

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Подобност теме и кандидата Данка Бошњаковића за израду докторске дисертације

Одлуком бр. 5048/08-1 од 08.09.2014. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата Данка Бошњаковића за израду докторске дисертације и научне заснованости теме:

Моделовање гасних детектора честица високих енергија применом технике електронских ројева

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Данко Бошњаковић рођен је 11.12.1984. у Београду где је завршио основну школу и гимназију. Електротехнички факултет у Београду уписао је 2003. године а дипломирао 2007. године са просечном оценом 9,57 на одсеку за Физичку електронику, смеру за Биомедицински и еколошки инжењеринг. Мастер студије на истом факултету и смеру завршио је 2008. године са просечном оценом 10. Докторске студије на Електротехничком факултету у Београду и смеру за Нуклеарну, медицинску и еколошку технику уписује 2009. године.

2010. године постаје стипендиста Министарства за науку и технолошки развој а од 2012. године запослен је као истраживач-приправник на Институту за физику у Београду при Лабораторији за гасну електронику где ради на теми моделовања гасних детектора честица високих енергија.

Објавио је два рада у врхунским међународним часописима и одржао једно предавање по позиву на међународном скупу. Његови резултати презентовани су на више међународних конференција.

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Кандидат Данко Бошњаковић је уписао докторске студије 2009. године на смеру за Нуклеарну, медицинску и еколошку технику. У периоду од 2010. до 2011. године, положио је са оценом 10 следеће испите предвиђене Наставним планом докторских студија:

- 1 Комплексни феномени у физици плазме
- 2 Увод у научни рад
- 3 Примена плазме у савременим технологијама електроници и науци о материјалима
- 4 Нумеричка симулација радијационих и нуклеарних реактора
- 5 Радијациона и електромагнетна компатибилност електротехничких компоненти и уређаја
- 6 Простирање оптичких таласа у комплексним срединама
- 7 Одабрана поглавља из нуклеарне физике
- 8 Дозиметрија, заштита од зрачења и нуклеарни отпад
- 9 Мерне методе у нуклеарној, медицинској и еколошкој техници
- 10 Мерење јонизујућег и нејонизујућег зрачења

Списак објављених радова Данка Бошњаковића:

РАД У ВРХУНСКОМ МЕЂУНАРОДНОМ ЧАСОПИСУ (M21)

D. Bošnjaković, Z.Lj. Petrović and S. Dujko,
“Boltzmann equation and Monte Carlo studies of electron transport in Resistive Plate Chambers”,
J. Phys. D: Appl. Phys. **47** (2014) 435203. Online ISSN: 1361-6463. doi: 10.1088/0022-3727/47/43/435203 (IF2012¹=2.528)

D. Bošnjaković, Z.Lj. Petrović and S. Dujko,
“A microscopic Monte Carlo approach to modeling of Resistive Plate Chambers”,
J. Intrum. **9** (2014) P09012. Online ISSN: 1748-0221. doi:10.1088/1748-0221/9/09/P09012 (IF2012=1.656)

ПРЕДАВАЊЕ ПО ПОЗИВУ СА МЕЂУНАРОДНОГ СКУПА ШТАМПАНО У ИЗВОДУ (M32)

D. Bošnjaković, Z.Lj. Petrović and S. Dujko,
“Simulation and modeling of Resistive Plate Chambers”,
Proc. 27th Symposium on Physics of Ionized Gases - SPIG 2014, Belgrade, Serbia, (26 - 29 August 2014), Contributed Papers and Abstracts of Invited Lectures, Topical Invited Lectures and Progress Reports (Eds. D. Marić, A.R. Milosavljević and Z. Mijatović), p. 21.

¹ Impakt faktor za 2012. godinu

САОПШТЕЊЕ СА МЕЂУНАРОДНОГ СКУПА ШТАМПАНО У ЦЕЛИНИ (М33)

D. Bošnjaković, Z.Lj. Petrović and S. Dujko,
“Studies of electron transport in gases for Resistive Plate Chambers”,
Proc. 27th Symposium on Physics of Ionized Gases - SPIG 2014, Belgrade, Serbia, (26 - 29 August 2014), Contributed Papers and Abstracts of Invited Lectures, Topical Invited Lectures and Progress Reports (Eds. D. Marić, A.R. Milosavljević and Z. Mijatović), pp. 114-117.

