

ПРИМЉЕНО	09.10.2014
Орг. јед.	Б. О. П. ПРИРОДНО-МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ
02	960/2
—	—

Institut softwar  
08.10.2014  
M. M. M. M. M.

**НАСТАВНО – НАУЧНОМ ВЕЋУ ПРИРОДНО – МАТЕМАТИЧКОГ ФАКУЛТЕТА  
У КРАГУЈЕВЦУ**

**Предмет:** Извештај комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Владимира Марковића.

Одлуком наставно-научног већа Природно-математичког факултета Универзитета у Крагујевцу, број 850/VIII-1, одржаној дана 26.06.2014. године, одређени смо за чланове комисије за оцену и одбрану докторске дисертације под насловом

**ДОПРИНОС ЕФЕКТИВНОЈ ДОЗИ ОД БЕТА И ГАМА ЗРАЧЕЊА РАДОНОВИХ И  
ТОРОНОВИХ ПОТОМАКА**

кандидата Владимира Марковића, асистента 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**

о урађеној докторској дисертацији кандидата Владимира Марковића.

Докторска дисертација кандидата Владимира Марковића изложена је на 139 страна, а у оквиру текста приказано је 35 слика, 36 табела и укупно је цитирано 104 библиографских јединица.

Поднети рад се састоји из два дела, ОПШТА РАЗМАТРАЊА и ТЕОРИЈСКИ ДЕО РАДА И РЕЗУЛТАТИ. У првом делу су приказана општа разматрања из области задате теме и монографског је карактера без оригиналног научног доприноса. Други део рада представља оригинални научни допринос кандидата на задатој теми.

## Преглед садржаја урађене дисертације

Део ОПШТА РАЗМАТРАЊА је монографског карактера, даје преглед стања у овој области и нема оригиналног научног доприноса. Састоји се од првих четири глава у којима је описана методологија рада и дати су појмови за разумевање рада.

У првој глави, под називом „*Опште карактеристике радона, торона и њихово понашање у просторијама*“, приказане су карактеристике радионуклида од интереса за овај рад, који су одговорни за излагање људи. Представљене су физичко хемијске особине радона, торона и њихових потомака, а посебно су описане радијационе особине ових изотопа. У наставку је приказан Јакобијев модел. Дате су параметарске једначине овог модела и уведена је тримодална расподела аеросола по величини. Јакобијев модел је проширен на тримодалну расподелу и приказане су најбоље процењене вредности параметара Јакобијевог модела. Такође су набројане физичке величине и дате њихове дефиниције, а које су неопходне за описивање и разумевање проблематике везане за излагање радоновим и тороновим потомцима.

У другој глави, под називом „*Дозиметријски модел људског респираторног тракта и активности радонових и торонових потомака у респираторном тракту*“ детаљно је описан дозиметријски модел представљен у ICRP66 публикацији, а који представља упрошћен модел људских плућа и служи у дозиметријске сврхе. Такође је у овој глави је приказана методологија прорачуна депонованих активности у плућима и представљен софтвер LUNGDOSE. Овај софтвер омогућава израчунавање депонованих активности и користи препоруке ICRP66 публикације.

Трећа глава, под називом „*ORNL математички модел људског организма – математички фантом*“, представља математички модел читавог људског организма у коме су дефинисани појединачни органи математичким релацијама. Овај модел служи у дозиметријске сврхе и омогућава прорачун доза у свим органима људског организма.

Четврта глава, под називом „*Софтвери за симулацију транспорта зрачења кроз материју*“ детаљно описује софтвере PENELOPE и MCNP. Њихова улога је у симулацији проласка бета и гама зрачења кроз материју и израчунавању губитака енергије при сударима и интеракцијама у материји. Улога ових софтвера и њихов начин рада је описан детаљно.

Други део дисертације под називом ТЕОРИЈСКИ ДЕО РАДА И РЕЗУЛТАТИ представља оригинални научни допринос аутора. Резултати научног истраживања су приказани у главама 5 – 9.

У Петој глави под називом „*Одређивање параметара Јакобијевог модела Брауновим кретањем*“ аутор је полазећи од основних концепта кретања атома и молекула у гасу представио софтвер на основу кога се могу одредити параметри Јакобијевог модела. Ради се о Монте Карло симулацији чији механизам је детаљно описан и представљен у овом делу рада, као и резултати који представљају оригинални научни допринос. Из овог дела дисертације проистекла је публикација:

N. Stevanovic, V. Markovic, V. Urosevic and D. Nikezic **Determination of parameters of Jacobi room model using the Brownian motion model** Health Physics, 96(1): 48-54, 2009.

У шестој глави ове дисертације под називом „*Апсорбоване фракције електрона и бета зрачења у осетљивим слојевима људског респираторног тракта*“ су прорачунате апсорбоване фракције у осетљивим регионима људског респираторног тракта. За прорачун DCF-а апсорбоване фракције су одређене коришћењем PENELOPE софтвера. Апсорбоване фракције у осетљивим слојевима су претходно биле рачунате и приказане у оквиру ICRP 66 извештаја. Ове вредности су кориговане побољшањима теоријског модела и користећи методе које дају тачније резултате и реалније описују транспорт зрачења у осетљивим слојевима. Користећи добијене вредности апсорбованих фракција одређене су дозе у осетљивим слојевима људског респираторног тракта. Из овог дела дисертације проистекле су публикације:

V. Markovic, N. Stevanovic and D. Nikezic **Absorbed fractions for electrons and beta particles in sensitive regions of human respiratory tract** Radiation and Environmental Biophysics. 47: 139-145, 2008.

D. Krstic, V.M. Markovic, D. Nikezic and D. Vucic **Absorbed fractions in sensitive regions of human respiratory tract calculated by mcnp5/x software for electrons and beta particles due to radon progeny.** Romanian Journal of Physics 58: S164–S171, 2013.

У глави седам ове дисертације под називом „*Дозе од бета зрачења  $^{222}\text{Rn}/^{220}\text{Rn}$  потомака у осетљивим слојевима људских плућа и дозни конверзиони фактори*“ су одређене дозе од бета зрачења у осетљивим слојевима људских плућа од стране депонованих активности у слоју мукуса и цилија. Прорачун је вршен за осетљиве слојеве

бронхијалног и бронхиоларног региона у коме се налазе базалне и секреторне ћелије које су идентификоване као радиоосетљиве. Такође је извршена анализа зависности дозног конверзионог фактора у односу на параметре из околине. Из овог дела дисертације проистекла је публикација:

V.M. Markovic, N. Stevanovic, D. Nikezic **Doses from beta radiation in sensitive layers of human lung and dose conversion factors due to  $^{222}\text{Rn}/^{220}\text{Rn}$  progeny** Radiat Environ Biophys, 50(3): 431-440, 2011.

У глави осам ове дисертације под називом „*Дозе у људским органима услед бета и гама зрачења радонових и торонових потомака наталожених у људским плућима*„ су рачунати дозни конверзиони фактори у свим главним органима и ткиву остатка људског организма. DCF је рачунат за краткоживеће радонове и торонове потомке који су бета и гама активни и налазе се депоновани у плућима. ORNL математички фантом је служио као модел за симулацију MCNP-4B софтвером. За извор зрачења су узета плућа у којима су депоновани  $^{214}\text{Pb}$  и  $^{214}\text{Bi}$ . У овој глави, прорачунате су вредности доза и DCF-а и табеларно приказане. Такође је извршена анализа осетљивости ICRP66 модела на улазне параметре. Улазни параметри овог модела су варирани у могућим опсезима, где су остали параметри држани константим и једнаким најбоље процењеним вредностима. На тај начин се одређују могуће вредности DCF-а у зависности од параметра који се варира. Ово поглавље садржи оргинални научни допринос кандидата, који је резултовао публикацијама:

V.M. Markovic, D. Krstic, D. Nikezic **Gamma and beta doses in human organs due to radon progeny in human lung** Radiation Protection Dosimetry, 135(3): 197 - 202, 2009.

