

## НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

**Предмет:** Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидаткиње Јелене Станковић Петровић

Одлуком 5005/07-3 бр. од 7.12.2015. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидаткиње Јелене Станковић Петровић под насловом:

Спектрометрија фотонског зрачења у радиолошком опсегу енергија помоћу CdTe детектора

После прегледа достављене Дисертације и других пратећих материјала и разговора са Кандидаткињом, Комисија је сачинила следећи

### РЕФЕРАТ

#### 1. УВОД

##### 1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Кандидаткиња је уписала докторске студије 5. марта 2008. год. на модулу Нуклеарна, медицинска и еколошка техника. На основу одлуке Наставно-научног већа бр. 2944/2 од 11.10.2007. године, Студијски програм је започео у пролећном семестру школске 2007/2008. год., па се рок за завршетак докторских академских студија рачуна од почетка тог семестра, сагласно Статуту Универзитета у Београду и Статуту Електротехничког факултета.

По истеку законског рока за завршетак докторских академских студија, на захтев студента, одобрено је продужење рока за завршетак ових студија за још два семестра, сагласно члану 92. став 4 Статута Универзитета у Београду, као и додатно продужење за годину дана на основу Одлуке бр. 24-06/06-2007/5005 од 4.3.2015. Хронологија одобравања и израде докторске дисертације је следећа:

- 28.8.2014. године пријавила је тему за израду докторске дисертације.
- 17.9.2014. године Комисија за студије трећег степена разматрала је предлог теме за израду докторске дисертације и предлог Комисије о оцени подобности теме и кандидата упутила Наставно –научном већу на усвајање.
- 25.9.2014. године Наставно-научно веће именовало је Комисију за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације.
- 18.11.2014. године Наставно-научно веће усвојило је Извештај Комисије за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације.
- 22.12.2014. године Веће научних области техничких наука дало је сагласност на предлог теме докторске дисертације (број 61206-5768/2-14 од 22.12.2014. године).

- 19.11.2015. године кандидат је предао докторску дисертацију на преглед и оцену.
- 25.11.2015. године Комисија за студије трећег степена потврдила је испуњеност потребних услова за подношење предлога Наставно-научном већу Електротехничког факултета за формирање Комисије за преглед и оцену докторске дисертације.
- 1.12.2015. године Наставно-научно веће Факултета именовало је Комисију за преглед и оцену докторске дисертације (број одлуке 5005/07-3 од 7.12.2015. године).

## 1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација Јелене Станковић Петровић припада научној области – Техничке науке, Електротехника, ужој научној области Нуклеарна техника. Конкретно дисертација обухвата истраживања из подобласти: детекције X-зрачења, радијационог транспорта, нумеричке математике, физике полупроводника и полупроводничких материјала.

Докторска дисертација је рађена под руководством др Предрага Маринковића, редовног професора на Електротехничком факултету, при Катедри за микроелектронику и техничку физику, који је и руководилац модула докторских студија кандидаткиње. На поменутом модулу ментор је ангажован на следећим предметима: 1) Теорија нуклеарних реактора; 2) Нумеричка симулација радијационих и нуклеарних процеса; 3) Мерење јонизујућег и нејонизујућег зрачења. Аутор је или коаутор више радова са SCI листе, као и саопштења са домаћих и међународних конференција, а из уже научне области Нуклеарна техника.

## 1.3. Биографски подаци о кандидату

Јелена Станковић Петровић је рођена 30.04.1982. године у Крушевцу. Основну школу „Бошко Ђуричић“ и Гимназију „Светозар Марковић“ је завршила у Јагодини, обе као носилац Вукове дипломе.

Основне студије је уписала 2001. године на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, одсек за физичку електронику, смер за медицинску и нуклеарну технику. Дипломски рад на тему „Пројектовање система за биофидбек на основу интензитета ЕМГ сигнала“ одбранила је јула 2007. године са оценом 10 и дипломирала са просечном оценом 8.53, чиме је стекла звање дипломирани инжењер електротехнике. За време студија је похађала два стручна курса:

1. *High Tech Engineering in Medicine*, 2005. године, Алмада, Португал.
2. *School of Quantum Information and Quantum Computation*, 2007. године, Крагујевац, Србија.

На ЕТРАН конференцији 2007. године је добила награду за најбољи рад у студентској секцији на тему „ГУИ за детекцију микрокалцификација на мамограму“.

