

**Наставно-научном већу
Математичког факултета
Универзитета у Београду**

На седници ННВ Математичког факултета Универзитета у Београду од 15. 05. 2016. године одређени смо у комисију за преглед и оцену докторске дисертације „Спектроскопија квази-термалних шумава и ударних електронских сигнала у свемирској плазми“ кандидата Михаила Мартиновића. На основу увида у садржај дисертације подносимо ННВ следећи

ИЗВЕШТАЈ

Биографија

Михаило Мартиновић је рођен 22.11.1988. у Ивањици, где је завршио основну школу и гимназију. Физички факултет у Београду уписао је 2007. године. Основне студије, смер Примењена физика и информатика, завршио је 23.6.2011. а мастер студије на истом факултету, смер Теоријска и експериментална физика, завршио је 7.6.2012. Паралелно са мастер студијама студирао је основне студије на Математичком факултету у Београду, смер Астрономија и астрофизика, положивши испите из прве три године студија. Провео је годину дана, академске 2012/2013 године, на докторским студијама на Физичком факултету у Београду, смер Физика јонизованог гаса и плазме, где је положио све испите предвиђене планом докторских студија. Те студије је прекинуо да би започео докторске студије по принципу коменторства између Математичког факултета у Београду и Опсерваторије у Паризу-Медон на смеру Астрономија и астрофизика, академске 2013/2014 године. Положио је све испите са докторских студија са просечном оценом 9,625.

Библиографија

У научно истраживачком раду Михаило Мартиновић је оријентисан ка дијагностици плазме, посебно свемирске плазме. Објавио је 9 научних радова и саопштења чија структура је приказана у следећој табели.

Категорија рада	Број радова
Рад у научном часопису на SCI листи (M21)	2
Рад у научном часопису на SCI листи (M23)	1
Рад објављен у целини у зборнику радова са међународног научног скупа	1
Рад објављен само у изводу (апстракт), а не у целини, у зборнику радова са међународног научног скупа	5

Списак радова

Научни радови објављени у часописима који су на SCI листи

- N. Cvetanović, **M. M. Martinović**, B. M. Obradović, M. M. Kuraica, „Electric field measurement in gas discharges using stark shifts of He I lines and their forbidden counterparts“ (2015) Journal of Physics D : Applied Physics 48, p205201
- **M. M. Martinović**, A. Zaslavsky, M. Maksimović, N. Meyer-Vernet, S. Šegan, I. Zouganelis, C. Salem, M. Pulupa, S. D. Bale, „Quasi-thermal noise measurements on STEREO: Kinetic temperature deduction using electron shot noise model“ (2016) Journal of Geophysical Research: Space Physics 121, 129-139
- **M. M. Martinović**, "Orbit limited teory in the solar wind - kappa distributions" (2016) Serbian Astronomical Journal 192, 27-34

Научна саопштења на међународним скуповима штампана у целини у зборнику радова

- I.P. Dojčinović, K. Vuković, **M. M. Martinović**, J. Purić, „Plasma flow interaction with materials of interest for fusion devices“ (2011) Advances in Plasma Science 8, 63

Научна саопштења на међународним скуповима штампана у облику кратког извода

- **M. M. Martinović**, I.P. Dojčinović and J. Purić, „Perpendicular magnetic field influence on silicon surface modification by quasistationary plasma flow“ (2012) 26th SPIG, Зрењанин, Србија
- **M. M. Martinović**, A. Zaslavsky, M. Maksimović et K. Issautier „Quasi-thermal noise spectroscopy in Earth’s magnetosheath: Theory and application to plasma diagnostic on WIND spacecraft“ (2014) XVI National Conference of Astronomers of Serbia, Београд, Србија
- **M. M. Martinović**, A. Zaslavsky, M. Maksimović, N. Meyer-Vernet, G. Le Chat, K. Issautier, I. Zouganelis „Measurements of plasma quasi-thermal noise on STEREO spacecraft and plasma temperature deduction using antenna electron shot noise model“ (2014) AGU Fall meeting, Сан Франциско, САД
- „Probing the inner heliosphere and corona with electric antennas: quasi-thermal noise spectroscopy on Solar Orbiter and Solar Probe Plus“ M. Moncuquet, I. Zouganelis, N. Meyer-Vernet, K. Issautier, A. Zaslavsky, M. Maksimović, G. Le Chat, **M. M. Martinović** (2014) AGU Fall meeting, Сан Франциско, САД
- **M. M. Martinović**, A. Zaslavsky, M. Maksimović, S. Šegan, M. Svetlik „Quasi-thermal noise observed by CASSINI during the first flyby of Venus“ (2015) AGU Fall meeting, Сан Франциско, САД

Предмет и садржај докторске дисертације

Предмет докторске дисертације „Спектроскопија квази-термалних шумова и ударних електронских сигнала у свемирској плазми“, кандидата Михаила Мартиновића је унапређење теорије спектроскопије квази-термалних шумова која се односи на тзв. ударне сигнале, односно сигнале који долазе од електрона који, осим што стварају флукутирајуће мерљиво електрично поље у космичким условима остварују и физички контакт са антенном на свемирским модулима, стварајући додатну компоненту сигнала. Током обраде података на досадашњим свемирским мисијама допринос ове компоненте је био занемарљив јер су антене, које су коришћене, имале велику дужину и мали пречник у односу на карактеристичне дужине које описују свемирску плазму и плазму сунчевог ветра. У том контексту, како сателит STEREO, са којег су подаци обрађивани у овој дисертацији, има кратке антене релативно великог пречника, теорија ударних сигнала је морала бити унапређена како би интерпретација сателитских мерења била задовољавајућа. Обрадом података са ове мисије добијене су вредности електронске температуре, које нису добијене експериментално јер на овом сателиту електронски

анализатори који су направљени да мере у том домену ову величину нису радили и не раде исправно. Тако је установљен је метод за масовну обраду података, који је показао добро слагање и који је упоређен са сличним методама на другим мисијама. Метод је створио основу за прављење базе података температуре електрона и њиховог млаза.

Плазма у сунчевом ветру је веома ретка и судари могу бити потпуно занемарени, што није случај за лабораторијске плазме и плазме у јоносфери планета које немају изражено сопствено магнетно поље (као што су Венера и Марс).

У другом делу дисертације је развијена теорија која описује спектроскопију квази-термалних шума у слабо јонизованим плазмама у којима судари нису занемарљиви. Ова теорија је намењена прецизној дијагностици постојања квази-термалних шума у немагнетизованој свемирској плазми. Такође, у контролисаним лабораторијским условима, где су параметри плазме познати, овај метод се може користити и као полигон за даље унапређење самих метода мерења. То указује да се у будућим истраживањима могу вршити и испитивања одговора антена специфичног облика.

Остварени научни циљеви докторске дисертације

У овој дисертацији су остварени следећи основни научни циљеви:

- Дат је систематизовани приказ најбитнијих резултата теорије спектроскопије квази-термалних шума уопште, квази-термалних шума у свемирској плазми посебно, који раније нису били на овај начин изложени на једном месту
- Унапређена је теорије ударних сигнала у плазмама које имају нетермалне функције расподеле са већим процентом брзих електрона. Овај резултат је нарочито значајан за плазму сунчевог ветра где су редовно мерене функције расподеле облика генерализованог Лоренцијана са степеним опадањем за више вредности брзине (уместо експоненцијалног пада карактеристичног за Максвелову расподелу)
- Примењена је тако развијена теорија на податке сателита STEREO где је компонента спектра, која долази од ударних сигнала, значајна услед великог пречника коришћених антена. Адаптација методе на дати сателит подразумевала је и селекцију мерења ради избацивања неупотребљивих спектра и усредњавање резултата ради смањења мерних грешака изазваних непрецизношћу инструмента
- Припремљена је метода и критеријум за реализацију базе података електронске температуре на датој мисији уз процену доприноса укупној грешци од грешака мерења других инструмената са којих су подаци коришћени
- Направљена је теорија квази-термалних шума за плазме које имају значајну фреквенцу судара електрона са неутралним честицама. Ова теорија може наћи примену у изучавању лабораторијске плазме и при испитивању јоносфера планета које имају занемарљиво сопствено магнетно поље
- Што се тиче примене у лабораторији, ова техника је прва која се може применити за независно одређивање густине плазме, температуре и фреквенце судара као независних параметара користећи фреквентни опсег за ред величине испод и изнад плазмене фреквенце

Научне методе које су коришћене

Поред класичних нумеричких и статистичких метода које се користе при обради и фитовању података, развијено је неколико критеријума ваљаности мерених спектра. Ови критеријуми су омогућили елиминацију мерења која би дала нереалне резултате услед детекције других физичких процеса који се спорадично појављују у сунчевом ветру и космичкој плазми, а нису обухваћени теоријом. Такође, грешке, односно неодређености мерења су процењиване прелиминарно без утицаја грешака помоћних инструмената али су развијени критеријуми неопходни за детаљнију обраду и израду будуће базе података која ће покривати читаво трајање мисије. Теоријски спектри који су неопходни за процес фитовања подразумевају нумерички рачун несвојствених интеграла који је вршен модификованим Ромберговом методом.

Приказ дисертације

Докторска дисертација „Спектроскопија квази-термалних шума и ударних електронских сигнала у свемирској плазми“ кандидата Михаила Мартиновића састоји се од 76 нумерисаних страна подељених у 6 поглавља:

1. Introduction
2. Quasi-thermal noise in space plasmas
3. Orbit limited theory in the solar wind
4. Electron temperature deduction on STEREO/Waves using the QTN spectroscopy
5. QTN spectroscopy in weakly ionized collisional plasma
6. Conclusions and perspectives

Теза садржи 33 слике, 3 табеле и списак од 149 референци.

У уводном поглављу дата је мотивација за рад на датој теми дисертације, кратак преглед проблема који ће бити разматрани и преглед садржаја наредних поглавља.

Друго поглавље садржи преглед развоја спектроскопије квази-термалних шума као научне дисциплине. Овај преглед подразумева кратак историјат изучавања плазме сунчевог ветра и значај резултата изложених у дисертацији за ову научну грану у прошлости и будућности, објашњење феноменологије квази-термалних шума, приказ теорије која је била урађена пре дисертације и која се у току израде исте користила, као и преглед свемирских мисија у склопу којих се спектроскопија квази-термалних шума са успехом користи.

У трећем поглављу приказан је оригинални теоријски рад који објашњава феномен наелектрисавања објеката у свемирској плазми и квантификује количину наелектрисања која се може детектовати на датом објекту у зависности од његове геометрије и параметара плазме сунчевог ветра, за коју је карактеристично присуство брзих нетермалних електрона.

Теорија из другог и трећег поглавља је примењена у четвртном поглављу на сателит STEREO. На овој мисији електронски анализатори не раде исправно од лансирања и нема података о параметрима функције расподеле електрона који су јако битни како за теоријску анализу тако и калибрацију других инструмената у оквиру мисије. Мерења која недостају могу се делимично надоместити помоћу методе приказане у овом

поглављу. Методи израде и први резултати базе података која ће покривати читаво трајање мисије су такође приказани.

У петом поглављу теорија спектроскопије квази-термалних шумова је проширена на плазму у којој судари између електрона и неутрала играју битну улогу. Овакве плазме често се срећу како у лабораторијским условима тако и у немагнетизованим јоносферама у Сунчевом систему. Показано је да се ова теорија може користити двојачко: као прецизна дијагностичка техника за мерење параметара плазме и као метода за испитивање одговора антене на флукутирајуће плазмено електрично поље у ситуацијама када антена има специфичне облике, до сада некоришћене у условима у свемирској плазми. Ово је прва техника која може мерити фреквенцу судара као независан параметар користећи широк фреквентни спектар, изнад и испод плазмене фреквенце.

Шесто поглавље даје предвиђања везана за будуће мисије **Соларни Орбитер** и **Соларну Сонду Плус**, као и кратак преглед проблема који се могу појавити на овим мисијама где ће се сателити кретати на врло малим раздаљинама од Сунца.

Остварени научни доприноси истраживања

У току израде ове дисертације развијена је теорија наелектрисања објеката у нетермалној плазми описаној генерализованом Лоренцовом расподелом честица по брзинама каква је уобичајено мерена у сунчевом ветру. Добијени резултати су примењени на прецизно одређивање теоријског спектра ударних сигнала на радио антенама чији пречник није занемарљив и за које је ова компонента значајна.

На мисији STEREO овакви спектри су редовно мерени и теорија изведена у склопу дисертације је успешно примењена у циљу добијања електронске температуре из радио мерења. Добијени подаци омогућавају да се у склопу мисије надоместе подаци који недостају услед неправилног функционисања инструмента примарно задуженог за мерење температуре електрона. Теза такође даје критеријуме и алгоритам потребан за израду базе података која ће садржати податке са оба STEREO сателита за период од 10 година са резолуцијом мерења реда једног сата.

У другом делу дисертације разрађена је теорија квази-термалних шумова у плазми са присутним сударима. Такође је дат преглед функционалности методе и начин примене у лабораторијској плазми.

На основу ових резултата покренута је, у оквиру постојећег Уговора о сарадњи, сарадња Париске Опсерваторије и Физичког факултета Универзитета у Београду. Та сарадња ће ускоро дати прве резултате експерименталне примене развијене методе у дијагностици плазме.

Закључак и предлог

Кандидат Михаило Мартиновић има 3 рада на SCI листи, од којих су 2 у категорији M21 и 1 самостални рад у категорији M23. Осим тога, кандидат има више излагања на међународним научним конференцијама из астрономије и астрофизике, који су штампани у целиности или у изводима у одговарајућим зборницима.

Тема докторске дисертације „Спектроскопија квази-термалних шумова и ударних електронских сигнала у свемирској плазми“ кандидата Михаила Мартиновића је актуелна и ослања се на најновија истраживања и достигнућа у области дијагностике плазме. Резултати до којих је кандидат дошао представљају значајан и оригиналан допринос у пракси одређивања функција расподеле и њихових момената за електроне из регистрације

помоћу антена које нису до сада успешно коришћене у ту сврху на свемирским мисијама. Изложени резултати су такође значајни јер ће проучаване геометрије радио антена бити стандардно употребљаване на будућим мисијама, где ће у овој тези развијена теорија и пракса обраде мерења ударних сигнала бити примењивана аналогно методама изложеним у дисертацији.

С обзиром на све наведено сматрамо да рукопис „Спектроскопија квази-термалних шума и ударних електронских сигнала у свемирској плазми“ кандидата Михаила Мартиновића, може да се прихвати као докторска дисертација и закаже њена јавна одбрана.

У Београду, 24.08.2016. године

Комисија:

Др Стево Шеган, венредни професор



Др Јагош Пурић, професор емеритус



Др Душан Јовановић, научни саветник

