

ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ		
1. Датум и орган који је именовано комисију: Комисију је именovalo Наставно-научно веће Природно-математичког факултета, Универзитета у Новом Саду на XX седници одржаној 18. маја 2023. године.		
2. Састав комисије у складу са <i>Правилима докторских студија Универзитета у Новом Саду</i> :		
1. Крмар др Миодраг	Редовни професор	Нуклеарна физика, 1.1.2013.
презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
Природно-математички факултет, Нови Сад	председник	
установа у којој је запослен-а		функција у комисији
2. Весковић др Мирослав	Редовни професор	Нуклеарна физика, 3.8.2000.
презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
Природно-математички факултет, Нови Сад	члан	
установа у којој је запослен-а		функција у комисији
3. Јованчевић др Никола	Ванредни професор	Нуклеарна физика, 1.1.2023.
презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
Природно-математички факултет, Нови Сад	члан	
установа у којој је запослен-а		функција у комисији
4. Јоковић др Дејан	Виши научни сарадник	Физика високих енергија (физика елементарних честица, нуклеарна физика, акцелератори и снопови, радијациона физика), 28.2.2023.
презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
Институт за физику у Београду	члан	
установа у којој је запослен-а		функција у комисији
5. Николов др Јована	Ванредни професор	Нуклеарна физика, 14.2.2019.
презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
Природно-математички факултет, Нови Сад	члан (ментор)	
установа у којој је запослен-а		функција у комисији

II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ
<ol style="list-style-type: none"> 1. Име, име једног родитеља, презиме: Андреј, Едвард Враничар 2. Датум рођења, општина, држава: 09.06.1992., Нови Сад, Србија 3. Назив факултета, назив претходно завршеног нивоа студија и стечени стручни/академски назив: Природно-математички факултет, мастер студије физике, мастер физичар – нуклеарна физика 4. Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија: 2017., Физика
III НАСЛОВ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:
<p align="center">Развој и унапређење недеструктивних метода за анализу радиоактивног и нуклеарног материјала</p>
IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:
<p align="center">Навести кратак садржај са назнаком броја страница, поглавља, слика, схема, графикона и сл.</p> <p>У докторској дисертацији <i>“Развој и унапређење недеструктивних метода за анализу радиоактивног и нуклеарног материјала”</i> дата је детаљна анализа недеструктивне методе нуклеарне форензике – гама спектрометрије са свим специфичностима анализе спектра нуклеарног и другог радиоактивног материјала који се може наћи изван регулаторне контроле. Посебна пажња посвећена је употреби различитих софтверских алата за побољшање тачности и прецизности добијених резултата анализе.</p> <p>Докторска дисертација има 163 нумерисаних страна, 106 слика, 35 табела и 103 литературних цитата.</p> <p>Дисертација се поред увода и закључка састоји од шест поглавља, чији су називи:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Нуклеарна форензика као научно-истраживачка дисциплина; 2. Нуклеарна форензика у међународним оквирима; 3. Нуклеарни и други радиоактивни материјали у нуклеарној форензици; 4. Експерименталне методе и технике; 5. Резултати истраживања – анализа радиоактивних материјала; 6. Резултати истраживања – анализа нуклеарних материјала. <p>Докторска дисертација се бави темом нуклеарне форензике као значајног елемента нуклеарне безбедности, која је заједно са нуклеарном сигурношћу значајан параметар државне архитектуре сваке земље. Главни део ове дисертације представља развој и унапређење анализе гама спектра узорака непознатог састава и нецилиндричне, неправилне геометрије радиоактивних материјала и специфичности анализе спектра нуклеарних материјала.</p> <p>Гама спектрометрија као недеструктивна метода нуклеарне форензике корисна је због чињенице да представља одличан алат у случајевима када је потребно очувати заплешени материјал у изворном стању. Као таква, она служи за карактеризацију нуклеарног и другог радиоактивног материјала са циљем одређивања елементарног састава и/или категоризације изотопског састава узорка. Поред поменуте сврхе, гама спектрометрија може да послужи и за решавање мало захтевнијих задатака, као што су питање репроцесуирања нуклеарног материјала (поновна употреба истрошеног нуклеарног горива) као и његова старост, што углавном може указати и на његово порекло.</p>

Циљ експерименталног истраживања ове докторске дисертације је био да се прикажу могућности примене гама спектрометрије за анализу нуклеарног и другог радиоактивног материјала са свим предностима и недостацима, као и потенцијалне технике превазилажења практичних проблема мерења и анализе података. За анализу података коришћени су доступни софтвери EFFTRAN, Angle и PC FRAM, уз поређење са резултатима добијеним GEANT4 симулацијама.

