

Наставно-научном већу Математичког факултета Универзитета у Београду

На седници ННВ Математичког факултета Универзитета у Београду од 21. 03. 2014. године одређени смо у комисију за преглед и оцену докторске дисертације „Могућности и оптимизација слетања на јужну хемисферу Марса“ кандидата Душана Марчете, асистента на Катедри за астрономију Математичког Факултета у Београду. На основу увида у садржај дисертације подносимо ННВ следећи

ИЗВЕШТАЈ

Биографија

Душан Марчета је рођен 01.05.1980. године у Новом Саду. Након завршене основне школе и гимназије, уписао је Машински факултет у Београду, смер ваздухопловство, где је 2006. године дипломирао и стекао назив мастер машинства. Докторске студије на Катедри за астрономију Математичког факултета, смер астродинамика, уписао је школске 2007/2008. године. Положио је све испите са докторских студија са просечном оценом 9.75. Као сарадник у настави и асистент на Катедри за астрономију, успешно је држао вежбе из предмета Ефемеридска астрономија, Ефемеридска астрономија А (за информатичаре), Звездана астрономија, Звездана астрономија А (за информатичаре), Обрада астрономских посматрања А, Обрада астрономских посматрања Б, Одабрана поглавља механике, Технике астрофизичких посматрања А, Технике астрофизичких посматрања Б, Увод у теоријску механику и Рационална механика.

Библиографија

У научно истраживачком раду Душан Марчета је оријентисан ка динамици космичког лета. Објавио је 27 научних радова и саопштења чија структура је приказана у следећој табели.

Kategorija rada	Broj radova
Рад у научном часопису на SCI листи (M21)	2
Рад у научном часопису на SCI листи (M23)	2
Рад у научном часопису међународног значаја који није на SCI листи (M24)	1
Рад објављен у целини у зборнику радова са међународног научног скупа	8
Рад објављен само у изводу (апстракт), а не у целини, у зборнику радова са међународног научног скупа	5
Рад објављен у целини у зборнику радова са националног научног скупа	1
Рад објављен само у изводу (апстракт), а не у целини, у зборнику радова са националног научног скупа	8

Списак радова

Научни радови објављени у часописима који су на SCI листи

Шеган, С., Милисављевић, С., **Марчета, Д.**: “A Combined Method to Compute the Proximities of Asteroids”, Acta Astronomica, 2011, vol. 61 бр. 3, стр. 275-283.

Марчета Д., Шеган, С.: “The distributions of positions of Minimal Orbit Intersection Distances among Near Earth Asteroids”, Advances in Space Research, 2012, vol. 50, бр. 2, стр. 256-259.

Марчета Д., Шеган, С., Рашуо, Б.: “Influence of seasonal cycles in Martian atmosphere on entry, descent and landing sequence”, Acta Astronautica, 2014, vol. 98, стр. 163-168.

Марчета, Д.: “The Effects of the Diurnal Atmospheric Variability on Entry, Descent and Landing on Mars”, Serbian Astronomical Journal, 2014, vol. 189, стр. 69-77.

Научни радови објављени у часописима међународног значаја који нису на SCI листи

Шеган С., **Марчета Д.**: “Possibilities of Improving the TD88 Atmospheric Total Density Model”, 2010, Serbian Astronomical Journal, Vol. 181, p. 57-61.

Научна саопштења на међународним скуповима штампана у целини у зборнику радова

Шеган С., **Марчета, Д.**: ”Orbit determination and Parameter Estimation: Extended Kalman Filter versus LSQOD”, Зборник XV националне конференције астронома Србије, Београд, 2009.

Милисављевић С., Самарџија, Б., **Марчета Д.**, Шеган С.: „Радови Милутина Миланковића у периодици АОБ“, Пета SEEDI конференција дигитализације културног и научног наслеђа, Сарајево, Мај 19-20, 2010.

Милисављевић С., Самарџија, Б., **Марчета Д.**, Шеган С.: „Заснивање српске астрономске школе и веза са околним националним школама“, Пета SEEDI конференција дигитализације културног и научног наслеђа, Сарајево, Мај 19-20, 2010.

Самарџија, Б., Шеган С., **Марчета Д.**, Милисављевић С.: “Календарске базе и алгоритми за рачун и конверзију: хришћански и муслимански календари на нашим просторима“, Пета SEEDI конференција дигитализације културног и научног наслеђа, Сарајево, Мај 19-20, 2010.

Марчета Д., Шеган С.: “Method for Prediction of ΔT based on Long-Periodic terms in the Earth's Rate of Rotation”, Proceedings of the Journées 2010 "Systèmes de Référence Spatio-Temporels, N. Capitaine (ed.), Observatoire de Paris, 2011.

Марчета Д., Шеган С., Глишовић, Н.: “Detection of the Mutual Periodical Changes in the Earth Rate of Rotation and the Solar Activity by Singular Spectrum Analysis”, Proceedings of the Journées 2011 "Systèmes de référence spatio-temporels", H. Schuh, S. Böhm, T. Nilsson and N. Capitaine (eds), Vienna University of Technology, 2012. ISBN 978-2-901057-67-3

Марчета Д., Рашуо, Б.: “Possibilities for the Landing on Mars Southern Highlands” 63rd International Astronautical Congress 2012 (IAC 2012), 1-5 октобар 2012, Напуљ, Италија

Марчета Д., Шеган, С., Рашуо, Б.: “Astronomical Aspects of Entry, Descent and Landing Sequence on Mars”, 64th International Astronautical Congress 2013 (IAC 2013), 23-27. септембар 2013, Пекинг, Кина.

Научна саопштења на међународним скуповима штампана у облику кратког извода

Марчета Д., Шеган С.: “Influence of Variations in the Earth's Atmosphere on the Physical and Chemical Processes during Entry of a Meteoroid”, Asteroids, Comets, Meteors 2012, 16-20 мај 2012, Нигата, Јапан.

Марчета Д., Шеган С.: “Cycles in the Martian Atmosphere-the Influence on Entry, Descent and Landing Profiles”, 39th COSPAR Scientific Assembly, 14-22. јул 2012, Мајсор, Индија.

Марчета Д., Шеган С.: “Connection between the solar activity and the Earth's rate of rotation”, XVIII General Assembly of International Astronomical Union, 20-31. август 2012, Пекинг, Кина.

Марчета Д., Бокан, Н., Шеган С.: “Effects of radiation on the geometry of zero-velocity surfaces in the photo-gravitational circular restricted 3-body problem”, XVIII General Assembly of International Astronomical Union, 20-31. август 2012, Пекинг, Кина.

Милисављевић, С., **Марчета Д., Шеган С., Самарджија, Б.:** “Proximity Calculation and Changing of Distance Function”, The BELISSIMA conference, 18-21. септембар 2012, Београд, Србија

Научна саопштења на скуповима националног значаја штампана у целини у зборнику радова

Милисављевић С., Самарџија, Б., **Марчета Д.**, Шеган С.: „Радови академика М. Миланковића и В. Мишковића у периодици АОБ“, Конференција развој астрономије код Срба VI, Београд, Април 22-26, 2010.

Научна саопштења на скуповима националног значаја штампана у облику кратког извода

Марчета Д.: “Some Aspects of Circular Restricted Three Body Problem from Differential Geometry Point of View”, VII Bulgarian-Serbian Astronomical Conference, 1-4. јун 2010, Бугарска.

Шеган С., Самарџија Б., **Марчета Д.**: “Историја и значај астрономских основа у старим и новим календарима”, Календарско знање и допринос Милутина Миланковића, 14-15. септембар 2011, Београд, Србија.

Марчета Д., Шеган С.: “Some Heuristics in Determination of Proximities of Confocal Elliptical Orbits”, XVI National Conference of Astronomers of Serbia, 10-12. октобар 2011, Београд, Србија.

Шеган С., **Марчета Д.**: “Toward the Venus Transit 2012”, XVI National Conference of Astronomers of Serbia, 10-12. октобар 2011, Београд, Србија.

Марчета Д., Шеган С., Самарџија, Б.: “Launching Satellite, Orbital Transfers and Satellite Orbit Changing”, XVI National Conference of Astronomers of Serbia, 10-12. октобар 2011, Београд, Србија.

Милисављевић, С., **Марчета Д.**, Шеган С., Самарџија, Б.: “Proximity Calculation and Statistics of Orbits Elements”, XVI National Conference of Astronomers of Serbia, 10-12. октобар 2011, Београд, Србија.

Марчета Д., Шеган С.: “Astronomy for the Students of Informatics”, XVII National Conference of Astronomers of Serbia, 23-27. септембар 2014, Београд, Србија.

Шеган С., **Марчета Д.**: “Digital Almanac - Elements and Tables of the Physical and Mathematical Ephemeris of the Solar System Bodies”, XVII National Conference of Astronomers of Serbia, 23-27. септембар 2014, Београд, Србија.

Предмет и садржај докторске дисертације

Предмет докторске дисертације „Могућности и оптимизација слетања на јужну хемисферу Марса“ кандидата Душана Марчете је истраживање утицаја дневних и сезонских промена параметара Марсове атмосфере на могућност слетања космичких летелица на високе локације јужних Марсових висоравни. Велике разлике у могућностима за слетање на северне зоне - низије, где је до сада извршено 7 успешних слетања, и јужне висоравни, где до сада није било успешних слетања, последица су веома специфичне топографије Марсове површине и, уопште, структуре планете, чија је основна карактеристика такозвана глобална или хемисферична дихотомија. Услед ове карактеристике, која је јединствена у Сунчевом систему, скоро цела северна хемисфера налази се у депресији у односу на референтни ареоид („ниво мора“) док се скоро цела јужна хемисфера налази изнад ове површи. Због ове разлике у елевацији, летелице које би покушале слетање на јужне висоравни имају на располагању неколико километара тањи слој атмосфере који могу да искористе за дисипацију своје кинетичке енергије. Ова енергија је изузетно велика због чињенице да летелице са интерпланетарних орбита улећу у атмосферу Марса хиперболичким брзинама од преко 5 km/s.

Са друге стране, глобална дихотомија огледа се и у дебљини коре и броју ударних кратера; тај број је значајно већи на јужној хемисфери. Ово указује на то да је њена површина око 2 милијарде година старија него површина на северној хемисфери, која је у релативно блиској прошлости била изложена снажној вулканској активности. Услед овога, северна и јужна хемисфера припадају различитим епохама у еволуцији планете – на северној хемисфери доминирају области које потичу из најмлађе, Амазонијске епохе, док на јужној хемисфери доминирају области које потичу из старијих епоха, Хесперијске и Ноакијске. Управо је ово разлог због чега је неопходно истраживање целе површине Марса како би се разумела његова еволуција, која је, као што је речено, услед присуства глобалне дихотомије јединствена у целом Сунчевом систему.

Научни циљеви докторске дисертације

Основни научни циљеви ове докторске дисертације су:

- Развој ефикасног алгорита за одређивање путање објекта произвољних аеродинамичких карактеристика, који се креће у произвољном гравитационом пољу, кроз атмосферу произвољних параметара, тј. густине и температуре. Овај алгоритам се може применити у било каквој балистичкој анализи, како на Марсу, тако и на Земљи и на другим телима Сунчевог система о чијим атмосферама постоје подаци.
- Одређивање утицаја сезонских промена параметара Марсове атмосфере, који су пре свега последица CO₂ циклуса. Овај циклус такође представља јединствену карактеристику у Сунчевом систему и последица је специфичне конфигурације Марсове орбите и осе ротације. Коришћењем адекватних претпоставки које упрошћавају модел лета, а које се у квалитативном и квантитативном смислу потврђују помоћу поменутог алгорита, обезбедити одређивање великог броја

путања (око 17000) за слетање на различите локације на јужним висоравнима и за различите тренутке у току Марсове године.

- Одређивање утицаја дневних промена параметара Марсове атмосфере на путању летелице. Иако значајно мање од сезонских, услед велике осетљивости Марсове атмосфере на дневне варијације инсолације, ове промене су много веће него на Земљи и могу значајно утицати на могућност слетања на високе локације на Марсу.
- Одређивање утицаја променљивости профила атмосфере дуж путање летелице и његова зависност од почетних услова - интензитета и правца вектора брзине и локације слетања.
- Одређивање оптималних параметара уласка, тј. дана у току Марсове године, правог Сунчевог времена у току одговарајућег дана и почетних услова (брзине и угла нагиба путање).

Научне методе које су коришћене

Осим класичних небеско-механичких метода у одређивању орбита летелица и анализи њихових параметара, у условима конкретних симулација слетања на јужну хемисферу Марса коришћене су нумеричке методе прилагођене прекидним условима, тј. условима повремене нагле промене у кинематици летелице изазване било природним условима на Марсу, било интервенцијом на аеродинамици и механици летелице. У односу на постојеће интерполационе формуле за једну или две променљиве, које су уграђене у МАТЛАБ, овде је коришћен генерализовани метод везаних параболо вишег реда, од којих је најбоље резултате давао метод кубних сплајнова за једну и две променљиве.

Приказ дисертације

Докторска дисертација „Могућности и оптимизација слетања на јужну хемисферу Марса“ кандидата Душана Марчете састоји се од 177 нумерисаних страна подељених у 8 поглавља:

1. Увод
2. Геолошка еволуција и топографија Марса
3. Гравитационо поље
4. Атмосфера Марса
5. Аеродинамичке карактеристике летелица
6. Одређивање атмосферске путање летелице
7. Анализа и резултати
8. Закључак и планови за даљи рад

Теза садржи 124 слике, 7 табела и списак од 117 референци. Обавезни пратећи административни текст дат је на додатне 4 стране које се налазе на крају тезе.

У уводном поглављу дат је кратак историјски осврт на истраживање Марса са посебним акцентом на космичку еру. Описане су досадашње мисије на Марс и указано је на чињеницу да су сва успешна слетања до сада изведена у ниским областима на северној хемисфери и у екваторској области.

У другом поглављу је описана геолошка еволуција Марса. Будући да је главни узрок тешкоћа за слетање на јужну хемисферу Марса такозвана глобална или хемисферична дихотомија Марса, посебна пажња је посвећена њеном пореклу и структури.

У трећем поглављу је разматрано гравитационо поље Марса. С обзиром да се приликом слетања на површину Марса летелица налази веома близу његове површине, не може се говорити о систему материјалних тачака на које се директно може применити Њутнов закон универзалне гравитације у свом изворном облику, већ на путању летелице могу утицати аномалије у гравитационом пољу које су последица неправилног распореда масе по запремини Марса. У овом поглављу је квантификован овај утицај на путању летелице, поготово на могућност за слетање на локације са високом елевацијом, што је омогућило увођење одговарајућих претпоставки које значајно поједностављују једначине кретања летелице и омогућују симулацију значајно већег броја путања.

У четвртном поглављу је детаљно анализирана динамика Марсове атмосфере на годишњој и дневној скали. Указано је на феномене који доводе до велике променљивости атмосферских параметара, попут сезонског CO₂ циклуса. Описани су глобални, регионални и локални модели Марсове атмосфере. Дат је детаљан опис модела Марсове атмосфере Mars-GRAM (Mars Global Reference Atmospheric Model) који је коришћен у дисертацији за генерисање атмосферских параметара.

У петом поглављу су описани феномени који се јављају у струјном пољу око летелице која се креће хиперсоничном брзином кроз Марсову атмосферу. Дат је детаљан опис Њутнове теорије и изведени су обрасци за израчунавање коефицијента отпора за заобљени конус, облик који је коришћен приликом свих досадашњих успешних слетања на Марс.

У шестом поглављу су изведене једначине кретања летелице кроз атмосферу. Уведена су поједностављења која омогућују да се ове једначине реше у коначном облику како би се извршила прелиминарна анализа атмосферских путања и упоредило слетање на Марс и Земљу. Дата је специфична интерпретација уласка у атмосферу под произвољним углом као варијанте вериткалног уласка са одговарајућим почетним условима. Оваква интерпретација до сада није дата у литератури и омогућује лакше разумевање динамике уласка у планетску атмосферу, спуштања и слетања на њену површину.

Седмо поглавље је кључно поглавље дисертације јер су у њему представљени резултати анализе утицаја динамике Марсове атмосфере на могућности за слетање на високе локације на јужним висоравнима. У овом поглављу описан је нумерички алгоритам који омогућује ефикасну симулацију великог броја атмосферских путања помоћу којег су одређени оптимални услови за слетање на ове локације. Ово

подразумева одређивање оптималне сезоне (положаја Марса на орбити) и оптималног правог Сунчаног времена при којима се постижу најдужа времена спуштања која су од кључног значаја за успешно слетање. Такође су одређене изохроне спуштања у функцији почетних услова (брзине и угла нагиба путање), што омогућује одређивање њихових оптималних вредности у зависности од ограничења која су пре свега узрокована карактером интелепланетарне путање летелице. На крају, дата је анализа утицаја ротације Марса и промене вертикалних профила атмосфере са латитудом на путању летелице и могућност за слетање на одређене локације на Марсу.

У осмом поглављу је дат кратак резиме свих резултата који су остварени приликом израде дисертације и смернице за будући рад.

Остварени научни доприноси истраживања

У току израде ове дисертације развијен је веома ефикасан алгоритам који у само неколико итерација, одређује путању летелице кроз атмосферу, са дефинисаним, веома малим одступањем од жељене локације слетања. За уобичајене почетне услове, које су имале претходне мисије слетања на Марс, прецизност слетања од 100 m постиже се кроз 3 до 4 итерације. Ово практично значи да се за жељену локацију слетања, за различите тренутке уласка, којима одговарају различити атмосферски услови, ефикасно одређују одговарајуће координате уласка и вектор почетне брзине. Коришћењем овог алгоритма одређене су локације на јужним Марсовим висоравнима приступачне у различитим деловима Марсове године.

На основу добијених резултата направљени су дискретни модели на основу којих су одређени оптимални услови слетања. Утврђено је да се, уз коришћење само технологије која је већ коришћена за слетање на Марс, на неке делове јужних висоравни може слетети само у периоду од касног пролећа до ране јесени, док у осталим деловима године слетање није могуће. Такође је утврђено да оптимално време уласка зависи од локације слетања али да је увек у току обданице.

Проширивање ових услова на целу годину, захтева промену анvelope лета и профила летелице, што намеће неке додатне проблеме које би требало решити.

Закључак и предлог

Кандидат Душан Марчета има 4 рада на SCI листи, од којих су 2 у категорији M21 и 2 категорији M23, од којих је један самостални. Осим тога, кандидат има велики број излагања на највећим међународним научним конференцијама из астрономије и астронаутике, који су штампани у одговарајућим зборницима.

Тема докторске дисертације „Могућности и оптимизација слетања на јужну хемисферу Марса“ кандидата Душана Марчете је актуелна и ослања се на најновија истраживања и достигнућа у области астродинамике. Резултати до којих је кандидат дошао представљају значајан и оригиналан допринос у пракси одређивања балистичких атмосферских путања и у анализи утицаја промена параметара Марсове атмосфере на могућности за слетање на локације на које до сада није извршено успешно слетање.

С обзиром на све наведено сматрамо да рукопис „Могућности и оптимизација слетања на јужну хемисферу Марса“ кандидата Душана Марчете, може да се прихвати као докторска дисертација и закаже њена јавна одбрана.

У Београду, 02. 07. 2015. године

Комисија:

Др Стево Шеган, венредни професор

Др Бошко Рашуо, редовни професор

Др Зоран Кнежевић, дописни члан САНУ