

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ ФИЗИЧКОГ ФАКУЛТЕТА

УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ

Пошто смо на VI седници Изборног и Наставно-научног већа Физичког факултета Универзитета у Београду одржаној 27.05.2020. године одређени за чланове Комисије за преглед и оцену докторске дисертације кандидата Илије Симоновића студента докторских студија Физичког факултета, под насловом **"Кинетички и флуидни модели неравнотежног транспорта електрона у гасовима и течностима"**, која је предата на Физичком факултету 25.05.2020. године, подносимо следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Основни подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Илија Симоновић рођен је 31.07.1989. године у Крагујевцу, где је завршио основну и средњу школу. Основне студије на Физичком факултету Универзитета у Београду уписао је школске 2008/2009. године на смеру Теоријска и експериментална физика. Кандидат је завршио основне студије школске 2011/2012. године са просечном оценом 9.85. Студентски пројекат под називом "Градијентне теорије на некомутативном простору" урадио је на Физичком факултету под менторством проф. др Марије Димитријевић Тирић. Кандидат је уписао мастер студије школске 2012/2013. и завршио их је са просечном оценом 10. Мастер рад под насловом "Некомутативна гравитација на Мојаловом простору" одбранио је 01.10.2013. године под менторством проф. др Воје Радовановића. Докторске студије на Физичком факултету Универзитета у Београду уписао је школске 2013/2014. године на смеру Физика јонизованог гаса, плазме и технологија плазме.

1.2. Научна активност

Научна активност Илије Симоновића обухвата нумеричка истраживања неравнотежних плазми и ројева наелектрисаних честица у гасовима и течностима. Кандидат је запослен као истраживач сарадник на Институту за физику у Београду и радио је на пројекту 171037 "Фундаментални процеси и примене транспорта честица у неравнотежним плазмама, траповима и наноструктурама" Министарства науке, просвете и технолошког развоја. Има осам публикованих радова, 3 рада у категорији M21a, 3 рада у категорији M21 и 2 рада у категорији M23. Одржао је предавање по позиву на међународној конференцији POSMOL2019 одржаној од 18. до 20. јула 2019. године у Београду.

2. Опис предатог рада

2.1. Основни подаци

Докторска дисертација кандидата је урађена под руководством др Саше Дујка, научног саветника Института за физику у Београду. Ментор испуњава услове Физичког факултета за руковођење изработом докторске дисертације, јер је у научном звању (научни саветник) и аутор је великог броја радова из области неравнотежних плазми и ројева наелектрисаних честица у гасовима који су објављени у врхунским међународним часописима и представљени на међународним конференцијама. Ова докторска дисертација има 208 страна не укључујући насловну страну,

захвалницу, биографију аутора, библиографију, неопходне изјаве, сажетак и садржај. Дисертација садржи 110 слика од којих 13 представља коришћене сетове пресека који су преузети из литературе и који су коришћени као улазни подаци, док 97 представља резултате који су одређени у оквиру ове дисертације. У дисертацији се налазе две табеле од којих једна приказује компоненте диференцијалног оператора, који је коришћен у овој дисертацији, док друга приказује симетријске особине транспортног тензора трећег реда које су одређене у оквиру ове дисертације. У дисертације је наведена 251 референца.

2.2. Предмет и циљ рада

У овој докторској дисертацији се изучавају транспортни процеси ројева наелектрисаних честица у гасовима и течностима и динамика негативних стримера у неполарним течностима. Рој се дефинише као ансамбал наелектрисаних честица које се крећу у неутралном позадинском флуиду под утицајем спољашњег електричног и евентуално спољашњег магнетског поља. Сматра се да је концентрација наелектрисаних честица довољно ниска да се њихове међусобне интеракције, као и њихов утицај на резултујуће електрично поље и на позадински флуид могу занемарити. Динамика роја је одређена утицајем спољашњих поља и сударима наелектрисаних честица роја са неутралним честицама позадинске средине.

Рој је егзактна репрезентација неких реалних система попут јонизованих гасова који настају у Таунзендовим (енгл. Townsend) електричним пражњењима у граници малих ефеката просторног наелектрисувања, прет-пробојног стања лавине електрона, гасних изолатора, замки за позитроне које су испуњене гасом, термализације елементарних честица које настају емисијом из радиоактивних извора или као производ интеракције космичког зрачења и атмосферског гаса, и гасних детектора елементарних честица. Међутим, применљивост теорије ројева има знатно шире оквири, због тога што концепт роја наелектрисаних честица представља основни градивни блок у моделима свих типова неравнотежних плазми који описује транспорт и сударе активних честица. Пре свега, рој је гранични бенчмарк (тест) за све моделе неравнотежне плазме. Поред тога, експерименти са ројевима и теорија ројева наелектрисаних честица обезбеђују транспортне коефицијенте попут брзине дрифта, компоненти дифузионог тензора и брзинских коефицијената за реакције, који су неопходни као улазни подаци у моделима неравнотежних плазми. Притом је у оквиру теорије ројева развијен метод за одређивање комплетних скупова пресека за расејање електрона и јона (и позитрона) у неутралном позадинском гасу. Скупови пресека који су одређени техником ројева наелектрисаних честица обезбеђују добар баланс броја наелектрисаних честица, импулса и енергије у моделима плазме, што је од кључног значаја за прецизан опис просторно и временски разложених карактеристика плазме, укључујући концентрације наелектрисаних честица, расподеле поља и других величина.

Прва целина ове докторске дисертације бави се транспортним коефицијентима трећег реда. Транспортни коефицијенти трећег реда су недовољно истражени у литератури због тога што их је тешко измерити и тешко израчунати применом теоријских метода. Поред тога, традиционални експерименти са ројевима су у највећем броју случајева конструисани да раде у условима у којима се брзина дрифта и лонгитудинална компонента дифузионог тензора могу измерити са максималном прецизношћу. У овим условима транспортни коефицијенти трећег реда немају значајан утицај на кретање електрона. Међутим, познавање транспортних коефицијената трећег

