

НАСТАВНО–НАУЧНОМ ВЕЋУ ФИЗИЧКОГ ФАКУЛТЕТА УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ

Пошто смо на XI седници Наставно-научног већа (ННВ) Физичког факултета Универзитета у Београду, одржаној 22.10.2014. године, одређени за чланове Комисије за припрему извештаја о докторском раду *“Методе за израчунавање ефеката коинцидентног сумирања у гама спектроскопији”* из научне области НУКЛЕАРНА ФИЗИКА, коју је кандидат мр. Драгана Јорданов, магистар физичких наука, предала Физичком факултету у Београду дана 15.09.2014. године, подносимо следећи

РЕФЕРАТ

1. Основни подаци о кандидату

1.1 Биографски подаци

Кандидат Драгана Јорданов је рођена 12. 05. 1970. године у Београду, где је завршила основну и средњу школу. Дипломирала је на Физичком факултету Универзитета у Београду, смер Физика-хемија, 1999. године. Последипломске студије на одсеку Физика, смер Нуклеарна физика и физика елементарних честица уписала је 2000. године. Магистарски рад под насловом *“Механизми спалације индуковане сноповима Ne-20 средњих енергија”* одбранила је 20.05.2008 на Физичком факултету Универзитета у Београду. Кандидат од 2001. године ради у Институту за Нуклеарне Науке “Винча“. Научно-истраживачким радом се бави у оквиру пројекта бр.171028, Министарства просвете, науке и технолошког развоја, Републике Србије. Кандидат је до сада објавила четири рада у међународним часописима и већи број саопштења на међународним и домаћим конференцијама.

1.2 Научна активност

Кандидат се у свом досадашњем научно-истраживачком раду бавила нуклеарном спектроскопијом, тешкојонским реакцијама на средњим енергијама, фрагментационим моделом, односно партиципант-спектатор моделом, Монте-Карло симулацијама, траг детекторима, метрологијом радионуклида и применом Х-дифрактометрије у медицинским истраживањима, као што доле наведени списак радова и документује. Кандидат је од 2001. године учествовала на два пројекта Министарства за науку и технологије: " Нуклеарна физика, методе и инструменти", бр. 1955, (2002-2005) и " Нуклеарна физика, методе и инструменти", бр. 141019Б, (2006-2010) а од 2011. године учествује на пројекту Министарства за просвету, науку и технолошки развој Републике Србије број 171028 под називом "Нови приступ проблемима заснивања квантне механике са аспекта примене у квантним технологијама и интерпретацијама сигнала различитог порекла ", (2011-2016). Кандидат је учествовала на више домаћих и међународних конференција. Кандидат је аутор/коаутор 4 рада објављених у међународним часописима од којих је 3 објављено у врхунским и 1 у истакнутом међународном часопису, један рад у часопису од националног значаја, као и бројних саопштења на међународним и домаћим скуповима а такође је одржала и једно предавање по позиву. Списак радова је приложен на крају извештаја.

2. Опис предатог рада

2.1 Основни подаци

Руководиоц рада је др. Ласло Нађђерђ који испуњава све статутом предвиђене услове за ментора. Његови најзначајнији радови у часописима са SCI листе у протеклих пет година су:

1. Nadder Laslo J., Jordanov Dragana J., Davidovic Milos D., A new matrix method for calculating coincidence summing effects for gamma spectroscopy, NUCLEAR INSTRUMENTS & METHODS IN PHYSICS RESEARCH SECTION A-ACCELERATORS SPECTROMETERS DETECTORS AND ASSOCIATED EQUIPMENT 662 (2012) 21-25.

