





АКАДЕМСКЕ БЕСЕДЕ

Књига I

ISSN 2466-5134

SERBIAN ACADEMY OF SCIENCES AND ARTS

PRESIDENCY

ACADEMIC SPEECHES

Volume 1

Accepted on October 20th 2016, at the 7th meeting of the
SASA Presidency

Editor

academician
MIRO VUKSANOVIĆ

BELGRADE
2016

ISSN 2466-5134

СРПСКА АКАДЕМИЈА НАУКА И УМЕТНОСТИ

ПРЕДСЕДНИШТВО

АКАДЕМСКЕ БЕСЕДЕ

Књига 1

Примљено на VII седници Председништва САНУ
од 20. октобра 2016. године

Уредник

академик
МИРО ВУКСАНОВИЋ

БЕОГРАД
2016

SASA PRESIDENCY

academician Vladimir S. Kostić,
President of SASA

academician Zoran V. Popović,
Vice President of SASA for Natural Sciences

academician Ljubomir Maksimović,
Vice President of SASA for Social Sciences

academician Marko Anđelković,
Secretary General of SASA

academician Stevan Pilipović,
President of SASA Branch in Novi SAD

academician Gradimir Milovanović,
*Secretary of the Department of Mathematics,
Physics and Geo Sciences*

academician Miroslav Gašić,
*Secretary of the Department of Chemical
and Biological Sciences*

academician Zoran Lj. Petrović,
Secretary of the Department of Technical Sciences

academician Dragan Micić,
Secretary of the Department of Medical Sciences

academician Predrag Piper,
Secretary of the Department of Language and Literature

academician Časlav Očić,
Secretary of the Department of Social Sciences

academician Mihailo Vojvodić,
Secretary of the Department of Historical Sciences

academician Milan Lojanica,
Secretary of the Department of Fine Arts and Music

ПРЕДСЕДНИШТВО САНУ

академик Владимир С. Костић,
п̄редседник САНУ

академик Зоран В. Поповић,
п̄ошп̄редседник САНУ за п̄риродне науке

академик Љубомир Максимовић,
п̄ошп̄редседник САНУ за друшп̄ивене науке

академик Марко Анђелковић,
п̄енерални секретар САНУ

академик Стеван Пилиповић,
п̄редседник Опранка САНУ у Новом Сагу

академик Градимир Миловановић,
*секретар Одељења за математичку,
физику и гео-науке*

академик Мирослав Гашић,
*секретар Одељења хемијских
и биолошких наука*

академик Зоран Љ. Петровић
секретар Одељења п̄техничких наука

академик Драган Мицић,
секретар Одељења медицинских наука

академик Предраг Пипер,
секретар Одељења језика и књижевности

академик Часлав Оцић,
секретар Одељења друшп̄ивених наука

академик Михаило Војводић,
секретар Одељења историјских наука

академик Милан Лојаница,
секретар Одељења ликовне и музичке уметности

Ликовни прилози

Петар Лубарда

Наука, слика, Свечана сала САНУ
(на предњим корицама)

Мило Милуновић

Умејноси, слика, Свечана сала САНУ
(на задњим корицама)

Ђорђе Јовановић

Наука и умејноси, скулптура, улазни хол у САНУ
(на почетку књиге)

Младен Србиновић

Детаљи *Вишража*, Свечана сала САНУ
(на белинама у књизи)

САДРЖАЈ

Академик Владимир С. Костић, председник САНУ <i>Поздравна реч</i>	15
Академик Миро Вуксановић <i>О ирисџујним бесегама срџских акагемика</i>	17
Приступне беседе садашњих редовних чланова САНУ	29
Одељење за математику, физику и гео-науке	
Академик Миљко Сатарић <i>Микроџубуле, коридори за унуџарћелијски саобраћај и сиџализацију</i>	49
Академик Зоран Кнежевић <i>Quo vadis mechanica coelestis?</i>	65
Одељење хемијских и биолошких наука	
Академик Милена Стевановић <i>SOX џени: од оџкрића до функције</i>	87
Академик Славко Ментус <i>Секундарни елекџрохемијски извори енерџије са унџеркалаџним елекџродним маџеријалима</i>	109
Одељење техничких наука	
Академик Дејан Б. Поповић <i>Енџроџија или неџенџроџија: шџа је уџиџало на мој развој?</i>	137

Академик Душан Теодоровић <i>Моделирање саобраћаја</i>	149
Одељење медицинских наука	
Академик Ђорђе Радак <i>Кароидна хирургија, 360 секунди самоће</i>	167
Академик Небојша Радуновић <i>Од хелије до новорођенчећа</i>	185
Академик Душица Лечић Тошевски <i>Рај и мир у исихијатрији</i>	203
Одељење језика и књижевности	
Академик Јасмина Грковић-Мејдор <i>Обрасци заклињања у историјској њерсијективи: линвистички и коинитивни увиди</i>	223
Академик Миро Вуксановић <i>Балада о најдражој речи</i>	235
Одељење друштвених наука	
Академик Коста Чавошки <i>Слава и бесмртност</i>	245
Академик Часлав Оцић <i>Крај рада или ново ројство?</i>	257
Одељење историјских наука	
Академик Михаило Војводић <i>Берлински конгрес – њосле тридесет година (српски њољед)</i>	273
Одељење ликовне и музичке уметности	
Академик Петар Омчикус <i>Изложба слика</i>	291
Радне биографије беседника	
Миљко Сатарић	299
Зоран Кнежевић	303

Милена Стевановић	309
Славко Ментус	315
Дејан Б. Поповић	321
Душан Теодоровић	327
Ђорђе Радак	333
Небојша Радуновић	339
Душица Лечић Тошевски	345
Јасмина Грковић-Мејдор	351
Миро Вуксановић	355
Коста Чавошки	359
Часлав Оцић	363
Михаило Војводић	369
Петар Омчикус	373





• Свечани скуј •

ПРИСТУПНЕ БЕСЕДЕ
НОВОИЗАБРАНИХ РЕДОВНИХ ЧЛАНОВА
СРПСКЕ АКАДЕМИЈЕ НАУКА И УМЕТНОСТИ

10–12. мај 2016.