реда обезбеђује бољи опис просторног профила роја наелектрисаних честица у условима у којима овај просторни профил испољава асиметрично одступање од идеалног Гаусијана. Ово је нарочито изражено при ниским притисцима позадинског гаса и у раним фазама временске еволуције роја. Поред наведеног је показано да транспортни подаци који се одређују у стационарном Таунзендовом експерименту и у експерименту са спектром пристижућих честица могу да се изразе уз помоћ линеарне комбинације хидродинамичких транспортних коефицијената. На основу тога су транспортни коефицијенти трећег и вишег реда потребни за прецизну конверзију хидродинамичких транспортних коефицијената, који се рачунају теоријски, у транспортне податке који се мере у ова два типа експеримената. Са друге стране, ако би транспортни коефицијенти трећег реда били рачунати и мерени са довољном прецизношћу они би били јако корисни у процедури за одређивање комплетних скупова пресека применом методе ројева. Присуство додатног транспортног коефицијента би ублажило проблем неједнозначности скупа пресека који је одређен применом ове методе. Поред тога је показано да су транспортни коефицијенти трећег реда осетљивији на енергијску зависност пресека за елементарне сударне процесе од брзине дрифта и индивидуалних компоненти дифузионог тензора. Због тога би транспортни коефицијенти трећег реда могли да допринесу прецизнијем одређивању облика пресека у енергијском опсегу у коме се пресеци брзо мењају са порастом енергије. Бенчмарк прорачуни транспортних коефицијената трећег реда могу бити корисни за тестирање нових компјутерских кодова за нумеричко решавање Болцманове једначине, због тога што су ови транспортни коефицијенти осетљивији на облик функције расподеле роја у фазном простору од транспортних коефицијената нижег реда. Развој ове теорије је управо неопходан корак за оптимални развој експеримената за мерење транспортних коефицијената вишег реда.

До сада је у литератури одређена структура транспортног тензора трећег реда само у присуству електричног поља. Транспортни коефицијенти трећег реда су изучавани за јоне у племенитим гасовима, као и за електроне у племенитим гасовима у опсегу поља унутар кога се нееластични и неконзервативни судари могу занемарити. Није била позната структура тензора у присуству магнетског поља, нити је детаљно испитано како еластични, нееластични и неконзервативни процеси утичу на транспортне коефицијенте трећег реда. Такође није била испитана корелација ових транспортних коефицијената са транспортним коефицијентима нижег реда.

У овој докторској дисертацији је одређена структура транспортног тензора трећег реда у свим конфигурацијама електричног и магнетског поља применом методе групних пројектора. Ова структура је додатно проверена уз помоћ физичких аргумената и симетријских особина коефицијената у развоју функције расподеле наелектрисаних честица у фазном простору по скупу базисних функција (Барнетове функције и иредуцибилне компоненте диференцијалног оператора по просторним координатама који делује на концентрацију честица роја). Физичка интерпретација појединачних компоненти транспортног тензора трећег реда је пажљиво анализирана на основу флуks градијентне релације и генералисане дифузионе једначине. Показано је да лонгитудинална компонента овог тензора описује асиметричну деформацију просторне расподеле роја дуж лонгитудиналног правца, док вандијагоналне компоненте описују лонгитудиналну варијацију елонгације или контракције роја дуж трансверзалног правца. Урађени су систематски прорачуни транспортних коефицијената трећег реда за велики број моделних и реалних гасова применом Монте Карло симулација и метода више чланова за нумеричко решавање Болцманове једначине. Резултати ове две методе су упоређени где год је то било могуће и њихово добро слагање

потврђује валидност коришћених метода. Анализиран је утицај еластичних, нееластичних и неконзервативних процеса, као и односа маса наелектрисаних честица роја и неутралних честица позадинске средине, на транспортне коефицијенте трећег реда. Испитана је корелација између транспортних коефицијената трећег реда и транспортних коефицијената нижег реда. Уочено је да постоји снажна корелација између профила зависности лонгитудиналне компоненте транспортног тензора трећег реда од редукованог електричног поља и одговарајућег профила лонгитудиналне компоненте дифузионог тензора.

Друга целина ове докторске дисертације се бави транспортом електрона и пропагацијом негативних стримера у течном аргону, течном криптону и течном ксенону. Изучавање транспорта електрона у течностима је важно са теоријског становишта због тога што омогућава боље разумевање динамике наелектрисаних честица у густој средини без дугодометног уређења. Са практичног становишта је изучавање ројева наелектрисаних честица у течној фази и електричних пражњења у течностима значајно за многе важне примене укључујући примену плазме у медицини и пољопривреди, прочишћавање воде плазмом, трансформаторска уља и детекторе честица са течним аргонем и течним ксеноном. Међутим, упркос овим применама транспортна теорија наелектрисаних честица у течностима је још увек у раним фазама развоја. Један од разлога је присуство великог броја ефеката који значајно утичу на динамику наелектрисаних честица на различитим просторним и временским скалама. Неки од ових ефеката су промена потенцијала за расејање електрона на фокус атому услед утицаја суседних честица позадинске средине, ефекти кохерентног расејања, флукуације густине, заробљавање наелектрисаних честица у областима ниже густине и солватација наелектрисаних честица у поларним течностима.

Велики број радова у којима се моделују стримери у течностима не узима у обзир ефекте који модификују динамику наелектрисаних честица у течној фази. У овим радовима се користе емпиријске формуле, или подаци из гасне фазе који су скалирани на густину течности. Пионирски кораци у егзактном опису транспорта наелектрисаних честица у течној фази су урађени у оквиру Коен-Лекнерове (енг. Cohen-Lekner) теорије. У оквиру ове теорије је одређен модификовани потенцијал за расејање електрона у атомским течностима и описани су кохетрентни ефекти применом статичког структурног фактора течности. Коен-Лекнерова теорија је омогућила егзактан опис еластичног расејања у атомским течностима у којима не постоје значајне флукуације густине. Међутим, у литератури још увек не постоји консензус о исправном начину репрезентовања нееластичних судара у течностима. У неким радовима су конзервативни нееластични судари у течној фази потпуно занемарени, док су неки аутори узели у обзир само побуђивање вибрационих ексцитација појединачних атомских кластера при расејању наелектрисаних честица роја, упркос томе што су дискретна ексцитонска стања уочена у рефлексионим спектрима течног аргона, течног криптона и течног ксена. Поред тога је већина радова у којима се изучава транспорт електрона у атомским течностима ограничена на ниске вредности редукованог електричног поља, упркос томе што су висока поља од кључног значаја за динамику стримера.

У овој дисертацији су разматрани различити начини за репрезентовање нееластичних судара у течном аргону, течном криптону и течном ксенону са становишта експерименталних резултата из литературе, који се односе на фотопроводност у течном ксенону и ексцитонске спектре у ове три течности. Разматран је начин на који нееластични процеси утичу на брзински коефицијент за

јонизацију, као и на динамику формирања и пропагације негативних стримера у атомским течностима. Испитано је како примена два различита флуидна модела утиче на израчунате вредности брзине стримера у овим течностима. Анализирана је структурно индукована негативна диференцијална проводност на основу просторно разложених карактеристика роја и функција расподеле електрона по енергијама. Да би се ови циљеви истраживања остварили, проширена је методологија проучавања ројева наелектрисаних честица из домена неутралних гасова у домен неполарних течности. Компјутерски код базиран на Монте Карло методи је проширен и генерализован из домена неутралних гасова у домен течних племенитих гасова. Развијен је флуидни модел за ројеве електрона у неполарним течностима и флуидни модел за проучавање транзиције лавина електрона у стримере и пропагације стримера, у условима у којима нема фазног прелаза течност-гас и заробљавања електрона у дислокацијама проузрокованим променама густине позадинског флуида.