Докторске студије је уписала на Електротехничком факултету Универзитета у Београду 2007/08. године, студијска група за нуклеарну, медицинску и еколошку технику.

За време зимског семестра, школске 2007/08. године била је асистент за рачунске вежбе на предмету „Физичко-техничка мерења“ на Пољопривреном факултету Универзитета у Београду.

Од 2008. године до 2012. године радила је у компанији Горење ГТИ д.о.о., дистрибутеру радиолошке медицинске опреме *Philips Healthcare*.

У Лабораторији за заштиту од зрачења и заштиту животне средине, Института за нуклеарне науке „Винча“ запослена је од 2012. године, на радном месту истраживач

сарадник. Активно учествује у раду акредитеване Лабораторије за радијациона мерења на пословима индивидуалне дозиметрије. У звању истраживач сарадник од 2013. године је и ангажована на пројекту „Нове технологије за мониторинг и заштиту животног окружења од штетних хемијских супстанци и радијационог оптерећења“ који је финансиран од стране Министарства просвете, науке и технолошког развоја, ев. бр. III43009. Ангажована је и на европском пројекту *European epidemiological study on radiation-induced lens opacities for interventional cardiologists, EUROLOC*, који је фокусиран на истраживању ефеката ниских доза јонизујућег зрачења на очно сочиво, комбинујући епидемиолошки, офтамолошки метод са ретроспективним и проспективним дозиметријским методом, ев. бр. *OPERRA-2013-Grant agreement number-60498*.

## 2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

### 2.1. Садржај дисертације

Дисертација је написана на укупно 112 страна текста и садржи: 58 слика и 9 табела. Делови дисертације су: насловна страна (на српском и енглеском језику), изрази захвалности, сажетак (на српском и енглеском језику), садржај, шест поглавља, набројана литература од укупно 120 референци и три прилога у облику коришћених компјутерских кодова. Дисертација је уобличена по следећим поглављима: (1) Увод, (2) CdTe полупроводнички детектор X-зрачења, (3) Анфолдинг-деконволуција мереног спектра, (4) Монте Карло метод за генерисање матрице одзива  $R$ , (5) Опис експеримента и дискусија и (6) Закључак.

### 2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

Дисертација даје приказ коришћења полупроводничког детектора од CdTe за спектрометријска мерења фотонског, X-зрачења које се користи у медицинској дијагностици. У уводном поглављу су дата објашњења основних појмова везаних за спектар X зрачења, природу X-зрачења, интеракције X-зрачења и материјала и примену X-зрачења у медицини. Анализирано је добијање енергетског спектра помоћу полупроводничких детектора и дато је поређење неколицине њих који се користе у те сврхе (Si, Ge, InP, GaAs, Pbl<sub>2</sub>, Hgl<sub>2</sub>, CdTe и CdZnTe).

Друго поглавље је посвећено CdTe полупроводничком детектору X-зрачења, његовим предностима и примени истих, и његовим недостацима. У овом поглављу је детаљније разматрано изобличење (дисторзија) мереног спектра зрачења услед: самих интеракција фотона у детектору, величине детектора, карактеристика самих атома детектора, као и утицаја електричног поља унутар детектора на дрифт носиоца наелектрисања.

У трећем поглављу је објашњен анфолдинг спектра (поступка претварања амплитудског у енергетски спектар). Приказан је матрични метод анфолдинга који повезује мерени (изобличени) спектар и примарни спектар преко матрице одзива детектора. У овом поглављу су разматрани различити методи добијања матрице одзива детектора: емпиријски, полу-емпиријски и метод Монте Карло симулације радијационог транспорта X-фотона у тродимензионој (3Д) геометрији. Показано је да је матрица одзива лоше условљена. За решавање лоше условљеног система једначина одабран је метод сингуларне декомпозиције матрице са одсецањем, који је детаљно објашњен.