ОДЕЉЕЊЕ ЗА МАТЕМАТИКУ,
ФИЗИКУ И ГЕО-НАУКЕ







Зоран Кнежевић

Quo vadis mechanica coelestis?

Недавно сам, уз неколицину истакнутих истраживача, позван да напишем кратак осврт у којем бих изнео своје виђење садашњег стања и перспектива будућег рада и развоја у области небеске механике. Непосредни повод за припрему тзв. *International Astronomical Union Legacy Volume* (Morbidelli et al., 2016) била је управо спроведена структурна реформа Међународне астрономске уније (МАУ) и жеља да се следећим генерацијама истраживача пренесе наслеђе досадашњих организационих целина, тзв. Комисија Уније – најзначајнији резултати савремених истраживања у областима које су оне покривале, као и да се сагледају најважнији правци развоја у непосредној будућности. Тога се посла прихватила и Комисија 7 за Небеску механику и динамичку астрономију, чији сам председник имао част да будем у периоду 2009–2012. Сматрао сам да то виђење треба да пренесем и овде, као један од важних доприноса области којој сам посветио свој истраживачки век, остварених након избора за дописног члана САНУ.

1. Quo vadis mechanica coelestis?¹

Наука има своје путеве, ретко сасвим прецизно предвидиве. Она такође има своје ритмове, где се смењују брзи прогрес, спори али постојани напредак, стагнација, па чак и назадовање, у зависности од тога да ли се јављају нове идеје и продори или се суочавамо са њиховим краћим или дужим изостајањем. Није, дакле, једноставан задатак обухватити једним кратким освртом стање ствари и могуће правце развоја читаве једне гране науке тако богате прошлим активностима и будућим изазовима као што је небеска механика. Такође је скоро немогуће, па чак можда и контрапродуктивно, да се

¹ Copyright: Cambridge University Press. Printed with permission.

младим истраживачима оваквим текстом дају рецепти, или им се намећу упутства о томе шта истраживати и у ком правцу усмерити свој научни рад и развој. Ипак, понеки савет у том смислу можда, напослетку, може да буде користан бар неким од њих.

Претходне деценије биле су у небеској механици обележене са три велика продора: уласком у све ширу употребу *нумеричких метода*, што, наравно, није специфичност само небеске механике већ је заједничко свим природним наукама, али и бољим разумевањем, препознавањем значаја и применом *хаотичних појава* и пуним уважавањем и коришћењем *неравнотилационих ефеката*. Међутим, рекао бих да се у овом тренутку налазимо у некој врсти застоја, у очекивању следећег великог продора који ће дати нови снажан подстицај истраживањима у овој области.

У претходном периоду ипак је остварено више веома вредних, само нешто уже специјализованих, достигнућа, од којих су нека остварена захваљујући изазовима које су небеским механичарима представљали резултати остварени у другим областима, најчешће у посматрачкој астрономији. Овде бих узео слободу да поменем само нека од тих достигнућа, која, по мом убеђењу, дају и једну довољно свеобухватну и веродостојну слику о општем напретку у читавој области. Не треба ни помињати да је ово у великој мери непотпуна и субјективна листа и да је треба посматрати као резултат ауторовог у сваком погледу ограниченог знања и неизбежне субјективности.

Посебно место међу резултатима претходног периода припада, по мом мишљењу, напретку оствареном у истраживањима динамике нашег планетског система у дугим временским интервалима. Та истраживања су, с једне стране, омогућила прецизно праћење кретања планета у Сунчевом систему до далеких епоха на граници достигнутог хоризонта предвидљивости, па тако, на пример, и поуздано одређивање утицаја астрономских ефеката на климатске промене у геолошкој прошлости Земље и других планета. С друге стране, разоткрила су најважније динамичке процесе у тек насталом Сунчевом систему и промовисала миграцију планета-џинова и резултујуће нестабилности кретања осталих тела у систему као главне еволутивне механизме који су Сунчев систем у тој раној фази обликовали и начинили онаквим каквог га данас

знамо. У истом периоду почели смо да стичемо и прва знања о динамици вансоларних планета, иновативне методе одређивања путања малих тела у Сунчевом систему омогућиле су да се носимо са стално растућим бројем новооткривених тела и све већом количином и прецизношћу посматрања њихових положаја, унапређене теорије плимских ефеката су нам омогућиле да „завиримо у унутрашњост“ неких природних сателита и протумачимо њихову структуру, хаотичне ротације планета и самерљиве спреге спина и револуције смо почели боље да разумемо и моделујемо итд.

И поред несумњиво значајних успеха у истраживачком раду остварених у протеклом периоду, највећи део истраживача активних у области слаже се са потребом корених промена које би овој класичној научној области дале нове подстицаје и отвориле нова поља истраживања. Те се промене и иначе саме по себи дешавају на природан и спонтан начин, али би их сигурно требало даље подстицати и јачати и у извесном смислу усмеравати у непосредној будућности. Оно што имам овде у виду је нека врста стратешког обрта који мења небеску механику од гране „чисте“ науке која се бави развојем метода и алата без обзира на њихову примену, ка савременом, комплексном настојању окренутом преваходно примени на стварни свет и решавању конкретних проблема.

Са методолошке тачке гледишта, непрестани рад на усавршавању постојећих и развоју нових метода и приступа, како аналитичких тако и нумеричких, увек је потребан и вредан труда. Али је такође врло важно за будуће генерације да се очува и, по могућности, подигне на виши ниво постојећа синергија између ове две врсте метода. Оне прве су непосредно укоренење у теорију и доносе разумевање, док ове друге обезбеђују да се израчунају решења и да се моделирају проблеми који су иначе изван домашаја чак и најсофистицираније аналитике. Управо је разноврсност алата, чак и оних већ добро познатих, али вешто прилагођених специфичном проблему и мудро комбинованих, то што може најефикасније да доведе до нових резултата.

Што се тиче тема и предмета истраживања, постоји, наравно, мноштво могућности за будући рад. Међу тим проблемима и изазовима који, по мом мишљењу, заслужују посебну пажњу у наредном периоду су: даље унапређење динамичког моделовања еволуције Сунчевог система, по могућности у

садејству са истраживањима вансоларних планетских система; поузданија карактеризација вансоларних система, што уз нова открића и тачније посматрачке податке треба да омогући да се њихова динамичка својства боље знају и лакше пореде међу собом и са нашим властитим системом; померање хоризонта предвидљивости и тачних ефемерида ка све даљим епохама, и то како за тела са уређеним, тако и за она са хаотичним кретањем, односно за све врсте тела – планете, сателите, астероиде, комете итд.; боље и дубље разумевање транспорта дуж секуларних резонанци и хаотичне дифузије у резонанцама у средњем кретању; идентификација ефективних транспортних механизма у читавом Сунчевом систему, а нарочито у околини наше планете Земље; везе и међусобна зависност динамичких и физичких особина малих тела планетског система итд.

Као што се лако може закључити из напред реченог, наслеђе протеклих деценија истраживања у области небеске механике огромно је и изузетно значајно. То све нас обавезује, али и даје солидну основу наредној генерацији истраживача да настави напорно да ради, са истом истрајношћу и посвећеношћу са којом су радили њихови претходници и са, надајмо се, још импресивнијим резултатима.

2. Астероидне фамилије

На Симпозијуму МАУ бр. 318 (“Asteroids: New Observations, New Models”), одржаном 2015. године у оквиру XXIX Конгреса Уније (Хонолулу, САД), имао сам позвано предавање под насловом “Asteroid Families Identification: History and State of the Art”. Из рада који је објављен у зборнику Симпозијума (Кнежевић, 2016) преносим овде у знатно скраћеном и нешто измењеном облику део у којем се даје преглед тренутне ситуације у вези са класификацијом астероида у фамилије², тј. са одређивањем тзв. сопствених елемената кретања астероида – квазиинтеграла кретања који се користе као параметри за класификацију, односно са методама за класификацију које су данас најчешће у употреби.

² Фамилије настају у сударима међу астероидима, а препознају се као контрасти густине астероида у односу на позадину у фазном простору елемената кретања.

2.1. Сопствени елементи астероида – БГ *trademark*

Када је реч о одређивању сопствених елемената кретања, желим да истакнем да је у том погледу наш допринос светској науци евидентан – теорије кретања астероида које се данас користе за израчунавање њихових сопствених елемената су у великом делу развијене код нас. Београд је једино место у свету у којем се овај рачун систематски спроводи већ више од 25 година. Ми и данас редовно ажурирамо каталог сопствених елемената подацима за све новооткривене астероиде, а наши се резултати (и/или софтвер) користе у највећем броју радова који су у том периоду објављени, било да се ради о разним класификацијама астероида у фамилије, о истраживањима кретања астероида у веома дугим временским интервалима, или о утицају негравитационих ефеката на кретање астероида и одређивању старости фамилија. Може се зато слободно рећи да је наш рад признат, уважен и коришћен у читавом свету и да сопствени елементи кретања астероида у том смислу представљају својеврстан *trademark* београдске астрономије.

Разни параметри коришћени су током времена за класификацију астероида у фамилије (Кнежевић et al., 2002). Неки од њих су примитивни претходници савремених сопствених елемената, други представљају параметре прилагођене специфичној динамици, као у случају астероида у секуларним резонанцама (Morbidelli, 1993) или резонанцама у средњем кретању (Brož et al., 2011). Заједничко својство свих тих параметара је да су у неком смислу „сопствени“, тј. приближно константни у дугим временским интервалима.

За класификацију астероида у фамилије најчешће се користе три сопствена елемента кретања: сопствена велика полуоса путање (a_p), сопствена ексцентричност (e_p) и синус сопственог нагиба ($\sin i_p$). Они се израчунавају из тренутних, оскулаторних елемената кретања елиминисањем планетских поремећаја (Кнежевић, 2013). Рачун се заснива на осредњавању сваког поремећајног члана понаособ и одвојено се спроводи за кратко и дугопериодичне поремећаје. Преостала два сопствена елемента, сопствена лонгитуда перихела (ϖ_p), и сопствена лонгитуда чвора (Ω_p) везују се за неку стандардну епоху и не користе се за класификацију, већ за одређивање фундаменталних фреквенција и разне динамичке студије.

Ређе су коришћени и неки алтернативни параметри за класификацију, као, на пример, сопствене фреквенције (n , g , s),

где је n средње дневно кретање, а g и s секуларне фреквенције перихела и чвора (Carruba and Michtchenko, 2007). Чак су се и сами оскулаторни елементи показали употребљивим за идентификацију и карактеризацију астероидних фамилија, посебно оних релативно мале старости (Nesvorný et al., 2006). Како су релативне брзине фрагмената у односу на родитељско тело мале у поређењу са орбиталним брзинама, непосредно након судара у којем се фамилија формира путање фрагмената су прилично сличне. Отуда се сва та тела у фазном простору оскулаторних елемената јављају у групама које се лако препознају као концентрације у односу на знатно разуђенију позадину и идентификују као сударне фамилије. Мала старост у овом случају значи да је фамилија формирана пре мање од милион година, јер је то типична временска скала на којој се путањски елементи због диференцијалних поремећаја значајније мењају и сличност оскулаторних путања нестаје.

Недавно је публикован каталог са подацима о албеду неколико десетина хиљада астероида³, као и тзв. SDSS каталог астероидних индекса боје⁴. Настојања да се класификација астероида у фамилије унапреди коришћењем ових података ишла су у два правца – у једном случају ти се подаци користе као допунска информација да би се апостериори потврдиле или одбациле фамилије-кандидати (Milani et al., 2014) идентификоване на основу горе наведена три сопствена елемента кретања, у другом су ови подаци коришћени као додатни параметри за идентификацију фамилија у проширеном параметарском простору (Carruba et al., 2013). Фамилије идентификоване у мултипараметарском простору (три сопствена елемента, два индекса боје и алbedo, на пример) требало би, по природи ствари, да су поузданије одређене али се на тај начин губи велика количина информација садржаних у динамичким подацима за мале астероиде, за које нема информација о њиховим физичким особинама или су те информације слабије тачности.

Данас се за израчунавање сопствених елемената астероида користе углавном само две теорије: аналитичка (Milani and Knežević, 1990, 1994) и синтетичка (Knežević and Milani, 2000, 2003). Аналитичка теорија је врло ефикасна за практично

³ http://wise2.ipac.caltech.edu/staff/bauer/NEOWISE/_pass1

⁴ <http://www.astro.washington.edu/users/ivezic/sdssmoc/>

коришћење, али примењива само на астероиде умерених орбиталних ексцентричности и нагиба. Заједно са новим методама за класификацију астероида у фамилије, та теорија је у раним 90-им годинама прошлог века омогућила одлучујући продор у области, обезбеђујући знатно тачније сопствене елементе и фреквенције од дотада расположивих. То је, са своје стране, омогућило поузданију класификацију астероида у фамилије, одређивање локација нелинеарних секуларних резонанци у фазном простору сопствених елемената кретања и оцену њихових ефеката, боље разумевање динамике астероида у дугим временским интервалима итд. Синтетичка теорија, с друге стране, захтева много више рачунарских ресурса и времена али може да се користи за астероиде произвољних ексцентричности и нагиба и даје у просеку за фактор већи од 3 тачније резултате; то је данас стандардна теорија за одређивање најбољих расположивих сопствених елемената који се дистрибуирају преко референтног AstDyS⁵ сервиса (Knežević and Milani, 2003).

Поред ових теорија намењених масовној продукцији сопствених елемената за астероиде главног прстена, развијено је више различитих специјалних теорија намењених специфичним астероидним популацијама: семианалитичка теорија за објекте високих орбиталних ексцентричности и нагиба (Lemaître and Morbidelli, 1993), теорије за резонантне астероиде: Тројанце (Milani, 1993, Beauge and Roig, 2001) и Хилде (Schubart, 1991) итд.

Тренутна ситуација са сопственим елементима кретања астероида може да се резимира на следећи начин: на већ поменутом сајту AstDyS сервиса, закључно са септембром 2015. године, налази се 18 каталога са сопственим елементима и припадајућим грешкама за око 510.000 астероида, укључујући објекте проширеног главног прстена, Тројанце и Транс-Нептунске објекте, израчунатим помоћу напред поменутих теорија уз коришћење одговарајућих динамичких модела планетског система.

Тачност сопствених елемената одређених помоћу синтетичке теорије за нумерисане астероиде главног прстена је типично $\sigma(a) < 0.0003$ ај, $\sigma(e) < 0.001$ и $\sigma(\sin i) < 0.001$. То приближно одговара релативној брзини чланова фамилија од око

⁵ <http://hamilton.dm.unipi.it/astdys2>

15 m/s, што је сасвим довољно за потребе класификације астероида у фамилије.

2.2. Методе за класификацију астероида у фамилије

Немогућност да се објасне неке важне физичке карактеристике астероидних фамилија довела је почетком 1980-их година до закључка да фамилије нису поуздано одређене, те да је у циљу њиховог бољег дефинисања потребно унапредити како тачност сопствених елемената кретања као параметара за класификацију астероида у фамилије, тако и самих метода помоћу којих се та класификација врши. То је убрзо довело до развоја горепомнутих савремених теорија за рачунање сопствених елемената, али и до појаве нових ефикасних и поузданих метода за класификацију, што је све заједно довело до одлучујућих продора на том плану. Овде имамо у виду пре свега методу хијерархијског груписања (Hierarchical Clustering Method – МХГ) коју су предложили Запапа и сарадници (Zappala et al., 1990), а затим је у наредном периоду даље развили и усавршили (Zappala et al., 1994, 1995). Користећи сопствене аналитичке елементе (Milani and Knežević, 1990, 1994) и МХГ, Запапа и сарадници су успели да, први пут, заиста поуздано идентификују фамилије и ураде класификацију која је годинама затим служила као основ за скоро сва истраживања у тој области.

Оригинална МХГ претрпела је у међувремену разне модификације, унапређења и адаптације, али је суштина методе (налажење најближег суседа, метрика, концепт квазислучајног нивоа, сталактитни дијаграм) остала неизмењена. Класификација се контролише помоћу два параметра: минималним бројем чланова (N_{\min}) потребним да би нађена група била сматрана кандидатом за фамилију и критичним растојањем (d_c) израженим помоћу изабране метрике, које дефинише растојање између суседних објеката испод којег се сматра да они припадају истој групи. Избор критичног растојања заснива се на концепту квазислучајног нивоа (Quasi-Random Level), тј. растојања за које се у случајној расподели објеката, која опонаша стварну расподелу астероида у фазном простору класификационих параметара, још увек могу наћи случајне групације са N_{\min} чланова.

У данашње време класификација астероида у фамилије постаје све тежа и захтевнија, јер количина података у рефе-

рентним базама расте великом брзином. Да би се изашло на крај са тако наглим порастом и са већ позамашним бројем астероида у одговарајућим каталозима, недавно је предложено унапређење (Milani et al., 2014) које у неколико важних аспеката мења важеће парадигме: 1. уводи се нова, динамичка класификација као комбинација стандардне МХГ и аутоматског придруживања новооткривених чланова познатим фамилијама сваки пут када се број астероида у каталогу довољно увећа; на тај начин важеће класификације може да се очува у периоду од више година без потребе за честим понављањем комплетне класификационе процедуре; 2. узима се у обзир дистинкција између „динамичких фамилија“, које представљају статистичке ентитете и идентификују се као контрасти густине у односу на позадину у фазном простору сопствених елемената кретања, и „сударних фамилија“, које представљају физичку реалност, односно производ појединачних судара међу астероидима, и одбацује се претпоставка о један-један кореспонденцији међу њима; 3. прво се користе сопствени елементи кретања астероида да би се идентификовале динамичке фамилије, а затим се користе све остале расположиве информације, од апсолутних магнитуда и пречника до албеда и индекса боје, да би се фамилије кандидати потврдиле или одбациле.

Процедура се састоји од неколико корака детаљно описаних у Milani et al. (2014) и Knežević et al. (2015). У кратким цртама, прво је потребно сегментирати проблем како би се на ефикасан и поуздан начин могао обухватити цео постојећи волумен података (табела 2 у: Milani et al., 2014). Затим се у централним зонама главног астероидног прстена, у којима се налази највећи број објеката, прво идентификују „језгра фамилија“ која се састоје од најсјајнијих објеката и представљају унутрашње скелете великих фамилија (слика 1 у: Milani et al., 2014). У мање насељеним зонама (у зони Хунгарија астероида, зони иза резонанце 2:1 у средњем кретању са Јупитером и зонама високих путањских нагиба) фамилије се идентификују стандардном методом – директном применом МХГ, без коришћења вишекорачног приступа.

Наредни корак процедуре у централним зонама је класификација астероида слабијег сјаја који нису узети у обзир у претходној фази; ови се придружују претходно идентификованим језгрима фамилија потпуно аутоматским поступком,

при чему је дозвољен само један корак повезивања, односно повезивање са фамилијом само најближих суседа. Ово доводи до тога да се фамилије увећавају по апсолутној магнитуди, односно величини чланова, али не и у простору сопствених елемената, а нарочито не по сопственој великој полуоси.

Тзв. „међупозадина“, дефинисана као скуп свих објеката који нису придружени фамилијама у претходним фазама процедуре, користи се затим у следећој фази. Притом се астероиди већ класификовани као чланови неке од фамилија уклањају из каталога, који се онда тако редукован користи за нови круг класификације. Фамилије идентификоване у овој фази могу да буду потпуно независне од претходно идентификованих, или могу да се делимично преклапају са већ идентификованим језгрима, па представљају њихове сателите.

Затим се на све фамилије идентификоване у претходним фазама поново примењује аутоматско придруживање са једним кораком повезивања. Овде се често деси да изванредан број астероида буде класификован у две или више фамилија, па се ти астероиди посебно воде као елементи у скупу „пресека“. Више оваквих пресека између појединих фамилија указује на те фамилије као на кандидате за евентуално спајање у јединствену фамилију.

Последњи корак процедуре за класификовање астероида у фамилије мотивисан је већ поменутих брзим растом броја астероида са израчунатим сопственим елементима. Тај корак се састоји у ажурирању класификације сваки пут када се ажурира каталог синтетичких сопствених елемената. Оно што се понавља је аутоматско придруживање са једним кораком повезивања, док листа идентификованих фамилија и њихових раније идентификованих чланова остаје неизмењена.

Када се ова процедура примени у целини, одржавање класификације захтева примену следећих процедура:

- редовно: понављање придруживања новооткривених астероида познатим фамилијама сваки пут када се значајније увећа каталог синтетичких сопствених елемената;
- повремено: анализа листе идентификованих фамилија – потврђивање оних за које се потврди статистичка значајност, одбацивање оних за које се утврди да представљају само статистичка колебања, одлучивање о могућим спајањима ако се увећа број пресека или ако

се појаве други подаци који дају довољно разлога за такву одлуку;

- ретко: понављање комплетне класификације.

Вишекорачна процедура се већ неко време успешно користи, а њоме добијена листа астероидних фамилија и њихових чланова, као и одговарајући софтвер, доступни су на сајту AstDyS сервиса.

3. Судари астероида са Земљом

Често се у јавности може чути приговор да истраживања у области фундаменталних наука, а међу њима и астрономије, најчешће немају никакву непосредну примену, не доносе очигледан, брз добитак за појединца или бољитак за ширу заједницу и отуда у очима лаика представљају пре трошак него инвестицију. Поштено говорећи, то и јесте често у доброј мери тако, јер откриће Хигсовог бозона, гравитационих таласа или супермасивне црне рупе у центру галаксије ни на који начин неће утицати на тренутно стање на берзама или национални доходак држава чији су научници остварили та открића. Могу се, међутим, као добри супротни примери навести и она фундаментална истраживања чије би успешно окончање у потпуности изменило свет и решило неке од његових највећих проблема – да, остајући у области физике, помемемо само решавање проблема суперпроводности на собној температури или контролисане нуклеарне фузије.

Један пример где фундаментална истраживања у области астрономије, односно једне од њених класичних дисциплина – небеске механике, имају и те како конкретну непосредну примену у вези је са питањем безбедности наше планете Земље и људске врсте на њој. Тема глобалне безбедности је, иначе, већ дуже време присутна у научним круговима, али и у медијима, анализирају се ризици и предузимају превентивне мере против разних претњи природног и антропогеног порекла, а потенцијално катастрофалног учинка. Међу такве глобалне ризике спада и ризик од удара већег астероида или комете у нашу планету (види, на пример, *Napier, 2011*).

Чињеница да је наша планета изложена ризику од катастрофалног судара са неким од малих тела Сунчевог система, астероидом или кометом, већ дуго је позната, али је тек у неколико последњих деценија добила на значају када су судари

међу телима у Сунчевом систему препознати као један од главних еволуционих механизма који су у знатној мери утицали на примордијалне популације ових тела и, заједно са динамичким еволуционим механизмима, обликовали систем какав познајемо данас. Притом су астрономска посматрања високе осетљивости и тачности указала на постојање знатног броја малих тела са путањама које их доводе у близину Земље (Near Earth Asteroids – NEA). Убрзо затим су и неки догађаји у даљој и ближој геолошкој прошлости Земље повезани са ударима небеских тела (удар који је направио кратер Chicxulub у Мексичком заливу, пречника 180 km и дубине 20 km, и изазвао изумирање великог броја врста, укључујући и диносаурусе, на граници између геолошких раздобља креде и палеогена пре око 66 милиона година), а и недавни пад метеорита у области руског града Чељабинска и његове драматичне последице јасно су показали да је ризик, колико год био мали, ту и да би га требало детаљно изучити, а претњу човечанству свести на најмању могућу меру.

Задатак који се поставио пред астрономском научном заједницом био је да се што пре открије бар 90% свих астероида који долазе близу Земље и који могу, било у садашњем времену или у будућности, да представљају опасност по нашу планету. Наравно, због чињенице да су путање неких од ових небеских пројектила такве да их је са Земље немогуће уочити (на пример, зато што нам прилазе из правца Сунца), није могуће открити све потенцијално опасне астероиде, али је зато откривањем и прецизним карактерисањем оних који су доступни нашим посматрањима могуће ризик свести на минимум. Америчка свемирска агенција NASA, а затим и европска ESA, успоставиле су посебне посматрачке програме⁶ у којима учествује више опсерваторија широм света, док у обради посматрања, одређивању орбита и процени ризика од удара новооткривених тела учествује неколико специјализованих рачунских центара у САД и Европи. Један од водећих таквих

⁶ У првој фази ових програма посматрања су била усмерена на откривање објеката већих од 1 km у пречнику, чији би удар у Земљу изазвао катастрофу континенталних размера, и тај задатак је успешно реализован. Сада је у току друга фаза у којој је пажња усмерена на објекте веће од 140 m пречнику, јер се сматра да удар објеката изнад ове критичне величине у водену површину (вода прекрива 70% површине Земље) може да изазове разорни цунами који би на растојањима и до 1.000 km од места удара могао да уништи океанска обална подручја.

центра лоциран је на Универзитету у Пизи (Италија), где се даноноћно прате нова открића, врше одговарајући прорачуни и ажурира тзв. Risk Page, страница на сервису NeoDyS⁷ са подацима о свим астероидима који имају и најмању вероватноћу судара са Земљом у наредних сто година. У развоју неких метода које се користе за рачун орбита у оквиру овог сервиса имао сам прилике да и сам учествујем.

Па како, дакле, функционише тај сервис и како се врши процена ризика од удара сваког новооткривеног објекта? Овај опис покушаћу да илуструјем примером једног од најпознатијих астероида за који се у једном тренутку процењивало да постоји релативно велика вероватноћа судара са Земљом – примером астероида (99942) Apophis. Да се ради о озбиљној претњи безбедности наше планете може се закључити из чињенице да је реч о објекту од око 300 m у пречнику, чија би кинетичка енергија на уласку у Земљину атмосферу била око 750 мегатона⁸. Према важећим проценама, у просеку се један такав астероид судара са Земљом сваких 80.000 година.

Чим нека од опсерваторија укључених у поменуте посматрачке програме објави откриће новог астероида који пролази поред Земље на малом растојању (што се најчешће може лако проценити на основу брзине којом се објекат креће у односу на нашу планету – што је објекат ближи, веће је његово релативно померање), сви активни сервиси, па тако и NeoDyS, преузимају посматрања и рачунају орбите и одговарајућу вероватноћу судара са Земљом. Ако се нађе да постоји и најмања вероватноћа судара, објекат се поставља на Risk Page, чиме се алармирају посматрачи да кретање таквог објекта треба будно пратити и вршити стална прецизна одређивања његовог положаја, како би се орбита што је могуће тачније одредила и предвиђање евентуалног судара учинило поузданијим.

Астероид (99942) Apophis откривен је на Kitt Peak опсерваторији у САД 19. јуна 2004. године, да би 21. децембра 2004. године прошао поред Земље на безбедном растојању од око 14,5 милиона km. Том приликом су прикупљена посма-

⁷ <http://newton.dm.unipi.it/neodyS/>

⁸ Поређења ради чувени метеорски кратер у Аризони настао је удаљеном чија је енергија била мања од 10 мегатона, а највећа хидрогенска бомба икада детонирана имала је око 57 мегатона. **Chicxulub** удар је процењен на 100 милиона мегатона.

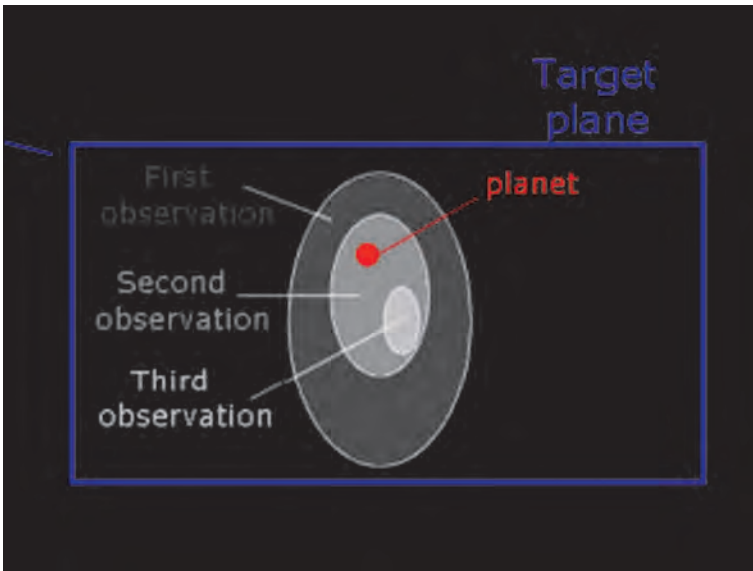
трања која су заједно са накнадно пронађеним архивским посматрањем из марта исте године омогућила одређивање прецизније орбите за више деценија унапред. Астероид је тада постао једна од ударних вести светских медија, јер је израчунато да ће приликом наредног приближења Земљи, 2013. године, додуше проћи релативно близу Земље, али да неће у њу ударити, но да постоји значајна могућност да до судара дође приликом астероидовог новог повратка 2029. године. Првобитно је вероватноћа тог судара оцењена на испод 0,5% (1 у 233), али је убрзо затим повећана на 1,6% (1 у 62), па на 2,2% (1 у 45), да би достигла највећу вредност од 2,7% (1 у 37), а затим пала практично на нулу. Ова вероватноћа у комбинацији са величином астероида довела је до тога да Ароphis буде привремено означен ризичним објектом 4. степена на тзв. Торинској скали⁹ (Torino scale), односно 1,10 на Палермо техничкој скали ударног ризика¹⁰ (Palermo Technical Impact Hazard Scale), скалама које научници користе да би квантификовали опасност по Земљу коју дати астероид представља. Ово су до сада највеће забележене вредности на обе скале које је неки објекат достигао.

Све ове промене дешавале су се у распону од свега неколико дана у којима је астероид интензивно посматран и његова путања све тачније одређивана, а то је за последицу имало прво драматично повећање вероватноће судара, а затим потпуно елиминисање такве могућности. Слика 1 илуструје овај процес. Непосредно по открићу до тада непознатог астероида, путања се одређује на основу малог броја посматрања и грешке путањских елемената су велике. Ако дефинишемо раван која пролази кроз Земљу и нормална је на правац кретања астероида (Target plane), номинална путања астероида одређена методом диференцијалних корекција (методом најмањих квадрата) пролази кроз ту раван на неком малом растојању од центра Земље. Због недовољне тачности тих првих путањских елемената, међутим, постоји у околини номиналне путање још много путања које би, додуше са нешто мањом вероватноћом, могле да буду праве путање опасног објекта: све оне пролазе кроз раван на мањем или већем растојању од номиналне путање, унутар граница тзв. елипсе поверења чија

⁹ http://neo.jpl.nasa.gov/torino_scale1.html

¹⁰ <http://neo.jpl.nasa.gov/risk/doc/palermo.html>

је површина утолико већа уколико су веће грешке путањских елемената, и која у тренутку првог одређивања путање обухвата и нашу планету. Другим речима, унутар те елипсе постоје путање које пролазе управо кроз пројекцију Земље на ту раван и представљају, дакле, могуће сударне путање астероида са Земљом. Када се из положаја астероида добијених из посматрања израчунају путањски елементи и њихове грешке, вероватноћа судара се одређује као однос површине пројекције планете и површине елипсе поверења.



Слика 1. Поправљање путање и промене вероватноће судара астероида са Земљом (извор: Spaceguard foundation, <http://spaceguard.rm.iasf.cnr.it/tumblingstone/dictionary/probability.htm>).

Као што смо већ напоменули, астероид за који се утврди да има незанемарљиву вероватноћу судара са Земљом алармира посматраче и нова посматрања стижу до сервиса. Рачуни се понављају, путања се поправља, грешке путањских елемената се смањују и, на први поглед парадоксално, вероватноћа судара са планетом се увећава. Разлог је наравно тај што се у сваком следећем приближавању, захваљујући смањењу

грешака, смањује и површина елипсе поверења, али ако се Земља и даље налази унутар елипсе, однос њихових површина се, као мера вероватноће судара, увећава. Коначно, када до сервиса стигне довољно нових посматрања па грешке путањских елемената постану довољно мале да се елипса поверења сажме толико да више не обухвата Земљу, нема више могућих путања које пролазе кроз Земљину пројекцију, судар постаје немогућ и вероватноћа пада на нулу.

Блиски прилаз 2013. године омогућио је прикупљање прецизних посматрања, па је било могуће са високом поузданошћу одредити да ће 13. априла 2029. године Apophis ипак само пролетети поред нас, али на изузетно малом растојању од свега 30.000 km, мањем, дакле, од онога на којем се налазе Земљини геосинхрони комуникациони сателити. Овако близак прилаз астероида величине Apophis-а догађа се једном у око 1300 година. Могућност судара за ту прилику је елиминисана, али су се истовремено са нестанком претње за 2029. годину појавиле нове спекулације у вези са могућношћу судара астероида са Земљом 2036. године. Наиме, овако блиски пролаз, какав ће се догодити 2029. године, снажно утиче на путању астероида драстично је мењајући, утолико више што нам овај ближе приђе. Ако би астероид пришао на баш право растојање, његова путања би се променила баш онолико колико је потребно да га врати до нас 2036. године и да до судара дође. Тачна трајекторија астероида 2029. године критична је, дакле, за могући судар 2036. године. Ако би при овом ранијем пролазу астероид прошао баш кроз једну конкретну малу област физичког простора у близини Земље која се назива „кључаоницом“, онда би промена његове путање била таква да би довела до судара оном каснијом приликом. Ако би, међутим, прошао било нешто ближе или нешто даље, судар би био избегнут. Радарска посматрања високе прецизности, такође прикупљена 2013. године, искључила су пролаз кроз кључаоницу 2029. године и омогућила да сасвим поуздано предвидимо да ће нас Apophis 2036. године промашати за читавих 20 милиона километара.

Иако је опасност од судара са астероидом (99942) Apophis отклоњена бар за неко време, да би се са сигурношћу утврдило да ли ће у неком каснијем тренутку (на пример, приликом пролаза 2068. године) овај астероид представљати претњу нашој планети, потребно је у рачунима узети у обзир и неке

додатне факторе, као што је негравитациони ефекат Јарковског или хаотични ефекти као последица блиских прилаза Земљи, чији би и сасвим мали утицај на кретање астероида могао значајно да утиче на вероватноћу судара.

На Risk Page страници сервиса NeoDyS у овом тренутку налазе се подаци за укупно 542 потенцијално опасна објекта које астрономи будно прате и анализирају како би заштитили Земљу и људску врсту на њој од катастрофа које би ови васионски пројектили могли да изазову ако се неки од њих запути према нама. Читаоцу је остављено да сâм, по властитом нахођењу, изведе закључак да ли је ово корисно или некорисно.

Литература

1. Beaugé, C. & F. Roig. *Icarus* 153 (2001): 391;
2. Brož, M., D. Vokrouhlický, A. Morbidelli, D. Nesvorný & W. F. Bottke. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* 414 (2011): 2716;
3. Carruba, V. & T. A. Michtchenko. *Astron. Astrophys.* 75 (2007): 1145;
4. Carruba, V., R. C. Domingos, D. Nesvorný, F. Roig, M. E. Huaman & D. Souami. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* 433 (2013): 2075;
5. Knežević, Z. „Sopstveni elementi kretanja asteroida“. *Glas SANU, CDXXXII, Clas. sci. nat. math.* No 61 (2013): 221;
6. Knežević, Z. “Asteroid Families Identification: History and State of the Art”. *Proceedings IAU Symposium 318: Asteroids: New Observations, New Models* (S. R. Chesley, A. Morbidelli, R. Jedicke & D. Farnocchia, Eds.), Cambridge Univ. Press., 2016, 16;
7. Knežević, Z. & A. Milani. *Celest. Mech. Dyn. Astron.* 78 (2000): 17;
8. Knežević, Z. & A. Milani. *Astron. Astrophys.* 403 (2003): 1165;
9. Knežević, Z. A. Lemaitre & A. Milani. *Asteroids III* (W. Bottke, A. Cellino, P. Paolicchi, & R.P. Binzel, Eds.), Univ. Arizona Press and LPI, 2002, 603;
10. Knežević, Z., A. Milani, A. Cellino, B. Novaković, F. Spoto & P. Paolicchi. “Automated Classification of Asteroids into Families at Work”. *Proceedings IAU Symposium 310: Complex Planetary Systems* (Z. Knežević & A. Lemaitre, Eds.), Cambridge Univ. Press., 2014, 130;
11. Lemaitre, A. & A. Morbidelli. *Cel. Mech. Dyn. Astron.* 60 (1994): 29;
12. Milani, A. *Cel. Mech. Dyn. Astron.* 57 (1993): 59;
13. Milani, A. & Z. Knežević. *Cel. Mech. Dyn. Astron.* 49 (1990): 347;
14. Milani, A. & Z. Knežević. *Icarus* 107 (1994): 219;
15. Milani, A., A. Cellino, Z. Knežević, B. Novaković, F. Spoto & P. Paolicchi. *Icarus* 239 (2014): 46;

-
16. Morbidelli A. *Icarus* 105 (1993): 48;
 17. Morbidelli, A., C. Beaugé, A. C. M Correia, S. Ferraz-Mello, N. Haghighipour, Z. Knežević, S. Mikkola, D. Nesvorný, F. Roig, A. Quillen, D. Scheres and K. Tsiganis. "Commission 7 Legacy Report: 2005–2015". *Transactions IAU*, Volume XXIXA (2016) (T. Montmerle, ed.), Cambridge Univ. Press, 24;
 18. Napier, W. *Global Catastrophic Risks*. (Bostrom, N. & M. M. Cirkovic, Eds.), Oxford Univ. Press, 2011, 220;
 19. Nesvorný, D., D. Vokrouhlický & W. F. Bottke. *Science* 312 (2006): 1490;
 20. Schubart, J. *Astron. Astrophys.* 241 (1991): 297;
 21. Zappalà, V., A. Cellino, P. Farinella & Z. Knežević. *Astron. J.* 100 (1990): 2030;
 22. Zappalà, V., A. Cellino, P. Farinella & A. Milani. *Astron. J.* 107 (1994): 772;
 23. Zappalà, V., Ph. Bendjoya, A. Cellino, P. Farinella & C. Froeschlé. *Icarus* 116 (1995): 291.