2.3. Публикације

Резултати из ове докторске дисертације су представљени у четири рада. Један од ових радова је у часопису M21a категорије, двасу у часопису M21 категорије, док је четврти у часопису M23 категорије.

[1] Z.Lj. Petrović, **I. Simonović**, S. Marjanović, D. Bošnjaković, D. Marić, G. Malović and S. Dujko
“*Non-equilibrium of charged particles in swarms and plasmas- from binary collisions to plasma effects*”
Plasma Phys. Control. Fusion **59** (2017) 014026

[2] **I. Simonović**, N.A. Garland, D. Bošnjaković, Z.Lj. Petrović, R.D. White and S. Dujko
“*Electron transport and negative streamers in liquid xenon*”
Plasma Sources Sci. Technol. **28** (2019) 015006

[3] **I. Simonović**, D. Bošnjaković, Z.Lj. Petrović, P. Stokes, R.D. White and S. Dujko
“*Third-order transport coefficient tensor of charged-particle swarms in electric and magnetic fields*”
Phys. Rev. E **101** (2020) 023203

[4] **I. Simonović**, D. Bošnjaković, Z.Lj. Petrović, R.D. White and S. Dujko
“*Third-order transport coefficient tensor of electron swarms in noble gases*”
Eur. Phys. J. D **74** (2020) 63

2.4. Преглед дисертације и научних резултата изложених у дисертацији

2.4.1. Садржај дисертације

Ова докторска дисертација садржи осам поглавља и три додатка. У прва три поглавља дискутовани су мотивациони фактори за истраживања, теоријске основе физике ројева наелектрисаних честица и кинетичке теорије неравнотежне плазме и предложена је методологија за истраживања чији су резултати представљени у овој дисертацији. У наредна четири поглавља представљени су резултати ове дисертације, а закључак и могући правци будућег истраживања на основу резултата који су постигнути у овој дисертације су приказани у осмом поглављу. Први

додатак приказује метод групних пројектора, који је у оквиру ове докторске дисертације коришћен за одређивање структуре транспортног тензора трећег реда. Други додатак приказује алтернативни начин за одређивање ове структуре применом симетријских особина момената функције расподеле у фазном простору, као и изразе за одређивање свих осамнаест компоненти овог тензора. У трећем додатку су дати изрази на основу којих се могу одредити компоненте транспортног тензора трећег реда у Монте Карло симулацијама у случају ортогоналне конфигурације електричног и магнетског поља, као и у случају у коме су електрично и магнетско поље међусобно укрштени под углом који је између 0 и 90 степени.

Прво поглавље представља увод ове докторске дисертације. У овом поглављу је изложена мотивација за изучавање транспортне теорије наелектрисаних честица у гасовима и течностима. Након тога се дискутују предности и недостаци флуидних модела, честичних модела и метода за нумеричко решавање Болцманове једначине у моделовању неравнотежних плазми. Потом је укратко приказан историјат развоја метода за нумеричко решавање Болцманове једначине применом метода више чланова (енг. multi term method). Затим су описане потешкоће у развоју транспортне теорије ројева наелектрисаних честица у течной фази, а након тога су приказани први кораци у развоју ове теорије. Потом је представљена мотивација за проучавање транспортног тензора трећег реда за ројеве наелектрисаних честица у гасовима и течностима, као и стање у литератури везаној за транспортне коефицијенте трећег реда. На крају овог поглавља дат је кратак преглед преосталих поглавља у дисертацији.

У другом поглављу су приказани основни елементи теорије ројева наелектрисаних честица у гасовима и течностима. На почетку овог поглавља је дефинисан рој наелектрисаних честица. Након тога су представљене основе теорије расејања електрона на изолованом атому, као и неопходне модификације ове теорије за описивање расејања електрона у течним племенитим гасовима. Потом је укратко приказана хидродинамичка теорија ројева наелектрисаних честица и дефинисане су две различите фамилије транспортних коефицијената, флукс и балк. На крају овог поглавља је приказана структура векторских и тензорских транспортних коефицијената, који су од значаја за ову докторску дисертацију, у свим конфигурацијама електричног и магнетског поља.

Треће поглавље је посвећено коришћеним методама за израчунавање транспортних величина. На почетку овог поглавља, на основу развоја Болцманове једначине по Барнетовим функцијама у брзинском простору, показано је како се резултујућа хијерархија кинетичких једначина може нумерички решити у хидродинамичком режиму. Посебна пажња је посвећена добијању експлицтних израза за флукс транспортне коефицијенате трећег реда. Показано је да се ови изрази могу добити на основу момената функције расподеле другог реда разматрајући флукс градијентну релацију. Након тога је приказана методологија за добијање хијерархије флуидних једначина, у чијој основи се налази интеграција Болцманове једначине у брзинском простору и теорија преноса импулса за опис сударних процеса. Потом су приказани основни елементи Монте Карло симулација и одговарајућег компјутерског кода који је коришћен у оквиру ове докторске дисертације. Описано је на који начин је извршено проширење и генерализација изворног Монте Карло кода за транспорт у неутралним гасовима, у домен неполарних течности. На крају овог поглавља су приказани резултати бенчмарк прорачуна у Перкус-Јевик (енг. Percus-Yevick) моделној течности, који су послужили за проверу имплементације ефеката кохерентног расејања у проширеном и генерализованом Монте Карло коду.

У четвртог поглављу су приказани резултати прорачуна транспортних коефицијената трећег реда у моделним гасовима. На почетку овог поглавља је детаљно анализиран физички смисао појединачних компоненти транспортног тензора трећег реда. Након тога су представљени услови симулација и нумеричких прорачуна који су коришћени у оквиру ове докторске дисертације. Потом су приказани добијени резултати за транспортне коефицијенте трећег реда у Максвеловом моделу, моделу крутих сфера, Ридовом моделу (енг.Reid ramp model), Лукас-Сили моделу (енг.Lucas-Saelee model) и модификованом Нес-Робсоновом моделу (енг. modified Ness-Robson model). Резултати у Максвеловом моделу су добијени на основу нумеричких решења Болцманове једначине, резултати у моделу крутих сфера су добијени у Монте Карло симулацијама, док су резултати у преостала три модела добијени применом оба коришћена метода. У овом поглављу је разматран утицај еластичних, нееластичних и неконзервативних судара на транспортне коефицијенте трећег реда, као и утицај односа маса наелектрисаних честица роја и неутралних честица позадинске средине на ове транспортне коефицијенте.