Четврто поглавље је посвећено симулацији радијационог транспорта X-фотона у 3Д геометрији техником Монте Карло. Објашњен је концепт Монте Карло технике и наведени су светски верификовани рачунарски програми који су засновани на њој. Показало се да је рачунарски програм *MCNP5* погодан за симулацију одзива CdTe спектрометра X-фотона и за генерисање матрице одзива детектора. Објашњено је да програм *MCNP5*, као своје стандардне излазне податке, даје енергетски спектар фотона без урачунавања дрифта

носиоца наелектрисања унутар детектора. За потребе симулације спектрометра од CdTe ово није довољно, тако да је у овом поглављу изложен нови начин обраде излазних података смештених у PTRAC текстуалној датотеци програма MCNP5, а који је кандидаткиња развила током рада на дисертацији. Велики део овог поглавља је посвећен објашњењу PTRAC датотеке. Представљен је настали алгоритам за постпроцесирање PTRAC датотеке (PTRAC метод). За развој овог алгоритма коришћени су методи дубинске анализе података: метод класификације и метод груписања.

У петом поглављу су дати резултати развијеног PTRAC метода, реалног експеримента, и резултати анфолдинга. Прво су приказани резултати тест мерења у лабораторијском окружењу, а затим и резултати мерења која су извршена у клиничком окружењу, на системима за: мамографију, компјутеризовану томографију, систему за снимање и просветљавање (флуороскопију), ангиографију и компјутеризовану томографију са конусним снопом. Представљени су и дискутивани резултати анфолдинга мерених спектра коришћењем новог PTRAC метода и показано је слагање са референтним спектрима.

Шесто поглавље обухвата закључак разматрања изнетих у претходним поглављима. Дати су основни доприноси дисертације и представљен је могући првац даљих истраживања.

### 3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

#### 3.1. Савременост и оригиналност

Тема и садржај ове дисертације су савремени због: (1) полупроводничког материјала спектрометра који се посматра, (2) метода који се користи за обраду података и (3) због примене резултата у медицинској дијагностичкој радиологији.

(1) У области спектрометрије X-зрачења, због добре резолуције и ефикасности детекције већина истраживача користи HPGe. Са друге стране, HPGe је детектор који се без тешкоћа користи у лабораторијским условима, док је непрактичан за ванлабораторијске услове, специјално у клиничкој пракси. За ванлабораторијске услове потребан је детектор мањих димензија и масе, који не захтева криогено хлађење. Још се не располаже детектором који се може сматрати златним стандардом за ванлабораторијске услове – по питању карактеристика и мобилности. Детектори са активном запремином од CdTe су врло актуелни у том смислу јер CdTe припада групи полупроводника са широким енергетским процепом, што му омогућава рад на приближно собним температурама без потребе за додатним криогеним хлађењем и повећањем димензија. Поред тога, CdTe је материјал који се користи и за детекцију фотонског зрачења у другим деловима електромагнетног спектра: инфрацрвеном, видљивом и ултравиолетном, што га чини лако доступним материјалом који је тема великог броја истраживања.

(2) Развој рачунара је омогућио да у овој дисертацији буде примењена 3Д Монте Карло симулација за генерисање матрице одзива спектрометра, а не емпиријски и семи-емпиријски методи, што овај рад чини изузетно атрактивним. Од посебног значаја је и коришћење светски признатог програма за симулацију радијационог транспорта у 3Д геометрији - MCNP5. Овај програм је развијен и константно унапређиван у Лабораторији ОРНЛ, Лос Аламос, САД. Има веома моћан пакет за дефинисање 3Д геометрије, користи сложене физичке моделе за интеракције и поред примене у симулацији детектора, прорачуна доза, прорачуна критичности реактора има и друге многобројне примене у физици нуклеарних реактора. Један од MCNP5 излаза – PTRAC, није досад употребљаван у фотонској спектрометрији јер је обиман (реда 1 GB), исписује све интеракције које су се десиле у детектору и не даје смислени излаз у облику укупне депоноване енергије, флукса, интензитета струје или друге макроскопске величине. С друге стране управо зато што PTRAC текстуална датотека располаже сировим подацима, као што је позиција и депонована енергија по интеракцији, може се искористити за корекцију енергетског спектра који даје

полупроводнички детектор, а према месту интеракције фотона у детектору. Идеја да се из њега издвоји информација је веома оригинална и инвентивна. Радом на овој дисертацији кандидат је успео да добије низ корисних информација из *PTRAC* фајла и да га дешифрира што омогућава његову употребу и у другим истраживањима.

(3) Тема ове дисертације се односи на спектрометријско мерење фотонског зрачења које се користи приликом примене извора зрачења у медицини, односно дијагностичкој радиологији. Спектрометријски метод мерења полупроводничким детектором од CdTe, приказан у овој дисертацији, није до сада коришћен. Овом дисертацијом је практично унапређен спектрометријски метод осигурања контроле квалитета радиолошких уређаја. Мерење спектра зрачења рендгенске цеви помаже у оптимизацији излагања и унапређењу заштите од зрачења, тј. заштити здравља пацијената, као и медицинског особља.

### 3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Приликом израде ове дисертације, кандидаткиња је користила релевантну литературу из области нуклеарне и атомске физике, детекције зрачења, медицинске физике, полупроводничких материјала, нумеричких метода решавања система једначина и Монте Карло симулације радијационих процеса. Кандидаткиња је детаљно истражила постојећу литературу. Списак литературе се састоји од укупно 120 референци укључујући и радове кандидаткиње. Кандидаткиња се позвала на неке од првих и основних радова који се баве *X*-зрачењем, па све до најновијих радова објављених у врхунским међународним часописима који се баве проблемом анфолдинга спектра *X*-зрачења у медицинској радиологији.

### 3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

У овој дисертацији је кандидат користио низ различитих метода:

1. Мерење спектра рендгенског зрачења је извршено спектрометријским методом, а помоћу полупроводничког детектора од CdTe. Спектрометар од CdTe је идеалан кандидат за клиничко окружење јер не захтева криогено хлађење и има задовољавајућу ефикасност за енергије *X*-зрачења које се користе у дијагностичкој радиологији. Малих је димензија тако да не представља проблем приликом рада у веома динамичном клиничком окружењу. Резолуције је нешто слабије од HPGe, али довољно добре за дату примену (*FWHM* је приближно 1% на 60 keV).

2. Развијен је геометријски модел поставке реалног експеримента, који укључује и геометријски модел детектора, све за потребе дефинисања улазних параметара у Монте Карло *MCNP5* програму. У дисертацији су узета у обзир два излаза програма *MCNP5*: један стандардни спектрометријски излаз - *Tally F8*, и други мање популаран *PTRAC* излаз за који је потребно даље постпроцесирање.

3. Користећи се методом дубинске анализе података: класификацијом и груписањем на основу врсте интеракције коју фотон претрпи у запремини детектора, пронађен је алгоритам који *PTRAC* излаз трансформише у *Tally F8* излаз, и додатно исписује информацију о дубини места интеракције фотона у детектору. Ова информација омогућава унапређење Монте Карло симулације инкорпорирањем модела транспорта носиоца наелектрисања унутар детектора.

4. На основу прегледа референтне литературе закључено је да је Хектов метод најбољи за прорачун сакупљеног наелектрисања на електродама планпаралелног полупроводничког детектора. Због тога је Хектова једначина инкорпорирана у *PTRAC* алгоритам. Тиме је омогућена верна симулација асиметричног ширења пика услед дрифта носиоца наелектрисања унутар детектора, а што до сада није било могуће помоћу излаза *Tally F8*.

5. Након инкорпорирања Хектове једначине у Монте Карло симулацију одзива детектора, извршено је генерисање матрице одзива детектора, а према резолуцији реалног детектора. Методом *PTRAC* је извршено 1250 симулација са монохроматским изворима

фотонског зрачења од 1.13 keV до 151 keV. Одзив детектора је приказан у 1250 енергетских опсега ширине 0.12 keV, и то од 1.01 keV до 150.89 keV.

6. По успешном генерисању матрице одзива CdTe спектрометра и мерења спектра, приступљено је нумеричком решавању система једначина које повезују примарни и измерени спектар. Овде је коришћен метод сингуларне декомпозиције матрица са одсецањем (*TSVD*). Овај метод се показао као најповољнији при решавању лоше условљене матрице система јер даје решење које има оптималне вредности средње квадратне грешке решења, и еуклидове норме решења. Метод се показао адекватним пошто је добијено слагање са референтним спектром.

### 3.4. Применљивост остварених резултата

Остварени резултати у дисертацији кандидаткиње Јелене Станковић Петровић су применљиви на цео енергетски спектар  $X$  и гама зрачења, а не само на део енергија које се користе у медицинској дијагностичкој радиологији. Метод коришћен у овој дисертацији може бити примењен и на спектрометар од другог полупроводничког материјала. Алгоритам за постпроцесирање *PTRAC* датотеке може уз мање корекције да се искористи у различитим областима нуклеарне технике и заштите од зрачења. Од практичног значаја је то што су детектовани спектри  $X$ -зрачења у клиничком окружењу корисни за карактеризацију расејаног зрачења у околини рендгенског апарата, што је даље од значаја за калибрацију личних дозиметара које носи медицинско особље и за адекватни избор других детектора који се користе при осигурању квалитета рендген апарата.