2. Novkovic Dusan N., Nadderd Laslo J., Djurasevic Mirjana M., Vukanac Ivana S., Kandic Aleksandar, Milosevic Zoran A., The Direct Activity Measurement of Ba-133 by Using HPGE Spectrometer, NUCLEAR TECHNOLOGY & RADIATION PROTECTION 26 (2011) 64-68.
3. Novkovic Dusan N., Nadderd Laslo J., Djurasevic Mirjana M., Vukanac Ivana S., Kandic Aleksandar, Milosevic Zoran A., The direct measurement of Ba-133 activity by the sum-peak method, NUCLEAR INSTRUMENTS & METHODS IN PHYSICS RESEARCH SECTION A-ACCELERATORS SPECTROMETERS DETECTORS AND ASSOCIATED EQUIPMENT 608 (2009) 116-120.
4. Novkovic Dusan N., Nadderd Laslo J., Kandic Aleksandar, Vukanac Ivana S., Djurasevic Mirjana M., Experimental Testing Of The Digital Multichannel Analyzer For Gamma Spectrometry Measurements, NUCLEAR TECHNOLOGY & RADIATION PROTECTION 23 (2008) 43-46.
5. Novkovic Dusan N., Djurasevic Mirjana M., Kandic Aleksandar, Vukanac Ivana S., Milosevic Zoran A., Nadderd Laslo J., Coincidence summing of X- and gamma rays of Ba-133, NUCLEAR INSTRUMENTS & METHODS IN PHYSICS RESEARCH SECTION A-ACCELERATORS SPECTROMETERS DETECTORS AND ASSOCIATED EQUIPMENT 582 (2007) 592-602.

Докторска дисертација Драгане Јорданов је највећим делом реализована у Лабораторији за материјале (170) Института за Нуклеарне Науке „Винча“, у Београду под руководством др Ласла Нађђерђа.

Докторска дисертација „**Методe за израчунавање ефеката коинцидентног сумирања у гама спектроскопији**” написана је на српском језику. Подељена је на девет глава, почиње Уводом и завршава се Закључком. Написана је на 116 страна, не рачунајући насловну страну, захвалнице, сажетак, садржај, биографију аутора и изјаве. Теза је илустрована са 33 слике, графике и шеме и има једну табелу. Поред резимеа на српском, енглеском и руском језику дисертацију чине девет поглавља, списак литературе и четири додатка. Списак литературе садржи 47 коришћених референци.

У првом делу тезе је изложена општа теорија о интеракцији гама зрачења са материјом, као и опис карактеристика полупроводничких детектора и механизма детекције. Такође је уведен појам коинцидентног сумирања. Затим је дат аналитички преглед ранијих метода које су се бавиле проблемом коинцидентних ефеката. У другом делу тезе је изложен нови метод за приказивање и израчунавање коинцидентног сумирања. Овим методом добијене су једначине брзина бројања које описују коинцидентно сумирање γ - и X-зрака у Ge спектрометрима, за радионуклиде који су већ обрађивани другим методима. Потом је, по први пут метод примењен на радионуклиду са јако сложенем шемом распада, ^{152}Eu . Овим методом је значајно олакшано израчунавање ефикасности детектора и активности извора радионуклида. Експериментална потврда новог аналитичког приступа сумационим ефектима је урађена на радионуклидима који се користе у реалној метрологији. Такође, метод је проверен и на симулираним спектрима неких радионуклида који су у употреби.

У последњем поглављу су сумарно дати најважнији закључци докторске дисертације.

После списка коришћене литературе дата су и четири додатка. Први прилог описује електронски захват јер је распад електронским захватом са аспекта X-гама коинцидентног сумирања најопштији случај распада радионуклида, са детаљним описом вероватноћа које се користе при формирању матрица. У другом прилогу дат је опис процеса интерне конверзије, као значајног процеса у распаду језгра, такође са одговарајућим вероватноћама. Интерна конверзија је процес конкурентан емисији гама кваната. Трећи прилог описује Ожеове електроне чија емисија је конкурентна емисији K X-фотона. У четвртом прилогу дата је компилација грешака код нуклеарних параметара, које смо уочили анализирајући распад радионуклида ^{152}Eu .

2.2 Предмет и циљ рада

Предложена тема “Методи за израчунавање ефеката коинцидентног сумирања у гама спектроскопији“ по својој тематици спада у област Нуклеарне физике, а

посебно Метрологији радионуклида. Тема ове докторске дисертације су ефекти коинцидентног сумирања који се јављају при спектроскопији гама зрачења и методи за решавање ове проблематике. Проблематика коинцидентног сумирања једна је од најважнијих проблема у гама спектроскопији.

У оквиру ове теме кандидат ће проучавати проблематику коинцидентног сумирања која је веома актуелна у међународним групама које се баве метрологијом радионуклида, односно спектрометријом гама зрачења. Ефекти коинцидентног сумирања настају када се распадом неког нуклида у каскадним прелазима емитују два или више фотона, у кратком временском интервалу, краћем од времена разлагања детектора, а као резултат, детектор их третира као једну интеракцију, тако да ће енергетски трансфер представљати суму трансфера појединачних интеракција (сумациони пик). То доводи до повећања одброја у сумационом пику али и смањења одброја у фотопиковима каскадних фотона што представља узрок грешке у одређивању ефикасности и активности извора. Примена аналитичког приступа проблему коинцидентног сумирања даје могућност да се предвиде сви сумациони пикови који се могу појавити у спектру.