Пето поглавље приказује транспортне коефицијенте трећег реда за ројеве електрона и позитрона у реалним гасовима. На почетку овог поглавља је дискутована корелација између зависности лонгитудиналних компоненти дифузионог тензора и транспортног тензора трећег реда од редукованог електричног поља. Потом су приказани резултати за електроне у племенитим гасовима (He, Ne, Ar, Kr и Xe) и молекуларним гасовима N_2 , CH_4 , CF_4 и C_3F_8 . Значајна пажња је посвећена разматрању утицаја лонгитудиналне компоненте транспортног тензора трећег реда на просторни профил роја у функцији редукованог електричног поља за ројеве електрона у овим гасовима. Нехидродинамички ефекти су разматрани анализирајући имплицитне ефекте тројног захвата електрона на транспортне коефицијенте трећег реда у O_2 . У последњем делу овог поглавља, приказани су резултати за ројеве позитрона у три молекуларна гаса, H_2 , N_2 и CF_4 . Резултати за ројеве наелектрисаних честица у племенитим гасовима и у кисеонику су добијени применом методе више чланова за нумеричко решавање Болцманове једначине, док су резултати у осталим молекуларним гасовима добијени применом ове методе и Монте Карло симулација.

У шестом поглављу су приказани резултати транспортних прорачуна за електроне у течном аргону, течном криптону и течном ксенону. На почетку овог поглавља су дискутовани мотивациони фактори за проучавање транспорта наелектрисаних честица и електричних пражњења у течностима. Потом су изнети аргументи за постојање проводне зоне у течном аргону, течном криптону и течном ксенону, који су образложени експерименталним резултатима који се могу наћи у литератури. Након тога су приказани коришћени сетови пресека за расејање електрона у течном ксенону у четири различита сценарија за репрезентовање нееластичних судара у овој течности. Ови сценарији су анализирани са становишта експерименталних резултата везаних за фотопроводност и ексцитонске спектре, који се могу пронаћи у литератури. Затим су приказани резултати транспортних прорачуна за електроне у течном ксенону, који су добијени применом Монте Карло симулација. Потом су приказани сетови пресека за расејање електрона у течном аргону и течном криптону, као и одговарајући транспортни коефицијенти који су одређени у Монте Карло симулацијама.

Седмо поглавље је посвећено нумеричком изучавању негативних стримера у течном аргону, течном криптону и течном ксенону применом флуидног модела првог реда и тзв. коригованог флуидног модела првог реда који је заснован на развоју изворног члана у једначини континуитета

у степени ред по градијентима концентрације наелектрисаних честица. У истом поглављу су дискутоване нумеричке технике за решавање система диференцијалних једначина, које се налазе у основи ових модела. Након тога су приказани резултати моделовања динамике формирања и пропагације негативних стримера у течном аргону, течном криптону и течном ксенону под утицајем константног спољашњег редукованог електричног поља. Резултати су добијени у условима у којима се не појављују гасни мехурићи и заробљавање електрона у дислокацијама софт-кондензоване материје. Посебан акценат је стављен на утицај третмана електронских екситација које су укључене у модел на динамику стримера. На крају овог поглавља, брзине негативних стримера су анализране у ове три течности на основу одрговарућих брзинских коефицијената за јонизацију.

Осмо поглавље представља закључак ове докторске дисертације. На почетку овог поглавља су још једном у кратким цртама изнети мотивациони фактори за проучавања транспортних коефицијената трећег реда за ројеве наелектрисаних честица у гасовима и течностима, као и мотивациони фактори за проучавање транспорта наелектрисаних честица у течној фази. Потом је у кратким цртама описано стање у литератури и дат је кратак преглед појединачних поглавља ове дисертације. Након тога су детаљно приказани оригинални научни доприноси ове докторске дисертације. Ови доприноси су на кохерентан начин смештени у укупни корпус досадашњих истраживања у оквиру кинетичке теорије ројева наелектрисаних честица чиме је на јасан начин указано на њихов значај и потенцијалне примене у физици и технологији. На крају овог поглавља су дискутовани могући правци будућих истраживања.

2.4.2. Научни резултати изложени у дисертацији

У овој докторској дисертацији је одређена структура транспортног тензора трећег реда у свим конфигурацијама електричног и магнетског поља применом метода групних пројектора. Показано је да се коришћени метод може применити и на транспортне коефицијенте четвртог и вишег реда. Поред методе групних пројектора, у оквиру ове дисертације структура транспортног тензора трећег реда је одређена и на основу симетријских особина момената функције расподеле роја у фазном простору и физичких аргумената. Показано је да транспортни тензор трећег реда има три независне компоненте у одсуству магнетског поља, четири независне компоненте у паралелној конфигурацији електричног и магнетског поља, десет независних компоненти у ортогоналној конфигурацији поља и осамнаест независних компоненти у случају када су електрично и магнетско поље међусобно укрштени под углом који је између 0 и 90 степени. На овај начин је у потпуности одређена структура транспортног тензора трећег реда и идентификоване су везе које постоје између индивидуалних компоненти, што је од пресудног значаја за разумевање транспортних процеса вишег реда.

Физичка интерпретација појединачних компоненти транспортног тензора трећег реда је први пут пажљиво анализирана у оквиру ове докторске дисертације. Ово је постигнуто на основу решења генерализане дифузионе једначине, која су укључивала ефекте транспортних коефицијената трећег реда. Показано је да лонгитудинална компонента овог тензора у зависности од свог знака описује елонгацију или контракцију просторне расподеле наелектрисаних честица дуж лонгитудиналног правца на фронту роја и супротну деформацију на зачељу роја. Слично томе, вандијагоналне компоненте у зависности од знака оприсују елонгацију или контракцију роја дуж

трансверзалног правца на фронту роја и супротну деформацију на зачељу роја. У овој докторској дисертацији је први пут пажљиво анализиран утицај електричног поља, просторног градијента средње енергије наелектрисаних честица и судара ових честица са неутралним честицама позадинске средине на знак појединачних компоненти транспортног тензора трећег реда.

У овој докторској дисертацији су приказани резултати прорачуна транспортних коефицијента трећег реда за наелектрисане честице у Максвеловом моделном гасу, моделу крутих сфера, Ридовом моделу, Лукас-Сили моделу и модификованом Нес-Робсоновом моделу у широком опсегу редукованог електричног поља. Анализиран је утицај еластичних, нееластичних и неконзервативних судара, као и утицај односа маса наелектрисаних честица роја и неутралних честица позадинске средине, на ове транспортне коефицијенте. Због великог обима резултата који су приказани у овом поглављу, за потребе овог извештаја издвојићемо два важна доприноса: (1) Уочено је да са порастом масе честица роја долази до већег доприноса транспортних коефицијената трећег реда просторном профилу роја, што недвосмислено указује на већи значај проучавања транспортних процеса вишег реда за ројеве јона у односу на ројеве лаких наелектрисаних честица. (2) За разлику од транспортних коефицијената нижег реда, имплицитни ефекти неконзервативних судара на транспортне коефицијенте трећег реда могу бити доминантнији од експлицитних ефеката. Коначно, у овом поглављу се по први пут разматрају ефекти магнетског поља на понашање транспортних коефицијената трећег реда. За ројеве електрона у Ридовом моделном гасу је разматран утицај интензитета магнетског поља, у ортогоналној конфигурацији поља. Зависност дијагоналних компоненти транспортног тензора трећег реда од интензитета магнетског поља је пажљиво анализирана на основу утицаја Лоренцове силе и судара електрона са неутралним честицама позадинског гаса на трајекторије електрона.

Резултати прорачуна транспортних коефицијената трећег реда за електроне у племенитим гасовима (He, Ne, Ar, Kr и Xe) и молекуларним гасовима (N_2 , CH_4 , CF_4 , C_3F_8 и O_2), као и за позитроне у три молекуларна гаса (H_2 , N_2 и CF_4) су приказани у широком опсегу редукованог електричног поља. Ови резултати су пажљиво анализирани са становишта средње енергије наелектрисаних честица роја и енергијских варијација пресека за сударе ових честица са честицама позадинског гаса. Посебан акценат је стављен на утицај Рамзауер-Таунзендовог минимума на компоненте транспортног тензора трећег реда у аргону, криптону и ксенону, као и на негативне вредности свих компоненти овог тензора у уском опсегу редукованог електричног поља за електроне у тетрафлуорометану (CF_4). Уколико се изузму негативне вредности транспортних коефицијената које су опажене током временске релаксације роја електрона у присуству магнетског поља, или оне повезане са појавом негативне мобилности електрона у смешама инертних и јако електронегативних гасова, ово је прва забележена негативна вредност транспортног коефицијента у литератури.

Један од важних доприноса ове дисертације је чињеница да је опажена снажна корелација између профила зависности лонгитудиналне компоненте дифузионог тензора и лонгитудиналне компоненте транспортног тензора трећег реда од редукованог електричног поља. Уочено је да се лонгитудинална компонента транспортног тензора трећег реда повећава кад год се лонгитудинална компонента дифузионог тензора повећава као конвексна функција редукованог електричног поља у логаритамској скали. Међутим, лонгитудинална компонента транспортног тензора трећег реда опада кад год лонгитудинална дифузија опада, или када се ова компонента

дифузионог тензора повећава као конкавна функција поља у логаритамској скали. Ова корелација је одсутна на најнижим пољима због тога што све компоненте транспортног тензора трећег реда теже нули у лимесу ниских поља, за разлику од дијагоналних компоненти дифузионог тензора које имају ненулта термалне вредности. Корелација између лонгитудиналних компоненти ова два тензора није присутна ни у условима у којима лонгитудинална компонента транспортног тензора трећег реда има негативне вредности.

У оквиру ове дисертације, интеграцијом Болцманове једначине у брзинском простору су изведене флуидне једначине за баланс броја честица, баланс импулса и баланс енергије за електроне у неполарним течностима. Сударни процеси електрона и честица позадинског флуида су уведени на основу разматрања колизионих интеграла у Болцмановој једначини и на основу теорије за пренос импулса. На тај начин је проширена методологија за проучавање транспорта електрона у неполарним течностима, у односу на ону која већ постоји у литератури, узимањем у обзир ефеката који омогућавају мултипликацију наелектрисаних честица роја у течној фази. Из ових флуидних једначина је изведен систем једначина који повезује средњу енергију, брзину дрифта, вектор енергијског градијента и дифузиони тензор. При овом извођењу је претпостављен хидродинамички режим и уведено је неколико апроксимација које су омогућиле затварање система флуидних једначина. Показано је да се овај систем једначина може решити нумерички када су познате колизионе фреквенце за појединачне сударне процесе у функцији средње енергије.

У овој дисертацији је темељно изучаван транспорт електрона у течном аргону, течном криптону и течном ксенону у широком опсегу редукованог електричног поља применом Монте Карло симулација. Посебан акценат је стављен на изучавање ефеката кохерентног расејања на транспорт електрона у лимесу малих електричних поља и на структурно индуковану негативну диференцијалну проводност у течном ксенону разматрајући просторно разложене карактеристике роја и расподеле електрона по енергијама. Уочено је да су просторни градијенти ефективних сударних процеса, у којима долази до размене импулса, врло интензивни у опсегу редукованог електричног поља у коме постоји структурно индукована негативна диференцијална проводност. Такође је уочено да су ови просторни градијенти најстрмији у распону поља у коме је опадање брзине дрифта са порастом редукованог електричног поља најинтензивније. Поред тога је примећено да функција расподеле електрона по енергијама има необичан облик у опсегу поља у коме постоји негативна диференцијална проводност. Наиме, у овом опсегу поља су ниско енергијски и високо енергијски делови функције расподеле знатно слабије популисани него за вредности редукованог електричног поља у коме нема негативне диференцијалне проводности. Овај облик профила функције расподеле је анализиран на основу пресека за ефективне сударне процесе који репрезентују кохерентно расејање у течној фази.

Утицај различитих начина за репрезентовање нееластичних судара у течној фази је детаљно анализиран на примеру течног ксенона. Разматрана су четири различита случаја за репрезентовање нееластичних судара у овој течности. Ови случајеви су дискутовани на основу експерименталних резултата везаних за фотопроводност и ексцитонске спектре у течном ксенону. Вредности средње енергије, флукс брзине дрифта и балк брзине дрифта варирају до око 20%, 10% и 25%, респективно, у зависности од начина репрезентовања нееластичних судара. Међутим, брзински коефицијент за јонизацију снажно зависи од начина на који су репрезентовани нееластични судари у течној фази. Показано је да се ово може очекивати због тога што ексцитације представљају

конкурентски процес јонизацији. Вредности брзинског коефицијента за јонизацију, које су одређене у ова четири случаја су упоређене са експерименталним резултатима који су присутни у литератури.