V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Сви делови докторске дисертације су обрађени на уједначеном нивоу.

У уводу је јасно образложена потреба за спроведеним истраживањима и дефинисани су циљеви самог рада.

Прва три поглавља припадају теоријском делу докторске дисертације.

У првом поглављу, приказане су основне дефиниције нуклеарне форензике као научне дисциплине уз навођење свих аналитичких техника које се користе у истраживањима у овој области.

Друго поглавље описује међународне стандарде и оквире у којима се налази нуклеарна форензика. Дефинише међународне организације које се баве овом облашћу и националне оквире у којима се ова научно-истраживачка дисциплина развија.

Треће поглавље приказује основне карактеристике нуклеарних и других радиоактивних материјала који се могу наћи изван регулаторне контроле. Јасно дефинише материјале који садрже уранијум и плутонијум као и друге радиоактивне изворе и њихову категоризацију.

Експериментални део докторске дисертације почиње четвртим поглављем а завршава се шестим.

Четврто поглавље дефинише експерименталне технике и методе мерења и анализе нуклеарних и других радиоактивних материјала. У оквиру овог поглавља дат је приказ гама спектрометрије као неструктивне методе нуклеарне форензике као и софтверских пакета који су коришћени као математички алат за унапређење анализе гама спектра нуклеарних и других радиоактивних материјала.

У петом поглављу дефинисане су специфичности анализе узорака радиоактивних материјала који се могу наћи на терену, а који могу бити веома различити у погледу геометрије, састава и густине.

Шесто поглавље приказује анализу спектра стандардних референтних нуклеарних материјала коришћењем софтверског пакета PC FRAM, уз кратак осврт на специфичности самих мерења оваквих узорака.

Докторска дисертација је заокружена закључком у коме су дефинисане предности и мане употребе различитих математичких калкулација као помоћног алата у анализи спектра нецилиндричних узорака радиоактивних материјала и специфичности анализе нуклеарних материјала.

Поред поменутих поглавља, саставни део докторске дисертације је и прилог у коме су наведени интересантни примери анализе реалних узорака за потребе нуклеарне форензике.

Комисија је позитивно оценила све појединачне делове докторске дисертације.

VI СПИСАК НАУЧНИХ И СТРУЧНИХ РАДОВА КОЈИ СУ ОБЈАВЉЕНИ ИЛИ ПРИХВАЋЕНИ ЗА ОБЈАВЉИВАЊЕ НА ОСНОВУ РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА У ОКВИРУ РАДА НА ДОКТОРСКОЈ ДИСЕРТАЦИЈИ:

Таксативно навести називе радова, где и када су објављени. Прво навести најмање један рад објављен или прихваћен за објављивање у складу са *Правилима докторских студија Универзитета у Новом Саду* који је повезан са садржајем докторске дисертације. У случају радова прихваћених за објављивање, таксативно навести називе радова, где и када ће бити објављени и приложити потврду уредника часописа о томе.

M21a Rad у међународном часопису изузетних вредности:

- **A. Vraničar**, J. Nikolov, Đ. Lazarević, A. Rikalo, N. Todorović, D. Arbutina, M. Travar Sample matrix influence on the efficiency function modeling for uranium isotopes determination by gamma spectrometry, Radiation Physics and Chemistry, 192 (2022), DOI: 10.1016/j.radphyschem.2021.109891.

M22 Rad у истакнутом међународном часопису :

- **A. Vraničar**, J. Nikolov, N. Todorović, I. Maksimović, M. Mladenović, D. Mrđa, M. Travar, Testing of EFFTRAN and Angle software in comparison to GEANT 4 simulations in gamma spectrometry of cylindrical and noncylindrical sample geometries, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment 986 (2021), DOI: 10.1016/j.nima.2020.164768.
- G. Stanić, J. Nikolov, I. Tucaković, D. Mrđa, N. Todorović, Ž. Grahek, I. Coha, **A. Vraničar**, Angle vs. LabSOCS for HPGe efficiency calibration, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 920 (2019), pp. 81-87, DOI 10.1016/j.nima.2018.12.059.

M33 Саопштење са међународног скупа штампано у целости:

- **A. Vraničar**, J. Nikolov, G. Stanić, I. Tucaković, N. Todorović, D. Mrđa, J. Hansman, I. Coha, Ž., Comparison of different mathematical calculations (LabSOCS, Angle and EFFTRAN) for HPGe efficiency calculations, Proceedings of the XII Croatian Radiation Protection Association, Varaždin, 314-319, 2019.

