

УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ**ОБРАЗАЦ 6.****ПРИРОДНО-МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ****ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ**
-обавезна садржина- свака рубрика мора бити попуњена

(сви подаци уписују се у одговарајућу рубрику, а назив и место рубрике не могу се мењати или изоставити)

I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ
<p>1. Датум и орган који је именовео комисију</p> <p>27.03.2015, Наставно-научно веће Природно-математичког факултета</p> <p>2. Састав комисије са назнаком имена и презимена сваког члана, звања, назива уже научне области за коју је изабран у звање, датума избора у звање и назив факултета, установе у којој је члан комисије запослен:</p> <p>председник: проф. др Мирослав Весковић, редовни професор, ужа научна област: нуклеарна физика, 2000. год. , Природно-математички факултет у Новом Саду</p> <p>члан: проф. др Јован Пузовић, ванредни професор, ужа научна област: нуклеарна физика, 2012. год. , Физички факултет у Београду</p> <p>члан: проф. др Наташа Тодоровић, ванредни професор, ужа научна област: нуклеарна физика, 2010. год , Природно-математички факултет у Новом Саду</p> <p>члан: проф. др Душан Мрђа, ванредни професор, ужа научна област: нуклеарна физика, 2012. год. , Природно-математички факултет у Новом Саду, ментор</p>
II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ
<p>1. Име, име једног родитеља, презиме: Кристина, Иштван, Бикит</p> <p>2. Датум рођења, општина, држава: 22.06.1987., Нови Сад, Србија</p> <p>3. Назив факултета, назив студијског програма дипломских академских студија – мастер и стечени стручни назив: Природно-математички факултет, Департман за физику, Физика, Мастер физичар</p> <p>4. Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија: 2011. , Доктор наука - Физичке науке</p>

5. Назив факултета, назив магистарске тезе, научна област и датум одбране:

6. Научна област из које је стечено академско звање магистра наука: ---

III НАСЛОВ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Промене нуклеарних спектра под дејством космичког зрачења

IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Навести кратак садржај са назнаком броја страна, поглавља, слика, шема, графика и сл.

У оквиру ове докторске дисертације приказана су комплексна истраживања утицаја космичког зрачења на нуклеарне спектре. Експериментални резултати ових истраживања су у оквиру сваког појединачног поглавља дисертације анализирани и дискутовани.

У првом експерименту приказаном у овој дисертацији, истраживана је могућност временског разлагања детектованих догађаја, помоћу коинцидентног система у чијем склопу се налази HPGe детектор и пластични сцинтилатор, у површинској лабораторији. Установљено је да се промптни и закаснели коинцидентни догађаји између пластичног “veto” детектора и германијумског детектора могу јасно раздвојити у две групе, за око 100 ns. Додатно, закочно зрачење и анихилациони догађаји могу се раздвојити у времену од (n,n') догађаја, иако сви ови догађаји припадају групи закаснелих догађаја. Такође, регистровани су и значајно закаснели анихилациони догађаји, који настају услед распада заустављених позитивних миона.

Други експеримент приказан у овој дисертацији базиран је на ултра-нискофонском HPGe спектрометру релативне ефикасности 100%. Додатком два пластична сцинтилатора и брзо-спорог коинцидентног кола, истраживани су коинцидентни догађаји између пластичних сцинтилатора и HPGe спектрометра. Овај спектрометарски систем MIREDO (*Muon Induced Rare Event Dynamic Observatory*) првенствено је намењен проучавању процеса индукованих космичким мионима у различитим материјалима. Анализа оваквих интеракција може бити од значаја за ултра-нискофонске експерименте. Резултати добијени за три испитивана материјала, пакована у *Marinelli* суд, презентовани су и дискутовани.