Овом проблематиком баве се нуклеарни физичари педесетак и више година. Теоријски приступи овом проблему се појављују шездесетих година прошлог века. Деведесетих година, увођењем матричног формализма, успешно је заокружена теоријска основа гама-гама коинцидентног сумирања. Нови изазови јавили су се развојем експерименталне технике. Разматрани коинцидентни ефекти се повећавају са порастом ефикасности савремених детектора за детекцију гама зрачења. Израда нових германијумских детектора који имају проширену детекторску осетљивост ка нижим енергијама – BEGe (broad energy HPGe) омогућава да се истовремено са гама зрачењем ефикасно детектује и X-зрачење које настаје у процесима електронског захвата и интерне конверзије. Поред дотадашњег гама-гама, код овог типа детектора, појавило се додатно X-X и X-гама коинцидентно сумирање што додатно усложњава проблем деконволуције енергетског спектра. Детаљно изучавање ових ефеката и проналажење метода за решавање проблема коинцидентног сумирања, данас налази значајне примене у метрологији

радионуклида и употпуњује знања из гама спектроскопије чиме се доприноси квалитетнијем експерименталном раду.

Интересовање за ефекте коинциденције у гама спектрометрији повезано је са њиховим утицајем на тачност одређивања ефикасности детектора и активности радионуклида. Садашњи тренд у метрологији радионуклида је коришћење бржих и ефикаснијих метода за одређивање активности посматраног извора и пика ефикасности на основу експерименталних података из спектра.

У овој докторској тези је дат опис најважнијих приступа проблему коинцидентног сумирања као и нов, једноставнији и бржи метод за одређивање сумационих ефеката. Теза обухвата теоријску основу, математички апарат, као и директну експерименталну примену.

Циљ рада је био побољшати постојећи метод за израчунавање ефеката коинцидентног сумирања у гама спектроскопији, увођењем једноставније алгебре. Овим нису исцрпљене све могућности приказаног приступа. Тако, једноставност новог метода нам, између осталог, даје одличну базу за даљи развој као што је на пример, писање рачунарских кодова.

2.3 Публикације

Садржај докторске дисертације има за основу два научна рада објављена у водећем међународном часопису:

1. Laslo J. Nadderđ, Miloš D. Davidović, Dragomir M. Davidović, Miodrag J. Milošević, Dragana J. Jordanov, Srboljub J. Stanković, Slobodan L. Prvanović, A possible improvement of the determination of ^{133}Ba activity and detection efficiency by the sum-peak method, by inclusion of the previously neglected transitions, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A* **698** (2013) 60 – 65.
2. Laslo J. Nadderđ, Dragana J. Jordanov, Miloš D. Davidović, A new matrix method for calculating coincidence summing effects for gamma spectroscopy, *Nuclear Instruments and Methods A* **662** (1) (2012) 21 – 25.

2.4 Преглед научних резултата изложених у тези

Истраживање је текло у три правца:

- Анализа ранијих метода за решавање проблема ефеката коинцидентног сумирања у гама спектроскопији и испитивање примене тих метода на радионуклидима са различитим степеном сложености шеме распада
- Испитивање увођења новог матричног метода за решавање проблема X-гама коинцидентног сумирања
- Испитивање примене новог метода на радионуклидима обрађиваним другим методима, као и по први пут на радионуклиду са веома сложеном шемом распада, ^{152}Eu , а затим и провера на симулираним спектрима радионуклида

Дисертација је обухватила:

- Модификацију постојећих метода за решавање проблема коинцидентног сумирања увођењем новог метода са једноставнијом алгебром.
- Успешну примену тог метода на реалним радионуклидима са детаљним описом метода од формирања одговарајућих матрица до коначног резултата – одређених активности и ефикасности

Метод који је представљен у тези има свој практични значај у метрологији радионуклида. Такође метод има и теоријски значај као метод који даје одговарајућу алгебру за поједностављено израчунавање веома комплексних система једначина.