D. Nikezic, V.M. Markovic, D. Krstic and P.K.N. Yu **Doses in human organs due to alpha, beta and gamma radiations emitted by thoron progeny in the lung** Radiation Protection Dosimetry, 141(4): 428-431, 2010.

У глави девет ове дисертације под називом „*Дозе радонових потомака као извора спољашњег бета и гама зрачења*“ је извршена процена излагања услед спољашњег озрачивања од гама и бета зрачења радонових потомака распоређених у атмосфери затворених просторија. ORNL математички модел људског организма је смештен у средини просторије у којој се налази активност радонових потомака која одговара јединичном излагању. MCNP софтвером дозе бета и гама зрачења су одређене у свим

главним органима и ткиву остатка људског организма. Научни допринос аутора који је проистекао из ове главе дисертације је објављен у раду:

V.M. Markovic, D. Krstic, D. Nikezic, N. Stevanovic **Doses from radon progeny as a source of external beta and gamma radiation** Radiat Environ Biophys, 51: 391–397, 2012.

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

Предмет ове дисертације је прорачун доза зрачења радонових и торонових потомака који су бета и гама емитери.

Дозиметрија радонових и торонових потомака је актуелна и веома битна тема с обзиром да су радон и његови потомци после дуванског дима други узрочник настанка канцера плућа код људи. Притом је у дозиметрији акценат стављен на алфа емитере од којих је доза у ткивима и органима највећа. У овом раду су одређиване дозе бета и гама зрачења и квантификован је њихов допринос укупној дози, што представља оригинални научни допринос кандидата. У обзир је узето унутрашње и спољашње излагање које није присутно код алфа емитера, осим у случају излагања коже људи. Показано је да је допринос ефективної дози у плућима износи око 2-3%, с тим што се мора водити рачуна да је излагање алфа зрачењу већином локализовано на плућа, док се дозе од бета и гама зрачења дистрибуирају по читавом организму. Појединачна ткива и органи примају знатно већу дозу од бета и гама зрачења, у поређењу са алфа зрачењем.

Како би се квантификовале дозе зрачења, предходно су развијени теоријски модели понашања радона и торона у затвореним просторијама, на основу којих се могу одредити концентрације радонових и торонових потомака, што је такође научни допринос кандидата.

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

На основу актуелног стања из области дозиметрије радонових и торонових потомака и моделовања њиховог понашања, Комисија закључује да рад кандидата Владимира Марковића садржи оригиналне научне резултате који нису били предмет ниједног објављеног истраживања.

## Преглед остварених резултата рада кандидата у одређеној научној области

Кандидат Владимир Марковић се бави исраживањем из области радијационе физике од 2005 године, о чему сведоче објављени радови: три поглавља у књизи, једно категорије M12 и два категорије M14, један рад у категорији M21, девет радова у категорији M22, четри рада у категорији M23, као и низ саопштења на домаћим и иностраним конференцијама у целини и изводу.

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

Предати рад „Допринос ефективној дози од бета и гама зрачења радонових и торонових потомака“ кандидата Владимира Марковића испуњава постављене захтеве теме докторске дисертације и по обму и по квалитету.

## Научни резултати докторске дисертације

Комисија истиче да је из области докторске дисертације кандидат Владимир Марковић публиковао седам радова у часописима са листе цитираних часописа (SCI), као и да је аутор два поглавља монографије познатог светског издавача:

Радови у часописима са SCI листе:

