

Извештај саглашен  
24.11.2015.

*Милошевић*

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

ПРИРОДНО-МАТЕМАТИЧКОГ ФАКУЛТЕТА У КРАГУЈЕВЦУ

УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ  
ПРИРОДНО-МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ

ПРЕМЛЈЕНО: 24.11.2015.			
Орг. јед.	Број	ПРИЛОЖЕНО	
02	1190/1	—	—

**Предмет:** Извештај комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата **Јелене Стајић**, дипломираног физичара.

Одлуком Наставно-научног већа Природно-математичког факултета Универзитета у Крагујевцу, број 1040/VI-2, одржаној дана 28.10.2015., одређени смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације под насловом

**„ПРОУЧАВАЊЕ ЕМАНАЦИЈЕ, ЕКСХАЛАЦИЈЕ И МЕРНИХ ТЕХНИКА РАДОНА“**

кандидата Јелене Стајић, истраживача сарадника на Природно-математичком факултету у Крагујевцу. Након прегледа докторске дисертације, а у складу са Статутом Факултета, чл. 51, и Статутом Универзитета, чл. 48, подносимо Наставно-научном већу Природно-математичког факултета следећи

## ИЗВЕШТАЈ

Докторска дисертација кандидата Јелене Стајић изложена је на 162 стране, а у оквиру текста приказано је 63 слике, 19 табела и 184 једначине. Укупно је цитирано 149 литературних јединица.

Поднети рад се састоји из два дела: ОПШТА РАЗМАТРАЊА и ИСТРАЖИВАЧКИ ДЕО. Део ОПШТА РАЗМАТРАЊА даје преглед стања у овој области, има монографски карактер и не садржи оригинални научни допринос кандидата. ИСТРАЖИВАЧКИ ДЕО представља рад кандидата на задатој теми.

### Преглед садржаја урађене дисертације

Део ОПШТА РАЗМАТРАЊА садржи пет глава у којима је укратко приказан преглед стања у овој области, дефинисани основни појмови и направљен увод у истраживачки део.

У првој глави су приказане шеме радиоактивних низова распада урана  $^{238}\text{U}$  и торијума  $^{232}\text{Th}$ . Представљене су опште особине изотопа радона, његови најзначајнији извори и механизми транспорта у природи. Описани су процеси еманације и ексхалације којима радон, настао у минералним зрнима, напушта места свог настанка и доспева у атмосферу.

Друга глава описује активне и пасивне методе мерења концентрације радона у ваздуху. У њој су представљене основне карактеристике уређаја RAD7 који се примењује у експерименталним мерењима описаним у другом делу рада.

Трећа глава даје детаљнији приказ пасивне методе мерења, засноване на коришћењу чврстих траг-детектора. Описане су основне особине детектора, механизми формирања латентних трагова при проласку тешких наелектрисаних честица кроз диелектричне материјале и технике развијања трагова коришћењем хемијског и електрохемијског нагризања.

Четврта глава је посвећена краткоживећим потомцима радона  $^{222}\text{Rn}$  и торона  $^{220}\text{Rn}$  и њиховом понашању у затвореним просторијама. Дефинисане су основне величина које се користе за описивање њихових концентрација у ваздуху. Такође је представљена и једна од често примењиваних метода мерења концентрација потомака у ваздуху, заснована на процесу филтрирања ваздуха кроз одговарајуће филтере са којих се затим врше мерења алфа, бета или гама зрачења.

Пета глава даје кратки опис Монте Карло методе, уз представљање начина генерисања случајних праваца и случајне тачке са униформном расподелом у запремини сфере.

ИСТРАЖИВАЧКИ ДЕО дисертације представља оригинални научни допринос кандидата, а резултати су приказани у главама 6 – 11.

У шестој глави изложен је алгоритам теоријске процене еманационе фракције радона  $^{222}\text{Rn}$  у материјалима зрнасте структуре. Разматрана је еманација заснована искључиво на узмаку атома  $^{222}\text{Rn}$ , након распада  $^{226}\text{Ra}$  и емисије алфа-честице са енергијом 4.78 MeV. Представљени су резултати за зрна  $\text{SiO}_2$ , распоређена на основу два различита модела. Утицај влаге на еманацију је потврђен поређењем вредности добијених за случај воде и ваздуха у порама између зрна. Прорачуни су вршени коришћењем Монте Карло методе и аналитичког приступа.