M34 Саопштење са међународног скупа штампано у изводу:

- J. Nikolov, N. Todorovic, **A. Vraničar**, V. Peter, E. K. Szeles, Comparison of non-destructive nuclear forensics methods for analysis of nuclear material, Proceedings of The Seventh International Conference on Radiation in Various Fields of Research (RAD 2019), 2019.
- J. Nikolov, **A. Vraničar**, N. Todorović, M. Travar, J. Hansman, S. Gadžurić, D. Mrđa, Self-absorption effects in the low-energy region in non-destructive nuclear forensics method, The International Conference on Environmental Radioactivity: Variations of Environmental Radionuclides, ENVIRA 2019 - Book of Abstracts, 8-13.09.2019.
- J. Nikolov, **A. Vraničar**, M. Travar, N. Todorović, Experimental verification of ANGLE 5 software for quantitative gamma spectrometry – a preliminary study, The International Conference on Environmental Radioactivity: Variations of Environmental Radionuclides, ENVIRA 2021- Book of Abstracts, 6-10.12.2021.
- **A. Vraničar**, M. Travar, N. Todorović, J. Nikolov, Monte Carlo approach for model optimisation of HPGe detector, The International Conference on Environmental Radioactivity: Variations of Environmental Radionuclides, ENVIRA 2021- Book of Abstracts, 6-10.12.2021.
- J. Nikolov, N. Todorović, **A. Vraničar**, M. Travar, Development of nuclear forensics capabilities in Serbia, Enhancement of scientific excellence and innovation potential in electronic instrumentation for ionizing radiation environments (ELICSIR) project symposium – Book of Abstracts 2023.
- **A. Vraničar**, M. Travar, N. Todorović, J. Nikolov, Experimental verification of ANGLE 5 software for quantitative gamma spectrometry, Enhancement of scientific excellence and innovation potential in electronic instrumentation for ionizing radiation environments (ELICSIR) project symposium – Book of Abstracts 2023.

VII ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА:

У оквиру ове докторске дисертације приказано је колико и на који начин нам различити математички алати (софтвери за трансфер ефикасности, симулације и комерцијални софтвер за анализу нуклеарних материјала) могу помоћи у гамаспектрометријским мерењима. Кроз целокупну докторску дисертацију дата је анализа нуклеарне форензике као научне дисциплине, као и њеног места у оквиру националне и међународне нуклеарне безбедности. Поред тога показано је на који начин се рутинска гамаспектрометријска мерења могу искористити за мерење специфичних материјала за потребе нуклеарне форензике уз очување састава и облика самог узорка који се мери. Наиме, у нуклеарној форензици, гама спектрометрија се третира као недеструктивна техника и то јој је основна предност у односу на читав сет доступних других прецизнијих аналитичких техника које су по својој природи деструктивне. Обзиром да се узорци који су предмет нуклеарнофорензичке анализе третирају и као доказни материјал у криминалној истрази руковање оваквим узорцима није ни мало тривијално и захтева посебну пажњу како би се очувао ланац одговорности (*Chain of custody*).

Први део експерименталних истраживања, чији су резултати приказани у поглављу 5, посвећен је анализи радиоактивних узорака различите, не-цилиндричне геометрије и различитог састава. За потребе анализе и превазилажења проблема рутинских гамаспектрометријских мерења нецилиндричних узорака коришћена су два софтвера за математичке калкулације (трансфер ефикасности) Angle и EFFTRAN у поређењу са симулационом методом (GEANT4). Циљ је био да се што је могуће прецизније одреди концентрација активности, за различите геометрије узорака, уз тестирање применљивости поменутих софтвера. Добијена су експериментално прихватљива слагања уз пажљиве апроксимације геометрије на цилиндричну код софтвера који раде на принципу трансфера ефикасности. Добијени резултати указују да се поменути математички алати могу искористити у било којој гама спектрометријској лабораторији па се тако могу анализирати и узорци који садрже у себи уранијум без употребе неког од софтвера специјално дизајнираних за ту намену (попут MGAU). Ово је значајно са аспекта економичности јер случајеви анализе узорака за потребе нуклеарно форензичке истраге нису тако чести и самим тим није економично имати посебно, специјално посвећене алате за анализу. Слични тестови су урађени и у другом делу са радиоактивним материјалима који су имали састав значајно другачији од стандардног референтног материјала који је коришћен за калибрацију детектора. У овом случају коришћен је и итеративни поступак за предвиђање састава самих узорака, а спектри су анализирани уз помоћ EFFTRAN софтвера и GEANT4 симулационог алата.

У другом делу експерименталних истраживања, чији су резултати дати у поглављу 6, посебна пажња је посвећена нуклеарним материјалима. Због немогућности мерења истих у гамаспектрометријској лабораторији у Новом Саду, у овом случају су кроз научно-истраживачку сарадњу са *JRC Karlsruhe* добијени снимљени спектри референтних узорака нуклеарних материјала. Наш задатак је био да "сирове" гама спектре обрадимо у софтверу намењеном за анализу нуклеарних материјала PC FRAM. У овом делу посебна пажња је посвећена специфичностима самих мерења материјала који у себи садрже значајне концентрације уранијума односно плутонијума. Закључак овог дела истраживања је да употреба PC FRAM софтвера за анализу нуклеарног материјала није тривијална и да сам начин мерења и заштита око узорака која ће се користити у многоме могу да утичу на добијене резултате, а са друге стране значајни су и са аспекта заштите како детектора тако и особља које овим узорцима рукује.

Комисија је позитивно оценила резултате и закључке истраживања.

VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА:

Експлицитно навести позитивну или негативну оцену начина приказа и тумачења резултата истраживања.

Истраживачки рад у оквиру докторске дисертације је спроведен коришћењем гама спектрометријске методе. За анализу резултата коришћени су различити математички алати (софтвери за трансфер ефикасности, симулације и комерцијални софтвер за анализу нуклеарних материјала) и показано је како и у којој мери нам они могу помоћи у гамаспектрометријским мерењима. Сви добијени резултати су приказани на адекватан начин (табеларно и графички), уз детаљан приказ тока експеримента и процедуре анализе добијених резултата. Дато је и прегледно тумачење добијених експерименталних резултата за функције ефикасности детекције и концентрације активности, као и масеног удела одређеног изотопа испитиваних узорака радиоактивних и нуклеарних материјала.

Комисија потврђује да је урађена провера текста дисертације помоћу iThenticate софтвера (<https://www.ithenticate.com>) при чему је утврђен индекс сличности (similarity index) од 3%. Комисија је проверила све делове текста у вези са којима је софтвер показао да постоји сличност. Комисија констатује да се случајеви поклапања односе на коришћење стручних и често употребљаваних термина. На појединим местима се преклапање односи на делове које је кандидат цитирао, а међу којима су и сами радови кандидата.

Комисија је позитивно оценила начин приказа и тумачење резултата истраживања.

IX КОНАЧНА ОЦЕНА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Експлицитно навести да ли дисертација јесте или није написана у складу са наведеним образложењем, као и да ли она садржи или не садржи све битне елементе. Дати јасне, прецизне и концизне одговоре на 3. и 4. питање:

1. Да ли је дисертација написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме?

ДА, докторска дисертација је написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме.

2. Да ли дисертација садржи све битне елементе?

ДА, дисертација садржи све битне елементе истраживачког рада.

Експериментални део садржи све битне елементе који омогућавају проверу резултата, анализе и поновљивост истраживања.

3. По чему је дисертација оригиналан допринос науци?

Докторска дисертација даје оригиналан допринос науци, јер се питања недеструктивне анализе нуклеарних и других радиоактивних материјала за потребе нуклеарно форензичких мерења често обављају „рутински“ без детаљнијег увида у тачност и прецизност добијених резултата. Софтвери за трансфер ефикасности до сада нису били коришћени у ове сврхе, а поред тога практично искуство у мерењу нуклеарних материјала може у многоме да побољша резултате који се добијају уз употребу софтвера специјално намењених за одређивање изотопског састава ових материјала.

Применљивост добијених резултата је значајна, јер се велики број лабораторија опредељује управо за гама спектрометријска мерења нуклеарних и других радиоактивних материјала који се могу наћи изван регулаторне контроле.

4. Који су недостаци дисертације и какав је њихов утицај на резултат истраживања?

На основу детаљне анализе докторске дисертације, комисија констатује да су испуњени постављени циљеви и да дисертација не садржи недостатке који би утицали на резултате истраживања.

X ПРЕДЛОГ:
На основу наведеног, комисија предлаже:
а) да се докторска дисертација прихвати, а кандидату одобри одбрана;
б) да се докторска дисертација врати кандидату на дораду (да се допуни односно измени);
в) да се докторска дисертација одбије.

Место и датум: Нови Сад, 19.5.2023.

1. др Миодраг Крмар, редовни
професор
_____, председник

2. др Мирослав Весковић, редовни
професор
_____, члан

3. др Никола Јованчевић, ванредни
професор
_____, члан

4. др Дејан Јоковић, виши научни
сарадник
_____, члан

5. др Јована Николов, ванредни
професор
_____, члан
(ментор)

НАПОМЕНА: Члан комисије који не жели да потпише извештај јер се не слаже са мишљењем већине чланова комисије, дужан је да унесе у извештај образложење односно разлоге због којих не жели да потпише извештај и да исти потпише.