Транспортни коефицијенти у течном аргону, течном криптону и течном ксенону, који су одређени применом Монте Карло симулација, су коришћени као улазни подаци у једноиподимензионим нумеричким имплементацијама флуидног модела првог реда и коригованог флуидног модела који је зансован на развоју изворног члана у једначини континуитета по градијентима концентрације наелектрисаних честица. Ови модели су коришћени за испитивање динамике формирања и пропагације негативних стримера у разматраним течностима у присуству константног спољашњег електричног поља. Посебна пажња је посвећена утицају различитих начина за репрезентовање нееластичних судара на динамику стримера у течној фази. Уочено је да брзина формирања и пропагације негативног стримера снажно зависи од броја ексцитација које су укључене у модел. Разлике између брзина стримера у различитим сценаријима за репрезентовање нееластичних судара су у сагласности са разликама између одговарајућих брзинских коефицијената за јонизацију при вредности редукованог електричног поља које одговара фронту стримера. На овај начин, показано је да коректан опис нееластичних судара у течној фази је од кључног значаја за моделовање стримера у течностима. Такође, уочено је да је примена транспортних коефицијената из гасне фазе, који су скалирани на густину течности, неадекватна за моделовање стримера у течностима у условима у којима се брзински коефицијенти за јонизацију у ове две фазе значајно разликују за вредности редукованог електричног поља које одговарају фронту стримера.

Поред осталог, у овој докторској дисертацији су упоређени резултати нумеричког моделовања негативних стримера који су добијени применом флуидног модела првог реда и коригованог флуидног модела. Показано је да се вредности брзине пропагације стримера у течном ксенону, које су одређене у ова два модела, најбоље слажу уколико се у флуидном моделу првог реда користе балк транспортни коефицијенти. Коначно, без обзира који се флуидни модел користи у моделовању, показано је да је један од критичних елемената у моделовању имплементација рекомбинације квази-слободних електрона и позитивних шупљина.

3. Списак публикација

Радови у међународном часопису изузетних вредности (категорија M21a)

[1] J.Mirić, D. Bošnjaković, **I. Simonović**, Z.Lj. Petrović and S. Dujko

“Electron swarm properties under the influence of a very strong attachment in SF₆ and CF₃I obtained by Monte Carlo rescaling procedures”

Plasma Sources Sci. Technol. **25** (2016) 065010

(IF2016=3.302)

[2]N.A. Garland, **I. Simonović**, G.J. Boyle, D.G. Cocks, S. Dujko and R.D. White

“Electron swarm and streamer transport across the gas–liquid interface: a comparative fluid model study”

Plasma Sources Sci. Technol. **27** (2018) 105004

(IF2018=4.128)

[3] **I. Simonović**, N.A. Garland, D. Bošnjaković, Z.Lj. Petrović, R.D. White and S. Dujko
“*Electron transport and negative streamers in liquid xenon*”
Plasma Sources Sci. Technol. **28** (2019) 015006
(IF2018=4.128)

Радови у врхунском међународном часопису (категорија M21)

[4] Z.Lj. Petrović, **I. Simonović**, S. Marjanović, D. Bošnjaković, D. Marić, G. Malović and S. Dujko
“*Non-equilibrium of charged particles in swarms and plasmas- from binary collisions to plasma effects*”
Plasma Phys. Control. Fusion **59** (2017) 014026
(IF2017=3.032)

[5] P.W. Stokes, **I. Simonović**, B. Philippa, D. Cocks, S. Dujko and R.D. White
“*Third-order transport coefficients for localised and delocalised charged-particle transport*”
Scientific Reports **8** (2018) 2226
(IF2018=4.011)

[6] **I. Simonović**, D. Bošnjaković, Z.Lj. Petrović, P. Stokes, R.D. White and S. Dujko
“*Third-order transport coefficient tensor of charged-particle swarms in electric and magnetic fields*”
Phys. Rev. E **101** (2020) 023203
(IF2018=2.353)

Радови у међународном часопису (категорија M23)

[7] J. Mirić, **I. Simonović**, Z.Lj. Petrović, R.D. White and S. Dujko
“*Electron transport in mercury vapor: cross sections, pressure and temperature dependence of transport coefficients and NDC effects*”
Eur. Phys. J. D **71** (2017) 289
(IF2017=1.393)

[8] **I. Simonović**, D. Bošnjaković, Z.Lj. Petrović, R.D. White and S. Dujko
“*Third-order transport coefficient tensor of electron swarms in noble gases*”
Eur. Phys. J. D **74** (2020) 63
(IF2018=1.331)

Предавање по позиву са међународног скупа штампано у целини (M31)

[9] 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, BohinjBistrica, Slovenia

[10] S. Dujko, D. Bošnjaković, **I. Simonović**, Z.Lj. Petrović and R.D. White, “*Non-equilibrium transport of electrons in gases and liquids and its application in modeling of particle detectors*”, Book of contributed papers, SAPP XXII, 22nd Symposium on Application of Plasma Processes and 11th EU-Japan Joint Symposium on Plasma Processing, Štrbsko Pleso, Slovakia, 18-24 January, 2019, (Edited by V. Medvecka, J. Orszagh, P. Papp and Š. Matejčik), p.57.

Издавач: Department of Experimental Physics, Faculty of Mathematics, Physics and Informatics, Comenius University in Bratislava; Society for Plasma Research and Applications in cooperation with Library and Publishing Centre CU, Bratislava, Slovakia стр. 57 до 62 (6 страна)

Предавање по позиву са међународног скупа штампано у изводу (M32)

[11] S. Dujko, Z.Lj. Petrović, R.D. White, G. Boyle, A. Banković, **I. Simonović**, D. Bošnjaković, J. Mirić, A.H. Markosyan and S. Marjanović, “*Transport processes for electrons and positrons in gases and soft-condensed matter: Basic phenomenology and applications*”, XXIX International Conference on Photonic, Electronic and Atomic Collisions, 22-28 July 2015, Toledo, Spain

[12] Z.Lj. Petrović, S. Dujko, D. Marić, D. Bošnjaković, S. Marjanović, J. Mirić, O. Šašić, S. Dupljanin, **I. Simonović** and R.D. White, “*Swarms as an exact representation of weakly ionized gases*”, XIX International Symposium on Electron-Molecule Collisions and Swarms & XVIII International Workshop on Low-Energy Positron and Positronium Physics, POSMOL 2015, 17-20 July 2015, Lisboa, Portugal, Book of Abstracts, p. 4

[13] S. Dujko, D. Bošnjaković, **I. Simonović** and Z.Lj. Petrović, “*Electron transport in gases and liquids and its application in modeling of particle detectors*”, Book of abstracts, 12th Photonics Workshop, Kopaonik, Serbia, 10-14 March 2019, (Edited by D. Lukić, M. Lekić and Z. Grujić) p.21

ISBN: 978-86-82441-49-6

Издавач: Институт за физику Београд

[14] **I. Simonović**, D. Bošnjaković, R.D. White, Z.Lj. Petrović and S. Dujko, “*Transport Coefficients of Higher-Order for Electrons and Positrons in Neutral Gases and Nonpolar Liquids*”

