



## 6. Програм научноистраживачког рада Центра

### Истраживачи Центра за неравнотежне процесе су:

1. Др Невена Пуач
2. Др Гордана Маловић
3. Др Вељко Дмитрашиновић
4. Др Саша Дујко
5. Др Драгана Марић
6. Др Зоран Распоповић
7. Др Никола Шкоро
8. Др Данко Бошњаковић
9. Др Дејан Малетић
10. Др Марија Пуач
11. Др Јелена Марјановић
12. Др Ненад Селаковић
13. Др Илија Симоновић

**Област научноистраживачког рада свих истраживача Центра за неравнотежне процесе:**  
природно-математичке науке, физика

### Истраживачи ангажовани у израдама докторских теза – менторски рад

1. Др Невена Пуач је ментор у изради докторске дисертације Косте Спасића
2. Др Невена Пуач је ментор у изради докторске дисертације Неде Бабуџић
3. Др Невена Пуач је коментор у изради докторске дисертације Амита Кумара која се реализује на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду и Универзитета у Ђирони, Шпанија, у оквиру рада на међународном пројекту H2020 MSCA ITN Nowelties.
4. Др Никола Шкоро је ментор у изради докторске дисертације Оливере Јовановић
5. Др Никола Шкоро је ментор у изради докторске дисертације Анђелије Петровић.
6. Др Никола Шкоро је коментор у изради докторске дисертације Барбаре Калебић која се реализује на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду у оквиру рада на међународном пројекту H2020 MSCA ITN Nowelties.
7. Др Никола Шкоро је био коментор у докторској дисертацији Милана Вукића под називом „Утицај хладне атмосферске плазме на технолошки квалитет и безбедност пшеничног брашна“ која је одбрањена у децембру 2020. године на Технолошком факултету Универзитета у Новом Саду.
8. Др Илија Симоновић је одбранио своју докторску дисертацију под називом “Кинетички и флуидни модели неравнотежног транспорта електрона у гасовима и течностима”, 30. Септембра 2020. године на Физичком факултету, Универзитета у Београду, ментор др. Саша Дујко.
9. Одбрана докторске дисертације Јасмине Атић се очекује током 2022. године, ментор је др Саша Дујко.

10. Др Драгана Марић је била ментор у изради докторске дисертације Јелене Марјановић, под називом „Пробој и особине неравнотежних DC пражњења на ниском притиску у парама течности“, која је одбрањена 27. новембра 2020. На Физичком факултету, Универзитет у Београду.
11. Ненад Селаковић је одбранио своју докторску дисертацију „Масена спектрометрија плазменог млаза и примене електричних пражњења на атмосферском притиску у биомедицини“ 19. фебруар 2021. године (ментор др Невена Пуач)
12. Марија Пуач је одбранила своју докторску дисертацију Моделовање пробоја у гасовима Монте Карло техником- Електротехнички факултет, Универзитет у Београду, 2019, ментор др Зоран Љ. Петровић.

#### Истраживачи ангажовани у израдама **мастер теза** – менторски рад

1. Др Невена Пуач је ментор Јелени Марковић за мастер тезу на Физичком факултету Универзитета у Београду.
2. Др Никола Шкоро је ментор Гордани Поповић за мастер тезу на Физичком факултету Универзитета у Београду.
3. Др Никола Шкоро је био ментор Јовани Петковић која је одбранила мастер рад под називом „Електрична карактеризација и емисиони спектри диелектричног баријерног пражњења са сегментираном електродом“ у септембру 2021. године на Физичком факултету Универзитета у Београду.
4. У јуну 2019. године Николаос Сегкос (енгл. Nikolaos Segkos) је одбранио своју Мастер тезу под насловом “Streamer discharges in the atmosphere of Primordial Earth”, на Техничком Универзитету у Данској. Др Саша Дујко је био коментор заједно са Кристофом Коном, Оливијеом Шанрионом и Мартином Андреасом Бодкер Енгхофом (енгл. Christoph Köhn, Olivier Chanrion и Martin Andreas Bødker Enghoff).
5. Andrea Callegari – 2019 Мастер рад „Production and characterization of water activated through atmospheric cold plasmas for agricultural applications” – коментори др Невена Пуач и др Никола Шкоро

#### Учествовање у комисијама за одбрану теза

1. Др Никола Шкоро је учествовао у комисији за одбрану докторске дисертације др Милана Вукића.
2. Драгана Марић је била члан комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације Жељка Младеновића, под називом Примена глобалних модела у анализи физичких и хемијских процеса у нискотемпературним плазмама на атмосферском притиску, која је одбрањена 28. априла 2021. године на Природно-математичком факултету, Универзитет у Нишу.
3. Др Марија Пуач је учествовала у комисији за одбрану теме за докторску дисертацију Александра Бојарова
4. Др Гордана Маловић је била члан комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације Ненада Селаковића
5. Др Гордана Маловић је била члан комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације Косте Спасића

**Број истраживача који је на последипломским студијама за које су ангажовани сарадници центра**

**Докторске студије ФИЗИКЕ – Физички факултет, Универзитет у Београду**  
4 сарадника Центра је ангажовано у посдипломској настави – на 6 предмета.

Ужа научна област: **ПРИМЕЊЕНА ФИЗИКА:**

ФИЗДФПФ10 Примена плазме у биологији и медицини: Невена Пуач

Ужа научна област: **ФИЗИКА ЈОНИЗОВАНОГ ГАСА И ПЛАЗМЕ**

ФИЗДФЛП1 Извори јонизованог гаса: Драгана Марић

ФИЗДФЛП4 Физика електричних гасних пражњења: Драгана Марић

ФИЗДФЛП6 Одабрана поглавља физике јонизованих гасова: Гордана Маловић

ФИЗДФЛП5 Сударни и транспортни процеси у јонизованим гасовима: Саша Дујко

ФИЗДФЛП3 Дијагностика плазме: Невена Пуач

**Докторске студије ФОРЕНЗИКА- Криминалистичко-полицијски универзитет**  
1 сарадница Центра је ангажована у посдипломској настави – на 1 предмету.

Ужа научна област: **ФОРЕНЗИЧКО ИНЖЕЊЕРСТВО**

ИФ2 Напредне форензичке технологије: Невена Пуач

## **Програм научноистраживачког рада центра**

Центар за неравнотежне процесе се састоји из јасно дефинисане целине у оквиру које функционише више мањих лабораторија и то:

- Лабораторија за физику ројева и моделовање транспорта честица
- Лабораторија за изучавање пробоја у гасу и гасних пражњења
- Лабораторија за дијагностику и примене неравнотежне плазме
- Лабораторија за моделовање неравнотежне плазме
- Лабораторија за нелинеарну динамику

Програм научноистраживачког рада ЦНП за период од 2022. до 2026. године дат је по темама истраживања:

**-Сударни и транспортни процеси наелектрисаних честица у гасовима и софтверно кондензованој материји**

**Истраживачи:** Саша Дујко (руководилац), Зоран Распоповић, Данко Бошњакковић, Илија Симоновић и Јасмина Атић

У предстојећем периоду, активности на овој истраживачкој теми ће бити синхронизоване са активностима на пројекту о оквиру програма ИДЕЈЕ Фонда за Науку Републике Србије. Транспорт електрона ће бити проучаван у гасним смешама које чине гасни диелектрици последње генерације и други гасови који су од интереса у високо-напонској технологији, укључујући азот, угљен-диоксид, сумпор-хексафлуорид и племенити гасови, са посебним акцентом на трагању за ефектима позитивне синергије. У хидродинамичким условима, транспорт електрона и кинетички феномени индуковани експлицитним ефектима захвата електрона и јонизације биће проучавани у променљивим конфигурацијама временски статичких и временски променљивих електричних и магнетских поља, а посебна пажња ће бити посвећена проучавању ефеката магнетног поља на потенцијалну контролу диелектричних особина гасова. У нехидродинамичким условима, транспорт електрона ће бити проучаван у близини емитерујуће електроде, а ефекти заробљавања електрона, појаве резонанци и других просторно-нелокалних

феномена биће анализирани у просторно модулисаним електричним и магнетским пољима. Када је у питању моделовање експеримената са ројевима наелектрисаних честица, биће развијени Монте Карло модели импулсног Тоунзендовог експеримента и експеримента са сканирајућом дрифтном цеви. У домену истраживања транспорта позитрона у софт-кондензованој материји, транспортна теорија базирана на једначинама баланса концентрације честица, импулса и енергије ће бити генерализована разматрањем процеса кохерентног расејања и структурних фактора у присуству јонизације и формирања позитронијума. Транспорт електрона у присуству електричног и магнетског поља биће проучаван у течном аргону, криптону и ксенону, имајући у виду значај ових резултата за развој детектора слабо-интерагујућих масивних честица тамне материје са материјалном средином у системима за детекцију. Транспортни коефицијенти вишег реда биће проучавани за електроне, позитроне и јоне, а просторно-разложене карактеристике ројева ће бити употребљене за разумевање ефеката који се не могу објаснити разматрањем дрифта и дифузије. Биће развијен унифициран Монте Карло код, једнако применљив за лаке наелектрисане честице, као што су електрони и позитрони, али и јоне чије су масе много веће.

