puzović J., The impact of the Solar magnetic field on ^7Be activity concentration in aerosols, *Applied Radiation and Isotopes* 125 (2017) 27-29, ISSN: 0969-8043 (IF= 1.136 / 2015)

IV. M23 Међународни часопис

- IV.1 Janković M., Todorović D., Nikolić J., Rajačić M., Pantelić G., Sarap N., Temporal changes of beryllium-7 and lead-210 in Serbia, *Hemijska industrija* Vol.68 No.1 (2014) 83–88, ISSN: 0367-598X (IF = 0.562 / 2013)

- IV.2 Krneta Nikolić J., Todorović D., Janković M., Pantelić G., Rajačić M., Quality assurance and quality control in environmental radioactivity monitoring, *Quality Assurance and Safety of Corps & Foods* Vol.6, No.4 (2014) 403-409, ISSN: 1757-8361 (IF= 0.935 / 2013)
- IV.3 Pantelić G, Todorović D, Nikolić J, Rajačić M., Interlaboratory comparison material homogeneity testing, *Open Chemistry* Vol.13 No.1 (2015) 656-660, ISSN: 1895-1066 (IF = 1.329 / 2013)
- IV.4 Janković M., Todorović D., Sarap N., Krneta Nikolić J., Rajačić M., Pantelić G., Natural radionuclides in waste water discharged from a coal fired power plants in Serbia, *Water Science and Technology* Vol.74 No.11 (2016) 2634-2638, ISSN: 0273-1223 (IF = 1.197 / 2016)
- IV.5 Živanović M., Pantelić G., Krneta Nikolić J., Rajačić M., Todorović M., Radon Measurements with Charcoal Canisters Temperature and Humidity Considerations, *Nuclear Technology & Radiation Protection* Vol.31 No.1 (2016) 65-72, ISSN: 1451-3994 (IF=0.620 / 2016)
- IV.6 Marković J., Stevović S., Rajačić M., Todorović D., Krneta Nikolić J., Transfer Factors for „The Soil-Cereals" System in the Region of Pcinja, Serbia, *Nuclear technology and radiation protection* Vol.31 No.4 (2016) 376-381, ISSN: 1451-3994 (IF= 0.620 / 2016)
- IV.7 Džoljić J., Stevović S., Todorović D., Polavder S., Rajačić M., Krneta Nikolic J., Natural and Artificial Radioactivity in Some Protected Areas of South East Europe, *Nuclear technology and radiation protection* Vol.32 No.4 (2017) 334-34, ISSN: 1451-3994 (IF= 0.620 / 2016)
- IV.8 Krneta Nikolić J., Rajačić M., Todorović D., Janković M., Sarap N., Pantelić G., Vukanac I., Semiempirical Efficiency Calibration in Semiconductor HPGe Gamma-Ray Spectroscopy, *Journal of Spectroscopy* (2018) Article ID 5392658, <https://doi.org/10.1155/2018/5392658>, ISSN: 2314-4920 (IF=1.391 / 2017)

V. M24 Rad u časopisu meђunarodnog znaĉaja verifikovanog posebnom odlukom

V.1 Janković M., Rajaĉić M., Rakić T., Todorović D., Natural radioactivity in imported ceramic tiles used in Serbia, *Processing and Application of Ceramics* Vol.7 No.3 (2013) 123-127, ISSN: 1820-6131

VI. M14 Monografska studija / poglavље u kњизи M12 ili rad u tematskom zborniku vodeћег meђunarodnog znaĉaja

VI.1 Pantelić G., Źivanović M., Nikolić J., Eremić Savković M., Rajaĉić M., Todorović D., Indoor radon Activity Concentration Measurment Using Charcoal Canister, Poglavlje 9 u *Radon - Geology, Environmental Impact and Toxicity Concerns*, Ed. Audrey M. Stacks, Publisher. Nova Science Publishers New York (2015) 189-208, ISBN: 978-1-63463-742-8,

VI.2 Janković M., Todorović J., Nikolić J., Rajaĉić M., Sarap N., Pantelić G., Radioactivity in the Environment in Vicinity of Power Plants in Serbia: Dose Assessment, Poglavlje 18 u *Energy Science and Technology*, Vol.4 Nuclear Energy, Ed. Ram Prasard, Sri Sivakumar, Umesh Chandra Sharma, J. N. Govil, Publisher. Studium Press LLC, U.S.A (2015) 467-491, ISBN: 1-62699-065-4

VII. M45 Poglavље u kњизи M42 ili rad u tematskom zborniku nacionalnog znaĉaja

VII.1 Todorović D., Rajaĉić M., Janković M., Krneta Nikolić J., Sarap N., Pantelić G., Radioaktivnost atmosfere u Institutu za nuklearne nauke "Vinĉa" u periodu 1985-2015, Poglavlje u *Monografija "Ĉernobilj 30 godina posle"* (2016), ISBN: 978-86-7306-138-2, 53-71

VII.2 Pantelić G., Janković M., Krneta Nikolić J., Todorović D., Rajaĉić M., Sarap N., Akcidenti i monitoring radioaktivnosti, Poglavlje u *Monografija "Ĉernobilj 30 godina posle"* (2016), ISBN: 978-86-7306-138-2, 19-42

4. Закључак

На основу изложеног, Комисија закључује да резултати кандидата Милице Рајачић, приказани у оквиру ове докторске дисертације, представљају оригиналан и значајан научни допринос у области физике језгра и честица, верификован са три водећа међународна часописа чији је импакт фактор већи од 1 и предлаже Наставно-научном већу Физичког факултета, Универзитета у Београду да одобри јавну одбрану тезе:

„Анализа утицаја активности Сунца и метеоролошких параметара на концентрацију ^7Be у приземном слоју атмосфере“

У Београду, 27.09.2018.

др Драгана Тодоровић

Научни саветник

Универзитет у Београду, Институт за нуклеарне науке "Винча"

проф. др Јован Пузовић

Редовни професор

Универзитет у Београду, Физички факултет

проф. др Владимир Ђурђевић

Ванредни професор

Универзитет у Београду, Физички факултет, Институт за метеорологију