D. Bošnjaković, Z.Lj. Petrović and S. Dujko,
“Simulation of Resistive Plate Chambers using Monte Carlo technique”,
in Proceedings of the 9th EU-Japan Joint Symposium on Plasma Processing (JSPP2014) and EU COST MP1101 Workshop on Atmospheric Plasma Processes and Sources, 19-23 January 2014, Bohinjska Bistrica, Slovenia

D. Bošnjaković, S. Dujko and Z.Lj. Petrović,
“Electron transport coefficients in gases for Resistive Plate Chambers”,
Proc. 26th Summer School and International Symposium on the Physics of Ionized Gases, August 27-31 2012, Zrenjanin, Serbia, pp. 265-268

САОПШТЕЊЕ СА МЕЂУНАРОДНОГ СКУПА ШТАМПАНО У ИЗВОДУ (М34)

D. Bošnjaković, Z.Lj. Petrović and S. Dujko,
“Simulation of RPCs using microscopic Monte Carlo technique”,
XII workshop on Resistive Plate Chamber and Related Detectors, February 23-28 2014, Beijing, China, Book of abstracts, p. 21

D. Bošnjaković, Z.Lj. Petrović and S. Dujko,
“Electron transport phenomena in gases for RPCs”,
XII workshop on Resistive Plate Chamber and Related Detectors, February 23-28 2014, Beijing, China, Book of abstracts, p. 21

S. Dujko, **D. Bošnjaković**, J. Mirić, I. Simonović, Z.M. Raspopović, R.D. White, A.H. Markosyan, U. Ebert and Z.Lj. Petrović,
“Recent results from studies of non-equilibrium electron transport in modeling of low-temperature plasmas and particle detectors”,
in Proceedings of the 9th EU-Japan Joint Symposium on Plasma Processing (JSPP2014) and EU COST MP1101 Workshop on Atmospheric Plasma Processes and Sources, 19-23 January 2014, Bohinjska Bistrica, Slovenia

S. Dujko, Z.Lj. Petrović, R.D. White, **D. Bošnjaković**, J. Mirić, A.H. Markosyan and U. Ebert,
“Non-conservative electron transport in gases and its application in modelling of non-equilibrium plasmas and particle detectors”,
Proceedings of the XVII International Workshop on Low-Energy Positron and Positronium Physics and the XVIII International Symposium on Electron-Molecule Collisions and Swarms (POSMOL), July 19-21 2013, Kanazawa, Japan, p. 24

D. Bošnjaković, Z.Lj. Petrović and S. Dujko,
“Monte Carlo modelling of Resistive Plate Chambers”,

САОПШТЕЊЕ СА СКУПА НАЦИОНАЛНОГ ЗНАЧАЈА ШТАМПАНО У ИЗВОДУ (M64)

D. Bošnjaković, Z.Lj. Petrović and S. Dujko,
“*A microscopic model for time response of Resistive Plate Chambers*”,
Proceedings of the 3rd National Conference on Electronic, Atomic, Molecular and Photonic Physics (CEAMPP), August 25 2013, Belgrade, Serbia, p. 16

РАД У ТЕМАТСКОМ ЗБОРНИКУ МЕЂУНАРОДНОГ ЗНАЧАЈА (M14)

Z.Lj. Petrović, S. Marjanović, S. Dujko, A. Banković, O. Šašić, **D. Bošnjaković**, V. Stojanović, G. Malović, S. J. Buckman, G. Garcia, R. D. White, J. P. Sullivan, M. J. Brunger,
“*Kinetic phenomena in transport of electrons and positrons in gases caused by the properties of scattering cross sections*”,
XXVIII International Conference on Photonic, Electronic and Atomic Collisions (ICPEAC), July 24-30 2013, Lanzhou, China,
Journal of Physics: Conference Series **488** (2014) 012047. doi:10.1088/1742-6596/488/1/012047

У складу са Законом о високом образовању, односно Правилником о докторским студијама Електротехничког факултета у Београду, Комисија трећег степена факултета је изабрала Комисију за јавну усмену обрану предложене теме кандидата Данка Бошњакковића у саставу:

1. др Предраг Маринковић, редовни професор, Електротехнички факултет у Београду,
2. др Саша Дујко, виши научни сарадник Института за физику у Београду,
3. др Синиша Јешић, ванредни професор, Електротехнички факултет у Београду.

Датум одржавања усмене одбране на Електротехничком факултету је био 14.10.2014. Усмена одбрана је почела у 14 часова. Завршена је у 15 часова. На усменој одбрани су били присутни сви чланови Комисије. Одбрана је почела тако што је кандидат изложио предмет, циљ и методологију свог истраживања, као и мотивацију за њега. Потом су чланови комисије кандидату поставили неколико питања из области истраживања. На сва ова питања, кандидат је одговорио. Коначно, комисија је закључила да је кандидат на јавној усменој одбрани предложене теме докторске дисертације добио оцену *задовољно*.

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

Кандидат Данко Бошњакковић је показао изузетну озбиљност и истрајност у истраживању. Његово широко образовање у области електротехнике и физике, у оквиру три различита степена образовања (основне, мастер и докторске студије) му обезбеђују изванредну основу за научноистраживачки рад, посебно у физици нуклеарне и медицинске инструментације као и детектора честица високих енергија.

Моделовање гасних детектора честица је актуелна тема посебно данас када се у CERN-у врши пројектовање експерименталне физике високих енергија нове генерације изузетно високе луминозности што од детектора захтева перформансе на граници њихових теоријских могућности. Значај бољих теоријских модела и нових приступа у моделовању види се пре свега у пројектовању детектора јер се са већом сигурношћу могу предвидети карактеристике рада детектора у зависности од његових бројних параметара. Истовремено, бољи модели доприносе и бољем познавању физичких основа и принципа рада детектора. Уз физику високих енергија, гасни детектори честица налазе примене у многим другим областима где се по значају посебно издваја медицинско сликање тј. дијагностика.

На основу изложеног, кандидат је у потпуности спреман за научно истраживачки рад на највишем нивоу, као и на предложеној захтевној теми моделовања гасних детектора честица високих енергија.

2. Предмет и циљ истраживања

Гасни детектори честица су били и остали највише коришћени детектори у физици високих енергија пре свега захваљујући њиховој једноставној конструкцији, ниској цени по јединици запремине и добрим перформансама. На пример, гасни детектори чине већину од укупног броја детектора на ATLAS, CMS, ALICE i LHCb експериментима у CERN-у. Уз физику високих енергија гасни детектори честица имају примене у многим другим областима као што су нуклеарна техника, дозиметрија и заштита од зрачења, медицина, астрофизика и геофизика.

Моделовање детектора има две основна циља. Први је разумевање физичких феномена у њиховом раду а други је њихово пројектовање и оптимизација познајући директну зависност између физичких параметара и њихових карактеристика односно перформанси. Без обзира на велики број различитих типова ових детектора, комплетни модели детектора садрже три целине: 1) интеракција упадне честице са детектором (гасом или погодним "конвертором") и настајање примарног наелектрисања, 2) транспорт наелектрисања у гасу под утицајем електричног и/или магнетског поља, 3) индукција и формирање електричног сигнала на електродама. Предмет овог истраживања је фокусиран на 2. и 3. фазу моделовања тј. утицај феномена транспорта и мултипликације наелектрисања у гасу на перформансе и одзив детектора. Нарочита пажња биће посвећена плочастом детектору са електродама високе орпорности (тзв. Resistive Plate Chamber) који је се због своје изузетне временске резолуције, уз добру просторну резолуцију, користи у скоро свим савременим експериментима физике високих енергија а такође има добре могућности за примену у ПЕТ (енгл. PET, Positron Emission Tomography) техници медицинског сликања. Досадашњи модели овог детектора могу се окарактерисати као макроскопски јер су на тај начин третирали транспортне процесе електрона у гасу. Насупрот томе, један од циљева овог истраживања је развој микроскопског модела који се заснива на праћењу великог броја појединачних електрона и њихових стохастичких интеракција са гасом применом Монте Карло технике. Овај приступ јесте ригорозан, односно много мање апроксимативан у односу на макроскопски, али је и нумерички изузетно захтеван те зависи од примене рачунарских мултипроцесорских система високих перформанси. Следећи циљ је развој комбинованог Монте Карло — флуидног модела који би на оптималан начин омогућио прорачун перформанси детектора задржавајући основне предности једне и друге технике. Осим тога, биће разматрани и сударни и транспортни подаци за електроне у гасовима од интереса за детекторе. Ту спадају пресеци за расејање електрона, транспортни и брзински коефицијенти. Од њиховог квалитета и поузданости коначно зависе и резултати моделовања детектора. Иначе, поузданост ових података зависи од технике и услова њиховог мерења или прорачуна. Транспорт електрона у

електричном и магнетском пољу биће посебно разматран на примеру детектора типа *Time Projection Chamber* где је магнетско поље од пресудног значаја за редукцију бочне дифузије од које директно зависи просторна резолуција детектора. Такође ће бити разматран утицај различитих фактора на транспорт електрона у овим детекторима као што су температура, притисак, састав гасне смеше и примесе као што је водена пара.

Значај истраживања лежи у новом приступу моделовању детектора са плочастим електродама који се заснива на провереним техникама из теорије електронских ројева. Резултати добијени овим моделом омогућиће верификацију постојећих апроксимативних аналитичких и нумеричких модела као и виши степен разумевања физичких основа и принципа рада ових детектора. Такође, од посебне важности је и анализа самог транспорта електрона у детекторским гасовима од чега директно зависе карактеристике детектора. У контексту примене транспортних коефицијента у различитим моделима гасних детектора честица биће разматрани експлицитни ефекти неконзервативних судара на транспорт електрона и дуална природа транспортних коефицијената. Коректна имплементација сударних и транспортних података у моделима детектора има важно место у овом раду. Посебно ће бити разматране импликације кинетичких феномена попут негативне диференцијалне проводности електрона у јако електронегативним гасовима на моделе, али и прецизност и начин добијања транспортних коефицијената.

Релевантни иницијални библиографски извори:

- [1] S. Dujko, R. D. White, Z. Lj. Petrović and R. E. Robson, “A multi-term solution of the nonconservative Boltzmann equation for the analysis of temporal and spatial non-local effects in charged-particle swarms in electric and magnetic fields,” *Plasma Sources Sci. Technol.*, vol. 20, no. 2, p. 024013, 2011.
- [2] S. Dujko, R. D. White and Z. Lj. Petrović, “Monte Carlo studies of non-conservative electron transport in the steady-state Townsend experiment,” *J. Phys. D: Appl. Phys.*, vol. 41, no. 24, p. 245205, 2008.
- [3] S. Dujko, A. H. Markosyan, R. D. White and U. Ebert, “High-order fluid model for streamer discharges: I. Derivation of model and transport data,” *J. Phys. D: Appl. Phys.*, vol. 46, no. 47, p. 475202, 2013.
- [4] C. Lippmann and W. Riegler, “Detailed RPC avalanche simulations,” *Nucl. Instrum. Meth. A*, vol. 533, pp. 11–15, 2004.
- [5] A. Moshaii, L. Khosravi Khorashad, M. Eskandari and S. Hosseini, “RPC simulation in avalanche and streamer modes using transport equations for electrons and ions,” *Nucl. Instrum. Meth. A*, vol. 661, pp. S168–S171, 2012.
- [6] W. Riegler, “Time response functions and avalanche fluctuations in resistive plate chambers,” *Nucl. Instrum. Meth. A*, vol. 602, no. 2, pp. 377–390, 2009.
- [7] I. B. Smirnov, “Modeling of ionization produced by fast charged particles in gases,” *Nucl. Instrum. Meth. A*, vol. 554, pp. 474–493, 2005.
- [8] D. Gonzalez-Diaz and A. Sharma, “Current Challenges and Perspectives in Resistive Gaseous Detectors: a manifesto from RPC 2012,” in *proceedings of the XI workshop on Resistive Plate Chambers and Related Detectors (RPC2012)*, PoS (RPC2012) 084, 2012.
- [9] L. Lopes, P. Fonte and A. Mangiarotti, “Systematic study of gas mixtures for timing RPCs,” *Nucl. Instrum. Meth. A*, vol. 661, pp. S194–S197, 2012.

3. Полазне хипотезе

Постојећи макроскопски модели плочастих детектора са електродама високе отпорности [4-6] су инхерентно апроксимативни. Флуидни модели [5] су детерминистички и као такви се не могу користити за прорачун перформанси детектора (нпр. ефикасности детекције и временске резолуције) које зависе од стохастичких феномена као што су интеракција упадне честице високе енергије са гасом и транспорт и мултипликација електрона у гасу. С друге стране, феноменолошки Монте Карло модели [4] подразумевају апроксимације у виду временски константне вероватноће за јонизацију или захват електрона у гасу или су засновани на полуемпиријским расподелама вероватноће које немају јасан физички смисао. Прва хипотеза:

- Предложени нови микроскопски модел заснован на праћењу појединачних електрона Монте Карло техником [2] омогућава квалитетнији опис физике гасних детектора честица а тиме и бољу репродукцију теоријских перформанси детектора.

У досадашњим моделима и симулацијама гасних детектора честица занемарени су транспортни феномени електрона као што су ефекти неконзервативних судара и дуалност транспортних коефицијената. Такође, недовољно пажње је посвећено поузданости транспортних података: пресека за расејање електрона, транспортних и брзинских коефицијента [8]. Друга хипотеза:

- Квалитет транспортних података за електроне и ефекти неконзервативних судара могу значајно утицати на резултате модела гасних детектора честица.