У седмој глави приказани су резултати експерименталних мерења јачине ексхалације радона  $^{222}\text{Rn}$  из узорака грађевинских материјала, добијени коришћењем коморе повезане са уређајем RAD7. Фитовањем криве пораста концентрације радона у комори добијене су вредности површинских јачина ексхалације чврстих (компактних) узорака и масених јачина ексхалације грануларних узорака. Извршена је и гамаспектрометријска анализа грађевинских материјала и испитивана корелација између јачине ексхалације радона  $^{222}\text{Rn}$  и специфичне активности  $^{226}\text{Ra}$  у узорцима.

У осмој глави је приказан аналитички метод одређивања геометријске ефикасности детектора облика диска за честице коначног домета, емитоване из тачкастог извора.

Дискутовани су различити случајеви, у зависности од домета честица, димензија детектора и његовог положаја у односу на извор. Посебно је разматран случај постојања критичног угла детекције. Ова проблематика се често јавља при коришћењу чврстих траг детектора, који налазе широку примену у мерењу концентрације радона у ваздуху. Приказано је поређење резултата аналитичке методе са вредностима добијеним коришћењем Монте Карло симулација.

У деветој глави је представљен софтвер за одређивање калибрационог коефицијента CR-39 детектора за мерења радона у дифузионој комори конусног или цилиндричног облика. Програм се може користити за оптимизацију димензија дифузионе коморе, облика и величине детектора, као и комплетног процеса мерења. Приказано је поређење резултата које програм даје за различите облике V функције са вредностима калибрационих коефицијената доступним у литератури.

Десета глава приказује анализу методе мерења концентрација краткоживећих потомака радона ( $^{222}\text{Rn}$ ) и торона ( $^{220}\text{Rn}$ ), засноване на филтрирању ваздуха и мерењу алфа-активности са филтера. Разматран је узрок појаве нетачних и физички неприхватљивих вредности које се често добијају као резултат експерименталне примене ове методе. Анализиране су вредности релативних стандардних девијација појединачних потомака у зависности од њихових концентрација, времена филтрирања и избора мерних интервала. Такође је испитиван и утицај детерминанте система једначина на стабилност резултата. Услед велике осетљивости система на варијације измерених одброја које су статистички неизбежне, метод се показује као прилично непоуздан.

У једанаестој глави су приказани резултати експерименталног мерења концентрација радона у школама и обдаништима на територији града Крагујевца. Мерења су вршена помоћу UFO-комора и поликарбонатних детектора који су, након тромесечног излагања, били подвргнути процесу електрохемијског нагризања. Добијене вредности концентрација су релативно ниске и не превазилазе препоручену границу од  $200 \text{ Bq/m}^3$ .

У закључку је дат сажет преглед резултата и достигнућа рада. Дискутовани су нађени резултати у светлу постојећих експерименталних и теоријских података.

### **Значај и допринос докторске дисертације са становишта актуелног стања у одређеној научној области**

Земљиште и грађевински материјали се убрајају у основне изворе из којих радон доспева у ваздух затворених просторија. Процеси еманације и ексхалације радона из различитих материјала су већ дуго предмет бројних истраживања. Највећи број радова се заснива на експерименталном праћењу ових процеса, али су такође веома актуелна и теоријска

разматрања везана за примену различитих модела структуре материјала у коме радон настаје распадом присутног радијума ( $^{226}\text{Ra}$ ). У овој дисертацији је описан алгоритам теоријске процене еманационе фракције засноване на узмаку радона. Овај алгоритам се може применити на произвољну врсту грануларних материјала, коришћењем одговарајућих функција зауставне моћи. Добијање ниских вредности еманационе фракције, у поређењу са експерименталним вредностима добијеним у овом раду и вредностима које се могу наћи у литератури, указује на сложеност састава и структуре материјала у природи (нехомогена расподела  $^{226}\text{Ra}$  у зрнима материјала, постојање нанопора унутар зрна итд.) и допринос алтернативних механизма еманације.

Траг-детектори налазе широку примену у области мерења концентрације радона у ваздуху. Ефикасност ових детектора је најчешће одређивана експериментално или применом Монте Карло симулација, док је аналитичко решавање веома ограничено, због компликоване геометрије, коначног домета честица и карактеристика самих детектора. У дисертацији је дат детаљан опис методе аналитичког одређивања ефикасности детектора за честице коначног домета, емитоване из тачкастог извора. Иако Монте Карло метод даје знатно једноставније решење, аналитички приступ пружа боље разумевање геометрије разматраног проблема и у одређеним случајевима даје једноставне изразе за израчунавање ефикасности.