Book of Abstracts, POSMOL 2019, Belgrade, Serbia, 18-21 July 2019, (Edited by D. Cassidy, M.J. Brunger, Z.Lj. Petrović, S. Dujko, B.P. Marinković, D. Marić and S. Tošić), p. 30

Издавач: Serbian Academy of Sciences and Arts and Institute of Physics Belgrade, Serbia

ISBN: 978-86-7025-819-8

[15] N. Garland, D. Muccignat, G. Boyle, D. Cocks, **I. Simonović**, D. Bošnjaković, M. J. Brunger, S. Dujko, Z. Lj. Petrović, and R. D. White, “*The Gas-Liquid Interface: Kinetic and Fluid Modelling of Charged Particle Transport*”, Book of Abstracts, POSMOL 2019, Belgrade, Serbia, 18-21 July 2019, (Edited by D. Cassidy, M.J. Brunger, Z.Lj. Petrović, S. Dujko, B.P. Marinković, D. Marić and S. Tošić), p. 33

Издавач: Serbian Academy of Sciences and Arts and Institute of Physics Belgrade, Serbia

ISBN: 978-86-7025-819-8

[16] M. Casey, P. Stokes, **I. Simonović**, D. Bošnjaković, M. J. Brunger, J. de Urquijo, S. Dujko, Z. Lj. Petrović, R. E. Robson, and R.D. White, “*Foundations and Interpretations of the Pulsed-Townsend*

Swarm Experiment and the use of Machine Learning for Self-Consistent Cross-Section Sets”, Book of Abstracts, POSMOL 2019, Belgrade, Serbia, 18-21 July 2019, (Edited by D. Cassidy, M.J. Brunger, Z.Lj. Petrović, S. Dujko, B.P. Marinković, D. Marić and S. Tošić), p. 150
Издавач: Serbian Academy of Sciences and Arts and Institute of Physics Belgrade, Serbia
ISBN: 978-86-7025-819-8

Саопштење са међународног скупа штампано у целини (M33)

[17] **I. Simonović**, Zoran Lj. Petrović, Saša Dujko, “*Third-order transport coefficients for electrons I. Structure of skewness tensor*”, 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. 130-133. ISBN: 978-86-7762-600-6

[18] **I. Simonović**, Zoran Lj. Petrović, Saša Dujko, “*Third-order transport coefficients for electrons II. Molecular gases*”, 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. 134-137. ISBN: 978-86-7762-600-6

[19] J. Mirić, D. Bošnjaković, **I. Simonović**, Z.Lj. Petrović and S. Dujko, “*Monte Carlo Simulations of Electron Transport in CF_3I and SF_6 Gases*”, Proc. 28th Summer School and International Symposium on the Physics of Ionized Gases - SPIG 2016, Belgrade, Serbia, (Aug. 29 – Sep. 2), Contributed Papers and Abstracts of Invited Lectures, Topical Invited Lectures, Progress Reports and Workshop Lectures (Eds. D. Marić, A. Milosavljević, B. Obradović and G. Poparić), pp. 104-107. ISBN: 978-86-84539-14-6

[20] J. Mirić, **I. Simonović**, D. Bošnjaković, Z.Lj. Petrović and S. Dujko, “*Electron Transport in Mercury Vapor: Dimer Induced NDC and Analysis of Transport Phenomena in Electric and Magnetic Fields*”, Proc. 28th Summer School and International Symposium on the Physics of Ionized Gases - SPIG 2016, Belgrade, Serbia, (Aug. 29 – Sep. 2), Contributed Papers and Abstracts of Invited Lectures, Topical Invited Lectures, Progress Reports and Workshop Lectures (Eds. D. Marić, A. Milosavljević, B. Obradović and G. Poparić), pp. 108-111. ISBN: 978-86-84539-14-6

[21] **I. Simonović**, Z. Lj. Petrović, R.D. White and S. Dujko, “*Transport coefficients for electron swarms in liquid argon and liquid xenon*”, Proc. 28th Summer School and International Symposium on the Physics of Ionized Gases - SPIG 2016, Belgrade, Serbia, (Aug. 29 – Sep. 2), Contributed Papers and Abstracts of Invited Lectures, Topical Invited Lectures, Progress Reports and Workshop Lectures (Eds. D. Marić, A. Milosavljević, B. Obradović and G. Poparić), pp. 120-123. ISBN: 978-86-84539-14-6

[22] **I. Simonović**, Z. Lj. Petrović, R.D. White and S. Dujko, “*Transition of an electron avalanche into a streamer in liquid argon and liquid xenon*”, Proc. 28th Summer School and International Symposium on the Physics of Ionized Gases - SPIG 2016, Belgrade, Serbia, (Aug. 29 – Sep. 2), Contributed Papers and Abstracts of Invited Lectures, Topical Invited Lectures, Progress Reports and Workshop Lectures (Eds. D. Marić, A. Milosavljević, B. Obradović and G. Poparić), pp. 124-127. ISBN: 978-86-84539-14-6

[23] S. Dujko, **I. Simonović**, D. Bošnjaković, Z.Lj. Petrović and R.D. White, “*Electron transport and propagation of negative streamers in liquid-phase xenon*”, 2019 IEEE 20th International Conference on Dielectric Liquids (ICDL), Roma, Italy, June 23-27, 2019

Издавач: IEEE

ISBN: 978-1-7281-1718-8

ISSN: 2153-3733

doi: 10.1109/ICDL.2019.8796665

Саопштење са међународног скупа штампано у изводу (M34)

[24] **I. Simonović**, Z.Lj. Petrović, and S. Dujko, “*Third order transport coefficients for electrons and positrons in gases*”, XXIX International Conference on Photonic, Electronic and Atomic Collisions, 22-28 July 2015, Toledo, Spain

[25] **I. Simonović**, Z.Lj. Petrović, R.D. White and S. Dujko, “*Higher order transport coefficients for electrons and positrons in gases*”, XIX International Symposium on Electron-Molecule Collisions and Swarms & XVIII International Workshop on Low-Energy Positron and Positronium Physics, POSMOL 2015, 17-20 July 2015, Lisbon, Portugal, Book of Abstracts, p.69

[26] **I. Simonović**, Z.Lj. Petrović, S. Dujko, “*Third-order transport properties of electrons and positrons in electric and magnetic fields*”, Gaseous Electronics Meeting GEM2016 Geelong, Australia, February 14-17, 2016 od 14. 02. 2016 do 17. 02. 2016 Deakin University, Geelong, Victoria, Australia