У трећем експерименту приказаном у овој дисертацији испитан је потенцијални утицај соларних неутрина на измерену брзину радиоактивног распада, мерењем варијација у брзини бројања ^3H методом течног сцинтилационог бројања. Коришћењем софистицираног течног сцинтилационог спектрометра *Quantulus* установљено је да на мерење високоенергетског дела ^3H спектра може значајно утицати нестабилност инструмента. Осцилаторни карактер измереног високоенергетског дела ^3H спектра је регистрован, али са веома малом амплитудом (мањом од 0.5%), која се не може једноставно објаснити само нестабилношћу инструмента. Када је мерен укупан ^3H спектар, нису нађене значајне варијације у брзини бројања.

У четвртом експерименту приказаном у овој дисертацији показано је да је нискоенергетско гама зрачење континуалне дистрибуције (у енергетском региону 30 keV-300 keV), са максимумом на око 90 keV, у значајној мери произведено космичким зрачењем, са флуksom фотона од око $3000 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Такође, установљено је да дозама опште популације доприноси ово свеприсутно нискоенергетско гама зрачења космичког порекла, заједно са одговарајућим флуksom нискоенергетских електрона и да ове компоненте укупних доза индукованих космичким зрачењем на нивоу мора нису занемарљиве.

Садржај докторске дисертације: 8 поглавља, 169 страна, 108 слика/графикана, 18 табела и 83 референце.

Преглед поглавља у докторској дисертацији:

ПОГЛАВЉЕ 1 - Увод,

ПОГЛАВЉЕ 2 - Интеракција космичког зрачења са атмосфером,

ПОГЛАВЉЕ 3 - Физика захвата миона,

ПОГЛАВЉЕ 4 - Спектроскопија догађаја индукованих космичким мионима и могућност временског разлагања ових догађаја,

ПОГЛАВЉЕ 5 - Спектрометарски систем „MIREDO“,

ПОГЛАВЉЕ 6 - Истраживање могућег утицаја космичког зрачења на вероватноћу радиоактивног распада,

ПОГЛАВЉЕ 7 - Дозни допринос нискоенергетске компоненте секундарног космичког зрачења на површини Земље,

ПОГЛАВЉЕ 8 - Закључак.

V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

У оквиру уводног поглавља дат је кратак опис предмета истраживања приказаних у оквиру докторске дисертације као и образложење о потребама ових истраживања. Затим, у поглављу 2 докторске дисертације разматрана је интеракција космичког зрачења са атмосфером где су разматрани распада и интеракције секундарних честица као и електромагнетни процеси којима подлежу наелектрисане честице, који потом доводе до одговарајућих енергетских губитака. У поглављу 3 представљена је физика захвата миона, у оквиру којег су наведене особине миона и неутрина, и детаљна анализа теоријске основе распада миона. Додатно, детаљно је представљена проблематика захвата миона од стране атома и захвата миона на језгру, заједно са одговарајућим литературним резултатима експеримената који су били посвећени детекцији ових интеракција.

Део истраживања у оквиру докторске дисертације фокусиран је на откриће мионских фонских догађаја који нису потпуно занемарљиви чак и на великим

дубинама. За изучавање ових процеса, у оквиру рада на докторској дисертацији, развијен је нискофонски детекциони систем лоциран у лабораторији на Департману за физику. Спектрометарски систем MIREDO (*Muon Induced Rare Events Dynamic Observatory*) намењен је изучавању ретких процеса које миони индукују на површини Земље.

У оквиру поглавља 4 докторске дисертације утврђено је да одабиром специфичних временских интервала у временском спектру, којима одговарају тачно одређене групе догађаја индуковане космичким мионима, долази до адекватног одбацивања ометајућих догађаја у жељеним енергетским областима детектованих спектра, при антикоинцидентном режиму рада ултранискофонских система.

Са друге стране, у коинцидентном режиму је могуће регистровати специфичне мионски индуковане процесе у различитим материјалима. Резултати овог истраживања помоћу спектрометарског система MIREDO су приказани у поглављу 5 дисертације. Показано је да се одабиром адекватног коинцидентног интервала, односно временским разлагањем процеса који имају различите механизме настанка, омогућава детаљно проучавање мионски индукованих процеса у испитиваним материјалима. На овај начин реализовано је боље познавање интеракција миона са различитим материјалима, као и зависност пресека ових интеракција од атомског броја материјала, чиме се остварује боља теоријска основа за анализу резултата нискофонских мерења, што би могло да доведе до лакше детекције слабоинтерагујућих честица.