Велики број научних радова је објављен на тему мерења концентрације радонових потомака у ваздуху методом филтрирања, али узроци погрешних и физички неприхватљивих резултата који се често добијају при експерименталној реализацији ове методе нису довољно анализирани. У дисертацији је представљена детаљна анализа поузданости методе, оптимизације мерног поступка и зависности релативних стандардних девијација појединачних потомака од различитих мерних параметара. Такође је предложен и нови метод директног одређивања РАЕС-а радонових потомака, мерењем алфа-активности са филтера у сатурационом режиму.

Порастом сазнања о штетном утицају повишених концентрација радона на људско здравље, порасло је и интересовање научника за спровођење системских мерења и израду радонских мапа. У циљу процене ризика излагања млађе популације, велики број студија је обављен на тему мерења концентрација радона у школским установама широм света. Слична истраживања, рађена у нашој земљи, углавном су обухватала Војводину, као и територију јужне Србије и Косова и Метохије, док до сада није било већих студија на тему изложености школске деце у градовима централне Србије.

### **Оцена да је урађена докторска дисертација резултат оригиналног научног рада кандидата у одговарајућој научној области**

Имајући увид у актуелно стање у области проучавања радона, његове еманације, ексхалације и техника мерења концентрације овог гаса и његових радиоактивних потомака, Комисија закључује да докторска дисертација кандидата Јелене Стајић садржи оригиналне научне резултате који нису обухваћени раније објављеним истраживањима.

### **Преглед остварених резултата рада кандидата у одређеној научној области**

Кандидат Јелена Стајић бави се научним радом у области радијационе физике од 2008. године, о чему сведоче објављени радови: пет радова у часописима категорије M21, пет радова у часописима категорије M22 и један рад у часопису категорије M23.

### **Оцена о испуњености обима и квалитета у односу на пријављену тему**

Предати рукопис “Проучавање еманације, ексхалације и мерних техника радона” кандидата Јелене Стајић у потпуности и по обиму и по квалитету испуњава првобитно постављене захтеве приликом пријављивања теме докторске дисертације.

### **Научни резултати докторске дисертације**

Комисија истиче да је из области докторске дисертације кандидат Јелена Стајић публиковала осам радова у часописима са листе цитираних часописа (SCI):

[1] **J. Stajic**, D. Nikezic (2011) **Hit probability of a disk shaped detector with particles with a finite range emitted by a point-like source**. Applied Radiation and Isotopes 69, 875-879

ISSN: 0969-8043

[Импакт фактор: 1.172; 2011; Subject Category: Nuclear Science & Technology] [M22]

[2] **J. Stajic**, D. Nikezic (2012) **Detection efficiency of a disk shaped detector with a critical detection angle for particles with a finite range emitted by a point-like source**. Applied Radiation and Isotopes 70, 528–532

ISSN: 0969-8043

[Импакт фактор: 1.179; 2012; Subject Category: Nuclear Science & Technology] [M21]

[3] D. Nikezic, K. N. Yu, **J. M. Stajic** (2014) **Computer program for the sensitivity calculation of a CR-39 detector in a diffusion chamber for radon measurements.** Review of Scientific Instruments 85, 022102

ISSN: 0034-6748

[Импакт фактор: **1.614**; 2014; Subject Category: Physics, Applied]

[M22]

[4] **J. M. Stajic**, D. Nikezic (2014) **Theoretical calculation of radon emanation fraction.** Accepted for publication in Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. Section B 336, 19-25.

ISSN: 0168-583X

[Импакт фактор: **1.266**; 2012; Subject Category: Nuclear Science & Technology]

[M21]

[5] **J. M. Stajic**, D. Nikezic (2015) **Analysis of radon and thoron progeny measurements based on air filtration.** Radiation Protection Dosimetry 163 (3) 333-340.

ISSN: 0144-8420

[Импакт фактор: **0.913**; 2014; Subject Category: Nuclear Science & Technology]

[M23]

[6] **J.M. Stajic**, D. Nikezic (2015) **The accuracy of radon and thoron progeny concentrations measured through air filtration.** Journal of Environmental Radioactivity 140, 50–58.