### 3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

На основу садржаја докторске дисертације може се рећи да је кандидаткиња испољила способност сагледавања предмета истраживања из више углова. Показала је изузетну посвећеност теоријском и експерименталном раду, и испољила је иницијативу за самостално решавање проблема. Према изложеном у дисертацији, кандидаткиња је потпуно овладавала методологијом научног рада у оквиру природних наука.

## **4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС**

### 4.1. Приказ остварених научних доприноса

1. Формирање алгоритма за рад са *PTRAC* текстуалном излазном датотеком *MCNP5* софтвера који даље омогућава развој метода за корекцију енергетског спектра.

2. Развој алгоритма за гаусово енергетско ширење пика за постпроцесирање *PTRAC* излаза.

3. Унапређење метода Монте Карло за симулацију радијационог транспорта унутар детектора, инкорпорирањем модела транспорта носиоца наелектрисања и сакупљања наелектрисања на електродама, а на основу информација из постпроцесуираног *PTRAC* излаза.

4. Унапређење спектрометријског метода контроле квалитета радиолошких уређаја.

### 4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Када је реч о верификованим кодовима за Монте Карло симулације, у великом броју случајева само запослени у матичним, развојним, научним установа имају приступ изворном коду, и зато само одређени, релативно мали, број људи може да прилагоди излаз програма својим потребама. Научни допринос (1) у поглављу 4.1 је управо омогућио прилагођавање излаза разним потребама истраживача када је реч о Монте Карло симулацији радијационог транспорта програмом *MCNP5*. Претходно наведен научни допринос унапређује научно знање тако што обезбеђује праћење депоновања енергије сваког појединачног фотона у

материјалу мете, у овом случају, у детектору. Поред енергије, алгоритам даје информацију о позицији интеракције фотона, на основу које може да се анализира ефикасност детектора у зависности од енергије упадног фотонског зрачења. Из информација о појединачним интеракцијама могу се пребројати разни догађаји у детектору, као што су: фото-електрични ефекат у атомима кадмијума, или телурида, Комптоново или Рејлијево расејање или број трансмитованих фотона. Тиме *PTRAC* метод представља унапређење примене Монте Карло симулације и могао би, између осталог, да се користи за развој нових врста детектора зрачења. Научни допринос (2) је у успешном алгоритму за гаусово ширење пика у спектру добијеног *PTRAC* методом. Ово је омогућило симулацију реалног спектрометра према стварном *FWHM*, тј. изједначење карактеристика *PTRAC* метода и *Tally F8*. Главно унапређење у вези *PTRAC* метода је наведено под (3). Ради се о инкорпорација модела кретања носиоца наелектрисања унутар детектора под утицајем примењеног електричног поља, што омогућава реалну симулацију асиметричног ширења пика и посматрања ове појаве у зависности од енергије упадног зрачења. Овакво третирање спектра у *MCNP5* симулацијама није било до сада могуће, чиме је унапређен ниво досадашњих знања о *MCNP5* симулацијама.

Анфолдинг поступком, који комбинује *PTRAC* метод и нумерички *TSVD* метод, се успешније него раније коригује деформисани детектовани спектар. Добијени резултати о мереним спектрима сада мање одступају од референтних.

#### 4.3. Верификација научних доприноса

Током своје досадашње научне каријере Јелена Станковић Петровић је као аутор или коаутор објавила укупно 28 радова, сврстано према категоријама М по Правилнику Министарства просвете и науке Србије,: 4 рада са импакт фактором, 5 радова М33 категорије, 4 рада М34 категорије и 15 радова М63 категорије, а овде су наведени радови који директно верификују научни допринос истраживања које је презентовано у докторској дисертацији кандидаткиње.

##### Категорија М21:

1. Stankovic, J., Marinkovic, P., Ciraj-Bjelac, O., Kaljevic, J., Arandjic, D., Lazarevic, D.: Toward utilization of MCNP5 particle track output file for simulation problems in photon spectrometry, *Computer Physics Communications*, 195 (2015), pp. 77–83, (IF: 3.112), ISSN 0010-4655, doi: 10.1016/j.cpc.2015.05.003.