### **-Моделовање стримерских пражњења у гасовима и течностима**

**Истраживачи:** Илија Симоновић (руководилац), Саша Дујко, Зоран Распоповић, Данко Бошњаковић и Јасмина Атић

У предстојећем периоду, истраживања и развој на овој теми ће бити синхронизоване са активностима на пројекту о оквиру програма ИДЕЈЕ Фонда за Науку Републике Србије. Ова тема садржи две главне методолошке целине. Прва целина је развој флуидних модела стримера, док је друга целина развој модела који су засновани на методу честица у ћелији (енг. particle in cell method). Развој методологије у обе целине биће урађен коришћењем јавно доступних (енг. open source) библиотека за нумеричке прорачуне са прилагодљивим профињавањем грида (енг. adaptive mesh refinement). Примери ових библиотека су Чомбо (енг. Chombo), Амрекс (енг. AMReX) и Самраи (енг. SAMRAI). Ове библиотеке обезбеђују структуре података које могу ефикасно репрезентовати скаларне и векторске физичке величине, као и дискретне честице, на неуниформном гриду, методе за профињавање и огрубљавање грида, као и методе за снимање ових структура података у фајлове који се могу користити за визуелизацију ових података у јавно доступним пакетима као што су Визит (енг. VisIt) и Паравју (енг. ParaView). У флуидним моделима стримера би се као улазни подаци користили транспортни коефицијенти за ројеве електрона у гасовима и софт кондензованој материји који су одређени применом Монте Карло (енг. Monte Carlo) симулација и нумеричких решења Болцманове једначине на основу методе више чланова (енг. multi term method). Као улазни подаци у моделу заснованом на методу честица у ћелији би се користили скупови пресека за расејање електрона на атомима и молекулима позадинске средине у гасовима и течностима. Основни задатак у обе методолошке целине је развој димензионог модела стримера у бесконачном простору, као и у простору између равних електрода. У том случају се за нумеричко решавање Пуасонове једначине (енг. Poisson equation) може користити геометријска мултигрид метода (енг. geometric multigrid method). Један правац за даље унапређивање методологије је развој тродимензионог модела стримера у бесконачном простору или у простору између равних електрода. Други правац за унапређивање методологије је развој модела стримера у простору у коме су присутне криволинијске електроде. Један пример ове конфигурације је конфигурација између шиљка и равни (енг. point to plane geometry), која се често користи у експериментима због могућности да се у околини шиљка генеришу снажна електрична поља без употребе високог напона. За развој модела стримера у присуству криволинијских електрода је потребно одредити нумеричко решење Пуасонове једначине применом алгебраске мултигрид методе (енг. algebraic multigrid method). Математичка машинерија и компјутерски кодови који буду развијени на овој линији истраживања, биће употребљени за симулацију стримера у гасним диелектрицима последње генерације, имајући у виду значај ових резултата у високо-напонској технологији.

## **Моделовање гасних детектора честица високих енергија**

**Истраживачи:** Данко Бошњакović (руководилац), Саша Дујко и Илија Симоновић

Током наредног периода биће развијени модели гасних детектора честица који ће омогућити оптимизацију радних параметара детектора попут састава гасне смеше, геометрије електрода и примењеног напона. Посебна пажња ће бити посвећена оптимизацији гасних смеша узимајући у обзир еколошке аспекте при експлоатацији детектора. Наиме, постоји потреба да се тренутно коришћени гасови са високим GWP индексом (енгл. *Global Warning Potential*) замене еколошки прихватљивим алтернативама. У том циљу, развијени модели ће бити употребљени за испитивање еколошки прихватљивих гасних смеша на бази хидрофлуороолефина, перфлуорокетона и перфлуоронитрила које дају оптималне перформансе детектора као што је временска резолуција, ефикасност детекције и спектар индукованог наелектрисања. Ради прорачуна ових карактеристика, биће развијен стохастички 2.5-димензионални PIC/MC (*Particle in Cell/Monte Carlo*) модел детектора са аксијално симетричном геометријом (нпр. детектор типа *Resistive Plate Chamber*). У модел ће бити имплементирана адаптивна *multigrid* техника која ће омогућити прорачуне на различитим просторно-временским скалама. Овим моделом ће такође бити испитиван утицај физичких процеса и стохастичких ефеката при транспорту наелектрисања у гасу на развој индукованог сигнала. Ради добијања перформанси детектора за случај већих прагова дискриминације сигнала, биће имплементиран и модел супер-честица. Модел ће бити примењен на детекторе који раде у лавинском и стримерском режиму као и на конфигурације оптимизоване за *timing* и *triggering*. Осим PIC/MC модела, биће развијен и аксијално симетрични флуидни модел који користи развој изворног члана по градијентима концентрације. За разлику од класичног флуидног модела првог реда, овим моделом ће бити могуће добити егзактније профиле концентрације наелектрисања као и брзине стримера у случају већих градијената електричног поља. Флуидни модел ће такође бити коришћен за проучавање утицаја судара друге врсте (нпр. детачмента електрона и рекомбинације електрона и јона) на развој стримера и индукцију сигнала.

## **-Развој скупова пресека за расејање честица на основу транспортних коефицијената**

**Истраживачи:** Зоран Распоповић (руководилац), Саша Дујко, Драгана Марић, Илија Симоновић и Јасмина Атић

Наставићемо наше активности у правцу развоја комплетних и конзистентних скупова пресека за расејање наелектрисаних честица у гасовима применом технике ројева. Сударни пресеци за расејање наелектрисаних честица су улазни подаци у кинетичким моделима неравнотежне плазме и у том смислу постоји велика потреба за овим подацима. Највећа пажња биће посвећена развоју пресека за расејање електрона и јона. Део активности на овој истраживачкој теми биће синхронизован за циљевима који су планирани у оквиру пројекта ИДЕЈЕ Фонда за науку Републике Србије. Примењујући технику ројева, биће одређени пресеци за расејање електрона у гасовима са ултра ниским факторима за глобално загревање који се користе као изолатори у системима за пренос електричне струје. У складу са потребама за примене у примењеној физици и технологији и у зависности од напретка који је постигнут у мерењу транспортних коефицијената, биће одређени пресеци и за друге гасове. Када су у питању јони, највећа пажња биће посвећена развоју пресека за расејање јона алкалних метала у племенитим гасовима на ниским вредностима редукованог електричног поља. Интеракција ових јона са атомима племенитог гаса је до сада углавном била описана искључиво еластичним сударима у моделу константне колизионе учестаности. Утицај захваћених јона од стране атома позадинског гаса и настанак јонског комплекса, на интеракцију до сада није адекватно разматран. На сличан начин, биће разматрени ефекти индуковане диполне силе на природу транспортних коефицијената јона, што је од кључног значаја за развој сударних пресека ових јона у гасовима. Коначно, у сарадњи са колегама из Аустралије, биће формиран комплетан скуп пресека за расејање позитрона у атомском и молекуларном водонику. Ови пресеци ће бити екстраполирани на високе енергије, а потом употребљени као улазни подаци у Монте Карло симулацијама термализације галактичких позитрона. На сличан начин, биће проучаван феномен бежећих позитрона у контексту напора који се улажу за разумевање асиметрије барионске материје и антиматерије.

### **-Моделовање транзијентних плазми и високо-енергијских феномена у планетарним атмосферама**

**Истраживачи:** Саша Дујко (руководилац), Зоран Распоповић, Данко Бошњаковић, Илија Симоновић, и Вељко Дмитрашиновић

На основу резултата који су постигнути у претходном периоду и сарадње која је остварена са колегама са Националног института за истраживања свемира, Техничког Универзитета у Копенхагену, Данска, отворили смо нову линију истраживања. Транзијентне плазме, укључујући различите манифестације стримерских пражњења у планетарним атмосферама, биће проучаване примењујући напредно нумеричко моделовање. Пре моделовања плазме, биће неопходно проучавати термализацију и транспорт наелектрисаних честица у планетарним атмосферама, имајући у виду специфичности појединачних атмосфера. На пример, транспорт електрона у атмосферама гасних и ледених цинова биће моделован узимајући у обзир планетарно магнетно поље. Један од главних циљева овог истраживања је разумевање физике процеса који доводе до емисије релативистичких електрона и бљескова гама зрачења након електричних муња. Други важан аспект овог истраживања је утицај емисије релативистичких честица на производњу гасова стаклене баште као што су азотови оксиди у атмосфери наше планете и синтезу органских молекула у атмосфери Примордијалне Земље и другим планетарним атмосферама. На овој истраживачкој линији, др. Саша Дујко ће бити ко-ментор на докторским студијама двоје студената на заједничком пројекту који финансира Независан Истраживачки Фонд Данске (енгл. Independent Research Fund Denmark).

### **-Физика и статистика пробоја и слабострујних DC пражњења**

**Истраживачи:** Јелена Марјановић (руководилац), Драгана Марић, Гордана Маловић

За наредни период планирано је да се настави са проучавањем пробоја и формирања неравнотежних пражњења у парама течности које се користе у различитим применама.

Урадиће се детаљно испитивање и анализа настанка и рада пражњења у осцилацијама, као и одређивање пробоја у режиму релаксационих осцилација у слабострујној области пражњења (Таунзендово пражњење) на ниском притиску и очекује се публикавање рада на ову тему. Поред рада на проучавању пражњења у парама течности планирана су и мерења у гасовима који се користе за изолацију у високонапонској и средњенапонској технологији, што је део трогодишњег пројекта у оквиру програма Идеје, Фонда за науку Републике Србије. У оквиру ове теме је започет рад на провери и прилагођавању експеримента и мерења DC пробоја у гасним диелектрицима са ултра-ниским GWP (Global Warming Potential) који представљају потенцијалне алтернативе за SF<sub>6</sub>. Очекује се и проширење мерења у гасовима и смешама гасова присутних у атмосферама планета.

### **-Пробој и развој пражњења у високофреквентним пољима**

**Истраживачи:** Драгана Марић (руководилац), Јелена Марјановић, Ненад Селаковић

У сарадњи са академицима Антонијем Ђорђевићем и Зораном Петровићем, САНУ, планира се даљи развој експеримента за детекцију пробоја применом балансираног капацитивног моста. Посебно ће се обратити пажња на могућност калибрације сигнала са дијагонале моста, али и синхронизације напонских сигнала са снимањем структуре пражњења ICCD камером.

У фокусу ће бити мерење пробојног напона у RF пољу у гасним диелектрицима (као наставак и проширење мерења у DC пражњењима). Први корак ће бити провера стабилности и прилагођавање експеримента раду са гасним диелектрицима, а затим и мерења пробојних напона и просторних расподела емисије из пражњења.

Мерења ће бити настављена у гасовима од интереса за развој и подешавање Монте Карло модела РФ пробоја који се развија у нашем центру (синтетички ваздух, водоник, кисеоник), а затим и у гасовима од интереса за актуелне примене (водена пара, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, C<sub>4</sub>H<sub>10</sub> и други).

## **-Извори и карактеризација високофреквентних пражњења на ниским притисцима и на атмосферском притиску**

**Истраживачи:** Невена Пуач (руководилац), Никола Шкоро, Гордана Маловић, Дејан Малетић, Ненад Селаковић, Коста Спасић, Анђелија Петровић, Оливера Јовановић, Неда Бабуцић.

Радиофреквентна (РФ) пражњења на ниском притиску представљају моћан алат за третмане површина различитих материјала јер су јединствена по могућностима стварања жељене хемијски реактивне средине која интерагује са узорком. У Центру је се налазе раније развијени плазма реактори - два капацитивно спрегнута цилиндрична ситема димензија од  $0.5\text{ m}^3$  и  $2\text{ m}^3$  и један план паралелни плазма систем, који пружају могућност реализације великог спектра различитих плазми за различите третмане. У сегменту примене, у плану је наставак истраживања везан за третмане и активацију површине текстила са циљем добијања специфичних ефеката, као што су повећање адхезивности микрокапула. Нови правац истраживања подразумева третмане прашкастих адсорбента (као што је нпр. зеолит) и каталитичких површина у циљу промене површинских особина материјала како би се побољшала њихова својства везана за адсорпцију загађивача у води. Управо из разлога великог опсега оперативних параметара, за успешне резултате примене биће неопходно урадити детаљну дијагностику плазме за сваки од примењених радних услова. Дијагностичке методе који ће се користити за карактеризацију ових плазма система су: деривативне сонде – за електричне особине пражњења и снагу; Лангмирова сонда – за мерење просторних профила концентрација јона и електрона; спектрометар и ICCD камера – за одређивање емисије из плазме при различитим параметрима. Поред тога, детекција неутрала и јона у плазми на ниском притиску која ће бити извршена уз помоћ масено-енергијског анализатора од велике је важности за прецизно дефинисање плазма хемије. Пошто ће се третмани радити у плазмама у кисеонику, аргону, азоту, смешама ових гасова као и ваздухом, добијени сетови података биће од велике користи за моделовање ових пражњења. У наредном периоду ће се радити у сарадњи са колегама из Wigner Research Centre for Physics, Будимпешта, Мађарска који имају одговарајуће моделе за овај тип пражњења. Задатак Центра за неравнотежне процесе ће бити да обезбеди најновије резултате мерења плазма параметара и плазма хемије за поређење са њиховим моделима. Сем са колегама из Мађарске наставиће се сарадње са колегама из Словеније из Института Јожеф Штефан и Природно-технолошког факултета, Љубљана.

Биће настављен развој нових плазма уређаја који раде на атмосферском притиску и који могу да се користе за различите примене, пре свега у плазма медицини и биологији. Биће формиран нови плазма систем са микроталасним напајањем који до сада Центар за неравнотежне процесе није имао. Ту ће пре свега бити урађена детаљна електрична и оптичка карактеризација како би се описале особине ове плазме. Поред тога, биће комплетиран компактни РФ напајач који пружа могућност рада у малим просторима. У овом сегменту, дијагностика плазма система ће укључивати комерцијалне струјне и напонске сонде за одређивање струјно-напонских карактеристика, импедансе система и снаге предате плазми као и просторно-временске тоталне и спектрално разложене профиле емисије из пражњења на атмосферском притиску. Биће реализован и поуздани метод за брзо мерење снаге предате плазми, што представља кључни параметар код плазма третмана.

## **-Примене неравнотежних плазми у медицини, биологији и пољопривреди**

**Истраживачи:** Невена Пуач (руководилац), Никола Шкоро, Гордана Маловић, Анђелија Петровић, Оливера Јовановић, Неда Бабуцић, један студент.

У оквиру ове области ће се првенствено радити на следећим темама:

- примена неравнотежних плазми у третманима семена комерцијалних, лековитих и ендемских биљака, вештачким семенима и калусима биљака – истраживања ће се реализовати као сарадње са дугогодишњим партнерима Центра за неравнотежне процесе као што су Институт за биолошка истраживања „Синиша Станковић“, институт од националног значаја и Институт за прехранбене технологије, Нови Сад. У случају семена комерцијалних биљака поента ће бити на деконтаминацији од патогена, док ће код ендемских и лековитих биљака бити и циљ повећање клијавости. Користиће се директни третмани у којима су семена у директном контакту са плазмом и индиректни третмани у којима ће се користити

плазма активирана вода. Радиће се и са семенима биљака за производњу клијанаца који се користе у људској исхрани. Биће испитивана брзина клијања, принос и квалитет производа. Пошто је у питању производ за људску исхрану биће рађена тестирања као и за класичне прехранбене производе.

- примена неравнотежних плазми у третманима рана код пацова са дијабетесом – у оквиру сарадње са Институтом за биолошка истраживања „Синиша Станковић“ вршиће се испитивања утицаја плазма активиране воде на зарастање рана код пацова који болују од дијабетеса. Радиће се на идентификацији механизма одговорних за ефекат бржег зарастања рана као и на оптимизацији плазма хемије која доводи до овог ефекта.
- примена неравнотежних плазми у третманима канцерогених ћелија (2Д и 3Д модели) - у оквиру сарадње са Стоматолошким факултетом, Универзитет у Београду и Институтом за медицинска истраживања, радиће се испитивања утицаја плазма третмана на ћелије канцера. У питању су комерцијално доступне ћелијске линије. Третмани ће бити директни (плазма у директном контакту са ћелијама) и индиректни (ћелијски медијум је третиран плазмом и након тога постављен на ћелијску културу). Испитиваће се преживљавање, степен адхезивности, механизми апоптозе у оба случаја. Такође, за одређене ћелијске линије ће се радити на 3Д моделима. Ова сарадња је у оквиру докторске дисертације која ће бити пријављена на Стоматолошком факултету, Универзитет у Београду.
- примена неравнотежних плазми у третманима различитих сојева бактерија – у питању је сарадња са Стоматолошким и Медицинским факултетом, Универзитета у Београду. Циљ у наредном периоду је да се испита утицај неколико типова (фреквенције нападања од kHz до GHz) атмосферских плазми на резистентне сојеве бактерија као што су *Klebsiella pneumoniae*, *Enterococcus faecium* и др. Осим одређивања оптималних плазма параметара и оптимизације плазма система један од циљева ће бити испитивање изградње резистентности ових бактеријских сојева на плазма третмане. Оваква испитивања још увек нису рађена у свету а од великог су значаја пошто је плазма виђена као једана од обећавајућих технологија у деконтаминацији болничких инструмената као и у третманима рана пацијената са дијабетесом.
- примена неравнотежних плазми у третманима биокомпатибилних материјала – у сарадњи са Стоматолошким, Медицинским и Ветеринарским факултетом, као и Институтом за медицинска истраживања ће се испитивати утицај атмосферске плазме на биоматеријале који се користе у регенерацији коштаног ткива. У питању је комбинација плазма третираног биоматеријала и матичних ћелија у *in vivo* експериментима. Циљ је одређивање степена регенерације коштаног ткива и идентификација механизма одговорних за наведене процесе. Сем ових тема започињу се и друге теме примена плазми у биологији, медицини и пољопривреди пошто су ово тематике које се данас највише и најбрже развијају у нашој области.

#### **-Дизајн, дијагностика и примене извора плазме на атмосферском притиску за третмане течности**

**Истраживачи:** Никола Шкоро (руководилац), Невена Пуач, Гордана Маловић, Анђелија Петровић, Оливера Јовановић, Неда Бабуцић, један студент.

Претходних година постала су актуелна истраживања о процесима интеракције плазме са течностима. Показано је да хемијски реактивне врсте произведене у плазми у гасној фази изнад површине течног узорка продиру у течност и даље изазивају различите хемијске процесе. У досадашњим истраживањима испитан је ограничен број механизма интеракције плазме са течним узорком који су везани за конкретне примене, па се фокус истраживања у свету усмерава ка налажењу општих принципа и правила у овим интеракцијама. У том слислу, у оквиру Центра за неравнотежне процесе један од праваца истраживања ће бити како доминантни типови произведених реактивних хемијских врста зависе од типа атмосферског плазма извора који се користи, тј. како се подешавањем особина плазме могу циљано изазвати хемијски процеси у течностима који производе жељени ефекат третмана. Као и до сада, за истраживање ове теме неопходан мултидисциплинаран приступ истраживању и укључивање колега из различитих научних области. Други правац ће се односити на истраживање утицаја плазма третмана на узорке чисте воде, у циљу добијања плазмом активиране воде, која ће се даље користити у



третманима биолошких узорака. Такође, радиће се на истраживању утицаја плазма третмана на узорке воде загађене различитим врстама загађивача који се не могу уклонити конвенционалним техникама (пестициди, фармацеутици, органски раствори, микро-загађивачи) а са циљем разградње загађивача и пречишћавања воде. Тежиште истраживања биће и на томе да се проуче приступи који могу да допринесу подизању капацитета плазма извора за третман веће количине течног узорка. У том циљу биће испитиване опције истовременог коришћења више плазма извора (мулти плазма-млаз), третмана узорка у протоку и др. Коришћени плазма извори ће бити детаљно карактерисани (електрична карактеризација, оптичка емисиона спектрометрија, масена спектроскопија, моделовање електричног кола). Такође, поред досадашњих експеримената, где је плазмом третирана одређена запремина течности (енг. *bulk*), испитаће се нови приступи третирања капљица течности распршених у плазми. За карактеризацију третираних течних узорака биће урађена директна спектрофотометрија, квантитативне колориметријске методе како би се испитивале промене концентрација циљаних молекула у течности током третмана као и мерење течним хроматографом са масеним анализатором (LC-MS), како би се одредили продукти распада загађивача током третмана плазмом. Истраживања ће бити рађена у сарадњи са Институтом за биолошка истраживања „Синиша Станковић“, Факултетом за физичку хемију, Фармацеутским факултетом и Технолошко-металуршким факултетом Универзитета у Београду. Добијени подаци омогућиће одређивање доминантних механизма распада и оптимизацију процеса као следећи корак ка индустријском прототипу урађаја.

#### **-Моделовање пробоја у радиофреквенцијским пољима и модел еквивалентног електричног кола неравнотежних атмосферских плазми**

**Истраживачи:** Марија Пуач (руководилац), Анђелија Петровић, Оливера Јовановић

У оквиру ове области ће се радити на две одвојене теме:

- Наставак рада на моделу пробоја гасова у радиофреквенцијским (РФ) пољима. Код је развијен у Центру и прати кретање наелектрисаних честица у различитим пољима. Посматрањем функције расподеле енергије честица и просторних расподела концентрације и судара детаљно се може објаснити физичка позадина пробоја. До сада је тестиран на аргону и касније примењен на кисеоник. Наставиће се са истраживањем РФ пробоја у атмосферама планета и сателита који су од интереса, као на пример Земља, Марс и Титан. Такође, досадашње истраживање РФ пробоја на различитим фреквенцијама и растојањима између електрода ће се проширити.
- Почетак нове теме која се односи на моделовање еквивалентног електричног кола експеримената са неравнотежним плазмама развијених у Центру. Еквивалентно електрично коло састоји се из два сегмента: први чине електрични елементи спољашњег кола док је други део модел који верно описује електричне карактеристике плазме и третираног узорка. Развијени модел еквивалентног електричног кола ће моћи да се примени како би се одредили оптимални услови за различите врсте примена неравнотежних плазми као што су примене у медицини, биологији и пољопривреди.

#### **- Физика елементарних честица**

**Истраживачи:** Вељко Дмитрашиновић (руководилац)

У сарадњи са Ацушијем Хосаком на Осака Универзитету (Јапан) и са Хуа-Шинг Ченом из Југоисточног Универзитета у Нанђингу (Н.Р. Кина), Вељко Дмитрашиновић је радио на решавању проблема мешања хиралних репрезентација у барионима и мезонима, где је дошло до битног напретка. Мешање хиралних репрезентација смо применили и на хипероне, где смо посебно размотрили питање нарушења хиралне  $U_A(1)$  симетрије. Овај рад (објављен 2021.г.) је већ коришћен у феноменолошким применама. Намеравамо да проширимо ова истраживања и на скаларне мезоне, са посебним нагласком на тзв. глуболе, т.ј. честице које се састоје од два или три глуона.

У сарадњи са Джејмсом Личом (летњим студентом, посетиоцем 2017. из програма IAESTE), и Милованом Шуваковим урађена је анализа резултата израчунавања потенцијала три тешка кварка на 4-димензионалној Еуклидовој решеци методом Lattice QCD које су урадиле групе Кома и Кома (2017), те Такахаши и остали (2002). Овај рад је објављен 2021. Рад у овом смеру ћемо наставити све док не добијемо јасну слику о интеракцији три кварка у бариону.

#### **-Квантно-механички проблем три тела**

##### **Истраживачи: Вељко Дмитрашиновић (руководилац)**

У протеклих 8 година је В.Д. заједно са Игором Саломом радио на проблему три тела у квантној механици, а нарочито на питању конфајнмента три кварка. Конструисали смо тро-димензионалне пермутационо-симетризоване хиперсферне хармонике за тро-честични квантно-механички проблем и применили их на проблем три тешка кварка у бариону, као и у тзв. хиперсферној адијабатској репрезентацији. Применили смо ове методе на проблем три тешка (нерелативистичка) кварка у бариону (рад је објављен у PRD 2018.г.). Наставићемо ову сарадњу са др. Саломом на проширењу пермутационо-симетризованих хиперсферних хармоника на проблем три тела са две, па затим и са три различите масе. Потом ћемо применити такве хармонике на разне квантно-механичке проблеме три тела. Намеравамо да искористимо овај метод и у атомским и молекуларним системима три тела, а нарочито за проблем јона позитронијума, где је Кулонова сила доминантна, али је присутна и (контактна) хипер-фина интеракција.

#### **-Проблем три тела у Њутновој механици**

##### **Истраживачи: Вељко Дмитрашиновић (руководилац)**

Након иницијалног открића 2013. настављена су истраживања периодичних орбита три честице у Њутновој гравитацији која су уродила необично богатим плодом: 2015. је објављено откриће линеарне корелације између периода тро-честичне орбите (са истим масама, при фиксираној енергији и са нултим угаоним моментом) и њене топологије. Остало је отворено питање да ли ова правилност важи и за периоде орбита са ненултим угаоним моментом? У сарадњи са тадашњом мастер студенткињом Маријом Јанковић, пронађено је око 100 тополошких сателита из породице Бруке-Хацидеметриу-Енон орбита које имају ненулти угаони момент. Тако је откривено је да међу њима влада иста врста везе између периода и топологије као у горе-наведеном правилу за орбите са нултим угаоним моментом и објављен је у часопису Physical Review Letters (2016.г.). Том приликом смо користили и један мало познат резултат Мишела Енона из 1977. Тај резултат је Енон доказао за произвољан број честица које се крећу у равни, па самим тим и за три честице. Самим тим, исти резултат (мора да) важи и за две честице, што пре Енона, па и све до сада, уопште није било познато. Ми смо прво нумерички проверили ову тврдњу за две честице у потенцијалу са произвољном потенцијом раздаљине, а затим је и аналитички доказали. Овај рад је прихваћен за објављивање у American Journal of Physics.

Током 2017.г и 2018.г је Шангајска група објавила још 700 периодичних орбита са истим масама, те око 1300 нових орбита са две исте и једном различитом масом у Њутновој гравитацији, све са нултим угаоним моментом. Све нове орбите се слажу са раније предложеном линеарном релацијом између периода тро-честичних орбита, односно њихових акција/дејстава, са једне стране и њихових топологија, са друге стране. Током 2018.г. су неки аутори формулисали и разне хипотезе о зависности квази- тополошког Кеплеровог трећег закона, т.ј. наше линеарне релације, од маса честица, које су се већином показале као неисправне. У сарадњи са Богданом Раонићем, тада додипломцем

на Екол Политехник у Паласоу, смо детаљно анализирали ових 1300 орбита и утврдили да једна предложена генерализације Кеплеровог трећег закона, мада није егзактна, у одређеним случајевима и лимесима може бити добра апроксимација (објављено у *Messanica*, 56, 1011-1024 (2021).)

У међувремену смо у сарадњи са Вукашином Васиљевићем, мастер студентом са ПМФа у Крагујевцу, наставили ово истраживање у правцу тражења корелација између топологије, с једне стране, и стабилности, и маса, с друге. То истраживање је већ дало веома интересантне резултате, у смислу да су периодичне орбите са две лакше и једном тежом масом стабилније од обрнутог случаја. Ово откриће (би требало да) има важне астрономске последице, нарочито у тражењу егзосоларних планета које се крећу око бинарних звезда. Наравно, да се такве масивне трочестичне орбите не могу произвољно формирати у контролисаним условима (експериментима), већ се морају тражити помоћу телескопа, што опет зависи од многих неконтролисаних услова, што опет оставља отвореним питање њихове детекције. Зато је пожељно да се истражи питање да ли, и када сличне трочестичне орбите постоје у Кулоновом потенцијалу?

На прво питање смо позитивно одговорили још 2018.г., у сарадњи са тадашњом додипломанткињом Маријом Шиндик и са Ајуму Сугитом, професором на Градском Универзитету у Осаки. Извршили смо претрагу за периодичним решењима Кулоновог проблема три тела; тако смо нашли око 60 нових орбита, те смо израчунали и њихове коефицијенте стабилности, што указује да постоје (многа) нова стабилна решења три тела у Кулоновом потенцијалу. Испоставило се да и ту важе правилности типа тополошког Кеплеровог трећег закона. Преостаје само да се такве орбите формирају у контролисаним лабораторијским експериментима. Као први корак у том правцу, требало би прво да се у таквим условима формирају двочестичне (Кеплерове) орбите, што до данас није учињено. У сарадњи са Срђаном Марјановићем смо урадили прорачун изводљивости формирања и детекције двочестичне Кулонове орбите у Пауловој јонској замци, као припрема за исти проблем са три тела.

Наставићемо истраживања класичног трочестичног кретања у Њутновој гравитацији, и у Кулоновом потенцијалу.

## 7. Програм развоја научноистраживачког подмлатка центра

### Име и презиме последипломца: Анђелија Петровић,

Област научноистраживачког рада: природно-математичке науке, физика

Фаза израде дисертације: завршна фаза, одбрањена тема докторске дисертације пред Колегијумом докторских студија Физичког факултета.

Датум уписа последипломских студија: 29.10.2018.

Ментор последипломца: др Никола Шкоро

НИО запослења ментора: Институт за физику, Универзитет у Београду

### Списак радова Анђелије Петровић

#### Рад у врхунском међународном часопису (M21):

Sergej Tomić, Anđelija Petrović, Nevena Puač, Nikola Škoro, Marina Bekić, Zoran Lj. Petrović and Miodrag Čolić, Plasma-Activated Medium Potentiates the Immunogenicity of Tumor Cell Lysates for Dendritic Cell-Based Cancer Vaccines, *Cancers* **2021**, *13*(7), 1626; <https://doi.org/10.3390/cancers13071626>

#### Предавање по позиву са међународног скупа штампано у целини (M32)

Anđelija Petrović, Nikola Škoro and Nevena Puač, Treatment of RPMI 1640 cell medium by atmospheric pressure plasma jet, ISPlasma2021/IC-PLANT2021

Anđelija Petrović, Nikola Škoro and Nevena Puač, Treatment of DMEM and RPMI 1640 cell mediums by DBD type atmospheric pressure plasma jet, 23<sup>rd</sup> Symposium on Application of Plasma Processes, 2021

#### Саопштење са међународног скупа штампано у изводу (M34)

Zoran Lj. Petrović, Nevena Puač, Sergej Tomić, Anđelija Petrović, Nikola Škoro, Marina Bekić, Dragana Vučević and Miodrag Čolić Plasma-activated medium potentiates dendritic cell-mediated anti-tumor response *in vitro*, Twenty-second International Summer School VEIT, 20 – 24 September 2021, Sozopol, Bulgaria

Nevena Puač, Sergej Tomić, Anđelija Petrović, Nikola Škoro, Marina Bekić, Dragana Vučević, Zoran Lj. Petrović, and Miodrag Čolić, Immunogenic death of tumor cells induced by plasma activated medium potentiates dendritic cell-mediated anti-tumor response *in vitro*, 12th EU-Japan Joint Symposium on Plasma Processing (JSPP-12), 2021

Nikola Škoro, Nevena Puač, Olivera Jovanović, Anđelija Petrović, Zoran Lj. Petrović, Creation and destruction of chemical species in liquids treated by atmospheric pressure plasmas - from gas phase chemistry to bulk liquid, The 1st annual meeting of the COST Action CA18212 "Molecular Dynamics in the GAS phase" (MD-GAS 2020) (February 18. – 21., Caen, France) (2020))

Pavlović O., Škoro N., Lazarević M., Petrović A., Mojsilović S., Puač N., Miletić M, Insight into the anti-tumor mechanism of non-thermal atmospheric pressure plasma in oral squamous cell carcinoma, 7<sup>th</sup> International Workshop on Plasma for Cancer Treatment (IWPCT-2021)

Nikola Skoro, Nevena Puač, Amit Kumar, Olivera Jovanovic, Anđelija Petrovic, Uros Cvelbar, Zoran Lj. Petrovic, Atmospheric pressure plasma treatment and decontamination of water samples, 240th ECS Meeting (October 10-14, 2021)

Anđeliја Petrović, Nevena Puač, Nikola Škoro, Gordana. Malović and Zoran Lj. Petrović, Electrical characterisation of atmospheric plasma jet during treatments of RPMI 1640 cell medium, XXXIV International Conference on Phenomena in Ionized Gases (XXXIV ICPIG), 2019

#### **Предавање по позиву са скупа националног значаја штампано у изводу (M62)**

Сергеј Томић, Анђелија Петровић, Невена Пуач, Никола Шкоро, Марина Бекић, Зоран Петровић, Драгана Вучевић, Миодраг Чолић, Атмосферска плазма потенцира имуногеност туморских лизата у туморским вакцинама на бази дендритских ћелија, СРПСКА АКАДЕМИЈА НАУКА И УМЕТНОСТИ, Светски дан имунологије 2021, Одбор за имунологију и алергологију САНУ, Друштво имунолога Србије

#### **Планови за наредне 4 године – Анђелија Петровић**

Докторандкиња је у завршној фази израде доктората. У оквиру досадашњег рада детаљно су измерене електричне и оптичке особине два типа диелектричног плазма млаза који ради на атмосферском притиску у контакту са течним узорком. Карактеризација плазма млаза је урађена у зависности од типа течног узорка а рађена је и дијагностика особина третираних узорака. Такође су започети третмани ћелијског медијума у циљу третмана ћелија које се користе у изради анти-туморских вакцина као и третмани воде у циљу испитивања деловања на ткива код дијабетичних мишева. У плану је наставак ових активности на применама плазма млаза, а паралелно са тиме ће се радити временски разложена мерења емисије из плазме и масена спектрометрија у режимима рада који се користе за третмане. На тај начин употпуниће се слика интеракције плазме и третираних узорака.

#### **Име и презиме последипломца: Оливера Јовановић**

Област научноистраживачког рада: природно-математичке науке, физика

Фаза израде дисертације: завршна фаза, одбрањена тема докторске дисертације пред Колегијумом докторских студија Физичког факултета.

Датум уписа последипломских студија: 29.10.2018.

Ментор последипломца: др Никола Шкоро

НИО запослења ментора: Институт за физику, Универзитет у Београду

#### **Списак радова Оливере Јовановић**

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

1. Olivera Jovanović, Nevena Puač, Radmila Sandić and Nikola Škoro, Influence of plasma properties on reactive species in PAW, The 23rd Symposium on Application of Plasma Processes (XXIII SAPP), February 4. - 5. 2021., Bratislava, Slovakia, pp. 71-73

##### **Саопштење са међународног скупа штампано у целини (M33)**

1. N. Puač, N. Škoro, S. Živković, M. Milutinović, S. Jevremović, O. Jovanović, G. Malović and Z.Lj. Petrović, Plasmas for plant bio-engineering and in agriculture for resource recovery The 24th International Symposium on Plasma Chemistry (ISPC24), June 9. - 14. 2019., Naples, Italy, I-13

2. Nikola Skoro, Nevena Puač, Olivera Jovanovic, Gordana Malovic, Zoran Lj. Petrovic, Treatment of pesticide polluted water by atmospheric pressure plasma sources, The 11th International Symposium on Non-Thermal/Thermal Plasma Pollution Control Technology & Sustainable Energy (ISNTP 11), 1. - 5. July 2018., Montegrotto Terme, Italy, O-22

3. Olivera Jovanović, Nikola Škoro, Nevena Puač, Zoran Lj. Petrović, Plasma Decontamination of Water Polluted by Pesticides for Application in Agriculture, The 29th Summer School and International Symposium on the Physics of Ionized Gases (SPIG 2018), 28. Aug - 01. Sep 2018., Belgrade, Serbia, pp. 242 - 245

##### **Саопштење са међународног скупа штампано у изводу (M34)**

1. Nikola Skoro, Nevena Puac, Amit Kumar, Olivera Jovanovic, Andjelija Petrovic, Uros Cvelbar, Zoran Lj. Petrovic, Atmospheric pressure plasma treatment and decontamination of water samples, 240th ECS Meeting, October 10-14, 2021., D05-1
2. Olivera Jovanović, Nevena Puač and Nikola Škoro, The effects of plasma discharge regime on production of reactive species in water, ISPlasma2021/IC-PLANT2021, March 7-11 2021, virtual symposium, 08P-34.
3. Nikola Škoro, Nevena Puač, Olivera Jovanović, Anđelija Petrović, Zoran Lj. Petrović, Creation and destruction of chemical species in liquids treated by atmospheric pressure plasmas - from gas phase chemistry to bulk liquid, The 1st annual meeting of the COST Action CA18212 "Molecular Dynamics in the GAS phase" (MD-GAS 2020), February 18. – 21. 2020., Caen, France
4. N. Škoro, N. Puač, O. Jovanović, G. Malović, Z. Lj. Petrović, Plasma treatment of liquids and applications in agriculture, XXXIV International Conference on Phenomena in Ionized Gases (XXXIV ICPIG) , July 14. – 19. 2019., Sapporo, Japan, TL-22, pp. 19 – 19
5. Nikola Škoro, Nevena Puač, Olivera Jovanović and Zoran Lj. Petrović, Influence of the atmospheric pressure plasma source configurations on the properties of treated liquid samples, The 46th European Physical Society Conference on Plasma Physics (EPS 2019), July 8. – 12. 2019., Milan, Italy, I1.304
6. Ivana V. Matić Bujagić, Svetlana D. Grujić, Olivera J. Jovanović, Nikola D. Škoro, Identification of malathion degradation products produced by atmospheric pressure plasma, The 56th Meeting of The Serbian Chemical Society (56.SHD), June 7. – 8. 2019., Niš, Serbia, HZS P 1
7. Zoran Petrovic, Nikola Skoro, Suzana Zivkovic, Milica Milutinovic, Olivera Jovanovic, Nenad Selakovic, Nevena Puac, Tracing Plasma Produced Atomic and Molecular species from Plasma into the Liquid and Living tissue for various applications, The 50th Annual Meeting of the APS Division of Atomic, Molecular and Optical Physics (DAMOP2019), 27. – 31. May 2019., Milwaukee, Wisconsin, S01.027
8. Olivera Jovanović, Nikola Škoro, Nevena Puač, Zoran Lj. Petrović, Production of reactive species in pure and polluted water treated by atmospheric pressure plasma, The 8th Central European Symposium on Plasma Chemistry (CESPC-8), May 26. - 30. 2019., Gozd Martuljek, Slovenia, pp. 70
9. N. Škoro, N. Puač, O. Jovanović, G. Malović, Z. Lj. Petrović, Atmospheric pressure plasma decontamination of water polluted by organophosphates used in agriculture, 7th International Conference On Plasma Medicine (ICPM 7), June 17.-22. 2018., Philadelphia, Pa, USA

#### **Планови за наредне 4 године – Оливера Јовановић**

Докторандкиња је у завршној фази израде доктората. У оквиру досадашњег рада детаљно су измерене електричне и оптичке особине плазма млаза са зашиљеном електродом који ради на атмосферском притиску у контакту са водом. У зависности од тога да ли је узорак била чиста или загађена вода урађени су различита испитивања третираних узорака при чему су одређени механизми интеракције плазме са сваким типом узорка. Плазмом третирана вода коришћена је даље у експериментима са биљним ћелијама како би се испитао утицај на раст и развој биљака, а такође је испитивана токсичност тако добијене воде у експериментима са пацовима. У плану је наставак активности на применама плазма млаза у биотехнологији, а паралелно са тиме ће се радити временски разложена мерења емисије из плазме и масена спектрометрија у режимима рада који се користе за третмане чиме ће се добити комплетна информација о интеракцији плазме са воденим узорцима.

**Име и презиме последипломца: Неда Бабуцић,**

Област научноистраживачког рада: природно-математичке науке, физика

Фаза израде дисертације: почетна фаза, уписана 1. година студија на Физичком факултету Универзитета у Београду.

Датум уписа последипломских студија: 20.10.2021.

Ментор последипломца: др Невена Пуач

НИО запослења ментора: Институт за физику, Универзитет у Београду

**Планови за наредне 4 године – Неда Бабуцић**

Докторандкиња је у почетној фази докторских студија. У току прве и друге године студија очекује се да успешно положи све испите предвиђене програмом. У паралели радиће на упознавању са основним експерименталним техникама електричне и оптичке карактеризације плазме. Након тога у плану је дизајн и постављање експеримента у коме ће плазма извор који ради на атмосферском притиску бити у контакту са течномшћу која се налази у форми капљица.

**Име и презиме последипломца: Јасмина Атић (девојачко презиме Мирић)**

Област научноистраживачког рада: природно-математичке науке, физика

Фаза израде дисертације: завршна фаза, одбрањена тема докторске дисертације пред Колегијумом докторских студија Физичког факултета, следи одбрана дисертације.

Датум уписа последипломских студија: 15.11.2012.

Ментор последипломца: др Саша Дујко

НИО запослења ментора: Институт за физику, Универзитет у Београду

**Списак радова Јасмине Атић****Рад у међународном часопису изузетних вредности (M21a)**

1. **Jasmina Mirić**, Danko Bošnjaković, Ilija Simonović, Zoran Lj. Petrović, Saša Dujko, “*Electron swarm properties under the influence of a very strong attachment in SF<sub>6</sub> and CF<sub>3</sub>I obtained by Monte Carlo rescaling procedures*”, Plasma Sources Sci. Technol. 25 (2016) 065010, ISSN: 0963-0252, IF2014=3.591, DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/0963-0252/25/6/065010>

**Рад у врхунском међународном часопису (M21)**

1. S. Dujko, **J. Atić**, D. Bošnjaković, R.D. White, P. Stokes, K.R. Hamilton, O. Zatsarinny, K. Bartschat, M.S. Rabasović, D. Šević, B.P. Marinković, D.V. Fursa, I. Bray, R.P. McEachran, F. Blanco, G. García, D.B. Jones, L. Campbell and M.J. Brunger,

“*Transport of electrons and propagation of the negative ionisation fronts in indium vapour*”, Plasma Sources Sci. Technol. 30 (2021) 115019, ISSN: 0963-0252, IF2021= 3.584, DOI: 10.1088/1361-6595/ac3343

2. I. K.R. Hamilton, O. Zatsarinny, K. Bartschat, M.S. Rabasović, D. Šević, B.P. Marinković, S. Dujko, **J. Atić**, D.V. Fursa, I. Bray, R.P. McEachran, F. Blanco, G. Garcia, P.W. Stokes, R.D. White, D.B. Jones, L. Campbell and M.J. Brunger,

“*Recommended Cross Sections for Electron-Indium Scattering*”, J. Phys. Chem. Ref. Data 50 (2021) 013101, ISSN: 0047-2689, IF=3.051, DOI: 10.1063/5.0035218

3. K.R. Hamilton, O. Zatsarinny, K. Bartschat, Maja S. Rabasović, Dragutin Šević, Bratislav P. Marinković, Saša Dujko, **Jasmina Atić**, D.V. Fursa, I. Bray, R.P. McEachran, F. Blanco, G. Garcia, P.W. Stokes, R.D. White, M.J. Brunger,

“*Electron-impact excitation of the (5s25p)2P<sub>1/2</sub>→(5s26s)2S<sub>1/2</sub> transition in indium: Theory and experiment*”, Physical Review A 102 (2020) 022801, ISSN: 2469-9926, IF: 3.140, DOI: 10.1103/PhysRevA.102.022801

### Рад у међународном часопису (M23)

1. **Jasmina Mirić**, Ilija Simonović, Zoran Lj. Petrović, Ronald D. White, and Saša 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, ISSN: 1434-6060, IF2016=1.288, DOI: <http://dx.doi.org/10.1140/epjd/e2017-80403-4>

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

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

### Предавање по позиву са међународног скупа штампано у изводу (M31)

1. Saša Dujko, Zoran Lj. Petrović, R. D. White, G. Boyle, Ana Banković, Ilija Simonović, D. Bošnjaković, **Jasmina Mirić**, A. H. Markosyan, Srđan 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 (ICPEAC2015), 22-28 July 2015, Toledo, Spain

2. Zoran Lj. Petrović, Saša Dujko, Dragana Marić, Danko Bošnjaković, Srđan Marjanović, **Jasmina Mirić**, Olivera Šašić, Snježana Dupljanin, Ilija Simonović, Ronald 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 (POSMOL2015), 17-20 July 2015, Lisboa, Portugal

### Саопштење са међународног скупа штампано у целини (M33)

1. Saša Dujko, **Jasmina Atić**, Danko Bošnjaković, Zoran Lj. Petrović, J. de Urquijo, “*Electron transport coefficients and negative streamer dynamics in CF<sub>3</sub>I-SF<sub>6</sub> mixtures*”, IEEE 20th International Conference on Dielectric Liquids (ICDL), 2019, ISBN: 978-1-7281-1719-5/, Roma, Italy, 23.06. - 27.06.2019

2. **Jasmina Atić**, Danko Bošnjaković, Zoran Lj. Petrović, J. de Urquijo, R.D. White, Saša Dujko, “*Electron transport in strongly attaching gases in radio-frequency electric and magnetic fields*”, Proceedings of the XXII and International Conference on Gas Discharges and Their Applications (GD2018), 2018, p. 547 – p. 550, Serbian Academy of Science and Arts & Institute of Physics, University of Belgrade, Novi Sad, Serbia, 02.09. - 07.09. 2018.

3. **Jasmina Atić**, Danko Bošnjaković, Zoran Lj. Petrović, Saša Dujko, “*Electron Transport and Streamer Propagation in CF<sub>3</sub>I-SF<sub>6</sub> Gas Mixtures*”, Book of Contributed papers & Abstracts of Invited Lectures, Topical Invited Lectures, Progress Reports and Workshop Lectures of the 29th Summer School and International Symposium on the Physics of Ionized Gases (SPIG2018), p.47 – p.50, Vinča Institute of Nuclear Sciences, University of Belgrade, 28.08. - 01.09. 2018, Belgrade, Serbia, ISBN: 978-86-7306-146-7

4. Zoran Lj. Petrović, Dragana Marić, Saša Dujko, Gordana Malović, **Jasmina Atić**, Ilija Simonović, Olivera Šašić, “*Overview of the procedure to obtain cross section data from the transport coefficients*”, XXIV Europhysics Sectional Conference on the Atomic and Molecular Physics of Ionized gases (ESCAMPIG), 2018, University of Glasgow, United Kingdom, 17 – 21 07. 2018



5. **Jasmina Mirić**, Danko Bošnjaković, Ilija Simonović, Zoran Lj. Petrović, Saša Dujko, “*Monte Carlo simulations of electron transport in CF<sub>3</sub>I and SF<sub>6</sub> gases*”, Proc. 28th Summer School and International Symposium on Physics of Ionized Gases (SPIG2016), ISBN: 978-86-84539-14-6, 28. August - 2. September 2016, Belgrade, Serbia.
6. **Jasmina Mirić**, Ilija Simonović, Danko Bošnjaković, Zoran Lj. Petrović, Saša 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 Physics of Ionized Gases (SPIG2016), ISBN: 978-86-84539-14-6, 28. August - 2. September 2016, Belgrade, Serbia
7. **Jasmina Mirić**, Olivera Šašić, Saša Dujko, Zoran Lj. Petrović, “*Scattering Cross Sections and Transport Coefficients for Electrons in CF<sub>3</sub>F*”, Proc. 27th Symposium on Physics of Ionized Gases, Contributed Papers and Abstracts of Invited Lectures, Topical Invited Lectures and Progress Reports (SPIG2014), ISBN: 978-86-7762-600-6, 26-29 August 2014, Belgrade, Serbia
8. **Jasmina Mirić**, Zoran Lj. Petrović, R. D. White, Saša Dujko, “*Electron Transport in Noble-Gas Metal-Vapor Mixtures*”, Proc. 27th Symposium on Physics of Ionized Gases, Contributed Papers and Abstracts of Invited Lectures, Topical Invited Lectures and Progress Reports (SPIG2014), ISBN: 978-86-7762-600-6, 26-29 August 2014, Belgrade, Serbia
9. **Jasmina Mirić**, Saša Dujko, Zoran Lj. Petrović, “*Scattering Cross Sections and Transport Data for Electrons in CF<sub>3</sub>F*”, 9th EU-Japan Joint Symposium on Plasma Processing and EU COST MP1101 Workshop on Atmospheric Plasma Processes and Sources (JSPP2014), 19-23 January 2014, Bohinjska Bistrica, Slovenia

#### Саопштење са међународног скупа штампано у изводу (M34)

1. Zoran Lj. Petrović, **Jasmina Atić**, Dragana Marić, Saša Dujko, Gordana Malović, Jaime de Urquijo, Martin Ise, Thomas Hammer, “Cross sections for scattering of electrons on Tetrafluoropropene HFO1234ze obtained from swarm data”, XX International Workshop on Low-Energy Positron and Positronium Physics and XXI International Symposium on Electron-Molecule Collisions and Swarms, POSMOL, 2019, Book of Abstracts, Serbian Academy of Science and Arts, Institute of Physics Belgrade, University of Belgrade ISBN: 978-86-7025-819-8, Belgrade, Serbia, од: 18.07. - 21.07. 2019, p. 145
2. Zoran Lj. Petrović, T. Makabe, Gordana Malović, **Jasmina Mirić**, Saša Dujko, “Transport of charged particle swarms as a basic for plasma models”, XX International Summer School VEIT, 2017, Book of Abstracts, Sozopol, Bulgaria, од: 25.09. - 29.09. 2017, p.47
3. **Jasmina Mirić**, Ilija Simonović, Danko Bošnjaković, Zoran Lj. Petrović, R.D. White, and Saša Dujko, “*Hydrodynamic and non-hydrodynamic studies of electron transport in mercury vapor*”, Book of Abstracts, 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
4. 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), 10-14 October 2016, Bochum, Germany
5. 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), 10-14 October 2016, Bochum, Germany

6. **Jasmina Mirić**, Danko Bošnjaković, Zoran Lj. Petrović, Saša Dujko, “*Transport coefficients and scattering cross sections for electrons in CF<sub>3</sub>I*“, XXIX International Conference on Photonic, Electronic and Atomic Collisions (ICPEAC2015), 22-28 July 2015, Toledo, Spain
7. Danko Bošnjaković, **Jasmina Mirić**, Zoran Lj. Petrović, Saša Dujko, “*Rescaling procedures for Monte Carlo simulations of electron transport in strong electronegative gases*“, XIX International Symposium on Electron-Molecule Collisions and Swarms (POSMOL2015), 17-20 July 2015, Lisboa, Portugal
8. **Jasmina Mirić**, Danko Bošnjaković, Olivera Šašić, J. de Urquijo, Saša Dujko, Zoran Lj. Petrović, “*Scattering cross sections and electron transport coefficients for electrons in CF<sub>3</sub>I*“, 42nd IEEE International Conference On Plasma Science (ICOPS2015), 24-28 May 2015, Belek, Antalya, Turkey
9. Saša Dujko, Gordana Malović, Dragana Marić, Srđan Marjanović, **Jasmina Mirić**, Zoran Lj. Petrović, Vladimir Stojanović, “*Cross sections and transport coefficients for H<sub>2</sub>O vapor and liquid water*“, Gas/Plasma-Liquid Interface: Transport, Chemistry and Fundamental Data from Lorentz center, 4-8 August 2014, Belgium
10. Z.Lj. Petrović, Saša Dujko, **Jasmina Mirić**, Danko Bošnjaković, Ana Banković, Srđan Marjanović, Dragana Marić, Jelena Sivoš, Nikola Škoro, Marija Savić, Olivera Šašić, Gordana Malović, “*Cross Sections for Scattering of Electrons and Positrons in Modeling of Ionized Gases and Non-Equilibrium Plasmas*“, International Symposium on Non-equilibrium Plasma and Complex-System Sciences (IS-NPCS), 26-28 February 2014, Osaka, Japan
11. Saša Dujko, Danko Bošnjaković, **Jasmina Mirić**, R. D. White, A. H. Markosyan, U. Ebert, “*Non-conservative electron transport in gases and its application in modelling of non-equilibrium plasmas and particle detectors*“, XVII International Workshop on Low-Energy Positron and Positronium Physics & XVIII International Symposium on Electron-Molecule Collisions and Swarms (POSMOL2013), 2013, Kanazawa, Japan, 19.07. - 21.07. 2013, p.24
12. **Jasmina Mirić**, Zoran Lj. Petrović, R. D. White, Saša Dujko, “*Transport coefficients for electrons in rare-gas metal-vapor mixtures*“, XVII International Workshop on Low-Energy Positron and Positronium Physics & XVIII International Symposium on Electron-Molecule Collisions and Swarms (POSMOL2013), 2013, Kanazawa, Japan, 19.07. - 21.07. 2013, p.46

#### **Планови за наредне 4 године - Јасмина Атић**

Докторант је завршио све задатке у оквиру програма докторских студија и налази се финалној фази писања дисертације. Јасмина Атић се у својој докторској дисертацији бави проучавањем сударних и транспортних особина електрона у јако електронегативним гасовима имајући у виду примене у домену изолације гасом у високонапонској технологији. Развијен је комплетан и само-усаглашен скуп пресека за расејање електрона у CF<sub>3</sub>I гасу и израчунати су транспортни коефицијенти електрона у овом гасу и његовим смешама са азотом и угљен-диоксидом. Развијени су скупови пресека за расејање електрона у гасовима из групе хидро-олефина, перфлуоро-кетона и перфлуоронитрила које одликују ултра ниски потенцијали за глобално загревање. Транспортни коефицијенти електрона су израчунати у смешама ових гасова са азотом, угљен-диоксидом и сумпор-хексафлуоридом. Да би се ово постигло постојећи Монте Карло код је проширен и генерализован имплементацијом процедура за рескалирање броја електрона. Транспортни коефицијенти су израчунати у временски статичким и временски променљивим електричним и магнетским пољима. Проучавани су кинетички феномени индуковани експлицитним ефектима захвата електрона, а њихово физикално тумачење је разматрано на основу просторно-временски разложених карактеристика ројева. Израчунати транспортни коефицијенти су коришћени као улазни подаци флуидних модела стримерских пражњења. Коришћени су класични флуидни модел и кориговани кориговани модел у 1Д и 1.5Д конфигурацији за проучавање транзиције

лавина електрона у стримере и њихову пропацију и динамику. Поред гасних диелектрика, Јасмина Атић се бавила анализом нехидродинамичких ефеката у транспорту електрона у живиним парама, који су индуковани присуством димера. У последњој фази свог рада на докторату, она се бавила транспортом електрона и пропацијом стримера у парама индијума, где је највећа пажња била посвећена утицају температуре гаса и дугоживећег метастабилног стања  $(5s^25p)^2P_{3/2}$  на кинетику електрона. У будућем раду након одбране докторске дисертације, Јасмина Атић ће наставити да се бави транспортом електрона и јона у новим генерацијама гасних диелектрика. На другом колосеку њеног истраживачког рада, наставиће да се бави транспортом електрона у металним парама и другим гасовима који су од интереса у примењеној физици и технологији. Она ће бити ангажована на развоју флуидних модела стримерских пражњења у реалним геометријама, што ће омогућити директну везу са експериментима. Биће разматрана пропација негативних и позитивних стримера са посебним акцентом на разумевању веза које постоје између микроскопских особина наелектрисаних честица и макроскопских особина стримерске плазме.

**Име и презиме последипломца: Илија Симоновић**

Област научноистраживачког рада: природно-математичке науке, физика

Др. Илија Симоновић је одбранио своју докторску дисертацију под називом “Кинетички и флуидни модели неравнотежног транспорта електрона у гасовима и течностима”, 30. Септембра 2020. године на Физичком факултету, Универзитета у Београду, под руководством др. Саше Дујка.

**Име и презиме последипломца: Коста Спасић, истраживач сарадник**

Област научноистраживачког рада: природно-математичке науке, дијагностика и примене плазме

Фаза израде тезе: Одбрана ове докторске дисертације се очекује током маја месеца 2022 године. Након тога ће се финализовати радови са преосталим резултатима добијеним током израде дисертације. Колега ће наставити рад на тематици уз отварање нових праваца истраживања.

Датум уписа последипломских студија: 28.01.2011. Физички факултет, Универзитета у Београду

Ментор последипломца: Др Невена Пуач

НИО запослења ментора: Институт за физику, Универзитет у Београду