ISSN: 0265-931X

[Импакт фактор: **3.571**; 2013; Subject Category: Environmental Sciences]

[M21]

[7] **J.M. Stajic**, D. Nikezic (2015) **Measurement of radon exhalation rates from some building materials used in Serbian construction.** Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry 303, 1943–1947.

ISSN: 0236-5731

Импакт фактор: **1.415**; 2013; Subject Category: Nuclear Science & Technology]

[M21]

[8] **J.M. Stajic**, B. Milenkovic, D. Nikezic (2015) **Radon concentrations in schools and kindergartens in Kragujevac city, Central Serbia.** CLEAN - Soil Air Water 43, 1361–1365.

ISSN: 1863-0650

[Импакт фактор: **1.945**; 2014; Subject Category: Environmental Sciences]

[M22]

## **Применљивост и корисност резултата у теорији и пракси**

Резултати добијени у овој дисертацији могу наћи примену у радијационој физици и радиоекологији, при проучавању извора радона и механизма његовог доспевања у ваздух затворених просторија. Одређивање ефикасности траг-детектора може послужити као основа за калибрацију детектора у даљим експерименталним и теоријски радовима. Анализа мерења концентрација потомака на основу филтрирања ваздуха објашњава проблем велике непрецизности која прати експерименталну реализацију ове методе и пружа могућност најбоље оптимизације мерног поступка, у зависности од жељене тачности добијања концентрација појединачних потомака. Резултати мерења концентрације радона у школама и обдаништима на територији Крагујевца представљају почетни корак у мапирању области централне Србије и пружају увид у изложеност школске деце радону.

## **Начин презентовања резултата научној јавности**

Резултати до којих је кандидат дошао представљени су научној јавности кроз четири публикована рада у часописима категорије M21, три рада у часописима категорије M22; и један рад у часопису категорије M23.

После детаљног прегледа докторске дисертације, као и на основу свега што је констатовано и написано у овом извештају, Комисија доноси следећи

## **ЗАКЉУЧАК**

Комисија сматра да приложени текст докторске дисертације кандидата Јелене Стајић под називом “Проучавање еманације, ексхалације и мерних техника радона” у потпуности испуњава циљеве постављене у теми коју је прихватило Наставно-научно веће Природно-математичког факултета у Крагујевцу. Комисија истиче да је поднети текст самосталан рад кандидата и да постоје нови и оригинални резултати. На основу анализе научних радова Јелене Стајић може се закључити да је испољила запажену научну активност и смисао за анализу и решавање научних проблема из области радијационе физике. Системски приступ и свестрана анализа указују да је кандидат овладао овом научном облашћу и да поседује одговарајућу специфичну стручност и оспособљеност. Ова дисертација представља значајан допринос физици, и по квалитету, обиму и оствареним резултатима задовољава законске и друге специфичне услове одређене за израду докторске дисертације.

На основу горе изнетих резултата и података о раду “Проучавање еманације, ексхалације и мерних техника радона”, кандидата Јелене Стајић, Комисија са задовољством предлаже Наставно-научном већу Природно-математичког факултета у Крагујевцу да прихвати понуђени текст као докторску дисертацију, те да омогући њену јавну одбрану у складу са Законом и нормативним актима Природно-математичког факултета у Крагујевцу и Универзитета у Крагујевцу.

У Крагујевцу

11.11.2015. год.

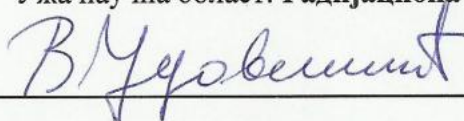
**Чланови Комисије:**

др Драгослав Никезић, редовни професор  
Природно-математички факултет  
Универзитет у Крагујевцу  
Ужа научна област: **Радијациона физика**



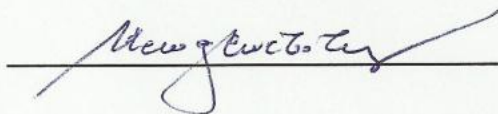
---

др Владимир Удовичић, виши научни сарадник  
Институт за физику, Универзитет у Београду  
Ужа научна област: **Радијациона физика**



---

др Ненад Стевановић, доцент  
Природно-математички факултет  
Универзитет у Крагујевцу  
Ужа научна област: **Радијациона физика**



---

**ПРИЛОГ: Листа објављених радова кандидата**

[1] **J. Stajic**, D. Nikezic (2011) **Hit probability of a disk shaped detector with particles with a finite range emitted by a point-like source.** Applied Radiation and Isotopes 69, 875-879

ISSN: 0969-8043

[Импакт фактор: **1.172**; 2011; Subject Category: Nuclear Science & Technology] [M22]

[2] **J. Stajic**, D. Nikezic (2012) **Detection efficiency of a disk shaped detector with a critical detection angle for particles with a finite range emitted by a point-like source.** Applied Radiation and Isotopes 70, 528–532

ISSN: 0969-8043

[Импакт фактор: **1.179**; 2012; Subject Category: Nuclear Science & Technology] [M21]

[3] Ljiljana R. Gulan, Francesco Bochicchio, Carmela Carpentieri, Gordana A. Milic, **Jelena M. Stajic**, Dragana Z. Krstic, Zdenka A. Stojanovska, Dragoslav R. Nikezic, Zora S. Zunic (2013) **High Annual Radon Concentration in Dwellings and Natural Radioactivity Content in Nearby Soil in Some Rural Areas of Kosovo and Metohija.** Nuclear technology & radiation protection, 28 (1) 60–67.

ISSN: 1451-3994

[Импакт фактор: **1.159**; 2011; Subject Category: Nuclear Science & Technology] [M22]

[4] Ljiljana Gulan, Biljana Milenkovic, **Jelena M. Stajic**, Biljana Vuckovic, Dragana Krstic, Tijana Zeremski, Jordana Ninkov (2013) **Correlation between radioactivity levels and heavy metal content in the soils of the North Kosovska Mitrovica environment.** Environmental Science: Processes & Impacts (Formerly the Journal of Environmental Monitoring)15, 1735–1742.

ISSN: 1464-0325

[Импакт фактор: **2.085**; 2012; Subject Category: Nuclear Science & Technology] [M22]

[5] D. Nikezic, K. N. Yu, **J. M. Stajic** (2014) **Computer program for the sensitivity calculation of a CR-39 detector in a diffusion chamber for radon measurements.** Review of Scientific Instruments 85, 022102

ISSN: 0034-6748

[Импакт фактор: **1.614**; 2014; Subject Category: Physics, Applied] [M22]

[6] **J. M. Stajic**, D. Nikezic (2014) **Theoretical calculation of radon emanation fraction**. Accepted for publication in Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. Section B 336, 19-25.

ISSN: 0168-583X

[Импакт фактор: **1.266**; 2012; Subject Category: Nuclear Science & Technology] [M21]

[7] **J. M. Stajic**, D. Nikezic (2015) **Analysis of radon and thoron progeny measurements based on air filtration**. Radiation Protection Dosimetry 163 (3) 333-340.

ISSN: 0144-8420

[Импакт фактор: **0.913**; 2014; Subject Category: Nuclear Science & Technology] [M23]

[8] **J.M. Stajic**, D. Nikezic (2015) **The accuracy of radon and thoron progeny concentrations measured through air filtration**. Journal of Environmental Radioactivity 140, 50–58.

ISSN: 0265-931X

[Импакт фактор: **3.571**; 2013; Subject Category: Environmental Sciences] [M21]

[9] **J.M. Stajic**, D. Nikezic (2015) **Measurement of radon exhalation rates from some building materials used in Serbian construction**. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry 303, 1943–1947.

ISSN: 0236-5731

Импакт фактор: **1.415**; 2013; Subject Category: Nuclear Science & Technology] [M21]

[10] **J.M. Stajic**, B. Milenkovic, D. Nikezic (2015) **Radon concentrations in schools and kindergartens in Kragujevac city, Central Serbia**. CLEAN - Soil Air Water 43, 1361–1365.

ISSN: 1863-0650

[Импакт фактор: **1.945**; 2014; Subject Category: Environmental Sciences] [M22]

[11] B. Milenkovic, **J.M. Stajic**, Lj. Gulan, D. Nikezic (2015) **Radioactivity levels and heavy metals in the urban soil of Central Serbia**. Environmental Science and Pollution Research 22 (21) 16732-16741.

ISSN: 0944-1344

[Импакт фактор: **2.828**; 2014; Subject Category: Environmental Sciences] [M21]