

# Докторске студије

## Студијски програм *Астрономија*

Циљеви: Оспособљавање студента за развој и примену научних и стручних достигнућа из области астрономије и оспособљавање за креативан рад

Врста студија: Докторске академске студије

Исход процеса учења: Оспособљавање студента за даље усавршавање и самостални научни и стручни рад

Академски назив: Доктор астрономије

Услови за упис Завршене студије другог степена из области астрономије, астрофизике и математике

Начин извођења 3 године у 6 семестара од по 15 седмица

Начин избора предмета из других студијских програма:  
У оквиру овог студијског програма, студент може највише два изборна предмета заменити предметима са других студијских програма трећег степена који се изводе на Математичком факултету

Услови за прелазак са других студијских програма:  
Студент треба да има одговарајући број положених испита који одговарају испитима из овог студијског програма, односно да оствари потребан број ЕСПБ бодова.

Листа А - обавезни предмети - 1. година	пред.	веж.	мент. рад	ЕСПБ бодови
Специјалне методе обраде посматрања 1	3	0	7	15
Динамичка астрономија	3	0	7	15

**Листа Б - изборни предмети - 1. година, студент бира 2 предмета**

Специјалне методе обраде посматрања 2	3	0	7	15
Одабрана поглавља астрономије	3	0	7	15
Диференцијална геометрија	3	0	7	15
Звездана статистика	3	0	7	15
Звездана динамика	3	0	7	15

**Листа Ц - изборни предмети - 2. година, студент бира 3 предмета**

Аналитичка механика	3	0	7	15
Сателитска астрогеодезија	3	0	7	15
Звездани каталози и фундаменталне астрономске константе	3	0	7	15
Увод у теорију релативности	3	0	7	15
Теорија Земљине ротације	3	0	7	15
Галактичка астрономија	3	0	7	15
Нови инструменти и методе у астрономији	3	0	7	15
Аналитичке методе небеске механике	3	0	7	15
Нумеричке методе небеске механике	3	0	7	15
Теорија кретања великих планета	3	0	7	15
Теорија кретања вештачких сателита	3	0	7	15
Галактичка спирална структура	3	0	7	15
Галактичка радио-астрономија	3	0	7	15
Вангалактичка астрономија	3	0	7	15
Специјалне функције	3	0	7	15
Двојне и вишеструке звезде	3	0	7	15
Астробиологија	3	0	7	15
Астрохемија	3	0	7	15
Археoaстрономија	3	0	7	15
Космологија	3	0	7	15

**Специјални курс - бира се у договору са ментором из области из које је дисертација**

	3	0	7	15
<b>Изrada дисертације (у два семестра)</b>	0	0	20	60

# Садржај предмета

---

## СПЕЦИЈАЛНЕ МЕТОДЕ ОБРАДЕ ПОСМАТРАЊА 1

Фонд 3+0+7

15 ЕСПБ бодова

### Садржај:

Схема опште класификације задатака обраде посматрачких резултата и метода за њихово решавање, са елементима математичке основе. Превасходно нумеричке методе.

Превасходно статистичке методе. Семианалитичке методе.

Структура задатка: (зависна, независна променљива): квантитативна-квантитативна ->

регресија и корелација; квантитативна-јединствено квантитативна -> анализа временских

серија; квантитативна-неквантитативна (ординарна) -> дисперзиона анализа (номиналне

променљиве); квантитативно-мешовито квантитативна -> коваријациона анализа;

квантитативне и неквантитативне -> модели тополошке регресије; неквантитативне -

неквантитативне (ординарне) -> ранг корелација; ординарне променљиве - номиналне

променљиве -> таблице коњугованости; неквантитативне-квантитативне (класификационе или

номиналне) дискриминанте -> кластер анализа таксономија (цепање расподела); мешовите

(квантитативне) - мешовите (квантитативне и неквантитативне) -> логичке функције

решивости; Ограничења у астрономској пракси. Униформни генератори случајних бројева;

генератори шума.

*Литература:*

S.A. Aivazyan et al., Applied Statistics - study of relationships, 1985;

I. A. Fransis, A survey of statistical Software, 1983;

U. Grenander and M. Rosenblatt, Statistical analysis of stationary time series, 1966;

Trumpler and Weaver, Statistical Astronomy, 1953.

---

## СПЕЦИЈАЛНЕ МЕТОДЕ ОБРАДЕ ПОСМАТРАЊА 2

Фонд 3+0+7

15 ЕСПБ бодова

### Садржај:

Анализа и спектрална анализа; анализа временских серија; рекапитулација конвенционалних

метода; SINC функција; Wavelet-i; MMEи MMV методе; уопштене LSQ методе; развој

дириговане методе обраде непознатих података; сонограми; сонификација пулсара;

трилинеарна интерполација и ефемеридски рачуни;

Специјалне апроксимације и специјалне функције; нелинеарне LSQ методе; расподеле и

статистике; дводимензионални FFT; специјалне линеарне методе; звездане статистике;

галактичке статистике; статистике аналитичких решења; флексибилне методе изравнања

посматрања; WRV метода; ланчана метода

Простор боја и ограничења процесирања лика; методе композиције, компресије и

визуелизације ликова; *raw-tracing* формати и конвенције грид индексирања; просторни модели

3D2S; фрактални рачуни; соленоидни и звездасти фрактали у изучавању слабих и јаких поља;

тополошке базе и подаци о небеским телима и системима.