2.4.1 ДЕО 1

Радови: [1]

Развијен је нови метод за израчунавање једначина брзине бројања које описују коинцидентно сумирање гама- и X-зрачења за Ge спектрометре. Примењен је на распаде радионуклида ^{139}Ce и ^{57}Co и показано је да су резултати добијени коришћењем предложеног метода у потпуном слагању са резултатима добијеним коришћењем других метода, а притом се резултати новог метода постижу на много јаснији и једноставнији начин.

2.4.2 ДЕО 2

Радови: [2]

Вршено је испитивање примене новог метода коинцидентног сумирања на распад радионуклида са сложенијом шемом распада ^{133}Ba . У третирању распада ^{133}Ba уочени су прелази са прва два ексцитована стања ^{133}Cs који су били игнорисани у претходним радовима. Применом најтачнијих вредности за ове прелазе, укључени су у једначине брзине бројања и добијена су решења за одговарајуће системе. Као резултат овог тачнијег формирања једначина брзине бројања, неки услови, који садрже претходно игнорисане вероватноће прелаза, постају значајнији него конвенционално укључени услови. Показано је да њихово укључивање у систем једначина брзине бројања води изврсном побољшању у одређивању ефикасности детекције и активности извора ^{133}Ba .

3. Списак публикација кандидата

3.1 Радови у водећим међународним часописима (M21)

1. Laslo J. Nadđerđ, Miloš D. Davidović, Dragomir M. Davidović, Miodrag J. Milošević, Dragana J. Jordanov, Srboљub J. Stanković, Slobodan L. Prvanović, A possible improvement of the determination of ^{133}Ba activity and detection efficiency by the sum-peak method, by inclusion of the previously neglected transitions, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A* **698** (2013) 60 – 65.
2. Laslo J. Nadđerđ, Dragana J. Jordanov, Miloš D. Davidović, A new matrix method for calculating coincidence summing effects for gamma spectroscopy, *Nuclear Instruments and Methods A* **662** (1) (2012) 21 – 25.
3. D. Novković, L. Nadđerđ, A. Kandić, I. Vukanac, M. Đurašević and D. Jordanov, Testing the exponential decay law of gold ^{198}Au , *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A* **566** (2006) 477 – 480.

3.2 Рад у међународном часопису (M23)

1. Dragana J. Jordanov, Bojana S. Grabež, Krunoslav M. Subotić, and Laslo J. Nadjdjerdj, New method for determination of temperature in spallation reactions, *Nuclear Technology and Radiation Protection* **26** (2011) 153 – 157.

3.3 Рад у часопису од националног значаја (M24)

1. Dragana J. Jordanov, K. Subotic, D. Dragosavac, P. Ujic and I Celikovic, Laboratory of Nuclear and Plasma Physics, Vinca Institute of Nuclear Sciences, 11000 Belgrade, Serbia “INES (INtermediate Energy Spallation) code for Simulation of Intermediate Energy Spallation”, *Journal of Research in Physics*, Volume 31 Number 2 decembar 2007, page 133

3.4 Зборници међународних научних скупова (M33)

1. K. Subotić, D. Jordanov, M. Đurašević, D. Dragosavac and B. Grabež, Interplay of Mean Field And Individual Nucleon Collisions Effects At Intermediate Energy Heavy Ion Reactions, *Proceedings of the 6th International Conference of the BALKAN PHYSICAL UNION, 22-26 August 2006, Istanbul-Turkey* Volume 899, p. 541
2. M. Stojanović, A. Vasić, D. Jordanov, S. Stanković, N. Stojanović “Investigations of semiconductor detector characteristics in n, γ irradiation conditions”, *EPS-12: General Conference Trends in Physics (26-30 August 2002 Budapest)* P2-143
3. Branislav Milovanović, Dragana Jordanov, Branko Matovic, Nebojsa Romcevic, Slavica Mutavdzin, Jovana Paunovic “The programmed placebo effect and treatment of syncope”, *15th International meeting of Holter and noninvasive electrocardiology*, (Temisvar 30maj-1 jun 2013)
4. Branislav Milovanović, Dragana Jordanov, Branko Matovic, Nebojsa Romcevic, Slavica Mutavdzin, Jovana Paunovic, “Nanomedicine : new step in treatment of disease”, *Cardiology at a crossroad of science*, (22-24 may 2013 Tjumen)
5. D. Jordanov, B. Milovanovic, B. Matovic, M. Rosic, “Application of X-diffractometry in nano-medicine”, *NEUROCARD 2013*, (17th – 18th October 2013, Belgrade, Serbia), p.86
6. Milovanovic Branislav, Jordanov Dragana, Matovic Branko, Romcevic Nebojsa, Branka Hadžic, Matija Lidija, Jeftic Biljana, Dragicevic Aleksandra, Koruga Djuro, Mutavdzin Slavica, Paunovic Jovana, Gligorijevic Tatjana, „The

- programmed placebo effect: new approach in medicine?“ *NEUROCARD 2013*, (17th – 18th October 2013, Belgrade, Serbia)
7. Milovanovic B., Hadžić B., Jordanov D., Gligorijević T., Mutavdžin S., Romčević N., Rosić M., “Programmed placebo effect and modulation of autonomic activity in treatment of syncope: new challenge using nano-technology”, *NEUROCARD 2014*, (16th – 17th October 2014, Belgrade, Serbia), p.63.
 8. D. Jordanov, M. Rosić, B. Milovanovic, B. Matović, “X-diffractometry precision measurements of drugs used in medicine”, *NEUROCARD 2014*, (16th – 17th October 2014, Belgrade, Serbia), p.65

3.5 Зборници апстраката међународних скупова (M34):

1. D. Jordanov, K. Subotić, B. Grabež, M. Djurasević and L. Nadjdžerđj, INTERPLAY OF PARTICIPANT-SPECTATOR AND MEAN FIELD EFFECTS IN TARGET SPALLATION AT INTERMEDIATE ENERGY REGIME, 4th International Workshop on Multifragmentation and related topic- IWM2007, 4-7 November, Caen-France
2. D. Jordanov, K. Subotić, Measurement of Temperature in Spallation Reaction, *7th International Conference of the BALKAN PHYSICAL UNION*, 24 June 2009, Aleksandroupolis –Greece, No267, p. 38
3. D. Jordanov, K. Subotić, B. Grabež, New method of determination of temperature in spallation reaction, *Zakopane Conference on Nuclear Physics 2010, Extremes of the Nuclear Landscape*, August 30 – September 5, 2010, Zakopane, Poland, p.87
4. D. Jordanov, B. Milovanovic, B. Matović, M. Rosić, APPLICATION OF NANOTECHNOLOGY IN MEDICINE, Second regional roundtable, ROSOV PIN 2014, October 23-24, 2014, Fruska Gora, Serbia, p.
5. M. Rosić, Lj. Kljajević, D. Jordanov, M. Stojiljković, Sintering and magnetic behavior of $\text{Ca}_{1-x}\text{Gd}_x\text{MnO}_3$ ($x=0.05, 0.1, 0.15, 0.2$) nanopowders, Second regional roundtable, ROSOV PIN 2014, October 23-24, 2014, Fruska Gora, Serbia, p.135

Предавања по позиву

1. Д. Јорданов, Метод рендген дифракције у одређивању структуре лекова, Српско Лекарско Друштво, Секција за аутономни нервни систем СЛД, Београд, 02.04.2013

З А К Л Ј У Ч А К

На основу изложеног Комисија закључује да докторски рад МЕТОДЕ ЗА ИЗРАЧУНАВАЊЕ ЕФЕКТА КОИНЦИДЕНТНОГ СУМИРАЊА У ГАМА СПЕКТРОСКОПИЈИ који је предао кандидат мр.Драгана Јорданов, даје значајан допринос области метрологије радионуклида и спектрометрије гама зрачења, и да су задовољени сви Законом о универзитету и Статутом Физичког факултета прописани услови за одобравање одбране тезе. Делови тезе кандидата су публиковани у врхунским и признатим међународним часописима. Стога сматрамо да овај рад може да буде прихваћен као докторска дисертација и

ПРЕДЛАЖЕМО

Наставно-научном већу Физичког факултета Универзитета у Београду да одобри њену јавну одбрану.

У Београду, 25.05. 2015. године

Чланови комисије:

Др Ласло Нађђерђ
Научни сарадник ИНН „Винча“, Београд

Проф. Др Јован Пузовић
Ванредни професор, Физички Факултет, Београд

Проф. Др Милош Вићић
Ванредни професор, Физички Факултет, Београд

Проф. Др Иван Аничин
Редовни професор у пензији, Физички Факултет, Београд