1. V. Markovic, N. Stevanovic and D. Nikezic **Absorbed fractions for electrons and beta particles in sensitive regions of human respiratory tract** Radiation and Environmental Biophysics. 47: 139-145, 2008  
**ISSN:0301-634X, IF=1.787 (M22)**
2. N. Stevanovic V. Markovic, V. Urosevic and D. Nikezic **Determination of parameters of Jacobi room model using the Brownian motion model** Health Physics, 96(1): 48-54, 2009  
**ISSN: 0017-9078, IF=0.917 (M22)**
3. V.M. Markovic, D. Krstic, D. Nikezic. **Gamma and beta doses in human organs due to radon progeny in human lung.** Radiation Protection Dosimetry, 135(3): 197 - 202, 2009  
**ISSN: 0144-8420, IF=0.951 (M22)**

4. D. Nikezic, V.M. Markovic, D. Krstic and P.K.N. Yu **Doses in human organs due to alpha, beta and gamma radiations emitted by thoron progeny in the lung.** Radiation Protection Dosimetry, 141(4): 428-431, 2010

ISSN: 0144-8420, **IF=0.966** (M22)

5. V.M. Markovic, N. Stevanovic, D. Nikezic **Doses from beta radiation in sensitive layers of human lung and dose conversion factors due to  $^{222}\text{Rn}/^{220}\text{Rn}$  progeny,** Radiat. Environ. Biophys, 50(3): 431-440, 2011

ISSN: 0301-634X, **IF=2.04** (M22)

6. V.M. Markovic, D. Krstic, D. Nikezic, N. Stevanovic **Doses from radon progeny as a source of external beta and gamma radiation.** Radiat Environ Biophys, 51: 391–397, 2012

ISSN: 0301-634X, **IF= 2.04** (M22)

7. D. Krstic, V.M. Markovic, D. Nikezic and D. Vucic **Absorbed fractions in sensitive regions of human respiratory tract calculated by mcnp5/x software for electrons and beta particles due to radon progeny** Romanian Journal of Physics 58: S164–S171, 2013

ISSN: 1221-146X, **IF=0.526** (M23)

Поглавља монографије познатог светског издавача:

1. V. Markovic, N. Stevanovic, D. Krstic and D. Nikezic **Beta and gamma dose assessment due to radon short lived progeny.** *Handbook of Radon: Properties, Applications and Health*, *Editors: Zachary Li and Christopher Feng* Nova Publishers

ISBN: 978-1-62100-177-5, pp. 63-100, 2011

2. D. Nikezic, V.M. Markovic, N. Stevanovic, V. Urosevic, B. Milenkovic and J. Stajic **Radon diffusion through the medium.** *Handbook of Radon: Properties, Applications and Health*, *Editors: Zachary Li and Christopher Feng* Nova Publishers

ISBN: 978-1-62100-177-5, pp.311-334, 2011

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

Резултати у овој дисертацији могу наћи примену у дозиметрији радонових и торонових потомака, али и пре свега за процене ризика настанка канцерних обољења у ткивима и органима људског организма. Даљим студијама на основу резултата ове дисертације могу проценити укупне дозе алфа, бета и гама зрачења у појединачним органима и проценити ризике настанка канцерних обољења. Такође резултати ове дисертације се могу употребити и у радиоекологији и на основу развијеног модела у овој дисертацији проценити како вентилација може утицати на концентрације радионуклида у атмосфери амбијенталних простора.

## **Начин презентирања резултата научној јавности**

Резултати до којих је кандидат дошао представљени су научној јавности кроз седам публикационих радова у часописима, категорије М22 и М23 као и у два поглавља монографије познатог светског издавача, категорије М12 и М14.

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

## **З А К Љ У Ч А К**

Комисија сматра да приложени текст докторске дисертације кандидата Владимира Марковића под називом “Допринос ефективној дози од бета и гама зрачења радонових и торонових потомака” 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 Владимира Марковића може се закључити да је испољио 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 научном облашћу под коју потпада тема докторске дисертације 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.

У Крагујевцу

02.10.2014. године

**Чланови комисије:**

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



**др Оливера Цирај Бјелац**, ванредни професор,  
Електротехнички факултет,  
Универзитет у Београду  
Ужа научна област: Нуклеарна техника



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



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