*Литература:*

U. Grenander and M. Rosenblatt, Statistical analysis of stationary time series, 1966;

T. Anderson, Time series Statistical analysis, 1975;

A. Albert, Regresija, psevdoregresija i rekurentnoe ocenivanije, 1977;

H. Moritz, Advanced physical geodesy, 1980; P. Bourke, Image and data processing, 2004;

P. Lena, Image processing, 1992.

---

## ДИНАМИЧКА АСТРОНОМИЈА

Фонд 3+0+7

15 ЕСПБ бодова

### Садржај:

Поредак и хаос у општем смислу у Универзуму. Терминологија и класификација. Динамички системи. Интеграбилни, хаотични, ергодички, Колмогоров и Аносов системи. Стара и нова класификација. Трећи интеграл. КАМ теорија. Нехорошев теорија. Периодичне путање. Системи са два степена слободе. Транзиција од поредка до хаоса. Дисипативни и конзервативни системи. КАМ торуси.

Својства. Методе за лоцирање

Динамички спектри. Љапуновљеви карактеристични бројеви. Угаони спектар. Разликовање уређеног и хаотичног кретања. Анализа фреквенција.

Системи са три степена слободе. Једноставни 3Д системи. Квалитативне промене у 3Д системима.

Фрактали. Једноставни фрактали. Мултифрактали.

Поредак и хаос у галаксијама. Путање у 2Д галаксијама. Типови путања. Главне резонанце.

Епицикличне путање. Кратко и дугопериодичне путање.

Орбите у 3Д галаксијама. Главне фамилије. 'Waгged' и 'buckled' галаксије. 'Peanut' и 'box' галаксије.

Хаотичне путање.

Интеграбилни и неинтеграбилни галактички модели. Трећи интеграл у спиралним галаксијама и галаксијама са пречком. Теоријско објашњење бифуркација. Теорија таласа густине.

Галаксије са контраротацијом. Гравотермална катастрофа. Глобална динамика галаксија.

Динамички спектри галаксија. Динамички спектри хамилтонијанских система. Динамички спектри осцилирајућих галаксија.

Релативистички хаос. Хаос у случају две фиксиране црне рупе. Поређење са класичном теоријом. Хаос у различитим релативистичким проблемима.

Теорија хаоса у космологији. Миксмастер космологија. Неинтеграбилност миксмастер модела. Хаос и поредак у другим космолошким моделима.

### *Литература:*

George Contopoulos: Order and Chaos in Dynamical Astronomy, Springer, 2002

---

## ОДАБРАНА ПОГЛАВЉА АСТРОНОМИЈЕ

Фонд 3+0+7

15 ЕСПБ бодова

### Садржај:

Историјски увод. Небеска механика. Статистичка механика. Динамичка астрономија. Компјутерски експеримент.

Структура Сунчевог система. Њутон закон гравитације. Ресонанце у Сунчевом систему. Комензурабилност.

Проблем два тела. Једначине кретања. Положаји и брзина на путањи. Средње и ексцентричне аномалије. Барицентричне путање. Поремећаји путања. Хамилтонијанска формулација.

Рестриковани проблем три тела. Једначине кретања. Јакобијев интеграл. Tisserand релација.

Лагранжеве тачке еквилибриума, њихова локација и стабилност. Кретање у околини L4 и L5.

Путање. Тројна тела и сателити : Јанус и Епиметеус. Хилове једначине.

Плимске силе, ротација и облик. Теорија потенцијала. Плимска деформација. Ротациона деформација. Darwin Radau релација. Облици и унутрашња структура сателита. Roche зона.

Плимске загревање сателита Ио. Плимске силе на Титану. Плимска еволуција. Двосинхронско стање.

Ротационо орбитално спрезање. Перманентни квадруполни момент. Ротационо орбитална резонанца. Присилне либрације.

Функција поремећаја. Развој преко Legendre полинома. Аналитички развој путањских елемената до другог реда. Чланови везани са специфичним аргументима. Лагранге једначине. Класификација аргумената у поремећајној функцији.

Секуларни поремећаји. Секуларни поремећаји за две планете. Јупитер и Сатурн. Gauss метод. Уопштени секуларни поремећаји. Секуларна теорија Сунчевог система. Hirayama фамилије. Секуларне резонанце.

Резонантни поремећаји. Геометрија резонанце. Физика резонанци. Варијација путањских елемената. Модел клатна Хамилтонијански приступ. Резонантни сусрети. Резонанца у проблему два тела у Сунчевом систему. Резонантни сусрети у системима сателита. Резонанца у проблему три тела. Laplace резонанца. Секуларно и резонантно кретање.

Хаос и еволуција на дугом временском периоду. Иницијални услови. Регуларне и хаотичне путање. Алгебарско мапирање. Нептун Плутон систем. Стабилност Сунчевог система.

Планетски прстени. Резонанце у прстену. Сатурнови прстени. Нептунов прстен. Еволуција прстена. Земљин прстен прашине.

### Литература:

C.D. Murray and S.F. Dermott: 2001, *Solar System Dynamics*, Cambridge Univ. Press

---

## ДИФЕРЕНЦИЈАЛНА ГЕОМЕТРИЈА

Фонд 3+0+7

15 ЕСПБ бодова

### Садржај:

Параметризоване криве. Природна параметризација. Кривина и покретни репер. Основна теорема за криве. Површи. Прва и друга фундаментална форма. Криве на површи. Главна, Гаусова и средња кривина. Геодезијске линије. Паралелно померање. Диференцијалне многострукости. Тангентни простор многострукости. Леви-Цивита повезаност и коваријантно диференцирање. Геодезијске. Риманов тензор кривине.

### Литература:

Новица Блажић и Неда Бокан: *Увод у диференцијалну геометрију*, Математички факултет, Београд (1996).

---

## ЗВЕЗДАНА СТАТИСТИКА

Фонд 3+0+7

15 ЕСПБ бодова

### Садржај:

Координате звезда, физичке карактеристике звезда - хемијски састав и маса - индикатори хемијског састава, металичност, расподела звезда по металичности, звездана величина и луминозност звезде, расподела звезда по апсолутним величинама, концентрација звезда, расподела звезда по масама, густина у звезданом систему, допринос међузвездане материје густини, статистичко одређивање укупне масе звезданог система, симетрија у звезданом систему - сферна симетрија, обртна симетрија, троосна симетрија.

Основни појмови звездане кинематике, Средња брзина и центроид, својствена брзина, расподела по својственим брзинама, фазни простор, фазна концентрација и њена веза са концентрацијом звезда

### Литература:

Куликовски, П. Г. *Звездана Астрономија*, 1985, Москва.

---

## ЗВЕЗДАНА ДИНАМИКА

Фонд 3+0+7

15 ЕСПБ бодова

### Садржај:

Силе у звезданим системима- регуларне и ирегуларне. Једначина кретања. Поасонова једначина. Интегрални кретања. Симетрија - сферна, обртна и троосна. Болцманова једначина; хидродинамичке једначине. Ирегуларне силе. Кретање у убрзаном референтном систему. Плимске силе, Плимски полупречник. Време релаксације. Дисипација система. Таласи густине, спирална структура.

### Литература:

Binney, J. Tremaine, S.: 1987, *Galactic Dynamics*, Princeton University Press.

---

## АНАЛИТИЧКА МЕХАНИКА

Фонд 3+0+7

15 ЕСПБ бодова

### Садржај:

Аналитичка динамика као надоградња Њутнове механике. Кинематика референтних система (укључујући системе који ротирају), динамика система тачака, Лагранжова и Хамилтонова динамика и динамика крутог тела. Формулисање једначина кретања за сложене механичке системе и методе за решавање ових једначина. Динамика хаоса и специјална теорија релативности.

Даламберов принцип, Хамилтонови принципи, Хамилтон – Јакобијеве једначине. Кинематика и динамика крутих тела, стабилност динамичких система, Гибс – Апелове једначине и Канеове једначине, Канонске трансформације. Хамилтонов формализам. (Хамилтонов формализам: Спољашње форме. Спољашње множење. Диференцијалне форме. Интегралне диференцијалних форми. Спољашње диференцирање.

Симплектичка структура на котангентном раслојењу. Хамилтонова векторска поља и њихове инваријанте. Лиова алгебра Хамилтонових функција: Поасонове заграде. Јакоби – Поасонова теорема о првим интегралима.

Стоксова лема на непарнодимензионалној многострукости. Канонске (Хамилтонове) једначине као диференцијалне једначине роторских линија. Поенкаре - Картанова интегрална инваријанта. Поенкареова универзална интегрална инваријанта.

Канонске трансформације. Слободне канонске трансформације. Критеријуми каноничности трансформација (Лагранжеве заграде). Инваријантност Поасонових заграда у односу на канонске трансформације.

Хамилтон - Јакобијева једначина. Методе решавања Хамилтон – Јакобијеве једначине.

Лиувилова теорема о интегралности Хамилтонових система. Променљиве дејство – угао.)

### Литература:

F. R. Gantmaher: ANALITIČKA MEHANIKA (prevod sa ruskog), Zavod za izdavanje udžbenika, Beograd 1965.

V. I. Arnoljd: МАТЕМАТИЧКЕ МЕТОДЕ КЛАСИЧНЕ МЕХАНИКЕ (na ruskom) „ Nauka“, Moskva 1979. (Postoji i na engleskom).

J. I. Nejmank i N. A. Fufajev; ДИНАМИКА НЕХОЛОНОМНИХ СИСТЕМА, „Nauka“, Moskva 1967.

Woodhouse; Introduction to Analytical Dynamics.

---

## САТЕЛИТСКА АСТРОГЕОДЕЗИЈА

Фонд 3+0+7

15 ЕСПБ бодова

### Садржај:

Наменски сателити; класификација. Инструменти и опрема; посматрачки системи; доплери; ласери; ласерско даљиномерје: LLR, SLR, SSR; радио-телескопи; интерферометарски системи; специјалне камере и телескопи; понтирање и позиционирање; транслокација; релативно позиционирање; радарска алтиметрија; потенцијалне поврси и модели; светски геодетски системи; систем NAVSTAR и GPS; систем GLONASS; алтернативни системи; прилог: елементарна астродинамика; дисипативне силе; гравиметрија и градиометрија.

### Литература:

K Seidelman et al., Explanatory supplement of astronomical almanac, 1992

S. Šegan, Astronomske efemeride, 2006. V. Kaula, Satellite geodesy, 1966

---

## ЗВЕЗДАНИ КАТАЛОЗИ И ФУНДАМЕНТАЛНЕ АСТРОНОМСКЕ КОНСТАНТЕ

Фонд 3+0+7

15 ЕСПБ бодова

### Садржај:

Увод; Звездани каталози и стварање нормалних система; базни системи и фундаментални системи; Међународна астрономска унија и конвенције; историјски преглед резолуција и концепти; Изведени каталози и каталози посебне намене; надградња каталога; модерни експериментални процеси и базни системи; FK5 каталог; екстензија FK5 каталога; Хипархос каталог; Тихо-2 каталог; IRS, ACRS, Тихо-1, PPM, GC, AC, CCD AC ... каталози; Историја прегледа неба; прегледи неба; каталози двојних звезда; спектрозонални каталози; каталози електромагнетских карактеристика звезда; Пројекти и перспективе: CIPRSS, UCAC, и сл. Каталог Месјеових објеката; каталог остатака супернових; каталози звезданих јата; каталози галаксија и јата галаксија и сл.

Фундаменталне астрономске константе; изведене константе; историјске процедуре и савремене резолуције; одрживост и трајање система фундаменталних константи.

---

## УВОД У ТЕОРИЈУ РЕЛАТИВНОСТИ

Фонд 3+0+7

15 ЕСПБ бодова

### Садржај:

СПЕЦИЈАЛНА РЕЛАТИВНОСТ. Принцип релативности. Брзина простирања интеракције. Четворовектори: положај и импулс. Lorentz-ове трансформације. Принцип најмањег дејства, Лагранжијан. Lagrange-еве јеначине кретања. Електродинамика. Електромагнетни потенцијали. Лагранжијан електромагнетног поља и коваријантни запис Maxwell-ових једначина.

Градијентна инваријантност. Честица у електромагнетном пољу.

ОПШТА РЕЛАТИВНОСТ. Честица у гравитационом пољу. Криволинијске координате, растојања и интервали времена. Метрика. Коваријантни извод, Christoffel-ови симболи.

Лагранжијан честице у гравитационом пољу и једначине кретања. Гравитационо поље. Тензор кривине. Лагранжијан гравитационог поља. Тензор енергије-импулса. Einstein-ове једначине.

Решења Einstein-ових једначина у вакууму. Сферно симетрично гравитационо поље.

Њутновски лимес, опсервабилни ефекти опште теорије релативности. Schwarzschild-ово решење: хоризонт догађаја, црне рупе. Гравитациони таласи. Космологија. Космолошки принцип. Friedmann-ова једначина. Инфлација.

### Литература:

L. D. Landau, E. M. Lifšic: *Teorija polja*, Nauka, 1973.

R. d'Inverno: *Introducing Einstein's relativity*, Clarendon Press, 1992.

S. Weinberg: *Gravitation and Cosmology*, J. Wiley, 1972.

C. W. Misner, K. S. Thorne, J. M. Wheeler: *Gravitation*, Freeman, 1973.

---



---

## ТЕОРИЈА ЗЕМЉИНЕ РОТАЦИЈЕ

Фонд 3+0+7

15 ЕСПБ бодова

### Садржај:

Прецесија, нутација и кретање полова. Основни динамички принципи. Деформације. Бројеви Лава и с њима повезани коефицијенти. Оператори Лава и комплексни бројеви Лава. Решења једначине Лиувиле. Геометријска интерпретација решења. Промена географске ширине. Промена географске дужине. Сезонске и друге краткостројне варијације. Геофизичка и негеофизичка кретања. Сезонске осцилације. Непрекидни спектар. Чендлерово кретање полова. Дисипација. Вековне варијације. Земљина плима. Океанске плиме. Атмосферске плиме. Геолошке варијације. Садашњи положаји полова. Океанска функција.

### Литература:

Munk, W.H., MacDonald, G.T.F., 1960, *The rotation of the Earth. A geophysical discussion*, Cambridge Univ. Press

Lambeck, K., 1980, *The Earth's variable rotation: geophysical causes and consequences*, Cambridge Univ. Press

Moritz, H., 1980, *Advanced physical geodesy*, Abacus Press Turnbridge Wells Kent

---

## ГАЛАКТИЧКА АСТРОНОМИЈА

Фонд 3+0+7

15 ЕСПБ бодова

### Садржај:

У предмету се проучава структура и динамика наше Галаксије или Млечног пута (МП). Ту су још и две краће целине: еволуција МП и Локална група галаксија (ЛГГ).

У оквиру структуре МП проучавају се његова статистика и кинематика. У првом делу се објашњавају методи за тродимензионо пребројавање звезда и извођење законитости просторне расподеле; такође се утврђује и скала растојања у МП са растојањем од Сунца до осе галактичке ротације као основном величином. Дискутују се и расподеле звезда по две њихове основне физичке карактеристике: маси и металности. У кинематици се дефинишу главни параметри кинематичке функције расподеле (за фазни простор). Даље се излажу особености кинематике МП у близини Сунца (појмови као што су апекс Сунчевог кретања, елипсоид брзина, итд.) Ради се поређење статистичких и кинематичких података и дефинише појам подсистема МП. У глобалној кинематици МП обрађује се крива ротације.

Динамика МП се разматра у два дела. У првом се излаже локална проблематика (Сунчева околина) усмерена на објашњавање кинематичких појава. У другом делу се даје обрада криве ротације, изводи се расподела масе, обрађује потенцијал са нагласком на његов аналитички облик и израчунавање галактоцентричних путања. Обрађују се и проблеми тамне материје и средишњих делова МП са великом густином.

У завршном делу приказују се основне концепције еволуције МП, а, с обзиром да је МП члан ЛГГ, укратко се обрађују структура, кинематика и динамика овог система галаксија.

### Литература:

Марочник, Л. С. Сучков А. А. *Галактика*, 1984, Москва.

---

## НОВИ ИНСТРУМЕНТИ И МЕТОДЕ У АСТРОНОМИЈИ

Фонд 3+0+7

15 ЕСПБ бодова

### Садржај:

Увод: општа теорија; основне једначине; Инструменти и методе наземне и ванземне астрономије; инструменти високог и ниског енергетског биланса; целосветски телескопи и интерферометрија: оптичка и радио; инструменти и методе инфра области спектра; инструменти и методе космичког  $x$  и гама-зрачења; адаптивна оптика и интервенције у теорији инструмената; системи астрономских праћења и регистрације; комбиновани системи; правци развоја и компарација; нискоенергетски инструментски системи и гравитациони телескопи.

### Литература:

P. Bourke, Image and data processing, 2004, ESO Special report 2006.

---

## АНАЛИТИЧКЕ МЕТОДЕ НЕБЕСКЕ МЕХАНИКЕ

Фонд 3+0+7

15 ЕСПБ бодова

### Садржај:

**Лагранжова механика.** Решавање једначина кретања у проблему  $N$  – тела. Кеплеровски, несингуларни и канонички елементи кретања. Функција поремећаја: развој у ред. Лапласови коефицијенти. Линеарна теорија секуларних поремећаја. Каноничке трансформације. Генератриса трансформације.

**Хамилтонова механика.** Хамилтонијански системи и проблем два тела. Поремећај у Хамилтонијанској форми. Интеграбилни Хамилтонијани. Променљиве типа дејство – угао. Интеграбилна динамика. Увод у теорију поремећаја. Редови Lie-а. Проблем малих именилаца; нормалне форме. Поремећаји вишег реда. Усредњавање по средњим кретањима: секуларне нормалне форме и резонантне нормалне форме. Секуларна динамика. Хаотично секуларно кретање планета. Динамика осе ротације. Линеарна интеграбилна апроксимација секуларне динамике малих тела. Козаијева интеграбилна апроксимација. Сопствени елементи кретања. Астероидне фамилије. Секуларне резонанце. Резонанце у средњем кретању. Упрошћена интеграбилна апроксимација: механизам заштите од судара. Случај резонанце 1:1. Преклапање резонанци у средњем кретању. Резонантни мултиплети. Апроксимација модулисаног клатна. Резонанце између три тела. Директни ефекат. Индиректни ефекат. Астероидни проблем. Резонантни мултиплети. Примена на кретање астероида у транснептуној зони. Хаотична динамика.

### Литература:

Brouwer, D. and Clemence, G. M. (1961) *Methods of Celestial Mechanics*, Acad. Press, New York  
Morbidelli, A. (2001) *Modern Celestial Mechanics; Aspects of Solar System Dynamics*, Taylor & Francis/Cambridge Scientific Publishers

---

## НУМЕРИЧКЕ МЕТОДЕ НЕБЕСКЕ МЕХАНИКЕ

Фонд 3+0+7

15 ЕСПБ бодова

### Садржај:

Диференцијалне једначине кретања небеских тела и њихове карактеристике. Поремећајни фактори. Једначине и варијације правоуглих координата и параметарских променљивих. Методе на основи Тејлоровских развоја. Методе типа Рунге-Кута високих редова. Алгоритми Еверхарта. Екстраполационе методе. Симплектички интегратори и конструкција алгоритама високе тачности.

### Литература:

Т. В. Бордовичина: *Современные численные методы в задачах небесной механики*, Наука, Москва, 1984.

Одабрани чланци из научних часописа

---

## ТЕОРИЈА КРЕТАЊА ВЕЛИКИХ ПЛАНЕТА

Фонд 3+0+7

15 ЕСПБ бодова

### Садржај:

Историјски преглед теорије кретања великих планета. Поремећајне теорије и открића Урана и Нептуна. Стабилност и хаос у кретању великих планета. Савремене нумеричке теорије кретања великих планета. Теорије кретања високе прецизности (ефемериде). Најзначајније резонанце у планетском систему и миграција планета.

### Литература:

Одабрани чланци из научних часописа

---

## ТЕОРИЈА КРЕТАЊА ВЕШТАЧКИХ САТЕЛИТА

Фонд 3+0+7

15 ЕСПБ бодова

### Садржај:

Земљино гравитационо поље; поље централних сила; први интегрални оскулаторних орбита; једначине оскулаторног кретања; Ојлерови елементи оскулаторних орбита и њихове диференцијалне једначине; поремећаји од зоналних хармоника; поремећаји од тесералних и секторских хармоника; Луни-Соларни поремећаји; конзервативне и дисипативне силе; поремећаји услед отпора атмосфере; поремећаји услед притиска зрачења; остали поремећаји; маневри на орбити; висински маневри.

Животни век сателита; остаци и отпади; гравитациони прстени остатака и отпада

Прегледи вештачких небеских тела.

Конвенције и статистике.

### Литература:

King-Hele: *Satellite orbits in an atmosphere*;

Andrea Milani et al.: *Non-gravitational perturbations and satellite geodesy*;

E.P. Aksenov: *Teorija dvizenija iskustvenih sputnikov Zemlji*;

S. Herrik: *Astrodinamics (t.1-3)*;

V.V. Beleckij: *Ocerki o dvizenii nebeskih tel*;

G.N Dubosin: *Dvizenie iskustvenih sputnikov Zemlji*;

J. Lazovic: *Teorija kretanja ZVS*

---

## ГАЛАКТИЧКА СПИРАЛНА СТРУКТУРА

Фонд 3+0+7

15 ЕСПБ бодова

### Садржај:

СТРУКТУРА ГАЛАКСИЈЕ.

**Централна област.** Звездани "овал" са гасовитим диском. Језгро.

**Диск.** Звезде у пољу диска. Расејана звездана јата. Асоцијације. Груписање младих звезда.

Међузвездана средина. Спирална структура.

**Хало.** Звезде халоа. Глобуларна звездана јата.

**Квазистационарни модели.** Политропски модели. Крива ротације и маса Галаксије. Шмитов модел. Други модели. Вертикална структура диска. Тамна материја.

ПУТАЊЕ ЗВЕЗДА ГАЛАКТИЧКОГ ДИСКА.

Епицикличка апроксимација. Стабилност кружних путања. Стабилност звезданих кондензација у Галаксији.

ГРАВИТАЦИОНА НЕСТАБИЛНОСТ.

**Анализа малих поремећаја.** Спектрални метод. Метод интегралних трансформација.

Нестабилност међузвездане средине. Џинсов критеријум. Карактер еволуције дугих таласа.

ТАЛАСНА ТЕОРИЈА СПИРАЛНЕ СТРУКТУРЕ.

Опис спиралног поремећаја. Модел бесконачно танког диска. Реакција гасовитог диска.

Резонанце. Поље брзина таласа. Асимптотско решење Поасонове једначине за мале поремећаје.

Стабилност гасовитог и звезданог диска. Групна брзина спиралних таласа. Теоријски модели и посматрања.

Литература:

Biney, J., Tremaine, S.: 1987, *Galactic Dynamics*, Princeton Univ. Press.

---

## ГАЛАКТИЧКА РАДИО-АСТРОНОМИЈА

Фонд 3+0+7

15 ЕСПБ бодова

**Садржај:** Изглед радио-неба. Механизми одговорни за стварање радио-зрачења.

Синхротронско зрачење. Заочно зрачење. Механизми који слабије утичу на укупну количину детектабилног радио-зрачења. Основне дефиниције. Радио-телескопи. Најзначајнији резултати радио-астрономских посматрања објеката у Галаксији.

Литература:

1. Rohlfs, K. & Wilson, T.L.: 1996, *Tools of Radio Astronomy (second completely revised and enlarged edition)*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.

2. Urošević, D. i Milogradov-Turin, J.: 2006, *Teorijske osnove radio-astronomije*, рецензиран рукопис у припреми за штампу.

3. Verschuur, G.L. & Kellermann, K.I. (editors): 1988, *Galactic and Extragalactic Radio Astronomy (second edition)*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.

---

## ВАНГАЛАКТИЧКА АСТРОНОМИЈА

Фонд 3+0+7

15 ЕСПБ бодова

### Садржај:

Вангалактичка астрономија – преглед са историјским освртом (емисионе маглине и галаксије, прва представе о Млечном пут, Хаблов закон)

Астрометријска мерења (положај, кретања и координатни системи, одређивање растојања из брзина, магнитуда и колор-индекс, космолошки црвени помак, космолошки црвени помак и растојање, космолошка растојања)

Структура Васионе на великим скалама растојања (галаксије – особине, морфологија и еволуција, активна галактичка језгра, галактичка јата, међугалактичка материја, тамна материја)

Кинематика вангалактичких система (Теорије потенцијала – сферни и елипсоидни системи, динамика диска и спиралних структура, судари галаксија)

Феномен гравитационих сочива (Гравитациона сочива – природа феномена, јака и слаба гравитациона сочива, микро и мили гравитациона сочива, употреба гравитационих сочива у истраживањима вангалактичких објеката, гравитациона сочива и космологија)

Посматрачки аспекти вангалактичке астрономије (позадинско зрачење, галаксије на великом космолошком помаку, груписање галаксија на великим скалама)

Каталози и базе података (уознавање са великим базама података као што су SDSS, HyperLeda, NED, итд., употреба података из великих база, начин класификације вангалактичких објеката, одређивање фотометријског црвеног помака, одређивање црвеног помака из апсорпционих и емисионих линија).

### Литература:

Binney, J. & Merrifield, M. 1998, *Galactic Astronomy*, Princeton University Press, Princeton, New Jersey

Sparke, L.S., Gallagher, J.S 2000, *Galaxies in the Universe: An Introduction*, Cambridge University Press, Cambridge

Peacock, J.A. 1999, *Cosmological Physics*, Cambridge University Press, Cambridge

Zakharov, A. F. 1997, *Gravitacioni linzi*, Yunis, Moskva

Jovanovic, P. 2006, *Uticaj gravitacione sociva na spektre kvazara*, Zaduzbina Andrejevic, Beograd

Binney, J. & Tremaine, S. 1994, *Galactic Dynamics*, Princeton University Press, Princeton, New Jersey

---

## СПЕЦИЈАЛНЕ ФУНКЦИЈЕ

Фонд 3+0+7

15 ЕСПБ бодова

### Садржај:

Ортогонални полиноми, специјално Чебишева, Лагера, Лежандра и Хермита. Беселове функције. Веза са једначинама математичке физике. Хипергеометријски ред. Гама функција у комплексној равни.

### Литература:

Whitaker & Watson *Modern Analysis*

---

## ДВОЈНЕ И ВИШЕСТРУКЕ ЗВЕЗДЕ

Фонд 3+0+7

15 ЕСПБ бодова

### Садржај:

**Историјат.** Почети изучавања двојних звезда.

**Класе двојних звезда.** Визуелно двојне звезде. Спектроскопски двојне звезде. Еклипно двојне звезде. Тесно двојне звезде.

**Методе посматрања.** Микрометарска мерења. Фотографски положаји. Интерферометријска посматрања. CCD мерења. Магнитуде компонената двојних звезда.

**Рачун орбита.** Релативни положаји визуелно двојних звезда. Права орбита. Привидна орбита. Геометријски елементи. Динамички елементи. Израчунавање елемената орбита двојних звезда. Израчунавање ефемерида. Корекције орбита. Формуле за диференцијалне поправке. Израчунавање маса. Динамичке паралаксе. Израчунавање апсолутног сјаја компонената система. Коришћење релације маса-сјај. Елементи спектроскопских орбита. Комбинација спектроскопска-визуелна орбита. Фотометријске двојне звезде и криве сјаја. Концепти одређивања фотометријских орбита.

**Методе одређивања орбита:** Ковалског, Тил-Инес-ван ден Бос-а, Докоба, спектроскопске и фотометријске.

**Референтни подаци и каталози.** Базе података: The Sixth Catalog of Orbits of Visual Binary Stars, The Washington Visual Double Star Catalogue, The Fourth Catalog of Interferometric Measurements of Binary Stars, The Photometric Magnitude Difference Catalog.

**Вишеструки системи. Системи од посебног интереса.**

**Значај проучавања двојних звезда.** Одређивање параметара: масе, радијуси, температуре. Изучавање еволуције и стабилности двојних и вишеструких система.

*Литература:*

Heintz, W.D., 1978, Double Stars, D. Reidel Publishing Company

Couteau, P., 1978, L'observation des etoiles doubles visuelles, Flammarion, (превод на руски: Москва 1981)

Субботин, М.Ф., 1968, Введение в теоретическую астрономию, Наука, Москва, 341-365.

---

## АРХЕОАСТРОНОМИЈА

Фонд 3+0+7

15 ЕСПБ бодова

### Садржај:

Историјска перспектива људских цивилизација. Основне карактеристике неба. Посматрачки методи и проблеми. Време и календар. Палеолитске и неолитске културе. Афричке културе. Индоиранске културе. Кина, Кореја и Јапан. Средња Америка. Северна Америка. Јужна Америка. Сврха астрономије у тим културама.

Метеорити и комете. Настанак Сунчевог система. Класификација метеорита. Минералологија метеорита. Геолошко време. Хемијска анализа метеорита.

*Литература:*

David H. Kelley and Eugene F. Milone: *Exploring Ancient Skies: An encyclopedic Survey of Archaeoastronomy*, Springer, Berlin, 2004

Thurson F.: *Early Astronomy*, Springer, Berlin, 1994

Antoniadi E.M.: *L'Astronomie Egyptienne*, Editions Burillier, Vannes, 2003.

---

## АСТРОБИОЛОГИЈА

Фонд 3+0+7

15 ЕСПБ бодова

### Садржај:

Истраживање првобитних облика живота. Микрофосили. Најстарије седиментне стене. Првобитна Земљина атмосфера. Органска синтеза. Допремање органског материјала кометама и метеоритима. Истраживање могућности екстратерестријалног облика живота. Истраживања потенцијалних животних форми у Сунчевом систему. Истраживања потенцијалних животних форми ван Сунчевог система Панспермиа, међупланетарни трансфер животних облика. Формирање звезда Соларног типа. Млади звездани објекти и протозвезде Соларног типа. Звездана еволуција током првих милион година. Услови за формирање Сунчевог система. Јонизација и повратни ефекти на циркумстеларни диск. Озрачење диска енергетским честицама. Настанак Сунца.

Хронологија формирања Сунчевог система. Настанак Протосоларне небуле. Развој објеката од величине микрона до километарских димензија. Развој од планетизимала до планета. Будуће могућности развоја Сунчевог система.

Настанак и развој океана. Настанак воде. Формирање океана у геолошком смислу, хронологија и процеси. Хемијске карактеристике првобитног океана.

Генеза и еволуција првобитне земљине континенталне коре. Еволуција и динамика првобитне Земљине коре.

Термална еволуција Земље током првих милијарду година. Структура и динамика унутрашњости Земље. Термална конвекција. Земљино магнетно поље.

Геолошки контекст настанка живота на Земљи. Потенцијалне првобитне настањиве зоне на Земљи Најстарији фосилни остаци. Фосилизација бактерија

Истраживање животних форми у екстремним климатским условима на Земљи. Језеро Восток. Антарктик. Емпиријски модел циркулације воде и енергетског баланса. Биолошка истраживања.

Комете као потенцијални извори пребиотских молекула за првобитну Земљу. Физичке и хемијске особине комета. Порекло и развој кометарне материје. Космичко бомбардовање Земље кометама. Земаљске и свемирске методе истраживање комета.

Компаративна планетологија. Почетни услови еволуције Сунчевог система. Трагови еволуције Сунчевог система на Месецу. Марс. Глобалне карактеристике. Најважнији геолошки објекти. Еволуција климе на Марсу. Метероити на Марсу. Садашњи и будући истраживачки програми Марса.

Спектроскопска детекција потенцијалног живота на егзопланетама. Озон као биомаркер. Остали биомаркери. Температура и радијус.

### Литература:

J. Chela-Flores: *The new science of astrobiology*, Kluwer Academic Publishers, 2001

M. Gargaud, B. Barbier, H. Martin, J. Reisse: *Lectures in Astrobiology, Volumes 1-2*, Springer, Berlin, 2005.

P. Ehrenfreund et al.: *Astrophysical and astrochemical insights into the origin of Phys.* 65p. 1427-1487, 2002.

S.J. Dick and J.E. Strick: 2005, *The living universe: NASA and the development of ...*, Rutgers University Press, New Brunswick

---

## АСТРОХЕМИЈА

Фонд 3+0+7

15 ЕСПБ бодова

### Садржај:

Молекуларни универзум. Стандардна Big Bang Теорија. Галаксије, звезде, планете. Настанак живота и теорије.

Атомска и Молекуларна астрономија. Спектроскопија и структура материје. Спектроскопске линије и њихов облик. Атомска спектроскопија. Молекуларни масери. Детекција водоника. Спектрално мапирање.

Класе звезда. Herzprung–Russell дијаграм. Звездана еволуција. Спектри звезда. Егзотичне звезде  
Циклус звезданог формирања

Међузвездани простор. Мапирање молекуларних облака Молекули у међузвезданом и циркумстеларном простору. Физички услови у међузвезданом простору. Хемијске реакције.

Хемијске реакције у међузвезданом простору. Фотохемија. Хемија наелектрисаних честица. Полициклични угљоводоници. Честице прашине. Кинетички модел молекуларних облака.

Кометарна хемија. Структура комета. Физичкохемијски услови у кометарној коми.

Хемијски састав комета. Судари комета. Свемирске мисије.

Планетарна хемија. Површинска гравитација. Формирање Земље. Систем Земља –Месец.

Настањива зона. Екстрасоларне планете. Планетске атмосфере. Атмосферска фотохемија.

Биомаркери у атмосфери.

Пребиотска хемија. Спонтане хемијске реакције. Ендогена продукција молекула. Површински метаболизам. Геотермални извори. Хипотеза о РНК.

Примитивни животни облици. Сакупљање и енкапсулација. Протоћелије. Универзално дрво животних форми. Микроби на Марсу. Титан. Физичке карактеристике. Атмосфера. Хемија

зависна од температуре. Енергетски баланс и ефекат зелене баште. Хемија у атмосфери.

Астробиологија на Титану.

### Литература:

A. Markwick: *Astrochemistry; from molecular clouds to planetary systems, In: Advances in astronomy. Editor:*

*J.M. Thompson, Royal Society Series on Advances in Science, Vol 1, Imperial College Press, London 2005*



---

## КОСМОЛОГИЈА

Фонд 3+0+7

15 ЕСПБ бодова

### Садржај:

#### Предавања

1. Ван Млечног пута. Хијерархијско устројство космоса и “космолошки принцип” Едингтона и Милна. Корелационе функције галаксија.
2. Галактичка јата. Релација морфологије и густине. Проблем гаса у јатима.
3. Суперјата. “Празнине”. Структура на великој скали.
4. Космологија као представа света. Пред-физичка космологија. значај открића простора и времена. Њутнова *vs.* њутновска космологија.
5. Метричке теорије гравитације и њихова улога у космологији. Тензор закривљености и Ајнштајнове једначине. Хомогени флуид. Закони конзервације и теореме о сингуларности.
6. Емпиријски темељи космологије XX века. Олберсов парадокс и термодинамичка неравнотежа. Ширење свемира и Хаблов закон. Космолошки црвени помак и његове особине.
7. Почети Стандардног космолошког модела. Фридманова решења Ајнштајнових једначина. Робертсон-Вокерова метрика: основне величине, фактор скалирања, закривљеност, космолошка густина  $\Omega$ . Концепт термалне историје космоса.
8. Космолошка константа. Де Ситеров модел. Данашњи статус.
9. Вечно стање и “Велика контроверза”. Бројање радио извора: 1Ц, 2Ц и 3Ц каталози. Откриће квазара; откриће микроталасне позадине. Крај контроверзе и победа Великог праска.
10. Стандардни модел Великог праска. Микроталасно позадинско зрачење. Примордијална нуклеосинтеза; мерења количина лаких изотопа. Термална историја космоса.
10. Првобитне флукутације густине; спектар гравитационих пертурбација.
11. Космолошки хоризонти. Каузалитет у закривљеном просторвремену и настанак хоризоната. Честични хоризонт; хоризонт догађаја; аналогije са локалним сингуларностима у црним рупама. Хипотеза космичке цензуре и глобална хиперболичност. Космолошка “но-хаир” теорема.
12. Антропички принципи у космологији. Дикијеве коинциденције; проблем “финог подешавања”. Проблем стреле времена.
13. Проблеми Стандардног модела. Основне црте квантне космологије. Космолошка инфлација. Линдеова хаотична инфлација и мултиверзум.

#### Вежбе

Вежбе би биле рачунског карактера. Покривале би пре свега “аналитички приступачне” теме у оквиру курса (корелационе функције, метрике високе симетрије, везе између космолошких параметара и опсервабилних величина). Такође би се на вежбама дао (нежно ограничен и временски и технички) увод у нумеричке методе савремене космологије.

#### ЛИТЕРАТУРА:

Islam, J. N. 2002 (2nd ed.) *An Introduction to Mathematical Cosmology* (Cambridge University Press, Cambridge)