У оквиру савремених истраживања у физици је формулисана и теза да космички догађаји могу да утичу и на вероватноћу радиоактивног распада. У оквиру истраживања везаних за овај проблем, изложеним у поглављу 6 докторске дисертације, коришћен је ултранискофонски алфа-бета спектрометар Quantulus са течним сцинтилатором и активном антимионском заштитом. Изузетна фабрички гарантована стабилност овог спектрометра омогућује праћење радиоактивног распада у дугим временским периодима. Изостанак изражених варијација у брзини радиоактивног распада у контролисаним експерименталним условима, потврђен овим истраживањима, представља чврст доказ да космички догађаји не могу значајно да утичу на вероватноћу радиоактивног распада.

Јасно је да космичко зрачење битно доприноси и радијационој дози коју примају живи организми на површини Земље. У литературним подацима се најчешће спомиње допринос високоенергетских миона озрачавању људске популације. Међутим, већ дуже време је познато да је нискоенергетско гама зрачење континуалне дистрибуције присутно на отвореном простору, у ваздуху на површини Земље. У претходним истраживањима претпостављано је да ово зрачење потиче скоро искључиво од гама фотона који су емитовани услед природне радиоактивности и потом расејани у назад од стране ваздуха изнад земље. Управо дозни доприноси овог нискоенергетског секундарног космичког зрачења (фотона и електрона) на површини Земље до сада нису довољно истражени. Комбинујући лабораторијска мерења и теренска мерења на отвореном простору, у поглављу 7 докторске дисертације, истражени су дозни доприноси овог секундарног зрачења, односно допринос фотона и електрона са енергијама испод 100 keV.

Постојање дозног доприноса нискоенергетских фотона и електрона пореклом из космичког зрачења имплицира корекцију постојећих дозних процена за космичко зрачење на нивоу мора, и захтева даље истраживање нискоенергетске компоненте секундарног космичког зрачења, као и могућих импликација на биолошке организме.

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 часопису са ISI листе односно са листе министарства надлежног за науку када су у питању друштвено-хуманистичке науке или радове који могу заменити овај услов до 01. јануара 2012. године. У случају радова прихваћених за објављивање, таксативно навести називе радова, где и када ће бити објављени и приложити потврду о томе.

M21

1. **K. Bikit**, D. Mrdja, I. Bikit, M. Veskovic - *Investigation of cosmic-ray muon induced processes by MIREDO facility*, Applied Radiation and Isotopes 87 (2014) 77-80
2. **K. Bikit**, J. Nikolov, I. Bikit, D. Mrda, N. Todorovic, S. Forkapic, J. Slivka, M. Veskovic – *Reinvestigation of the irregularities in the ^3H decay*, Astroparticle Physics 47 (2013) 38–44
3. D. Mrda, I. Bikit, M. Veskovic, J. Slivka, N. Todorovic, J. Nikolov, S. Forkapic, **K. Bikit** – *Time resolved spectroscopy of cosmic-ray muons induced background*, Astroparticle Physics 42 (2013) 103-111

M22

4. D. Mrda, I. Bikit, **K. Bikit**, J. Slivka, I. Aničin - *Study of radiation dose induced by cosmic-ray origin low-energy gamma rays and electrons near sea level*, Journal of Atmospheric and Solar-terrestrial Physics, 123 (2015) 55-62

M23

5. **K. Bikit**, D. Mrda, I. Bikit, J. Slivka, M. Vesković, D. Knežević - *Studies of the low-energy gamma background*, Physics Procedia 59 (2014) 56-62
6. I. Bikit, D. Mrdja, M. Veskovic, M. Krmar, J. Slivka, N. Todorovic, **K. Bikit** – *Coincidence techniques in gamma-ray spectroscopy*, Physics Procedia 31 (2012) 84-92

VII ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

У овој дисертацији су приказани резултати комплексних истраживања утицаја космичког зрачења на нуклеарне спектре на нивоу мора.

У првом експерименту је показано како се мионски допринос може квантификовати и разложити на временске компоненте. Ови резултати се могу

користити како за истицање појединих слабих линија у гама спектрима германијумског детектора бирањем одговарајућег коинцидентног интервала, тако и за одбацивање мионима индукованих догађаја (у антикоинцидентном режиму рада). Високоенергетски миони допиру и до дубоко подземних лабораторија где могу дати допринос спектралном региону испод 100 keV. Са друге стране, спектрална област испод 100 keV изузетно је важна у тражењу WIMP-ова, јер се очекује да ове честице изазивају узмак атомских језгара у детекторима у овом енергетском дијапазону и на тај начин региструју у виду њиховог очекиваног континуалног спектра.

У другом експерименту је развијен мерни систем MIREDO који је базиран на троструким коинциденцијама, где је минимизиран утицај оловне заштите на продукцију секундарног зрачења у мети. На овом систему су добијени први квантитативни резултати о продукцији мионима индукованог нискоенергетског (< 500 keV) континуалног зрачења у узорцима CaO, NaCl i SiC. Односи интензитета продукованих континуума пореклом из различитих материјала, који су добијени експерименталним путем су у веома доброј сагласности са одговарајућим односима нађеним из Монте-Карло симулација помоћу GEANT4 софтвера. Одређени су пресеци за продукцију континуалног зрачења за неколико енергетских области и њихова зависност од редног броја (Z) материјала мете.

У новијим научним публикацијама се могу наћи подаци о томе да неутрини са Сунца могу да утичу на брзину радиоактивног распада. Ове тврдње су провераване на примеру радиоактивног распада H-3 у трећем експерименту у оквиру дисертације. Помоћу високостабилисаног течног сцинтилационог спектрометра „Quantulus“ отклањањем свих инструменталних ефеката је недвосмислено показано да, бар када је у питању бета распад H-3 током периода мерења, не постоје нерегуларности у радиоактивном распаду, тј. да не постоје космички утицаји у оквиру граница осетљивости експеримента.

Досадашњи експериментални резултати показују да у свим гама спектрима пореклом из горње хемисфере на отвореном простору у региону испод 100 keV постоји континуална расподела са максимумом на око 90 keV. Ранија тумачења ове расподеле су била базирана на претпоставци да овај део спектра потиче готово искључиво од терестријалног гама зрачења које се расејава уназад од атмосфере. Бројним лабораторијским и теренским мерењима је у оквиру дисертације показано да овој спектралној расподели на малим надморским висинама (< 100 m) битно доприносе и секундарни нискоенергетски фотони космичког порекла. Такође је показано да ова ултра-нискоенергетска компонента космичког зрачења (заједно са одговарајућим флуksom електрона) доприноси апсорбованој дози на површини Земље коју примају организми, укључујући и човека.

VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА

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

У истраживањима приказаним у оквиру докторске дисертације коришћене су метода нискофонске гама спектрометрије, техника регистровања троструких коинциденција у циљу детекције мионски индукованих догађаја у различитим материјалима, као и метод течног сцинтилационог бројања.

Симулација дизајна експерименталне поставке и одговарајућих процеса реализована је коришћењем програмског пакета GEANT-4 писаном у програмском језику C++. Међу основне категорије GEANT-4 пакета спадају глобална (Global) која покрива систем јединица, константе, нумерику и рад са случајним бројевима; материјали (Materials); честице (Particles); графички прикази (Graphical Representations); геометрија (Geometry) која садржи опис детектора и навигацију у геометријском моделу и Intercoms интеракцију са GEANT-4 преко корисничког интерфејса и омогућава комуникацију између модула који не би требало да зависе међусобно.

Анализа експерименталних података прикупљених путем МРА-3 мултипараметарског система извршена је помоћу одговарајућег софтвера MPANT, као и софтвера GENIE 2000 и APTEC.

Обрада података извршена је помоћу софтверских пакета *Origin*, *Matlab*, *Mathematica* и *Angle*.

Сви добијени резултати у оквиру докторске дисертације изложени су на јасан начин и адекватно анализирани. У тези су приказани и тумачени резултати истраживања који су публиковани у међународним научним часописима. Такође, истраживања која су описана у дисертацији представљају део научних пројеката Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије:

171002 Нуклеарне методе истраживања ретких догађаја и космичког зрачења и

43002 Биосенсинг технологије и глобални систем за континуирана истраживања и интегрисано управљање екосистемима

Приликом детаљне анализе докторске дисертације, уочене су мање техничке грешке које су исправљене кроз додатак докторској дисертацији који се налази у склопу дисертације.

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

Докторска дисертација је написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме. Очекивани резултати истраживања су остварени и представљају значајан научни допринос у истраживањима утицаја космичког зрачења на нуклеарне спектре на нивоу мора.

2. Да ли дисертација садржи све битне елементе

Докторска дисертација садржи све битне елементе. Приказ експерименталних делова у склопу дисертације садржи све битне елементе који омогућавају проверу и анализу резултата.

3. По чему је дисертација оригиналан допринос науци

У дисертацији је реализовано временско разлагање мионски индукованих догађаја, детектованих помоћу германијумских детектора. Постигнуто је да различити типови догађаја индукованих мионима (закочно зрачење, анихилациони догађаји, итд.) буду временски раздвојени избором одговарајућег региона временског спектра коинцидентног система.

Такође, реализовано је истраживање мионски индукованих процеса у различитим лаким материјалима. Иновативни приступ представља истраживање могућих ефеката који се јављају услед интеракција миона управо са лакшим материјалима, а који се користе као детекторске компоненте у нискофонским експериментима, имајући у виду да је већина истраживања до сада базирана на системима који укључују присуство искључиво тежих материјала као што су олово, гвожђе, бакар. Одређен је пресек за продукцију мионима генерисаног закочног зрачења у различитим врстама ових лаких материјала.

Дисертација укључује истраживање спроведено у циљу преиспитивања утицаја космичког зрачења на варијације у брзини радиоактивног распада. Изостанак изражених варијација у брзини радиоактивног распада у контролисаним експерименталним условима, представља доказ да космички догађаји не могу значајно да утичу на вероватноћу радиоактивног распада, када је у питању бета распад Н-3.

Такође, по први пут је остварена процена флукса нискоенергетског континуалног космичког зрачења и дозног доприноса овог зрачења на нивоу мора, пажљивим разлучивањем флукса космичког порекла од одговарајућег флукса расејаног зрачења терестријалног порекла, који иначе обухватају исту област енергија (са максимумом на око 90 keV). У оквиру дисертације реализована је процена флукса нискоенергетских фотона и електрона пореклом из космичког зрачења, укључујући њихов допринос дози коју прима људска популација.

4. Недостаци дисертације и њихов утицај на резултат истраживања

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

X ПРЕДЛОГ:
На основу укупне оцене дисертације, комисија предлаже:
- Да се докторска дисертација кандидата Кристине Бикит, под називом “ПРОМЕНЕ НУКЛЕАРНИХ СПЕКТРА ПОД ДЕЈСТВОМ КОСМИЧКОГ ЗРАЧЕЊА” <u>прихвати</u> , а кандидату <u>одобри</u> одбрана.
-

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ:

проф. др Мирослав Весковић,
редовни професор
Природно-математички факултет
Универзитет у Новом Саду
-председник комисије-

проф. др Наташа Тодоровић,
ванредни професор
Природно-математички факултет
Универзитет у Новом Саду
-члан комисије-

проф. др Душан Мрђа,
ванредни професор
Природно-математички факултет
Универзитет у Новом Саду
-члан комисије (ментор)-

проф. др Јован Пузовић,
ванредни професор
Физички факултет
Универзитет у Београду
-члан комисије-