4. Научне методе истраживања

У оквиру истраживања користиће се следеће нумеричке методе:

- Монте Карло техника праћења електрона у гасној средини под утицајем електричног и магнетског поља [2] биће примењена у циљу одређивања транспортних особина електрона, просторно-временски разложених параметара електронских лавина у гасовима од интереса за детекторе као и за *de facto* моделовање детектора.
- Нумеричка техника решавања Болцманове транспортне једначине моментном методом [1] ради прорачунавања транспортних особина електрона у гасовима. Апроксимација два члана за решавање Болцманове једначине која се налази у основи класичне теорије за транспорт електрона биће избегнута и сви резултати биће добијени на основу тзв. мулти терм решења Болцманове једначине.
- Решавање флуидних једначина транспорта електрона [3] у гасовима ради моделовања детектора. Биће коришћени флуидни модели првог реда базирани на дрифт-дифузионој апроксимацији и апроксимацији локалног поља али и комплекснији флуидни модели базирани на једначинама баланса за број честица, импулс и енергију које укључују сударне чланове који су добијени на основу теорије за пренос импулса.

5. Очекивани научни допринос

- Нови микроскопски Монте Карло модел детектора са плочастим електродама за прорачун временске резолуције и ефикасности детекције.
- Комбиновани Монте Карло — флуидни модел за прорачун спектра сигнала детектора.
- Студија утицаја различитих фактора (температуре, притиска, електричног и магнетског поља, састава гасне смеше и примеса) на транспорт електрона у гасовима за детекторе и појаву транспортних феномена као што је негативна диференцијална проводност.

6. План истраживања и структура рада

1. Преглед литературе из области физике гасних детектора честица а посебно плочастих детектора са електродама високе отпорности (Resistive Plate Chamber).
2. Преглед литературе везане за транспорт електрона у гасовима и смешама за гасне детекторе честица, нпр. аргон (Ar), неон (Ne), угљен-диоксид (CO_2), тетрафлуороетан ($\text{C}_2\text{H}_2\text{F}_4$), изо-бутан (iso- C_4H_{10}), сумпорхексафлуорид (SF_6).
3. Евалуација пресека за расејање електрона поређењем одговарајућих транспортних коефицијената (добитијених Монте Карло методом и/или решавањем Болцманове једначине) са најновијим експерименталним подацима. Избор скупова пресека који ће бити коришћени као улазни подаци у моделима детектора.
4. Идентификација кључних елемената у моделовању детектора из аспекта теорије ројева и транспорта електрона у гасовима. Истраживање транспортних феномена електрона у гасовима и смешама за детекторе користећи просторно разложене карактеристике роја.
5. Развој новог микроскопског Монте Карло модела транспорта електрона у ограниченом простору. Имплементација примарне јонизације [7] тј. ефекта упадне честице високе енергије и индукције сигнала у електродама. Имплементација ефекта дискриминације сигнала помоћу прага индукованог наелектрисања. Развој програмског решења за коришћење модела у мултипроцесорском окружењу.
6. Тестирање микроскопског модела и поређење са измереним вредностима за временску резолуцију и ефикасност детекције (из литературе [9]).
7. Развој флуидног модела транспорта електрона и спрега са микроскопским Монте Карло моделом ради добијања спектра сигнала детектора. Поређење са експерименталним резултатима.
8. Студија утицаја различитих фактора (температуре, притиска, састава гасне смеше и присуство нечистоћа) на транспорта електрона у електричном и магнетском пољу. Пример: детектор типа Time Projection Chamber.

7. Закључак и предлог

На основу свега изложеног Комисија сматра да кандидат Данко Бошњакловић испуњава све услове предвиђене Законом о високом образовању и Правилником о докторским студијама Електротехничког факултета у Београду неопходне за приступање изради докторске дисертације. У свом досадашњем раду је показао висок степен самосталности и способност за истраживачки рад. Предложена тема докторске дисертације „Моделовање гасних детектора честица високих енергија применом технике електронских ројева“ спада у област нуклеарне физике и технике. Имајући у виду недостатке постојећих модела на основу којих се приступа пројектовању детектора, као и потребе за разумевањем физичких

принципа и основа рада ових уређаја који имају широки спектар примене, од физике високих енергија до медицинског сликања, сматрамо да тема отвара ново поље истраживања од изузетног значаја.

Комисија има задовољство да Научно наставном већу Електротехничког факултета предложи да прихвати тему *„Моделовање гасних детектора честица високих енергија применом технике електронских ројева“* кандидата Данка Бошњаковића. За ментора предлагемо академика Зорана Љ. Петровића, научног саветника Института за физику у Београду чији списак радова следи у Прилогу.

У Београду, 29.10.2014.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

академик Зоран Љ. Петровић, научни саветник
Универзитет у Београду – Институт за физику

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

др Саша Дујко, виши научни сарадник
Универзитет у Београду – Институт за физику

др Синиша Јешић, ванредни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет