

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET  
**FIZIČKI ODSJEK**  
**GEOFIZIČKI ODSJEK**

**Doktorski studij Fizika**  
Područje prirodnih znanosti  
Polja fizike i geofizike

**IZVEDBENI PLAN I PROGRAM STUDIJA**  
ak. god. 2024./2025.

Zagreb, 2024.

## 1 UVOD

---

Doktorski studij fizike nastavak je dugogodišnje nastave fizike na Sveučilištu u Zagrebu, započete još 1861. godine osnivanjem geofizičkog opservatorija s Andrijom Mohorovičićem kao jednim od znanstvenika i nastavnika, te 1876. godine s redovitim predavanjima iz prirodoslovlja na Mudroslovnom fakultetu obnovljenog Sveučilišta u Zagrebu. Već sredinom prošlog stoljeća uvedena su predavanja za poslijediplomce, a današnji doktorski program prati odgovarajuće moderne doktorske studije u Europi i svijetu. Osnovna obilježja dokorskog studije Fizike su istraživanje i učenje kroz istraživanje, internacionalizacija, transparentnost, međunarodna mjerila kvalitete i međunarodna konkurentnost.

## 2 OPĆI DIO

---

Ovim izvedbenim planom uređuje se izvođenje sveučilišnog poslijediplomskog dokorskog studija iz područja prirodnih znanosti, polja fizike i geofizike na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu.

Na sva pitanja vezana uz ustroj i izvođenje studija primjenjuju se odredbe Pravilnika o dokorskim studijima Sveučilišta u Zagrebu te Pravilnika o dokorskim studijima Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

### 2.1 NAZIV STUDIJA, SMJEROVI I AKADEMSKI STUPANJ

Doktorski studij fizike ima sljedeće smjerove:

- Fizika elementarnih čestica,
- Nuklearna fizika,
- Fizika kondenzirane tvari,
- Astrofizika,
- Atomska, molekulska i optička fizika,
- Biofizika,
- Medicinska fizika i
- Geofizika

Završetkom studija stječe se akademski stupanj doktora znanosti iz područja prirodnih znanosti, polja fizike ili geofizike.

## **2.2 NOSITELJ STUDIJA I SURADNE USTANOVE**

Nositelj: Sveučilište u Zagrebu Prirodoslovno-matematički fakultet

Izvoditelji studija: Fizički i Geofizički odsjek

Suradne ustanove: Institut Ruđer Bošković, Zagreb i Institut za fiziku, Zagreb

## **2.3 UVJETI UPISA NA STUDIJ**

Preduvjet za upis doktorskog studija Fizike je završen odgovarajući sveučilišni diplomski studij ili sveučilišni integrirani prijediplomski i diplomski studij fizike ili geofizike ili neki srodni sveučilišni diplomski studij. Pristupnici sa završenim diplomskim studijem koji nije potpuno odgovarajući mogu upisati prvu godinu studija uz obvezu polaganja razlikovnih ispita, a u skladu s natječajem i prema uvjetima koje utvrđuje Vijeće odsjeka na prijedlog Vijeća doktorskog studija. Studentima pristupnicima od kojih se traži polaganje razlikovnih ispita odobravaju se do najviše dvije dodatne akademske godine za njihovo polaganje.

## **2.4 KRITERIJI I POSTUPAK ODABIRA PRISTUPNIKA**

Pristupnici se javljaju na raspisani natječaj za upis na doktorski studij Fizike, a odluku o upisu donosi Vijeće Fizičkog odsjeka i Vijeće Geofizičkog odsjeka na preporuku Vijeća doktorskog studija Fizike. Vijeće doktorskog studija nakon razgovora s pristupnicima, a na temelju uspjeha na prethodnom studiju, interesa za znanstveni rad i područja istraživanja daje preporuku za upis na doktorski studij.

Na studij se mogu upisati pristupnici koji su završili odgovarajući studij s prosječnom ocjenom 3,5 ili većom. Izuzetno, na prijedlog voditelja studijskog smjera i uz dvije preporuke, Vijeće doktorskog studija može odobriti upis pristupnika s nižom prosječnom ocjenom, ali ne manjom od 3,0.

Rezultati postupka javno se objavljuju na mrežnoj stranici Fizičkog odsjeka i Geofizičkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta.

Pristupnici koji su stekli pravo upisa na doktorski studij Fizike bi će pozvani na upis. Pristupnik bira i upisuje kolegije na način i u opsegu koji je propisan programom studija, uz suglasnost voditelja smjera na doktorskom studiju.

Troškovi studija se podmiruju pod uvjetima, u visini i na način predviđen ugovorom o studiranju.

### **3 OPIS PROGRAMA**

---

#### **3.1 STRUKTURA I ORGANIZACIJA DOKTORSKOG STUDIJA FIZIKE**

Program doktorskog studija uključuje nastavnu i istraživačku komponentu pri čemu znanstveno istraživanje čini središnju komponentu studija. Nastava služi doktorandima kao priprema i pomoć pri ulasku u istraživanja, te kao način stjecanja uvida u šire područje.

Studij u punome radnom vremenu u pravilu traje tri godine, a može se uz obrazloženje iz opravdanih razloga produžiti do pet godina. Studij u dijelu radnog vremena traje najviše pet godina, a može se uz obrazloženje produžiti do sedam godina. Studij završava izradom i obranom doktorske disertacije. Završetkom studija i obranom doktorske disertacije doktorandi stječu diplomu i akademski stupanj doktora znanosti iz područja prirodnih znanosti, polje fizika ili geofizika.

Kroz cijelo trajanje studija doktorandi se pripremaju za i/ili uključuju u znanstveno-istraživački rad. Očekuje se da će se doktorandi postepeno uključivati u znanstveno-istraživačke projekte.

Istraživačka komponenta programa obuhvaća izvorna znanstvena istraživanja, izdavanje i objavljivanje znanstvenih radova, izradu i obranu doktorske disertacije.

#### **3.2 POPIS OBVEZNIH I IZBORNIH PREDMETA PO SMJEROVIMA**

Popis obveznih i izbornih predmeta objavljuje se u redu predavanja za svaku akademsku godinu na mrežnim stranicama Fizičkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta.

#### **3.3 OPIS PREDMETA**

Opis svih predmeta nalazi se u programu doktorskog studija Fizike koji se objavljuje na mrežnim stranicama Fizičkog odsjeka prilikom raspisa natječaja za upis doktorskog studija.

### **3.4 RITAM STUDIRANJA, OBVEZE STUDENATA I NAPREDOVANJE KROZ STUDIJ**

Obvezni kolegiji upisuju se pri upisu prve godine studija, dok se izborni kolegiji mogu upisati pri upisu prve ili druge godine studija. Uvjet za upis u drugu godinu studija su položeni obvezni kolegiji te dobiven potpis iz seminara na prvoj godini.

Tijekom prve godine studija, doktorand je obavezan sudjelovati na seminaru koji se održava u obliku "časopisnog kluba". Diskusije na seminaru imaju za cilj poticati doktorande na kritičko čitanje i promišljanje znanstvenih radova koje predlažu voditelj i nastavnici pojedinog smjera, te mentori doktoranda. Sudjelovanje na više od 50% seminara uvjet je za dobivanje potpisa iz seminara. O evidenciji sudjelovanja studenata brine voditelj seminara koji je također ovlašten dati potpis u indeks. U iznimnim slučajevima opravdane spriječenosti sudjelovanja na seminarima, Vijeće doktorskog studija, na prijedlog voditelja smjera, može odobriti dobivanje potpisa iz seminara bez ispunjenja uvjeta o sudjelovanju na više od 50% seminara.

Doktorand je do kraja druge godini studija obavezan održati javnu obranu teme doktorskog rada i položiti preostale izborne kolegije pri čemu se intenzivnije uključuju u istraživački rad s mentorom i pripadnom istraživačkom grupom.

Na prijedlog voditelja smjera, Vijeće doktorskog studija može odobriti studentu zamjenu već upisanog izbornog kolegija aktivnim sudjelovanjem na drugim odgovarajućim aktivnostima, poput međunarodnih ljetnih / zimskih škola, radionica gostujućih profesora i dr.

Uvjet za upis u treću godinu studija su svi položeni kolegiji te prihvaćena tema doktorske disertacije. Na trećoj godini studija doktorand je obavezan održati znanstveni kolokvij (doktorski seminar) na kojemu izlaže prve rezultate svog istraživanja (oba seminara objašnjena su u točki 3.7).

Odmah po upisu doktorandi su dužni prijaviti se u Sveučilišnu bazu podataka OBAD. Doktorand je dužan svake godine regulirati svoj status, bilo da se radi o upisu u višu godinu studija ili o ponovnom upisu iste godine.

Na kraju svake akademske godine doktorand je dužan ispuniti sveučilišni obrazac DR.SC.\_04 putem sveučilišne baze OBAD. Ispunjeni obrazac potrebno je poslati na e-mail adresu: markohum@phy.hr, a otisnuti primjerak predati u Ured za poslijediplomski studij. Doktorand je dužan uz spomenuti izvještaj izvijestiti o svojim aktivnostima (znanstvene konferencije, objavljeni znanstveni članci, škole, radionice i slično) nadležni ured za poslijediplomski studij.

Mirovanje prava i obveza doktoranda uređeno je općim aktima Sveučilišta i Prirodoslovno-matematičkog fakulteta.

### **3.5 KOLEGIJI KOJE DOKTORANDI MOGU IZABRATI S DRUGIH DOKTORSKIH PROGRAMA**

Na prijedlog voditelja smjera, doktorandu se može odobriti upisivanje kolegija s drugih doktorskih programa vodeći se znanstvenim interesima doktoranda.

### **3.6 PREDMETI KOJI SE MOGU IZVODITI NA STRANOM JEZIKU**

Svi predmeti na studiju mogu se izvoditi na stranom jeziku.

### **3.7 UVJETI I POSTUPCI PRIJAVE TEME, PRIHVAĆANJA TEME, OcjENE I OBRANE DOKTORSKE DISERTACIJE**

Studij završava obranom doktorskog rada (disertacije). Disertacija je pisani rad u kojem su izloženi originalni doprinosi autora.

Tema doktorske disertacije može se prijaviti nakon što doktorand položi obvezne kolegije. Doktorand pokreće postupak prihvaćanja teme doktorske disertacije podnošenjem prijave na Sveučilišnom obrascu DR.SC.-01 putem Sveučilišne baze OBAD. Prijava sadržava: opće podatke o doktorandu, životopis i popis radova doktoranda, naslov predložene teme, podatke o predloženom mentoru i njegovim kompetencijama, obrazloženje teme i očekivani izvorni znanstveni doprinos predloženog istraživanja, procjenu troškova istraživanja te izjavu da nije prijavio doktorski rad s istovjetnom temom na drugome studiju Sveučilišta, odnosno na drugome sveučilištu.

U Ured za poslijediplomski studij potrebno je dostaviti dva potpisana originalna primjerka obrasca DR.SC.\_01. Ispunjeni obrazac potrebno je poslati i e-mail adresu: markohum@phy.hr

Vijeće Fizičkog odsjeka ili Vijeće Geofizičkog odsjeka, na prijedlog Vijeća doktorskog studija, imenuje povjerenstvo za ocjenu teme i predlaganje mentora. Povjerenstvo se sastoji od tri ili pet članova pri čemu najmanje jedan član nije zaposlenik Prirodoslovno-matematičkog fakulteta. Mentor ne može biti član povjerenstva osim u iznimnim slučajevima uz suglasnost Vijeća doktorskog studija.

Prijavljena tema brani se javno pred povjerenstvom za ocjenu teme, drugim doktorandima i ostalim zainteresiranima, unutar mjesec dana od dana imenovanja povjerenstva. Povjerenstvo predlaže ocjenu izvornog znanstvenog doprinosa, procjenu financijske i organizacijske izvedivosti istraživanja, kao i

mentora doktoranda na Sveučilišnom obrascu DR.SC\_02, a najkasnije tri mjeseca od dana podnošenja prijave.

U Ured za poslijediplomski studij potrebno je dostaviti dva potpisana originalna primjerka obrasca DR.SC\_02. Ispunjeni obrazac potrebno je i poslati na e-mail adresu: markohum@phy.hr

Vijeće doktorskog studija usvaja izvješće povjerenstva i predlaže ga Vijeću Fizičkog odsjeka ili Vijeću Geofizičkog odsjeka. Vijeće odsjeka donosi odluku o ocjeni teme i potvrđuje mentora. Odluka se prosljeđuje Vijeću prirodoslovnog područja i na Senat Sveučilišta na daljnji postupak. Senat mora potvrditi temu i mentora najkasnije do kraja druge godine studija.

Rezultate svog istraživanja doktorand izlaže na trećoj godini studija u okviru znanstvenog kolokvija (doktorskog seminara) na kojem rezultate na kojima će se temeljiti doktorski rad izlaže kritici zainteresirane znanstvene javnosti, a prije početka pisanja samoga rada. Svrha navedenoga je podizanje kvalitete doktorskog rada. Održavanje seminara potpisom u indeks potvrđuje voditelj smjera.

Oblik i izgled doktorskog rada propisan je uputama za oblikovanje doktorskog rada navedenima u popisu obrazaca Pravilnika o doktorskim studijima Sveučilišta u Zagrebu ([Dr.Sc.-08](#)). Disertacija se piše na hrvatskom ili engleskom jeziku. Ako se piše na engleskom, svi izvještaji kao i prijava teme pišu se tada i na hrvatskom i na engleskom jeziku.

Postupak ocjene i obrane doktorske disertacije propisan je općim aktima Sveučilišta i Prirodoslovno-matematičkog fakulteta.

Doktorand je obvezan prije obrane doktorske disertacije imati objavljen ili prihvaćen za objavljivanje najmanje jedan međunarodno recenzirani znanstveni rad, tematski vezan za doktorsko istraživanje u kojem je jedini ili glavni autor. U pravilu, svaki rad može kvalificirati samo jednog doktoranda, osim u iznimnim slučajevima o čemu odluku donosi Vijeće doktorskog studija.

Vijeće Fizičkog odsjeka ili Vijeće Geofizičkog odsjeka imenuje povjerenstvo za ocjenu doktorske disertacije. Povjerenstvo ima tri ili pet članova, od kojih najmanje jedan član nije zaposlenik Prirodoslovno-matematičkog fakulteta. Mentor ne može biti član povjerenstva za ocjenu disertacije.

Povjerenstvo za ocjenu doktorske disertacije dužno je u roku od tri mjeseca od dana imenovanja predati pisani izvještaj s ocjenom doktorske disertacije.

Predsjednik povjerenstva priprema izvještaj na Sveučilišnom obrascu DR.SC.-10 koji potpisuju svi članovi povjerenstva. Svaki član povjerenstva ima pravo predati izdvojenu ocjenu.

U Ured za poslijediplomski studij potrebno je dostaviti dva potpisana originalna primjerka obrasca DR.SC.\_10. Ispunjeni obrazac potrebno je i poslati na e-mail adresu: markohum@phy.hr

Povjerenstvo za ocjenu doktorske disertacije u svojem izvještaju predlaže:

- prihvaćanje doktorske disertacije uz izjavu o postignutom znanstvenom doprinosu,
- doradu doktorske disertacije i završno ocjenjivanje,
- odbijanje doktorske disertacije, nakon čega doktorand gubi pravo stjecanja akademskog stupnja doktora znanosti na doktorskom studiju fizike.

Na prvoj sljedećoj sjednici Vijeće Fizičkog odsjeka ili Vijeće Geofizičkog odsjeka donosi odluku o ocjeni disertacije na temelju izvješća povjerenstva i imenuje povjerenstvo za obranu disertacije.

Nositelj dokorskog studija obvezan je doktorski rad učiniti dostupnim javnosti objavom na mrežnim stranicama najmanje 30 dana prije dana obrane dokorskog rada.

Doktorand može pristupiti obrani disertacije najkasnije u roku od dva mjeseca od dana prihvaćanja pozitivne ocjene.

Povjerenstvo za obranu disertacije ima tri ili pet članova. Mentor doktoranda može sudjelovati u povjerenstvu, ali ne može biti predsjednik povjerenstva. Obrana disertacije je javna i poziv mora biti javno objavljen najmanje sedam dana prije obrane na mrežnim stranicama Fizičkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta. Obrana se održava u prostorima Prirodoslovno-matematičkog fakulteta na jeziku na kojem je napisana disertacije.

Povjerenstvo za obranu disertacije donosi ocjenu nakon obrane, a sukladno općim aktima Sveučilišta i Prirodoslovno-matematičkog fakulteta. Ocjena se donosi većinom glasova povjerenstva za obranu disertacije. Postupak objave i pohrane disertacije, kao i promocije doktoranda uređeni su općim aktima Sveučilišta i Prirodoslovno-matematičkog fakulteta.



### 3.8 OBVEZE MENTORA

Nakon prihvaćanja teme doktorske disertacije i imenovanja mentora, mentor koji nije zaposlenik Prirodoslovno-matematičkog fakulteta potpisuje ugovor o mentorstvu. Mentor je obvezan voditi doktoranda tijekom izrade doktorskog rada, pratiti kvalitetu doktorandova rada, poticati objavljivanje njegovih radova te omogućiti sudjelovanje doktoranda u znanstvenim projektima. Ako postoji više mentora, svaki od njih preuzima odgovornost za unaprijed određeni dio istraživanja i postupka izrade doktorskog rada. Mentor je obvezan jedanput godišnje podnositi izvješće o radu doktoranda Vijeću dokorskog studija, na odgovarajućem obrascu Sveučilišta (DR.SC.-05), a dostavlja ga u ured za poslijediplomski studij. Prije imenovanja mentora to izvješće podnosi studijski savjetnik.

## 4 DUŽNOSNICI I ADMINISTRACIJA DOKTORSKOG STUDIJA

---

Vođenje dokorskog studija Fizike povjereno je Vijeću dokorskog studija, u skladu s općim aktima Sveučilišta, Prirodoslovno-matematičkog fakulteta te Fizičkog i Geofizičkog odsjeka.

### 4.1 DUŽNOSNICI DOKTORSKOG STUDIJA FIZIKE

---

<i>Voditelj studija:</i>	prof. dr. sc. Vernesa Smolčić
<i>Zamjenik voditelja studija:</i>	izv. prof. dr. sc. Josip Stipčević
<i>Voditelji smjerova:</i>	
Fizika elementarnih čestica:	izv. prof. dr. sc. Maro Cvitan
Nuklearna fizika:	prof. dr. sc. Damir Bosnar
Fizika kondenzirane tvari: Ana Akrap?)	prof. dr. sc. Denis Sunko (prijedlog
Atomska, molekulska i optička fizika:	prof. dr. sc. Hrvoje Buljan
Astrofizika:	prof. dr. sc. Vernesa Smolčić

(nasl. izv. prof. dr. sc. Vibor Jelić)

---

Biofizika: izv. prof. dr. sc. Matko Glunčić

---

Medicinska fizika: doc. dr. sc. Tomislav Bokulić

---

Geofizika: izv. prof. dr. sc. Ivana Herceg Bulić

Izv. prof. dr. sc. Josip Stipčević

*Predstavnici suradnih institucija u Vijeću doktorskog studija:*

Institut Ruđer Bošković: nasl. izv. prof. dr. sc. Blaženka Melić

(nasl. izv. prof. dr. sc. Vibor Jelić)

---

Institut za fiziku: N/A

Ured za poslijediplomski studij: Marko Hum

e-mail: [markohum@phy.hr](mailto:markohum@phy.hr)

Kalendar sjednica Vijeća doktorskog studija fizike nalazi se na mrežnim stranicama Fizičkog odsjeka.

Materijale za sjednice treba dostaviti u Ured za poslijediplomski studij fizike, Bijenička c. 32, Zagreb najkasnije sedam dana prije sjednice Vijeća doktorskog studija.

## 5 DOKTORSKI STUDIJ FIZIKE - RED PREDAVANJA ZA AKADEMSKU GODINU 2024./2025.

1. FIZIKA ELEMENTARNIH ČESTICA				
Redni broj predmeta	Nositelji	Naziv predmeta	Broj sati predavanja/vježbi/sem.	
<i>Obvezni predmeti:</i>				
1.	A. Ilakovac	Napredna teorija polja	30	15
2.	K. Kumerički, B.Melić	Elementarne čestice	30	15
3.	M. Planinić, D. Lelas	Eksperimentalne metode u fizici elementarnih čestica	30	15
4.	I. Doršner	Teorijski alati u fizici elementarnih čestica	30	15
5.	M. Cvitan	Seminar iz fizike elementarnih čestica	0	15
<i>Studenti teorijskog podusmjerenja upisuju seminar i prva dva predmeta, dok studenti eksperimentalnog podusmjerenja upisuju seminar i druga dva predmeta.</i>				
<i>Izborni predmeti:</i>				
6.	D. Horvatić, S. Benić	Hadronska fizika	15	15
7.	D.Jurman, A. Samsarov	Grupe	15	15
8.	M. Cvitan	Gravitacija i kozmologija	15	15
9.	L. Bonora, A. Chatzistavakidis	Teorija superstruna i opni	15	15
10.	V. Brigljević	Metode statističke analize i raspoznavanja uzoraka s primjenama u fizici čestica	15	15
11.	**	Novi rezultati eksperimenata na sudarivačima čestica	15	15
12.	N. Godinović, A. Babić	Eksperimentalna astročestična fizika	15	15
13.	N. Poljak	Eksperimentalna fizika hadronskih sustava	15	15
14.	I. Smolić (suradnik: T. Jurić)	Metode moderne matematičke fizike	15	15
15.	B. Melić (suradnik R. N. Mahbubani)	Efektivne teorije polja	15	15

Studenti upisuju 2 izborna kolegija po volji, a u dogovoru s mentorom i/ili voditeljem smjera.

\*\*Ne izvodi se u ak. god. 2024./2025.

2. NUKLEARNA FIZIKA				
Redni broj predmeta	Nositelji	Naziv predmeta	Broj sati predavanja/vježbi/sem	
<i>Obvezni predmeti:</i>				
16.	D. Vretenar	Teorija strukture atomske jezgre	25	15
17.	D. Bosnar, M. Milin	Eksperimentalna nuklearna fizika	15	15+10
18.	D. Bosnar	Seminar iz nuklearne fizike	0	15
<i>Svi studenti upisuju iste obvezne predmete.</i>				
<i>Izborni predmeti:</i>				
19.	M. Planinić, D. Bosnar	Eksperimentalne tehnike u nuklearnoj fizici	15	15+10
20.	M. Jakšić	Metode nuklearne fizike i primjene u istraživanjima materijala i okoliša	10	30
21.	M. Makek	Radijacijski detektori i medicinske primjene nuklearnih metoda	15	15+10
22.	M. Milin	Nuklearna astrofizika	20	10
23.	T. Nikšić	Problem mnoštva čestica u nuklearnoj fizici	20	10
24.	N. Paar	Matematičko modeliranje i numeričke metode	20	10
25.	S. Szilner, N. Soić	Nuklearne reakcije	20	10
<i>Studenti upisuju 3 izborna predmeta po volji, a u dogovoru s mentorom i/ili voditeljem smjera.</i>				

3. ASTROFIZIKA				
Redni broj predmeta	Nositelji	Naziv predmeta	Broj sati predavanja/vježbi/sem	
<i>Obvezni predmeti:</i>				
26.	L. Palaversa	Fizika zvijezda i zvjezdanih populacija	30	15

27.	V. Smolčić	Galaksije i opažačka kozmologija	30	15
28.	V. Smolčić	Seminar iz astrofizike	0	15
<i>Svi studenti upisuju iste obvezne predmete.</i>				
<i>Izborni predmeti:</i>				
29.	Ž. Ivezić, V. Smolčić, M. Jurić	Astronomija s masivnim bazama podataka	20	10
30.	B. Vršnak	Solarna magnetohidrodinamika	15	15
31.	TBD	Relativistička magnetohidrodinamika	15	10
32.	D. Vinković, V. Jelić	Međuzvezdana materija	20	10
33.	V. Jelić	Opažačke metode u astrofizici	20	10
<i>Studenti upisuju 3 izborna predmeta po volji, a u dogovoru s mentorom i/ili voditeljem smjera.</i>				

<b>4. ATOMSKA, MOLEKULSKA I OPTIČKA FIZIKA</b>				
Redni broj predmeta	Nositelji	Naziv predmeta	Broj sati predavanja/vježbi/sem	
<i>Obvezni predmeti:</i>				
34.	H. Buljan, T. Ban	Uvod u modernu atomsku, molekulsku i optičku fiziku	40	15
35.	H. Buljan	Seminar iz atomske, molekulske i optičke fizike	0	15
<i>Svi studenti upisuju isti obvezni predmet.</i>				
<i>Izborni predmeti:</i>				
36.	M. Jablan	Nelinearna optika	15	15
37.	H. Skenderović	Optika i holografija	15	30
38.	M. Jablan	Kvantna optika	15	15
39.	S. Vdović	Nekonvencionalne tehnike u atomskoj spektroskopiji	15	15
40.	V. Đerek (suradnik: V. Gašparić)	Spektroskopske metode u proučavanju molekulskih vibracija	15	15
41.	N. Vujičić	Femtosekundna laserska spektroskopija	15	15

42.	H. Buljan, D. Jukić	Ultrahladni atomski plinovi i metode višečestične fizike	15	15
43.	D. Aumiler	Koherentno međudjelovanje atoma i svjetlosti	15	15
44.	T. Ban	Lasersko hlađenje i zarobljavanje	15	15
45.	S. Milošević	Niskotemperaturne plazme i primjene	15	15
46.	B. Vršnak	Fizika plazme	15	15
47.	T. Tadić	Fuzijska plazma i reaktori	15	15
<i>Studenti upisuju 4 izborna predmeta po volji, a u dogovoru s mentorom i/ili voditeljem smjera.</i>				

<b>5. FIZIKA KONDENZIRANE TVARI</b>				
Redni broj predmeta	Nositelji	Naziv predmeta	Broj sati predavanja/vježbi/sem	
<i>Obvezni predmeti:</i>				
48.	M. Požek, D. Radić	Fizika kondenzirane tvari	56	36
49.	O. S. Barišić	Teorijska fizika kondenzirane tvari	36	18
50.	N. Ž. Barišić	Eksperimentalna istraživanja u fizici kondenzirane tvari	0	60+15
51.	Ana Akrap	Seminar iz fizike kondenzirane tvari	0	15
<i>Studenti teorijskog podusmjerenja upisuju seminar i prva dva predmeta, dok studenti eksperimentalnog podusmjerenja upisuju seminar, te prvi i treći predmet s popisa.</i>				
<i>Izborni predmeti:</i>				
52.	V. Despoja	Fizika površina i nanostruktura	15	7
53.	I. Balog	Teorija faznih prijelaza	15	7
54.	I. Kupčić	Visokotemperaturna supravodljivost	15	7
55.	V. Despoja	Fizika poluvodiča	15	7
56.	H. Buljan	Nelinearni kontinuumi	15	7
57.	TBD	Fizika novih materijala	15	7
58.	D. Novko	Odabrana poglavlja teorijske fizike kondenzirane tvari	20	0

Studenti upisuju 2 izborna kolegija po volji, a u dogovoru s mentorom i/ili voditeljem smjera.

6. BIOFIZIKA				
Redni broj predmeta	Nositelji	Naziv predmeta	Broj sati predavanja/vježbi/sem	
<i>Obvezni predmeti:</i>				
59.	N. Pavin, S. Dolanski Babić	Opća biofizika	45	30
60.	M. Glunčić	Seminar iz biofizike	0	15
<i>Svi studenti upisuju isti obvezni predmet.</i>				
<i>Izborni predmeti 1:</i>				
61.	I. Weber	Svjetlosna mikroskopija	6	10
62.	M. Kralj	Mikroskopija i spektroskopija pretražnom probom	6	10
63.	TBD	Makromolekularna kristalografija	6	10
64.	S. Kazazić	Masena spektrometrija	6	10
65.	T. Vuletić	Dielektrična spektroskopija	6	10
66.	T. Vuletić	Raspršenje rentgenskih zraka pod malim kutom	6	10
67.	Ž. Skoko	Elektronska mikroskopija	6	10
68.	D. Žilić	EPR spektroskopija	6	10
<i>S ove liste studenti upisuju 3 izborna predmeta po volji, a u dogovoru s mentorom i/ili voditeljem smjera.</i>				
<i>Izborni predmeti 2:</i>				
69.	S. Tomić	Modeliranje biomakromolekula	20	15
70.	TBD	Neurodinamičko oslikavanje mozga	30	15
71.	M. Glunčić, N. Pavin	Stohastički procesi u biofizici	20	10
<i>Studenti s ove liste upisuju 1 izborni predmet po volji, a u dogovoru s mentorom i/ili voditeljem smjera.</i>				

7. MEDICINSKA FIZIKA			
Redni broj	Nositelji	Naziv predmeta	Broj sati

predmeta			predavanja/vježbi/sem	
<i>Obvezni predmeti:</i>				
72.	T. Bokulić	Radiološka i radioterapijska fizika te dozimetrija	25	15+15
73.	M. Medvedec	Fizika u nuklearnoj medicini	20	15
74.	T. Bokulić	Seminar iz medicinske fizike	0	15
<i>Svi studenti upisuju iste obvezne predmete.</i>				
<i>Izborni predmeti:</i>				
75.	G. Žauhar	Fizika i tehnika ultrazvuka u medicini	14	14
76.	D. Grošev	Metode tomografske rekonstrukcije u medicini	14	14
77.	I. Lacković, M. Medvedec	Biomedicinska elektronika i instrumentacija	14	14
78.	M. Medvedec, M. Majer, T. Bokulić	Zaštita od zračenja u medicini	15	15
79.	T. Ban	Primjena lasera u medicini	14	14
80.	N. Maltar Strmečki	Magnetska tomografija	14	14
81.	J. Popić	Radiološka anatomija	10	20
82.	M. Gamulin	Odabrana poglavlja fiziologije s patofiziologijom	10	20
83.	A. Fröbe	Odabrana poglavlja onkologije i radioterapije	10	20
<i>Studenti upisuju 2 izborna kolegija po volji, a u dogovoru s mentorom i/ili voditeljem smjera.</i>				

<b>8. GEOFIZIKA</b>				
Redni broj predmeta	Nositelji	Naziv predmeta	Broj sati predavanja/vježbi/sem	
<i>Obvezni predmeti:</i>				
84.	Z. Pasarić	Analiza podataka u geofizici	30	15
85.	I. Herceg Bulić, J. Stipčević	Seminar iz geofizike	0	15
<i>Svi studenti upisuju isti obvezni predmet.</i>				
<i>Izborni predmeti:</i>				
86.	D. Koračin, K. Horvath	Modeliranje atmosfere	20	10



87.	K. Horvath	Odabrana poglavlja iz fizike atmosfere	20	10
88.	Ž. Večenaj, D. Belušić	Odabrana poglavlja iz atmosferske turbulencije	20	10
89.	D. Belušić	Mezokalna meteorologija	20	10
90.	I. Herceg Bulić, I. Güttler	Atmosferska prediktabilnost i modeliranje klimatskog sustava	20	10
91.	M. Telišman Prtenjak, A. Jeričević	Obalna meteorologija	20	10
92.	M. Orlić	Dinamička oceanografija	20	10
93.	G. Beg Paklar	Odabrana poglavlja fizike mora	20	10
94.	Z. Pasarić	Bayesova statistika	20	10
95.	S. Markušić	Fizika unutrašnjosti Zemlje	20	10
96.	M. Herak	Fizika žarišta potresa	20	10
97.	M. Herak	Odabrana poglavlja iz seizmologije	20	10
98.	B. Tomljenović	Seizmotektonski parametri i magnituda potresa	20	10
99.	F. Šumanovac	Odabrana poglavlja iz geofizičkih istraživanja	20	10

*Studenti upisuju 3 izborna predmeta po volji, a u dogovoru s mentorom i/ili voditeljem smjera.*

## 6 POPIS PREDMETA/MODULA

---

**REDNI BROJ PREDMETA:** 1.

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Napredna teorija polja

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Obvezni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Amon Ilakovac

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU:** /

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** Hrvatski i/ili engleski

**BROJ SATI NASTAVE:** 30 sati predavanja i 15 sati vježbi

**OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

- Integrali po stazama
- Kvantizacija neabelovskih baždarnih teorija
- Kvantizacija spontano slomljenih baždarnih teorija
- Klizne konstante vezanja i renormalizacijska grupa

**POPIS LITERATURE**

- „An Introduction to Quantum Field Theory“, M. E. Peskin & D. V. Schroeder, 1995.

**OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Nastava će se provoditi kroz predavanja i seminare.

**OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Obveze studenata su pohađanje nastave, domaće zadaće i polaganje usmenog ispita.

**OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 2.

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Elementarne čestice

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Obvezni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Krešimir Kumerički, Blaženka Melić

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU:** /

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** Hrvatski i/ili engleski.

**BROJ SATI NASTAVE:** 30 sati predavanja i 15 sati vježbi

**OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

Modul A (kvantna kromodinamika): partonska struktura hadrona, faktorizacija, partonske distribucijske funkcije, neperturbativni aspekti niskoenergijskog QCD-a.

Modul B (elektroslaba i fizika okusa): parametri i testovi elektroslabog sektora standardnog modela, fizika Higgsovog bozona, neutrinske mase i oscilacije, fizika okusa, CP narušenje.

Modul C (napredne primjene teorije polja): kvantne anomalije, topološki objekti, razvoj operatorskog umnoška, efektivne teorije polja.

#### **POPIS LITERATURE**

- „Dynamics of the Standard Model“, J. F. Donoghue, E. Golowich & B. R. Holstein, 2014.
- „An Introduction to Quantum Field Theory“, M. E. Peskin & D. V. Schroeder, 1995.

#### **OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Nastava će se provoditi kroz predavanja i seminare.

#### **OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Obveze studenata su pohađanje nastave, izrada domaćih zadaća i seminara, te polaganje ispita.

#### **OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 3.

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Eksperimentalne metode u fizici elementarnih čestica

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Obvezni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Mirko Planinić, Damir Lelas

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU:** /

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** Hrvatski i/ili engleski

**BROJ SATI NASTAVE:** 30 sati predavanja i 15 sati vježbi

#### **OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

1) Interakcija zračenja s materijom. Gubitak energije teških nabijenih čestica u sudarima s atomima. Čerenkovljevo zračenje. 2) Gubitak energije elektrona i pozitrona. Interakcija fotona i neutrona s materijom. 3) Općenite karakteristike detektora: Osjetljivost, odziv detektora, energijska rezolucija, odzivno vrijeme, efikasnost detektora. detektori opće namjene. 4) Ionizacijski detektori. cilindrični proporcionalni brojač, Mnogožičane proporcionalne komore (MWPC), posmična komora, komora vremenske projekcije (TPC), GEM detektori („Gas Electron Multiplier“). Silicijski/poluvodički detektori. Rekonstrukcija tragova: algoritmi za prilagodbu tragova (Track fitting), rekonstrukcija primarnih i sekundarnih točaka interakcije i raspada (Vertexing), b-tagging. 5) Scintilatori. Ugradnja i funkcioniranje scintilatora. Fotomultiplikatori i fotodiode. Vrijeme proleta. Pomicanje valnih duljina. 6) Kalorimetrija i rekonstrukcija pljuska: razvoj elektromagnetskog i hadronskog pljuska, vrste kalorimetra; algoritmi za identifikaciju mlazova. Razvoj i mjerenje pljuska u atmosferi. 7) Alati za simulaciju interakcije zračenja s materijom (GEANT). 8) Linearni i Kružni akceleratori. 9) Detaljan prikaz nekoliko relevantnih eksperimenata suvremene fizike čestica.

## POPIS LITERATURE

- Claus Grupen, Boris Shwartz: Particle Detectors, Cambridge Monographs on Particle Physics, Nuclear Physics and Cosmology, Cambridge University Press, 2008.
- D.A. Edwards, M.J. Syphers: An Introduction to the Physics of High Energy Accelerators, John Wiley & Sons, INC., 1993.
- William R. Leo: Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments: A How-To Approach, Springer Science & Business Media, 1994.
- R. Wigmans, Calorimetry - Energy Measurement in Particle Physics, Oxford University Press, 2000.

## OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE

Predavanja. Projektni zadatak: detaljna studija izabranog eksperimenta i seminarska prezentacija. Laboratorijska vježba i seminarska prezentacija.

## OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA

Seminarski rad, laboratorijske vježbe, ispit.

## OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 4.

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Teorijski alati u fizici elementarnih čestica

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Obvezni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Ilja Doršner

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU:** /

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** Hrvatski i/ili engleski

**BROJ SATI NASTAVE:** 30 sati predavanja i 15 sati vježbi

## OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA

Cilj ovog kolegija je da se studenti eksperimentalne fizike elementarnih čestica upoznaju s okvirom i glavnim konceptima teorijske fizike elementarnih čestica. Glavni naglasak će biti na fizikalnim konceptima koji se koriste u okviru kvantne teorije polja za analizu procesa u kojim učestvuju elementarne čestice, a ne na formalnom razvoju svih tehnika računanja koje su potrebne za analizu tih istih procesa. Teorijski koncepti će biti ilustrirani realnim primjerima teorija koje su eksperimentalno potvrđene, posebice kvantnom kromodinamikom i elektroslabom teorijom. Teme obuhvaćaju uvod u kvantnu teoriju polja, razvoj formalizma lagranžijana, proučavanje transformacijskih svojstava polja koja se pojavljuju u standardnom modelu fizike elementarnih čestica, razmatranje vanjskih i unutrašnjih simetrija, uvod u eksplicitno i spontano lomljenje simetrije u fizici elementarnih čestica, kao i proučavanje osobina kvantne kromodinamike i elektroslabe teorije. Nakon navedenih tema pobrojat će se alati potrebni da bi se od gustoća lagranžijana došlo do udarnih presjeka produkcijskih

mehanizama i raspada elementarnih čestica koji slijede nakon toga, diskutirati će se kvantne petlje i efekti inducirani petljama, napraviti uvod u koncept renormalizacije i proučavanja efekata višeg reda, te na kraju opisati moderni Monte Carlo generatori za fiziku elementarnih čestica koji automatiziraju analizu procesa u fizici čestica.

#### **POPIS LITERATURE**

- A. Zee, Quantum Field Theory in a Nutshell, Princeton University Press; Second edition (February 21, 2010)
- D. McMahon, Quantum Field Theory Demystified, McGraw-Hill Professional; 1 edition (February 29, 2008)
- W. Greiner, B. Müller, Gauge Theory of Weak Interactions, Springer-Verlag; 2nd Rev edition (January 1, 1996)
- Y. Nagashima, Elementary Particle Physics: Quantum Field Theory and Particles V1, Wiley-VCH (September 29, 2010)
- Y. Nagashima, Elementary Particle Physics: Foundations of the Standard Model V2, Wiley-VCH; 1 edition (March 11, 2013)

#### **OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Nastava će se provoditi kroz predavanja i vježbe.

#### **OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Obveze studenata su pohađanje predavanja i vježbi, rješavanje zadataka, te polaganje usmenog ispita.

#### **OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 5

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Seminar iz fizike elementarnih čestica

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Obvezni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Maro Cvitan

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU: /**

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** Hrvatski i/ili engleski

**BROJ SATI NASTAVE:** 15

#### **OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

Izbori tema istraživanja, proučavanje i selekcija znanstvene literature, praćenje tuđih i prezentiranje vlastitih seminara.

#### **POPIS LITERATURE**

Prema dogovoru sa studentom i mentorom.

## **OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Odabir teme znanstvenog rada, proširene seminarske diskusije, pripreme vlastitih prezentacija i seminara. Postavljanje znanstvenih hipoteza, metode rada i analize rezultata.

## **OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Redovito i aktivno sudjelovanje u radu seminara. Prezentiranje vlastitog seminarskog rada.

## **OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav

**REDNI BROJ PREDMETA:** 6.

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Hadronska fizika

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Izborni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Davor Horvatić i Sanjin Benić

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU:** /

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** Hrvatski i/ili engleski.

**BROJ SATI NASTAVE:** 15 sati predavanja i 15 sati vježbi.

## **OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

Cilj kolegija je razumijevanje kvarkovske podstrukture hadrona i njihovih procesa. Posebno se naglašavaju ključne eksperimentalne činjenice i njihove implikacije, te uloga osnovnih principa simetrije i teorije polja.

Sadržaj kolegija po temama: 1. Hadronska fenomenologija: barioni, mezoni. Hadronske interakcije mezonskom izmjenom. Sačuvanje izospina, stranosti, čarobnosti i barionskog broja. 2. Kvantni brojevi kvarkova, SU(N) simetrije i reprezentacije: barionski i mezonski multipleti. 3. Kratka povijest kvarkovskopartonske ideje. Raspršenje leptona na nukleonima (i produkcija hadrona e+e- anihilacijom) kao dokazi kvarkova i gluona. 4. Osnove baždarnih teorija, usporedba kvantne elektrodinamike i kromodinamike. Kvalitativno o asimptotskoj slobodi i zatočeništvu boje u kvantnoj kromodinamici, neperturbativna kvantna kromodinamika na niskim energijama. 5. Hadroni kao kompoziti kvarkova i gluona. Teški kvarkoniji kao najjednostavniji slučaj. Svojstva sektora lakih kvarkova, uglavnom nepoznate interakcije na niskim energijama i potreba za modeliranjem. 6. Neki fenomenološki modeli hadrona korisni u sektoru lakih kvarkova: konstituentni kvarkovski modeli, MIT model vreće, topološki i netopološki solitoni efektivnih mezonskih teorija, Skyrmiioni kao barioni u modelu kiralnog topološkog solitona. 7. Kiralna simetrija i njeno lomljenje: eksplicitno lomljenje nasuprot spontanom/dinamičkom lomljenju. Pion kao Goldstoneov bozon, PCAC. 8. Sigma-modeli kao primjeri spontanog lomljenja kiralne simetrije. 9. Nambu-Jona-Lasiniov (NJL) model kao jednostavan primjer dinamičkog lomljenja kiralne simetrije, generiranja kvarkovskog kondenzata i konstituentne kvarkovske mase. 10. Proširenje NJL modela na realističnije interakcije kroz DysonSchwingerov (DS) pristup kvarkovima i hadronima. Sistem DS jednadžbi za Greenove funkcije kvantne teorije polja. 11. DS jednadžba za kvarkovske propagatore i Bethe-Salpeterova jednadžba za vezana stanja kvarkova. Razrješenje dihotomije "vezano

stanje kvarka i antikvarka ili Goldstoneov boson" kod pseudoskalarnih mezona. 12. DS opis pseudoskalarnih, skalarnih, vektorskih i aksijalnih mezona kao vezanih stanja kvarka i antikvarka, i to od lakog do teškog kvarkovskog sektora. Modeli kvarkovskih međudjelovanja na niskim i srednjim energijama. Veza s "ab initio" DS proračunima. 13. Neki procesi s hadronima u DS pristupu. Razrješenje problema s Abelovskom anomalijom koji inače muče pristupe koji lake pseudoskalare opisuju kao vezana stanja kvarka i antikvarka. 14. Razne odabrane teme. 15. Neki uvidi u problematiku vruće hadronske/QCD materije, naročito iz perspektive DS pristupa.

#### **POPIS LITERATURE**

- C. Cloet and C. D. Roberts, Explanation and Prediction of Observables using Continuum Strong QCD, Prog. Part. Nucl. Phys. 77 (2014) 1-69.
- U. Mosel, Fields, Symmetries and Quarks, Springer-Verlag.
- A. Holl, C. D. Roberts and S. V. Wright, Hadron physics and Dyson-Schwinger equations, e-Print Archive: nucl-th/0601071.
- Aktualno izdanje "Review of Particle Physics", Particle Data Group [trenutno K.A. Olive et al., Chin. Phys. C, 38, 090001 (2014).], vidjeti i <http://pdg.lbl.gov/>

#### **OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Nastava se odvija kroz predavanja i vježbe.

#### **OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Obveze studenata su pohađanje nastave, izrada seminarskih radova i projektnih zadataka, te polaganje ispita.

#### **OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 7.

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Grupe

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Izborni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** D. Jurman, A. Samsarov

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU:** /

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** Hrvatski i/ili engleski

**BROJ SATI NASTAVE:** 15 sati predavanja i 15 sati vježbi

#### **OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

Osnove algebarske teorije grupa i njihovih reprezentacija. Reprezentacije konačnih grupa – posebno simetričnih grupa. Konačnodimenzionalne reprezentacije klasičnih grupa. Youngovi dijagrami. Osnove teorije Lievih algebri i njihovih reprezentacija. Struktura polujednostavnih Lievih algebri. Dynkinovi dijagrami. Reprezentacije polujednostavnih Lievih algebri. Topološka svojstva grupa i njihovih reprezentacija. Svojstva povezanosti grupa. Fundamentalna grupa. Osnovi teorije Lievih grupa. Veza

između Lievih grupa i Lievih algebri. Kolegij je podijeljen na petnaest tematskih cjelina. Svaka od cjelina pokrivena je sa dva sata predavanja.

Tematske cjeline su slijedeće: I  $SU(N)$  grupe i algebre; II Killingova forma; III Struktura prostih Lievih algebri; IV Prosti korijeni; V Cartanova matrica; VI Klasične Lieve algebre; VII Iznimne Lieve algebre; VIII Reprezentacije Lievih algebri; IX Casimirovi operatori i Freudenthalova formula; X Weyl-ova grupa; XI Weylova dimenziona formula; XII Dekompozicija tenzorskog produkta reprezentacija; XIII Podalgebre Lievih algebri; XIV Pravila grananja; XV Elementi supersimetrija i superalgebri.

#### **POPIS LITERATURE**

- Robert N. Cahn, Semi-Simple Lie Algebras and Their Representations, THE BENJAMIN/CUMMINGS PUBLISHING COMPANY
- A.P. Balachandran et. al. , Group Theory and Hopf Algebra: Lectures for Physicists
- R. Gilmore, Lie groups, Lie algebras and some of their applications
- P. Ramond, Group theory: A Physicist's Survey
- Wu-Ki Tung, Group theory in physics
- G. Costa, G.Fogli, "Symmetries and Group Theory in Particle Physics", Springer-Verlag, Berlin, 2012
- E.Meinrenken: Clifford algebras and Lie theory

#### **OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Nastava će se provoditi kroz predavanja i vježbe.

#### **OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Obveze studenata su izrada seminarskih radova, te polaganje usmenog i pismenog ispita.

#### **OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 8.

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Gravitacija i kozmologija

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Izborni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Maro Cvitan

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU:** /

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** Hrvatski i/ili engleski

**BROJ SATI NASTAVE:** 15 sati predavanja i 15 sati vježbi

**OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

Kolegij predstavlja uvod u modernu kozmologiju, pokrivajući teoriju i povezujući je s opažачkim provjerama.



0 – Uvod: kozmološko načelo, homogenost i izotropija, FLRW. Ponavljanje opće teorije relativnosti (zakrivljenosti, geodetske linije, realna i sugibajuća udaljenost, Tenzori energije i impulsa i Bianchijevi identiteti. De Sitterovi prostori i FRW s  $k=0,+1,-1$ .

1 – FRW jednačbe i rješenja (s  $k=0$ ). Tenzor energije i impulsa savršenog fluida; njegovo očuvanje. Gustoća i evolucija skale za tvar, zračenje, kozmološku konstantu i opći fluid. Termalna povijest svemira (epohe, jednakosti, itd.). Pojmovi kritične gustoće i ubrzanja.

2 – Kozmički horizonti (čestični i horizont događaja). Problem ravnosti. Luminozitetna udaljenost, kutna udaljenost (supernove tipa I). Kozmološka konstanta (problem energije vakuuma). Utjecaj kozmološke konstante na starost svemira.

3 – Tamna tvar i perturbacijska evolucija (Jeans i nakupljanje). Perturbacije i struktura: LSS, CMB (moguće neki detalji, spektar snage).

4 – Problemi vezani uz tamnu tvar (galaksije, nakupine, simulacije, kandidati za tamnu tvar, detekcija). Problemi ravnosti i homogenosti: ideja inflacije.

## POPIS LITERATURE

Udžbenik:

- Mukhanov V., Physical foundations of cosmology (Cambridge University Press, 2005)

Dodatna literatura:

- Kolb E.W., Turner M.S. The early universe (Addison Wesley 1988)
- Dodelson S., Modern Cosmology, (Academic Press, Elsevier, 2003)
- Weinberg S., Cosmology (Oxford University Press, 2008)

Opća relativnost:

- Carroll S., Spacetime and Geometry, An Introduction to General Relativity (Addison Wesley, 2004)
- Zee A., Einstein Gravity in a Nutshell (Princeton University Press, 2013)
- Hobson, Efstathiou G.P., and Lasenby A.S., General Relativity: An Introduction for Physicists, (Cambridge University Press, 2006)

## OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE

Nastava će se provoditi kroz predavanja i vježbe.

## OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA

Obveze studenata su uredno pohađanje nastave i izrada seminarskih radova.

## OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 9.

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Teorija superstruna i opni

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Izborni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** L. Bonora, A. Chatzistavrakidis

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU:** /

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** Hrvatski i/ili engleski

**BROJ SATI NASTAVE:** 15 sati predavanja i 15 sati vježbi

**OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

1-3: Bozonska teorija struna. Poljakovljevo i Nambu-Goto djelovanje. Pripadne klasične simetrije: difeomorfna i Weylova invarijantnost. Utvrđivanje baždarenja. Konformna invarijantnost. Klasična rješenja i ograničenja. Otvorene i zatvorene strune, Neumannovi i Dirichletovi rubni uvjeti.

4-6: Stara kovarijantna kvantizacija. Fockov prostor. Kvantna ograničenja: Virasoro algebra i uvjeti fizikalnosti. Spektar otvorenih struna i fizikalna interpretacija: baždarne teorije. Spektar zatvorenih struna: gravitacija. Jednostavne amplitude u teoriji bozonskih struna.

7-10: Kratki pregled konformne teorije polja. Tenzor gustoće energije i impulsa. Korespondencija stanje - operator. Primarna polja. Razvoj produkta operatora. Korelatori. Anomalija traga i kritične dimenzije.

11-14: Kvantizacija na svjetlosnom stošcu. BRST kvantizacija. Fadejev-Popov integral po stazama. Duhovi. BRST invarijantnost. BRST operator.

15-17: Jednostavne amplitude u teoriji bozonskih struna i niskoenergetska efektivna djelovanja.

18-20: Teorija superstruna. RNS formalizam. Supersimetrija na svjetskoj plohi. Tenzor gustoće energije i impulsa i superstruja. R i NS sektori u teoriji otvorenih superstruna. RR, NSNS, RNS i NSR sektor u teoriji zatvorenih superstruna. Spektar teorije otvorenih i zatvorenih superstruna. GSO projekcija i prostornovremenska supersimetrija. Teorije tipa I, IIA i IIB. Fizikalna interpretacija. Prostornovremenske anomalije.

21-22: BRST kvantizacija superstruna. Komutirajući duhovi. BRST invarijantnost. Bozonizacija. Slike i operatori prijelaza među slikama. Jednostavne amplitude u teoriji superstruna.

#### **POPIS LITERATURE**

- Clifford V. Johnson, D Branes, Cambridge University Press, 2003
- M.Grana, Flux Compactifications in string theory: a comprehensive review, hep-th/0509003
- U. Danilesson, Lectures on string theory and cosmology, hep-th/0409274

#### **OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Nastava će se provoditi kroz predavanja i vježbe, te rješavanjem domaćih zadaća.

#### **OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Obveze studenata su izrada domaćih zadaća, te polaganje usmenog ispita.

#### **OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 10.

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Metode statističke analize i raspoznavanja uzoraka s primjenama u fizici čestica

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Izborni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Vuko Brigljević

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU:** /

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** Hrvatski i/ili engleski

**BROJ SATI NASTAVE:** 15 sati predavanja i 15 sati vježbi

**OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

*Napomena: Navedena literatura na početku poglavlja je prijedlog, ali ne i jedina moguća. Student se može poslužiti i dodatnom literaturom*

Pregled osnovnih koncepata teorije vjerojatnosti (Literatura: Barlow, poglavlja 3,4 i 7.1) 1: Definicije vjerojatnosti: frekventistička i Bayesova, 2-5: Raspodjele vjerojatnosti, 6: Greške

Procjena modela (Literatura: Barlow, poglavlja 5-6) 7: Svojstva procjenitelja, 8-9: Metoda najmanjih kvadrata, 10-12: Metoda maksimalne vjerojatnosti, 13: Metoda momenata, 14: Procjena s ograničenjima (kinematska prilagodba), 15-16: Konvolucija i unfolding, 17: Procjena kroz Monte Carlo promjenu težina

Pouzdanost (Literatura: Barlow, poglavlje 7.2) 18: Interval pouzdanosti i razina pouzdanosti, 19: Neymanova konstrukcija, Intervali pouzdanosti za binomialne i Poisson podatke, 20: Intervali pouzdanosti za metode maksimalne vjerojatnosti i metodu najmanjih kvadrata; interval pouzdanosti u blizini fizikalne granice, 21: Višedimenzionalni intervali pouzdanosti

Donošenje odluka (Literatura: Barlow, poglavlje 8) 22: Hipoteze, greške tipa I i II, statistički značaj, 23: Neyman Pearson test, 24: Interpretacija rezultata, nul-hipoteza, statistički značaj signala.

Odabrane multivarijantne metode analize (Literatura: Hastie, poglavlja 7-11) 25: Vrste multivarijantnih problema, odabir varijabli, 26-27: Neuronske mreže, 28-29: Stabla odlučivanja, 30: Pregled ostalih metoda

## **POPIS LITERATURE**

Osnovna literatura:

- R.J. Barlow, Statistics – A guide to the Use of Statistical Methods in the Physical Sciences, Wiley, 1989.
- G. Cowan, Statistical Data Analysis, Oxford University Press, 1988.

Dodatna literatura:

- W.T. Eadie et al., Statistical Methods in Experimental Physics, North Holland, 1971.
- A.G. Frodesen et al., Probability and Statistics in Particle Physics, Universitetsforlaget, Bergen, 1979, Westview Press, 1991.

- T. Hastie, R. Tibshirani and J. Friedman, , The Elements of Statistical Learning, Springer Series in Statistic, 2001.
- A. Webb, Statistical Pattern Recognition, 2nd Edition, J. Wiley & Sons, 2004.
- C.M. Bishop, Neural Networks for Pattern Recognition, Oxford University Press, 1996.
- J. Hertz, A. Krogh and R.G. Palmer, Introduction to the Theory of Neural Computation, A lecture notes volume in the Santa Fe Institute Studies in the Sciences of Complexity, Addison-Wesley, 1991.
- D.S. Sivia with J. Skilling, Data Analysis – A Bayesian tutorial, 2nd edition, Oxford University Press, 2007.

#### **OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Nastava će se provoditi kroz predavanja, seminar i vježbe na praktičnim primjerima na računalu.

#### **OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Obveze studenata: prisutnost na predavanjima; projekti u praktičnom dijelu nastave (praktična primjena metoda); polaganje usmenog ispita.

#### **OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 11.

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Novi rezultati eksperimenata na sudarivačima čestica

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Izborni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** /

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU:** /

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** Hrvatski i/ili engleski

**BROJ SATI NASTAVE:** 15 sati predavanja i 15 sati vježbi

#### **OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

1. Elektroslaba fizika
2. B fizika
3. Fizika top kvarka
4. Fizika s mlazovima čestica
5. Otkriće i fizika Higgsovog bozona
6. Potraga za «novom» fizikom

#### **POPIS LITERATURE**

- Dan Green: “High Pt Physics at Hadron Colliders”, Paperback Cambridge Monographs on Particle Physics and Nuclear Physics, 2009
- Arnulf Quadt, “Top Quark Physics at Hadron Colliders”, Hardback Advances in the Physics of Particles and Nuclei, 2007

- Gary John Barker: "B-quark Physics with the LEP Collider: The Development of Experimental Techniques for b-Quark Studies from Z<sup>0</sup>-Decay", Hardback Springer Tracts in Modern Physics, 2010
- Stefan Roth: "Precision Electroweak Physics at Electron-positron Colliders", Hardback Springer Tracts in Modern Physics, 2006

#### **OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Direktna nastava. Projekti zadatak: detaljna analiza odabranog eksperimentalnog rezultata, izrada seminarskog rada i prezentacija pred ostalim studentima.

#### **OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Obavezno pohađanje nastave. Obavezan uspješno izrađen projektni zadatak. Uspješno položen završni ispit.

#### **OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 12.

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Eksperimentalna astročestična fizika

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Izborni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Nikola Godinović, Ana Babić

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU:** -

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** Hrvatski i/ili engleski

**BROJ SATI NASTAVE:** 15 sati predavanja i 15 sati vježbi

#### **OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

1. kozmičke zrake: spektar i sastav kozmičkih zraka
2. akceleracijski mehanizmi
3. emisijski mehanizmi : thompsonovo raspršenje, zakočno zračenje
4. sinhrotronsko zračenje, Inverzno comptonovo raspršenje
5. tehnike detekcije kozmičkih zraka i visokoenergijskog gama zračenja
6. izvori visokoenergijskog gama zračenja: supernove, pulsari, agn
7. neutrinska astronomija
8. potraga za tamnom materijom iz astrofizičkih izvora
9. pregled relevantnih eksperimenata iz astročestične fizike

#### **POPIS LITERATURE**

- Malcom S. Longair: "High Energy Astrophysics", Cambridge University Press, Third edition, 2012
- Donald Perkins: "Particle Astrophysics", Oxford University Press, Second edition, 2009.
- Trevor Weeks: "Very High Energy Gamma-Ray Astronomy", IOP Publishing, 2003.

## **OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Predavanja. Projektni zadatak: detaljna studija izabranog eksperimenta i seminarska prezentacija.

## **OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Obveze studenata su izrada seminarskog rada i polaganje ispita.

## **OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 13

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Eksperimentalna fizika hadronskih sustava

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Izborni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Nikola Poljak

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU:** /

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** Hrvatski i/ili engleski

**BROJ SATI NASTAVE:** 15 sati predavanja i 15 sati vježbi

## **OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

Cilj kolegija je upoznavanje studenata fizike elementarnih čestica s radom hadronskih sudarivača i detektora čestica, njihovim vrstama i namjenama, metodama i programskim okvirima koji se koriste u analizi podataka te aktualnim temama u istraživanju sudara hadronskih sustava. Predmet se jasno može razložiti na 3 cjeline. Prva cjelina bavi se opisom rada i usporedbom postojećih sudarivača te akceleratorском fizikom. Druga cjelina opisuje programske okvire analize (ROOT, PAW, PYTHIA i slični) i najčešće metode koje se koriste za opis događaja (algoritmi za pronalaženje snopova, eksperimentalno razlučivanje tipa čestica itd.). Konačno, u trećoj cjelini razmatrala bi se neka od trenutno zanimljivih tematika u hadronskoj fizici, već prema interesu studenta (tokovi čestica, potpisi kvarkovsko-gluonske plazme, grebenaste strukture i slično).

## **POPIS LITERATURE**

- Jean Letessier, Johann Rafelski: Hadrons and Quark-Gluon Plasma, Cambridge Monographs on Particle Physics, Nuclear Physics and Cosmology, Cambridge University Press, 2002.
- R. K. Ellis, W. J. Stirling, B. R. Webber: QCD and collider physics, Cambridge Monographs on Particle Physics, Nuclear Physics and Cosmology, Cambridge University Press, 1996.
- ROOT primer 5 (CERN), skinuto s <https://root.cern.ch/root-user-guides-and-manuals>
- R. Atkin: Review of jet reconstruction algorithms, JOP Conference Series 645 (2015) 012008
- Dodatna literatura u obliku najnovijih članaka vezanih uz tematiku hadronske fizike

## **OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Predavanja. Izrada male analize u ROOT-u temeljene na stvarnim ili simuliranim podacima. Projektni zadatak – opis neke od zanimljivih tematika u hadronskoj fizici s prikazom najnovijih rezultata sa sudarivača.

#### **OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Seminarski rad, ispit.

#### **OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav

**REDNI BROJ PREDMETA:** 14

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Metode moderne matematičke fizike

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Izborni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Ivica Smolić

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU:** Tajron Jurić

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** Hrvatski i/ili engleski

**BROJ SATI NASTAVE:** 15 sati predavanja i 15 sati vježbi

#### **OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

- Matematičke metode u kvantnoj fizici:

Aksiomi kvantne mehanike, Banachovi i Hilbertovi prostori, Teorija mjere, Spektralni teoremi za neograničene hermitske operatore, Hermitska proširenja, Primjena na probleme iz kvantne fizike, Uvod u algebarsku kvantnu teoriju polja (AQFT), Integrali po putevima

- Geometrija fizikalnih teorija :

Opća topologija, Diferencijalna geometrija, Algebarska topologija, Vlknasti svežnjevi i karakteristične klase, Indeksni teoremi, Primjena na baždarne i gravitacijske teorije

#### **POPIS LITERATURE**

- M. Reed, B. Simon: "Methods of Modern Mathematical Physics, Vol.1-Vol.4"
- V. Moretti: "Spectral Theory and Quantum Mechanics", Springer 2013
- H. Kleinert: "Path Integrals", World Scientific 2009
- J. C. Baez, J. P. Muniain: "Gauge Fields, Knots and Gravity", World Scientific, Singapore River Edge, N.J, 1994.
- M. Nakahara: "Geometry, Topology and Physics", Institute of Physics Publishing, Bristol Philadelphia, 2003.

#### **OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Nastava će se provoditi kroz predavanja, vježbe i seminare.

#### **OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Obveze studenata su pohađanje nastave, domaće zadaće i polaganje usmenog ispita.

#### **OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav

**REDNI BROJ PREDMETA:** 15

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Efektivne teorije polja

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Izborni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** B. Melić

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU:** suradnik R. N. Mahbubani

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** Hrvatski i/ili engleski

**BROJ SATI NASTAVE:** 15 sati predavanja i 15 sati vježbi

#### **OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

- The mechanics of EFTs: Essential techniques illustrated within a simple two-scale scalar theory: running and matching, at tree level and one loop.
- Useful EFTs: In-depth discussion of some interesting and useful EFTs in history e.g. Fermi theory, EFT of Goldstone bosons (Chiral perturbation theory, effective theory of inflation).
- The Standard Model as an effective field theory – why and how it breaks down, and how this motivates physics beyond the standard model. Brief overview of some of the main themes of BSM physics.

#### **POPIS LITERATURE**

- C.P. Burgess: Introduction to Effective Field Theories (Cambridge Press);
- Cohen T: As scales become separated: Lectures on Effective Field Theories, arXiv:1903.03622;
- Kaplan, D: Five lectures on effective field theory, nucl-th/0510023;
- Cheung C et al: The effective field theory of inflation, arXiv:0709.0293;
- Georgi, H: Effective Field Theory, Ann.Rev.Nucl.Part.Sci 43 (1993);
- Wulzer, A: Behind the Standard Model, arXiv:1901.01017;
- Pomarol, A: Beyond the Standard Model, arXiv:1202.1391.

#### **OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Nastava će se provoditi kroz predavanja, vježbe i seminare.

#### **OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Obveze studenata su pohađanje nastave, domaće zadaće i polaganje usmenog ispita.

#### **OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).



**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav

**REDNI BROJ PREDMETA:** 16.

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Teorija strukture atomske jezgre

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Obvezni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Dario Vretenar

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU:** Tamara Nikšić

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** Hrvatski i/ili engleski

**BROJ SATI NASTAVE:** 25 sati predavanja i 15 sati vježbi

#### **OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

Kroz ovaj kolegij studenti će dobiti uvid u najvažnije koncepte i metode teorije nuklearne strukture. Prirodno se nastavlja na obvezni kolegij s četvrte godine studija – Nuklearna fizika, a predstavlja osnovu za teorijske izborne kolegije koji se predaju na doktorskom studiju iz nuklearne fizike. Naglasak je na uvođenju fizikalnih ideja i osnova teorijskih modela koji opisuju niz pojava određenih jakim, elektromagnetskim i slabim međudjelovanjima u atomskim jezgrama. Kolegij uključuje potrebne matematičke tehnike, daje pregled moderne teorijske nuklearne fizike niskih energija i priprema studente za samostalan istraživački rad.

Sadržaj kolegija po temama: 1. Nuklearna međudjelovanja: deuteron, nukleon-nukleon raspršenja i nuklearne sile, nukleon-nukleon potencijali, sistem tri nukleona i NNN-međudjelovanja. 2. Modeli nuklearne strukture: struktura lakih jezgara z NN- i NN-međudjelovanja, koncept srednje polja i nuklearni model ljusaka, deformirani nuklearni potencijal i rotacije, nuklearni Hartree-Fockov model, korelacije sparivanja u jezgrama, Hartree-Fock-Bogoljubov model, harmoničke vibracije, aproksimacija slučajnih faza; 3. Elektromagnetska međudjelovanja u jezgrama: nuklearna elektromagnetska struja, osnove kvantizacije elektromagnetskog polja, emisija elektromagnetskog zračenja, izborna pravila i pravila sume, efektivni naboji. 4. Slaba međudjelovanja u jezgrama: jednostavna teorija beta-raspada, dozvoljeni prijelazi, nuklearni beta-raspad, neutrino u beta-raspadu, lomljenje simetrije u beta-raspadu.

#### **POPIS LITERATURE**

- John Dirk Walecka, Theoretical Nuclear and Subnuclear Physics, World Scientific Publishing Company, (2004).
- Amos De Shalit, Herman Feshbach, Theoretical Nuclear Physics, John Wiley & Sons Inc (1974).
- Peter Ring, Peter Schuck, The Nuclear Many-Body Problem, Springer (2005).
- Walter Greiner, Joachim A. Maruhn, Nuclear Models, Springer (2006).
- David J. Rowe, John L. Wood, Fundamentals of Nuclear Models, World Scientific Publishing Company, (2010).

#### **OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Uz standardne oblike provođenja nastave, dakle predavanja i vježbi, studenti će izraditi projektne zadatke.

#### **OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Obveze studenata su uredno pohađanje predavanja, odrađivanje seminara i polaganje usmenog ispita.

#### **OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 17.

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Eksperimentalna nuklearna fizika

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Obvezni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Damir Bosnar, Matko Milin

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU:** -

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** Hrvatski i/ili engleski.

**BROJ SATI NASTAVE:** 15 sati predavanja, 15 sati laboratorijskih vježbi i 10 sati seminarskog rada.

#### **OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

Cilj ovog kolegija je upoznati studente s metodama i tehnikama moderne eksperimentalne fizike. Uz praktični rad u laboratoriju, studenti će biti upoznati s pregledom izabranih eksperimenata koji čine temelj suvremene nuklearne fizike, te s metodama mjerenja pojedinih parametara atomskih jezgara i reakcija. Uz to, studenti će se upoznati i s osnovama upotrebe nuklearnih metoda i tehnika u drugim područjima znanosti i primjene.

Sadržaj kolegija po temama: Interakcija zračenja s materijom (nabijene čestice, gama zrake, neutroni, neutrini). Biološki efekti zračenja i zaštita. Osnovne vrste detektora, principi rada ionizacijskih detektora, scintilacijskih detektora, poluvodičkih detektora, Čerenkovljeva detektora. Osnove nuklearne elektronike, sakupljanja i analize podataka. Izvori zračenja i akceleratori. Mjerenja karakterističnih parametara jezgara i nukleona. Mjerenja nuklearnih reakcija i stanja. Primjeri uporabe nuklearnih metoda u drugim područjima: medicina, energija, materijali, okoliš.

#### **POPIS LITERATURE**

- W.R. Leo, Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments: A How-To Approach, Springer, 2006.
- G.F. Knoll, Radiation Detection and Measurement, John Wiley and Sons, 2000.
- B. Povh, K. Rith, Ch. Scholz, F. Zetsche, Particles and Nuclei: An Introduction to the Physical Concepts, Springer, 2006.
- D. Poenaru, W. Greiner (eds.), Experimental Techniques in Nuclear Physics, Walter de Gruyter Publishing, 1997.
- Izvorni znanstveni članci.

#### **OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Nastava će se dijelom izvoditi kroz predavanja, ni svaki će student dobiti i projektni zadatak vezan za izabrani eksperiment, te izvesti niz laboratorijskih vježbi i održati seminarsku prezentaciju obrađenih eksperimentalnih rezultata.

**OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Obveze studenata su uredno pohađanje predavanja, odrađivanje seminarskog rada, laboratorijske vježbe i obrada njenih rezultata, te polaganje ispita.

**OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 18

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Seminar iz nuklearne fizike

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Obvezni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Damir Bosnar

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU:** /

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** Hrvatski i/ili engleski

**BROJ SATI NASTAVE:** 15

**OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

Izbori tema istraživanja, proučavanje i selekcija znanstvene literature, praćenje tuđih i prezentiranje vlastitih seminara.

**POPIS LITERATURE**

Prema dogovoru sa studentom i mentorom.

**OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Odabir teme znanstvenog rada, proširene seminarske diskusije, pripreme vlastitih prezentacija i seminara. Postavljanje znanstvenih hipoteza, metode rada i analize rezultata.

**OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Redovito i aktivno sudjelovanje u radu seminara. Prezentiranje vlastitog seminarskog rada

**OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 19.

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Eksperimentalne tehnike u nuklearnoj fizici

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Izborni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Mirko Planinić, Damir Bosnar

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU: /**

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** Hrvatski i/ili engleski.

**BROJ SATI NASTAVE:** 15 sati predavanja, 15 sati laboratorijskih vježbi i 10 sati seminarskog rada.

#### **OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

Ovaj je kolegij prvenstveno namijenjen studentima orijentiranim prema eksperimentalnoj fizici – takve će se studente detaljnije upoznati s radom tipičnih detektora i elektronike u eksperimentalnoj nuklearnoj fizici, kao i sa standardnim programskim paketima za analizu eksperimentalnih rezultata i izradu simulacija eksperimenata. Detaljnije će se proučiti izabrani relevantni eksperimenti.

Sadržaj kolegija po temama: Detektori, elektronika, sakupljanje i analiza podataka u nuklearnoj fizici. Specifična mjerenja: putanje čestice, mjerenje vremena, mjerenje energija i impulsa čestica, identifikacija čestica. Mjerenja sustavima detektora – detaljan prikaz nekoliko relevantnih eksperimenata suvremene nuklearne fizike: fizikalna motivacija, akceleratori, detektori, elektronika, obrada podataka. Laboratorijske vježbe.

#### **POPIS LITERATURE**

- G.F. Knoll, Radiation Detection and Measurement, John Wiley and Sons, 2000.
- B. Povh, K. Rith, Ch. Scholz, F. Zetsche, Particles and Nuclei: An Introduction to the Physics Concepts, Springer, 2006.
- K. Kleinknecht, Detectors for Particle Radiation, Cambridge University Press, 2003.
- P.R. Bevington, D.K. Robinson, Data reduction and error analysis for the physical sciences, McGraw-Hill, 2002.
- William R. Leo: Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments: A How-To Approach, Springer Science & Business Media, 1994.

#### **OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Nastava se dijelom odvija kroz predavanja. Studenti nadalje dobivaju projektni zadatak: detaljnu studiju izabranog eksperimenta i seminarsku prezentaciju, te laboratorijsku vježbu i seminarsku prezentaciju.

#### **OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Student je obvezan odraditi seminarske radove i laboratorijske vježbe, te položiti ispit.

#### **OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 20.

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Metode nuklearne fizike i primjene u istraživanjima materijala i okoliša

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Izborni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Milko Jakšić

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU: /**

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** Hrvatski i/ili engleski.

**BROJ SATI NASTAVE:** 10 sati predavanja i 30 sati laboratorijskih vježbi (eksperimenta).

#### **OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

Cilj kolegija je upoznati studente sa širokim spektrom primjena metoda nuklearne fizike, a prvenstveno onih koji se baziraju na upotrebi ubrzivača. Kolegij uključuje eksperimentalni rad s različitim detektorima i manjim sustavima koji su od važnosti i za kompleksne sustave u fizici viših energija.