##### Категорија М33:

2. Stanković, J., Marinković, P.: Quasi-minimal Residual Method for X-ray Spectrum Unfolding, *Proceedings of 1<sup>st</sup> International Conference on Electrical, Electronic and Computing Engineering IcETRAN 2014*, Vrnjačka Banja, Serbia, June 2 – 5, 2014, pp. MT11.1.1-5, ISBN 978-86-80509-70-9

##### Категорија М63:

3. Kovačević, M., Stanković, J., Božović, P., Arandić, D., Marinković, P., Rajović, Z., Određivanje kvaliteta snopa X-zračenja upotrebom spektrometra u dijagnostičkoj radiologiji, *Zbornik radova sa 27. Simpozijuma Društva za zaštitu od zračenja SCG*, 2013, pp. 213-216, ISBN 978-86-7306-115-3

4. Stanković, J., Kaljević, J., Arandić, D., Ciraj-Bjelac, O.: Optimizacija filtra termoluminescentnog dozimetra simulacijom Monte Karlo, *Zbornik radova sa 27. Simpozijuma Društva za zaštitu od zračenja SCG*, 2013, pp. 259-262, ISBN 978-86-7306-115-3

5. Stanković, J., Kaljević, J., Arandić, D., Ciraj-Bjelac, O.: Monte Karlo simulacija relativnog odziva termoluminescentnog dozimetra u zavisnosti od energije fotonskog izvora, *Zbornik radova sa 57. Konferencije ETRAN*, 3 – 6. juna 2013, Zlatibor, pp. NT1.5.1-5, ISBN: 978-86-80509-68-6

## 5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Дисертација кандидаткиње Јелене Станковић Петровић, под насловом „Спектрометрија фотонског зрачења у радиолошком опсегу енергија помоћу CdTe детектора“ представља оригиналан приступ решавању проблема изобличења спектра X-зрачења који се јавља услед интеракција фотона у материјалу CdTe детектора и услед транспорта носиоца наелектрисања унутар детектора. Тиме је кандидаткиња дала научни допринос ужој научној области нуклеарна техника.

Специфично, допринос се огледа у формирању алгоритма за рад са PTRAC излазом MCNP5 програма који је даље омогућио корекцију детектованог, изобличеног спектра X-зрачења. Тиме је постигнуто следеће:

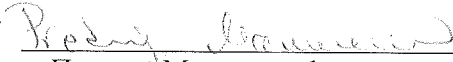
- унапређен је метод Монте Карло симулације радијационог транспорта унутар детектора инкорпорирањем модела транспорта носиоца наелектрисања од места интеракције фотона до електрода детектора, и
- практично је унапређен спектрометријски метод контроле квалитета радиолошких уређаја.

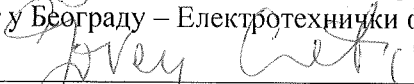
Оцењујемо да је докторска дисертација савремена по питању коришћених материјала и метода који су били и адекватни за дату тему. Научни допринос је верификован објављеним резултатима, а самосталност кандидаткиње се управо огледа у публикованом раду у врхунском међународном часопису на коме је кандидаткиња први аутор.


Комисија за преглед и оцену докторске дисертације констатује да је кандидаткиња Јелена Станковић Петровић испунила све услове предвиђене Законом о високом образовању, и Статутом и Правилником о докторским студијама Електротехничког факултета Универзитета у Београду. На основу свега изложеног, комисија предлаже Наставно-научном већу да се докторска дисертација под називом „Спектрометрија фотонског зрачења у радиолошком опсегу енергија помоћу CdTe детектора“ кандидаткиње Јелене Станковић Петровић прихвати, изложи на увид јавности и упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

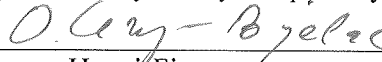
У Београду, 10.12.2015.

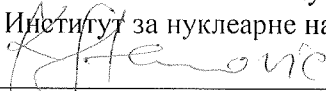
### ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

  
др Предраг Маринковић, редовни професор  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет

  
др Јован Цветић, редовни професор  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет

  
др Борђе Лазаревић, научни сарадник  
Универзитет у Београду – Институт за нуклеарне науке „Винча“

  
др Оливера Цирај-Бјелац, ванредни професор  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет,  
и научни саветник

  
др Ковиљка Станковић, доцент  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет