

# Докторске студије

## Студијски програм *Астрофизика*

Циљеви: Оспособљавање студента за развој и примену научних и стручних достигнућа из области астрофизике 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 астрофизике

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

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
Магнетохидродинамика	3	0	7	15

**Листа Б – изборни предмети – 1. година, студент бира 2 предмета;  
2. година, студент бира 3 предмета**

Одабрана поглавља физике плазме	3	0	7	15
Специјалне методе обраде посматрања 2	3	0	7	15
Методе и технике посматрања Сунца	3	0	7	15
Физика Сунца	3	0	7	15
Звездане атмосфере	3	0	7	15
Физика звезда	3	0	7	15
Галактичка спирална структура	3	0	7	15
Астрономска спектроскопија	3	0	7	15
Одабр погл теоријске радио-астрономије	3	0	7	15
Одабр погл посматрачке радио-астрономије	3	0	7	15
Специјалне функције	3	0	7	15
Увод у теорију релативности	3	0	7	15
Одабр погл вангалактичке астрономије	3	0	7	15
Активна галактичка језгра	3	0	7	15
Класична космологија	3	0	7	15
Одабрана поглавља савремене космологије	3	0	7	15
Астробиологија	3	0	7	15
Физика међузвездане материје	3	0	7	15
Еволуција остатака супернових	3	0	7	15
Нумеричке методе у преносу зрачења	3	0	7	15
Тесни двојни системи	3	0	7	15

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

Изrada дисертације (у два семестра)	3	0	7	15
	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.

---

## МАГНЕТОХИДРОДИНАМИКА

Фонд 3+0+7

15 ЕСПБ бодова

**Садржај:** Интегрални облик једначина кретања. Електромагнетне једначине. Динамичке једначине. Конститутивне везе. Опште једначине непрекидног кретања. Једначине ударних таласа (једначине скокова). Електромагнетне једначине удара. Механичке једначине удара. Простирање малих поремећаја. Анализа Кошијевог проблема. Израчунавање брзине простирања таласа. Израчунавање прекидних величина. Простирање слабих удара. Општа теорија простих таласа. Риманове инваријанте. Прости таласи у МХД. Геометријске особине ударних таласа. Енергетска једначина за ударне таласе. Термодинамичка својства (Вајлови услови и њихове последице).

### Литература:

1. Jeffrey, A: 1966, *Magnetohydrodynamics*, University Mathematical Texts, Oliver and Boyd LTD.

2. Lequeux, J., Falgarone, E. & Ryter, C.: 2004, *The Interstellar Medium*, Springer.

3. Shu, F.H.: 1992, *The Physics of Astrophysics, Vol. II, Gas Dynamics*, University Science Books, Mill Valley, California.

---

---

## ОДАБРАНА ПОГЛАВЉА ФИЗИКЕ ПЛАЗМЕ

Фонд 3+0+7

15 ЕСПБ бодова

### Садржај:

Предмет обухвата подручја из области опште и астрофизичке плазме са посебним освртима на поједине детаље у зависности од профила и потреба кандидата. Генерално, програм обухвата следеће области:

**Уводни појмови:** дефиниција плазме, параметри плазме, извори плазме, плазма у природи.

**Кретање наелектрисаних честица** у хомогеним, нехомогеним и нестационарним електричним и магнетним пољима, у гравитационом пољу, дрифтови, адиабатске инваријанте, магнетна огледала, радијациони прстенови, струје.

**Увод у кинетички приступ описивања плазме:** функције расподеле, макроскопске и микроскопске вредности физичких величина, кинетички феномени (пригушење, нестабилности), дисперзиона функција, линеарни таласи.

**Плазма као флуид:** основне једначине за вишеккомпонентну плазму укључујући прасњаву плазму, таласе и кретања плазме у електро-магнетним пољима и у гравитационом пољу, нестабилности и резонанце.

**Магнето-хидродинамички приступ описивања процеса у плазми:** магнетни притисак, магнетни потисак, таласи и нестабилности, резонанце у нехомогеној плазми, ударни таласи, сунчев и stelарни ветар, динамо механизам, реконекција магнетних силница у природи.

### Литература:

1. *Introduction to Plasma Physics (e-knjiga)*; Richard Fitzpatrick, The University of Texas at Austin; <http://farside.ph.utexas.edu/teaching/plasma/lectures/index.html>
2. *Elektronske knjige na engleskom - Landau-Lifsic*; <http://mail.phy.bg.ac.yu/pipermail/institut/2006-February/000683.html>
3. *Basic Space Plasma Physics*, Wolfgang Baumjohann, Rudolf A Treumann. <http://books.google.com/books?id=e4yupcOzJxkC&printsec=toc&dq=text+book+plasma+physics>
4. *Space Physics Textbook*, Oulu Group of Authors; <http://www.oulu.fi/~spaceweb/textbook/content.html>
5. *Graduate Courses in Plasma Physics*, Princeton University; <http://w3.pppl.gov/gradprogram/Misc/Classes.html>

---

## 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; ММЕи ММV 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 ликована; *raw-tracing* формати и конвенције гريد 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.

---

## МЕТОДЕ И ТЕХНИКЕ ПОСМАТРАЊА СУНЦА

Фонд 3+0+7

15 ЕСПБ бодова

### Садржај:

**Сунчеви телескопи.** Хелиограф. Целостат. Сидеростат. Коронаграф. Друге врсте телескопских монтажа за посматрање Сунца.

**Светлосни филтери и спектрални прибори.** Широкопојасни стаклени филтери. Интерференциони филтери. Интерференционо-поларизациони филтери. Спекрографи и спектрометри: Спектрохелиограф, Магнетограф, Доплерграф, Спектрополариметар.

**Детектори.** Фотографске емулзије. Фотоумножитељи. ЦЦД уређаји.

**Методe одређивања параметара Сунца.** Маса. Пречник. Флукс зрачења. Ефективна температура. Хемијски састав. Брзина ротација.

**Методe изучавања структуре Сунца.** Језгро Сунца. Међуобласт. Конвективна зона. Фотосфера. Хромосфера. Корона.

**Методe изучавања разних појава на Сунцу.** Пере. Плаже. Ерупције. Сунчев ветар.

### *Literatura:*

Belvedere and Paterno (eds.): Proc. Workshop on Solar Rotation, (1978),

Bray and Loughhead: The Solar Granulation, Int. Astrph. Ser. Vol. 8. (1967)

Bray and Loughhead: Sunspots, Int. Astrph. Ser. Vol. 7. (1964)

Born-Wolf: Principles of Optics

Martinov: Kurs praktičeskoj astrofiziki, Nauka, Moskva (1977),

Marton: Methods of Experimental Physics, Vol. 12-A, Acad. Press (1974),

Zaidel, Ostrovskaja, Ostrovskii: Tehnika i praktika spektroskopii, Nauka, Moskva, (1976)

Rutten and Severino (eds.): Solar and Stellar Granulation, NATO ASI Ser., Vol. 263, Kluwer Ac. Pub. (1989)

Sánchez, F., Collados, M., and Vazquez, M., (eds): Solar Observations, Cambridge University Press (1991)

Stix M.: The Sun, An Introduction. Springer Verlag, Berlin (1989)

Zirin: The Solar atmosphere, Blaisdell Pub. Comp., (1966)

Xanthakis (ed.): Solar Physics, Interscience Publishers, (1967)

---

## ФИЗИКА СУНЦА

Фонд 3+0+7

15 ЕСПБ бодова

### Садржај:

**Опште карактеристике Сунца.** Радијус. Маса. Сунчева константа. Ефективна температура.

**Унутрашња структура Сунца.** Језгро. Зона зрачења. Прелазна зона. Конвективна зона.

**Атмосфера Сунца:** Модел атмосфере. Фотосфера. Хромосфера. Корона. Сунчев ветар.

**Ротација Сунца.**

**Осцилације.**

**Магнетизам.**

**Појаве на Сунцу.** Пере. Факуле. Протуберанце и влакна. Ерупције. Короналне рупе.

### *Литература:*

Bray and Loughhead: The Solar Granulation, Int. Astrph. Ser. Vol. 8. (1967)

Bray and Loughhead: Sunspots, Int. Astrph. Ser. Vol. 7. (1964)

Gibson: Spokojnoe Solnce, Mir, Moskva, (1977),

Kuiper: The Sun

Stix M.: The Sun, an Introduction. Springer Verlag, Berlin (1989)

Zirin: The Solar atmosphere, Blaisdell Pub. Comp., (1966)

---

## ЗВЕЗДАНЕ АТМОСФЕРЕ

Фонд 3+0+7

15 ЕСПБ бодова

### Садржај:

**Основи теорије преноса зрачења.** Апроксимација локалне термодинамичке равнотеже (LTR). Једначина преноса зрачења. Услов равнотеже зрачења. Апроксимација сиве атмосфере.

**Непрозрачност у линији и континууму.** Коефицијент апсорпције у линији. Механизми ширења спектралних линија. Коефицијент апсорпције у непрекидном спектру. Водоников атом. Негативан јон водоника. Апсорпција хелијумом и тежим елементима. Коефицијент расејања у континууму (Thomson-ово и Rayleigh-ево расејање).

**Формирање спектралних линија.** Формирање линија у не-LTR. Формирање линија атомима са два нивоа. Ефекти належућег континуума. Формирање линија у хромосфери. Формирање линија атомима са више нивоа. Решење једначине преноса у мултиплетима.

**Моделирање звезданих атмосфера.** Модели у LTR и равнотежи зрачења. Процедура температурске корекције. Модели атмосфера у не-LTR и у равнотежи зрачења. Метод комплетне линеаризације. Модели атмосфера звезда раних спектралних класа. Конвекција и модели атмосфера звезда позних спектралних класа. Модели Сунчеве атмосфере. Проширене атмосфере и решење преноса зрачења у сферној геометрији. Звездане атмосфере у ширењу.

### Литература:

1. Gray, D.: 2005, *The observation and analysis of stellar photospheres*, Cambridge Univ. Press
2. Mihalas, D.: 1978, *Stellar atmospheres*, 2nd ed., San Francisco: W.H. Freeman & Comp.
3. Rutten, R.: 1999, *Stellar atmospheres*, Utrecht: Sterrekundig Inst.
4. Crivellari, L., Hubeny, I., Hummer, D.G.: 1991, *Stellar atmospheres: Beyond classical models*, NATO ASI Series.

---

## 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.

---

## ФИЗИКА ЗВЕЗДА

Фонд 3+0+7

15 ЕСПБ бодова

### Садржај:

ФИЗИЧКИ ПРИНЦИПИ СТРУКТУРЕ РОТИРАЈУЋИХ ЗВЕЗДА.

**Увод.** Структура сферно симетричних звезда.

**Звездана хидродинамика.** Ојлерове и Лагранжеве променљиве, принципи динамике, магнетна хидродинамика, теорема виријала.

**Стационарна ротација.** Баротропне, псеудобаротропне и бароклине звезде, сфероидне стратификације, спољашње гравитационо поље.

**Мале осцилације и динамичка стабилност.** Ојлерове и Лагранжеве варијације, једначине за поремећаје, енергетски принцип, варијациони принцип.

**Расподела момента количине кретања.** Парадокс фон Цејпела, Золбергов и Хејландов критеријум, топлотна неравнотежа бароклиних звезда.

**Меридијанска циркулација.** Циркулација у областима са равнотежом зрачења, циркулација у конвективним областима, турбулентно кретање.

**Униформна и диференцијална ротација.** Политропске звезде и ротација Сунца.

МЕТОДЕ МОДЕЛИРАЊА СТРУКТУРЕ, МОДЕЛИ

**Потпун систем једначина.** Диференцијалне и условне једначине, математички и физички гранични услови --- Милнов модел, метод Чандрасекара за квазисферне конфигурације, поремећаји другог реда, метод двоструке апроксимације, техника Кипенхана и Томаса, метод самоусаглашеног поља.

**Преглед модела.** Утицај условних једначина и хемијског састава на структуру, ефекат меридијанске циркулације и турбуленције, расподела момента количине кретања, губитак масе и динамичка стабилност.

**Еволуција ротирајућих звезда.** Проблеми фрагментације и формирање двојних и вишеструких звезда, еволуција пре главног низа, фаза главног низа, еволуција после главног низа, пулсациона нестабилност, модели белих патуљака у стационарној ротацији, утицај ротације на посматране карактеристике звезда.

*Литература:*

Appell, P.: 1926, Acta Mathematica, 47, 15.

Bodenheimer, P.: 1971, ApJ, 167, 153.

Chandrasekhar, S.: 1969, Ellipsoidal Figures of Equilibrium}, New Haven, Yale Univ. Press.

Cox, J.P., Giuli, R.T.: 1968, Principles of Stellar Structure, New York: Gordon and Breach.

Larson, R.B.: 1972, MNRAS, 156, 437.

Lebovitz, N.R.: 1967, Annual Review of A & A, 5, 465.

Ledoux, P.: 1958, Stellar Stability, in Handbuch der Physik, pp.605--688.

Meynet, G., Maeder, A.: 1997, A&A, 321, 465.

Meynet, G., Maeder, A.: 1999, The Evolution of Rotating Stars, priv. komun.

Roxburgh, I.W.: 1975, Mem., Soc., Roy., Sci Liege, 8, 15.

Sackmann, I-J.: 1970, A&A, 8, 76.

Spitzer, L.: 1956, Physics of Fully Ionized Gases, New York, Interscience Publ.

Tassoul, J.-L.: 1978, Theory of Rotating Stars, Princeton Univ. Press, Princeton, New Jersey.

Tassoul, J.-L.: 1990, Angular Momentum and Mass Loss for Hot Stars, eds. L.A. Wilson and R. Stalio, Kluwer Acad. Publ., pp.7--32.

---

## АСТРОНОМСКА СПЕКТРОСКОПИЈА

Фонд 3+0+7

15 ЕСПБ бодова

### Садржај:

**Елементи теорије зрачења.** Кретање у централно-симетричном пољу. Енергетски нивои атома. LS-веза, jj веза, jl веза, прелази и правила избора. Вероватноће прелаза, коефицијент апсорпције и јачина осцилатора. Оптичка дубина и еквивалентна ширина линије.

### Пренос зрачења

**Теорија профила спектралних линија.** Узроци ширења спектралних линија; природно, Доплерово, ван дер Валсово, резонантно и Штарково ширење. Основне апроксимације у теоријама ширења линија: Семикласична апроксимација, адијабатска апроксимација, квазистатичка апроксимација, сударна апроксимација.

**Непрекидни спектар зрачења.** Природна апсорпција у непрекидном спектру. Неутрални водоник. Негативни јон водоника. Остали механизми непрекидне апсорпције. Расејање електрона. Укупни коефицијент апсорпције. Непрекидни спектри звезда.

**Квантитативна хемијска анализа звезданих атмосфера.** Метод диференцијалне анализе садржаја хемијских елемената. Звездане јачине линија. Средња крива раста за испитивану звезду. Метод синтезе спектра. Хемијски састав Сунца и звезда.

**Одређивање температуре и радијуса звезде.** Одређивање радијуса и апсолутне температуре звезде по апсолутном флуксу. Одређивање температуре помоћу непрекидног и линијског спектра.

**Мерење притиска у звезданим атмосферама.** Електронски притисак и притисак гаса у звезданим атмосферама. Непрекидни спектар као индикатор притиска. Мерење притиска помоћу спектралних линија. Дијаграм температура-убрзање силе теже.

**Ротација звезда и турбулентна кретања у звездама.** Профили линија условљени ротацијом. Микротурбуленција и макротурбуленција и прорачун спектралних линија.

### Радиолиније из облака међузвезданог водоника

**Посебне спектроскопске методе.** Атомска и молекуларна емисиона спектроскопија.

Апсорпциона и емисиона спектроскопија континуума. Метода нуклеарне магнетне резонанце. Раманова спектроскопија. Фосфоресцентна спектроскопија. Флуоресцентна спектроскопија. Месбауерова спектроскопија.

### Критички фактори код експерименталног истраживања облика спектралних линија.

Извори плазме. Одређивање електронске густине. Мерење температуре. Самоапсорпција.

### Литература:

1. Милан С. Димитријевић, *Астрономска спектроскопија*, Публикације Астрономске опсерваторије у Београду, бр. 62, 1998.
2. H. R. Griem, *Spectral Line Broadening by Plasmas*, Academic Press, New York, 1974.
3. A. Thorn, *Spectrophysics*, Chapman and Hall & Science, Paperbacks, London.
4. I. I. Sobel'man, *Atomic spectra and radiative transitions*, Springer Verlag, Berlin, 1979.
5. Лука Ч. Поповић, *Штарково ширење спектралних линија тешких јона у спектрима топлих звезда*, Публикације Астрономске опсерваторије у Београду, бр. 46, 1994.
6. Владимир М. Кршљанин, *Штарков помак јонских линија код топлих звезда*, Публикације Астрономске опсерваторије у Београду, бр. 37, 1989.
7. H. R. Griem, *Plasma Spectroscopy*, Mc Graw Hill Inc., New York
8. Gray, D. F., *The observation and analysis of stellar atmospheres*, Willey, Interscience, 1980.
9. Mihalas, *Theory of stellar atmospheres*
10. C. R. Cowley, *The theory of stellar spectra*, Gordon and Breach, New York, 1970.



---

## ОДАБРАНА ПОГЛАВЉА ТЕОРИЈСКЕ РАДИО-АСТРОНОМИЈЕ

Фонд 3+0+7

15 ЕСПБ бодова

### Садржај:

Теорија стварања радио-зрачења у континууму. Основи теорије формирања линија. Водоников атом. Интеракција зрачења са материјом. Фина структура, Хиперфина структура. Линијско зрачење неутралног водоника. Рекомбинационе линије. Молекуларне линије у међузвезданом простору.

#### Литература:

1. Duric, N.: 2004, *Advanced Astrophysics*, Cambridge University Press
2. Rohlfs, K. & Wilson, T.L.: 1996, *Tools of Radio Astronomy* (second completely revised and enlarged edition), Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.

---

## ОДАБРАНА ПОГЛАВЉА ПОСМАТРАЧКЕ РАДИО-АСТРОНОМИЈЕ

Фонд 3+0+7

15 ЕСПБ бодова

### Садржај:

Галактичко нетермално зрачење у континууму. III региони и радио-рекомбинационе линије. Структура Галаксије изведена из посматрања неутралног водоника. Звездани ветрови. Остаци супернових. Радио-галаксије и квазари. Микроталасно позадинско зрачење. Радио-извори и космологија.

#### Литература:

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

---

## 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*

---

---

## 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.

---

---

## ОДАБРАНА ПОГЛАВЉА ВАНГАЛАКТИЧКЕ АСТРОНОМИЈЕ

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)

Скале растојања (фотометријско расотјање, одређивање растојања из угаоног дијаметра и сопственог кретања објекта, космолошки црвени помак, космолошки црвени помак и растојање, космолошка растојања)

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

Емисија-апсорпција вангалактичких објеката (поцрвењење, порекло емисије и апсорпције у вангалактичким објектима, природа емисионих и апсорпционих линија код АГЈ)

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)

Претрага и класификација вангалактичких објеката (упознавање 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:

1. Binney, J. & Merrifield, M. 1998, *Galactic Astronomy*, Princeton University Press, Princeton, New Jersey
2. Sparke, L.S., Gallagher, J.S 2000, *Galaxies in the Universe: An Introduction*, Cambridge University Press, Cambridge
3. Peacock, J.A. 1999, *Cosmological Physics*, Cambridge University Press, Cambridge
4. Zakharov, A. F. 1997, *Gravitacioni linzi*, Yunis, Moskva
5. Jovanovic, P. 2006, *Uticaj gravitacioni sociva na spektre kvazara*, Zaduzbina Andrejevic, Beograd

---

## АКТИВНА ГАЛАКТИЧКА ЈЕЗГРА

Фонд 3+0+7

15 ЕСПБ бодова

**Садржај:** Основне карактеристике активних језгара (са историјским прегледом). Типови актиних галаксија. Парадигма црне рупе. Улога акреције у формирању АГЈ. Емисија у континууму код АГЈ. Високоенергетски спектар код АГЈ. Широколинијски регион.

Усколинијски регион. Облик и анализа спектралних линија код АГЈ. Радио спектар АГЈ. Унификациони модле АГЈ. Типови и особине галаксија са АГЈ. Апсорпционе линије код квазара. Потрага за квазарима. Базе података. Космолошки значај АГЈ

### Литература:

1. Peterson, B.: 2004, *An Introduction to Active Galactic Nuclei*, Cambridge University Press
2. Krolik, J. H.: 1999, *Active Galactic Nuclei: From the Central Black Hole to the Galactic Environment*
3. Osterbrock D. E.: 1989 *Astrophysics of Gaseous Nebulae and Active Galactic Nuclei*
4. Плић, Д. 2006, *Aktivna galakticka jezgra: primer galaksije Mrk 817*, Zaduzbina Andrejevic, Beograd

---

## КЛАСИЧНА 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 лаксих 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; аналогии 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)

---

## ОДАБРАНА ПОГЛАВЉА САВРЕМЕНЕ КОСМОЛОГИЈЕ

Фонд 3+0+7

15 ЕСПБ бодова

### Садржај:

- 1) Топлотна историја Универзума. Функције расподеле у раном Универзуму. Синтеза лаких језгара. Одвајање материје и зрачења.
- 2) Материја у Универзуму. Барионска тамна материја. Небарионска тамна материја. Врела тамна материја (HDM). Хладна тамна материја (CDM).
- 3) Хаблова константа. Мерења Хаблове константе.
- 4) Расподела галаксија у Универзуму. Функција корелације.
- 5) Галаксије и њихова еволуција. Функције сјаја. Објекти на високом црвеном помаку.
- 6) Активне галаксије. Црне рупе у активним галаксијама.
- 7) Динамика настанка структура у космосу. Динамика линеарних пертурбација. Модели N-тела -- космолошке симулације. Нелинеарни модели.
- 8) Настанак галаксија у Универзуму. Хијерархије и Press-Schechter-ов приступ. Хлађење и међугалактичка материја. Хемијска еволуција галаксија.
- 9) Позадинско зрачење. Механизми флукутација. Посматрања и особине СМВ-а (космичког позадинског зрачења).

Вежбе би биле рачунског карактера. Биле би покривени и аналитички и нумерички проблеми. Литература за вежбе: в. књигу бр. 4.

### Литература:

- T. Padmanabhan: 1993, *Structure Formation in the Universe*, Cambridge University Press.  
P.J.E. Peebles: 1993, *Principles of Physical Cosmology*, Princeton University Press  
E.W. Kolb & M.S. Turner: 1994, *The Early Universe*, Addison-Wesley Publishing Company  
T. Padmanabhan: 1996, *Cosmology and Astrophysics Through Problems*, Cambridge University Press.  
J.A. Peacock: 1999, *Cosmological Physics*, Cambridge University Press.

---

## АСТРОБИОЛОГИЈА

Фонд 3+0+7

15 ЕСПБ бодова

### Садржај:

Основни појмови астробиологије. Три “канонска питања”. Астрономска vs. биолошка методологија. Значење еволуције у астрономским и биолошким наукама.

Антропички принцип и космолошки предуслови за постојање живота. Теорије комплексности.

Хемијска еволуција свемира. Вансоларне планете. Формирање планетских система.

Циркумстеларна настањива зона. Угљенични циклус и климатски феед-бацк. Галактичка настањива зона.

Екстремофили: земаљски организми у “космичким” окружењима.

Биогенеза. Опарин-Холдејнова парадигма. Савремене теорије биогенезе.

Панспермија: историјат, подврсте, савремени осврт.

Рана еволуција живота на Земљи. Палеонтолошко “дубоко време”. Промене атмосфере.

Епизоде глобалне глацијације. Камбријска експлозија.

После Камбријске експлозије: комплексификација живота у фанерозооу. “Биг Фиве” епизода масовних изумирања.

Граница перм/тријас. Граница креда/терцијар. Земаљски vs. ванземаљски механизми и значај масовних изумирања за еволуцију.

Планетолошки аспекти астробиологије: потрага за животом на Марсу. “Марсовски” метеорити.

Европа и спољна тела Сунчевог система.

СЕТИ – историјат и данашњи статус. Тренутни и будући програми. Типови цивилизација по Кардашеву.

Фермијев парадокс.

Картеров аргумент; аргументи из биолошке контингенције; да ли је Земља “ретка”?

“Треће питање”: астробиологија и будућа еволуција астрофизичких објеката.

*Литература:*

Grinspoon, D., 2003, *Lonely Planets: The Natural Philosophy of Alien Life*, HarperCollins, New York.

Ward, P. D., and Brownlee, D., 2000, *Rare Earth: Why Complex Life Is Uncommon in the Universe*, Springer, New York.

Des Marais, D. J., and Walter, M. R., 1999, *Astrobiology: exploring the origins, evolution, and distribution of life in the universe*, *Annu. Rev. Ecol. Syst.* **30**: 397–420.

Dick, S. J., 1996, *The Biological Universe: The Twentieth Century Extraterrestrial Life Debate and the Limits of Science*, Cambridge University Press, Cambridge.

---

## ФИЗИКА МЕЋУЗВЕЗДАНЕ МАТЕРИЈЕ

Фонд 3+0+7

15 ЕСПБ бодова

### Садржај:

Основне одлике међузвездане материје у Галаксији. Зрачење и магнетно поље. Пренос зрачења и екстинкција. Неутрални међузвездани гас. Јонизовани међузвездани гас. Међузвездана материја на високим енергијама. Међузвездана прашина. Загревање и хлађење међузвезданог гаса. Међузвездана хемија. Фотодисоцијативни региони. Ударни таласи: остаци супернових, мехурови, динамика III региона, убрзавање честица. Турбуленција у међузвезданој средини. Равнотежа, колапс и формирање звезда. Промене стања и трансформације међузвездане материје.

*Литература:*

1. Lequeux, J., Falgarone, E. & Ryter, C.: 2004, *The Interstellar Medium*, Springer

---

## ЕВОЛУЦИЈА ОСТАКА СУПЕРНОВИХ

Фонд 3+0+7

15 ЕСПБ бодова

### Садржај:

Историјски увод. Супернове: тип 1 и 2, учесталост експлозија. Особине остатака супернових добијене анализом посматрања: радио-карактеристике, карактеристике у X-домену, променљивост у сјају, радио-супернове. Хидродинамичка еволуција: фаза слободног ширења, адијабатска фаза, радијативна фаза, дисипативна фаза. Радио-еволуција:  $\Sigma$ -D и L-D релације, статистика остатака супернових.

### Литература:

1. Lequeux, J., Falgarone, E. & Ryter, C.: 2004, *The Interstellar Medium*, Springer
2. Rohlfs, K. & Wilson, T.L.: 1996, *Tools of Radio Astronomy* (second completely revised and enlarged edition), Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
3. Urošević, D.: 2004, *Evolucija radio-sjaja ostataka supernovih zvezda: najnoviji prilozi empiriji i teoriji*, Zbornik radova sa kongresa fizičara Srbije i Crne Gore, Sekcija 7, 19-26.
4. Urošević, D.: 2005, *Theoretical  $\Sigma$ -D relation for Supernova Remnants*, Proc. IV Serbian-Bulgarian Astronomical Conference, Publ. Astron. Soc. "Rudjer Bošković", No. 5, 113-127.
5. Verschuur, G.L. & Kellermann, K.I. (editors): 1988, *Galactic and Extragalactic Radio Astronomy (second edition)*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.

---

## НУМЕРИЧКЕ МЕТОДЕ У ПРЕНОСУ ЗРАЧЕЊА

Фонд 3+0+7

15 ЕСПБ бодова

### Садржај:

Нумеричке методе за решавање проблема преноса зрачења. Класификација метода према облику једначине преноса зрачења. Ламбда итерација. Методи Feautrier типа. Метод Rybicki-a. Метод комплетне линеаризације. Метод сатурације језгра. Cannon-ов метод оператора пертурбације. Методи убрзане (апроксимативне) Ламбда итерације (ALI). Scharmer-ов метод. OAV оператор. Метод итерационих фактора. Имплицитне методе. Интегрална имплицитна метода. Дво-смерно имплицитна Ламбда итерација. Методе за убрзавање конвергенције. Компјутерски програми за синтезу спектра и моделирање звезданих атмосфера.

### Литература:

1. Kalkofen, W. (Ed.), 1984, *Methods in Radiative Transfer*, Cambridge Univ. Press
2. Kalkofen, W. (Ed.), 1987, *Numerical Radiative Transfer*, Cambridge Univ. Press
3. Kourganoff, V.: 1963, *Basic methods in transfer problems*, New York: Dover Publ.
4. Crivellari, L., Hubeny, I., Hummer, D.G.: 1991, *Stellar atmospheres: Beyond classical models*, NATO ASI Series.

---

## ТЕСНИ ДВОЈНИ СИСТЕМИ

Фонд 3+0+7

15 ЕСПБ бодова

### Садржај:

**Тесни двојни системи: историјски преглед.** Методи анализе тесних двојних система. Типови двојних. Еволутивни процеси код двојних звезда.

**Орбитално кретање два тела.** Њутнова гравитација. Везе између барицентричних и релативних орбита. Орбитална брзина као функција положаја. Положај као функција времена: Кеплерова једначина. Укупан угаони моменат и енергија: оријентација орбите. Примена на спектроскопске двојне. Примена на двојне пулсаре. Примена на просторно раздвојене двојне. Примена на хелиоцентричне корекције.

**Одредјивање орбита.** Орбите из радијалних брзина: спектроскопски двојне. Орбите из извора импулсног зрачења. Орбите из астрометријских посматрања: раздвојене двојне. Орбите из полариметријских посматрања. Комбинована решења.

**Пертурбације, Рошов модел и размена/губитак масе.** Рошов модел за двојне звезде. Размена/губитак масе. Посматране промене у орбиталним периодима.

**Фотометрија и полариметрија: величине и облици звезда.** Флуксеви, магнитуде и индекси боје. Фотометријски системи и спектрофотометрија. Фотометријска посматрања са Земље и редукација. Криве сјаја еклипсних и не-еклипсних двојних. Полариметрија и спектрополариметрија.

**Масе и апсолутне димензије звезда у двојним системима.** Одвојене двојне. Полуодвојене двојне. Контактне двојне. Катаклизмичне променљиве и слични системи. Двојни системи који садрже изворе X-зрачења, црну рупу или пулсар.

**Слике површине звезда и акреционих структура.** Реконструкција слика. Гранични слојеви у акреционим CV и X- двојним. Ветрови и млазеви у двојним системима.

### Литература:

Hilditch, R. W., 2001, *An Introduction to Close Binary Stars*, Cambridge Univ. Press