[27] Zoran Petrović, Jasmina Mirić, **Ilija Simonović**, Danko Bošnjaković, Saša Dujko, *Monte Carlo simulations of electron transport in strongly attaching gases*, Bulletin of the American Physical Society, 69th Annual Gaseous Electronics Conference (GEC2016), Bochum, Germany, p. 71

[28] Zoran Petrović, Jasmina Mirić, **Ilija Simonović**, Saša Dujko, “*Electron transport in mercury vapor: magnetic field effects, dimer induced NDC and multi-term analysis*”, Bulletin of the American Physical Society, 69th Annual Gaseous Electronics Conference (GEC2016), Bochum, Germany, p. 71

[29] Saša Dujko, **Ilija Simonović**, G. Boyle, R. White, Danko Bošnjaković, Zoran Petrović, “*Transport properties of electrons and transition of an electron avalanche into a streamer in atomic liquids*”, Bulletin of the American Physical Society, 69th Annual Gaseous Electronics Conference (GEC2016), Bochum, Germany, p. 71

[30] Saša Dujko, **Ilija Simonović**, R. White, Zoran Petrović, “*Third order transport coefficients for electrons and positrons in gases*”, Bulletin of the American Physical Society, 69th Annual Gaseous Electronics Conference (GEC2016), Bochum, Germany, p. 71

[31] P. Stokes, **I. Simonović**, B. Philippa, D. Cocks, S. Dujko and R.D. White, “*Combined localised and delocalised transport phenomena*”, XIX International Workshop on Low-Energy Positron and Positronium Physics and XX International Symposium on Electron-Molecule Collisions and Swarms, POSMOL2017, 22-24, July 2017, Amaro on Mondalay Resort, Magnetic Island, Queensland, Australia, Book of Abstracts, p.96

[32] J. Mirić, **I. Simonović**, D. Bošnjaković, Z.Lj. Petrović, R.D. White, and S. Dujko, “*Hydrodynamic and non-hydrodynamic studies of electron transport in mercury vapor*”, XIX International Workshop on Low-Energy Positron and Positronium Physics and XX International Symposium on Electron-Molecule Collisions and Swarms, POSMOL2017, 22-24 July 2017, Amaroo on Mondalay Resort, Magnetic Island, Queensland, Australia, Book of Abstracts, p.80

[33] **I. Simonović**, Z.Lj. Petrović, R.D. White, D. Bošnjaković and S. Dujko, “*Transport properties of electrons and development of streamers in atomic liquids*”, XIX International Workshop on Low-Energy Positron and Positronium Physics and XX International Symposium on Electron-Molecule Collisions and Swarms, POSMOL2017, 22-24 July 2017, Amaroo on Mondalay Resort, Magnetic Island, Queensland, Australia, Book of Abstracts, p.79

[34] **I. Simonović**, D. Bošnjaković, Z.Lj. Petrović, R.D. White and S. Dujko, “*Skewness tensor for electrons and positrons in gases*”, XIX International Workshop on Low-Energy Positron and Positronium Physics and XX International Symposium on Electron-Molecule Collisions and Swarms, POSMOL2017, 22-24 July 2017, Amaroo on Mondalay Resort, Magnetic Island, Queensland, Australia, Book of Abstracts, p.78

[35] S. Dujko, **I. Simonović**, R.D. White and Z.Lj. Petrović, “*Positron Transport in H₂ in Electric and Magnetic Fields Crossed at Arbitrary Angles*”, Book of Abstracts, POSMOL 2019, Belgrade, Serbia, 18-21 July 2019, (Edited by D. Cassidy, M.J. Brunger, Z.Lj. Petrović, S. Dujko, B.P. Marinković, D. Marić and S. Tošić), p. 80

Издавач: Serbian Academy of Sciences and Arts and Institute of Physics Belgrade, Serbia

ISBN: 978-86-7025-819-8

[36] S. Dujko, D. Bošnjaković, **I. Simonović** and C. Köhn, “*Electron Transport and Streamers in the Atmosphere of Titan*”, Book of Abstracts, POSMOL 2019, Belgrade, Serbia, 18-21 July 2019, (Edited by D. Cassidy, M.J. Brunger, Z.Lj. Petrović, S. Dujko, B.P. Marinković, D. Marić and S. Tošić), p. 143

Издавач: Serbian Academy of Sciences and Arts and Institute of Physics Belgrade, Serbia

ISBN: 978-86-7025-819-8

4. Провера оригиналности докторске дисертације

Провера оригиналности ове докторске дисертације извршена је од стране Универзитетске библиотеке Светозар Марковић у Београду применом програма iThenticate. Утврђено је да ова докторска дисертација садржи 4% поклапања са текстовима који су доступни библиотеци (базе свих научних часописа SCI листе, као и базе докторских дисертација и мастер теза у Србији и иностранству). Највећи део поклапања се односи на општа места, математичке изразе из радова кандидата, навођења личних имена, назива институција, библиографских података о коришћеној литератури као и на ознаке за елементарне сударне процесе у скуповима пресека који су коришћени као улазни подаци у оквиру ове докторске дисертације. Овоје у складу са чланом 9. Правилника о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду. У потпуности је јасно да не постоје никаква преклапања са основним резултатима израженим како кроз транспортне једначине тако и кроз прорачунате вредности и са дискусијом физичких процеса који су приказани у овој дисертацији. Оригиналноост ове дисертације се огледа и у следећим чињеницама:

1. Да је у дисертацији представљен нови ниво комплексности транспортне теорије који раније није био постигнут на нивоу решавања Болцманове једначине и Монте Карло симулација.

2. Да су резултати били предмет једног предавања по позиву које је на специјализованој конференцији за физику ројева електрона и позитрона презентирао кандидат, али и да су сарадници на пројекту више резултата ове дисертације користили у својим предавањима.

На основу свега изнетог сматрамо да је докторска дисертација кандидата Илије Симоновића у потпуности оригинална, што је и његов ментор др Саша Дујко потврдио, те се прописани поступак припреме за одбрану ове докторске дисертације може наставити.

Закључак

На основу изложеног, Комисија закључује да резултати кандидата Илије Симоновића представљају оригиналан допринос кинетичкој теорији ројева наелектрисаних честица и неравнотежних плазми. Резултати кандидата из ове докторске дисертације су публиковани у врхунским међународним часописима и приказани на многим међународним конференцијама. Сходно томе, Комисија позитивно оцењује докторску дисертацију кандидата Илије Симоновића под насловом

"Кинетички и флуидни модели неравнотежног транспорта електрона у гасовима и течностима"

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

У Београду 28.06.2020.године.

Академик др Зоран Љ. Петровић,
Српска академија наука и уметности

Др Срђан Буквић, редовни професор
Физичког факултета Универзитета у Београду

Др Ђорђе Спасојевић, редовни професор
Физичког факултета Универзитета у Београду