Sadržaj kolegija po temama: modifikacija materijala ionskim snopovima, zaustavljanje iona u materijalu. Ionska implantacija, zaustavna moć (nuklearna i elektronska). Metode analize ionskim snopovima: RBS (od engl. Rutherford Backscattering), ERDA (od engl. Elastic Recoil Detection Analysis), NRA (od engl. Nuclear Reaction Analysis) i PIXE (od engl. Particle Induced X-Ray Emission). Metode analize neutronima (reaktori, neutronski generatori). Neutronska aktivacijska analiza detekcijom promptnih gama-zraka. Primjene spektroskopije pozitronske anihilacije. Radioaktivni raspad, radioaktivnosti u okolišu, metode datiranja. Gama-spektroskopija i detektori. Metoda datiranja pomoću  $^{14}\text{C}$  i pripadajuća instrumentacija.

#### **POPIS LITERATURE**

- W.R. Leo, Techniques for Nuclear and Particle Experiments, Springer, Berlin, 1994.
- J.R. Tesmer, M. Nastasi, Handbook of Modern Ion Beam Materials Analysis, Materials Research Society, Pittsburgh, SAD, 1995.
- G.F. Knoll, Radiation Detection and Measurement, John Wiley and Sons, New York, 4th ed., 2010.
- J. Csikai, CRC Handbook of Fast Neutron Generators, CRC Press Inc., Boca Raton, SAD, 1987.

#### **OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Nastava će se odvijati kroz predavanja i laboratorijski rad. Studenti će sudjelovati u izvođenju niza eksperimenata kojima će se pokriti gradivo opisano u sadržaju predmeta.

#### **OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Studenti su obavezni riješiti niz projektnih zadataka vezanih za obradu rezultata izvedenih mjerenja i njihove interpretacije, te ih predati u vidu pismenog seminara.

#### **OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 21.

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Radijacijski detektori i medicinske primjene nuklearnih metoda

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Izborni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Mihael Makek

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU:/-**

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** Hrvatski i/ili engleski.

**BROJ SATI NASTAVE:** 15 sati predavanja, 15 sati laboratorijskih vježbi, 10 sati seminarskog rada.

**OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

Cilj kolegija je dati pregled i razumijevanje najraširenijih standardnih nuklearnih metoda u medicinskoj dijagnostici i terapiji. Teorijski sadržaji nadopunit će se laboratorijskim radom na relevantnim detektorima, elektronicima i programskim paketima, te posjetima klinikama i institutima.

Sadržaj kolegija po temama: vrste zračenja i interakcija zračenja s materijom. Biološki efekti zračenja. Detekcija zračenja i zaštita. Osnovne vrste radijacijskih detektora za medicinsku primjenu. Proizvodnja izotopa za medicinsku dijagnostiku i terapiju. Terapija zračenjem. Fizika X-zraka i medicinska primjena. Gama kamera. Spektroskopija pozitronske anihilacije; PET - fizikalni principi, detektorski sustav, oslikavanje. NMR - fizikalni principi, detektorski sustav, oslikavanje.

**POPIS LITERATURE**

- S. Webb, The Physics of Medical Imaging, Taylor & Francis, 1988.
- Knoll, Radiation Detection and Measurement, John Wiley & Sons, 2000.
- Izvorni znanstveni članci.

**OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Nastava se provodi kroz predavanja, laboratorijski rad (osnove relevantnih detektora i elektronike), te seminarski rad koji uključuje praktični rad na jednom od sustava za oslikavanje.

**OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Studenti su obvezni odraditi laboratorijske vježbe i seminar, te položiti ispit.

**OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 22

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Nuklearna astrofizika

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Izborni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Matko Milin

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU: /**

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** Hrvatski i/ili engleski.

**BROJ SATI NASTAVE:** 20 sati predavanja i 10 sati vježbi.

**OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

Cilj kolegija je povezivanje fizike na skali atomskih jezgara s pojavama na najvećim mogućim prostornim skalama: zvijezdama, galaksijama i Svemirom kao cjelinom. Poseban naglasak kolegija bit će stavljen na eksperimentalan pristup rješavanju pojedinih problema nuklearne astrofizike, kao i na najnovije rezultate istraživanja u području.

Sadržaj kolegija po temama: Osnovni pojmovi astrofizike. Standardni kozmološki model. Formalizam nuklearnih reakcija: direktne nuklearne reakcije i rezonantni procesi. Brzina odvijanja nuklearnih reakcija. Prvobitna nukleosinteza. Nukleosinteza u zvijezdama do željeza: mirno gorenje i eksplozivni procesi. Nukleosinteza elemenata težih od željeza: s-, r- i p-procesi. Degenrirana fermionska materija. Neutronske zvijezde: nastanak i građa. Astronomija gama- i x-zraka. Neutrinska astrofizika. Kozmičke zrake. Eksperimentalne metode u nuklearnoj astrofizici. Moderna istraživanja u nuklearnoj astrofizici.

#### **POPIS LITERATURE**

- C.E. Rolfs, W.S. Rodney, *Cauldrons in Cosmos*, University of Chicago Press, SAD, 1988.
- C. Iliadis, *Nuclear Physics of Stars*, Wiley–VCH, 2007.
- B.E.J. Pagel, *Nucleosynthesis and Chemical Evolution of Galaxies*, Cambridge University Press, 1997.
- D.D. Clayton, *Principles of stellar evolution and nucleosynthesis*, University of Chicago Press, 1983.
- I.J. Thompson, F. Nunes, *Nuclear Reactions for Astrophysics*, Cambridge University Press, 2010.

#### **OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Uz predavanja i vježbe, studenti samostalno izrađuju seminar koji prezentiraju ostalim studentima, te sudjeluju u eksperimentalnom proučavanju neke od astrofizički značajnih reakcija.

#### **OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Obveze studenata su pohađanje nastave i držanje seminara, te polaganje usmenog ispita.

#### **OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 23.

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Problem mnoštva čestica u nuklearnoj fizici

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Izborni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Tamara Nikšić

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU:** -

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** Hrvatski i/ili engleski.

**BROJ SATI NASTAVE:** 20 sati predavanja i 10 sati vježbi.

**OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

Teorija energijskog funkcionala gustoće (DFT) jedan je od najšire korištenih pristupa u opisu sustava mnoštva čestica u raznim granama fizike i kvantnoj kemiji. Glavna prednost ove metode je relativno jednostavna implementacija uz zadržavanje visoke preciznosti i pouzdanosti, te stoga energijski funkcionali gustoće danas imaju centralnu ulogu u opisu strukture atomske jezgre. Pojednostavljeno, vrlo složen problem mnoštva čestica mapira se na efektivni problem jedne čestice u srednjem polju. Osim očite prednosti pojednostavljenja cijelog problema, korištenje intrinzičnih oblika i jednočestičnih stupnjeva slobode omogućava intuitivnu interpretaciju rezultata teorijskih računa. Nedostatak metode je naše nepoznavanje energijskog funkcionala gustoće koji bi bio univerzalan u smislu jedinstvenog opisa svih jezgara u periodnom sustavu (lakih, srednje teških i teških) pa ga moramo aproksimirati fenomenološkim funkcionalima, čije parametre treba prilagoditi eksperimentalnim rezultatima. Fenomenološka priroda funkcionala otežava njegova sistematska poboljšanja i procjene teorijskih grešaka. U sklopu ovog kolegija, studenti će savladati osnovne koncepte i tehnike teorije energijskih funkcionala gustoće s naglaskom na primjenama u opisu nuklearne strukture. Ciljevi kolegija su: i) savladavanje osnovne metodologije rješavanja problema mnoštva čestica što uključuje fizikalne koncepte, matematičke metode i računalnu implementaciju, ii) upoznavanje s najnovijim znanstvenim spoznajama u području problema mnoštva čestica u nuklearnoj fizici s naglaskom na trenutne izazove i mogućnosti istraživanja, iii) stjecanje računalnih i organizacijskih vještina neophodnih pri razvoju vlastitih kompjuterskih kodova, iv) stjecanje komunikacijskih vještina potrebnih za prezentaciju vlastitih rezultata u znanstvenim časopisima i/ili na znanstvenim skupovima. Nakon uspješnog završetka kolegija, student će se bez većih problema moći uključiti u rad bilo koje istraživačke grupe koja se bavi primjenama nuklearnih energijskih funkcionala gustoće.

Sadržaj kolegija po temama: 1) Osnovne tehnike problema mnoštva čestica u kvantnoj fizici: rekapitulacija kvantne mehanike, druga kvantizacija, Hartree-Fock aproksimacija, međudjelovanje sparivanja, BCS i Hartree-Fock-Bogoliubov modeli, aproksimacija slučajnih faza, ponovno uspostavljanje slomljenih simetrija; 2) Teorija energijskog funkcionala gustoće u kontekstu nuklearne fizike: fenomenološke nuklearne interakcije u kontekstu teorije energijskih funkcionala gustoće, efektivni pseudopotencijali, realistični nuklearni potencijali, ne-empirijski funkcionali gustoće; 3) Primjene nuklearnih energijskih funkcionala gustoće: opis strukture atomske jezgre (osnovno stanje, kolektivna pobuđenja, ponovno uspostavljanje slomljenih simetrija), upoznavanje s dostupnim računalnim alatima i njihova primjena u realističnim proračunima.

#### **POPIS LITERATURE**

- J.-P. Blaizot, G. Ripka, Quantum Theory of Finite Systems, The MIT Press (1985).
- A. L. Fetter and J.D. Walecka, Quantum Theory of Many-Particle Systems, Dover (2003).
- Peter Ring, Peter Schuck, The Nuclear Many-Body Problem, Springer (2005).
- odabrani originalni znanstveni radovi.

#### **OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Uz standardne oblike provođenja nastave (predavanja i vježbi), studenti samostalno trebaju izraditi složeniji projektni zadatak, prezentirati rezultate usmeno pred ostalim studentima i nastavnikom i pismeno u obliku seminarskog rada.

#### **OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Obveze studenata su izrada i prezentacija seminara, te polaganje usmenog ispita.

#### **OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**



Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 24.

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Matematičko modeliranje i numeričke metode

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Izborni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Nils Paar

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU:** /

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** Hrvatski i/ili engleski.

**BROJ SATI NASTAVE:** 20 sati predavanja i 10 sati vježbi.

#### **OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

Osnovni cilj predmeta je stjecanje kompetencija u primjeni numeričkih metoda u modeliranju različitih fizikalnih sustava. U prvom dijelu nastave predviđeno je samostalno rješavanje problema na računalu radi stjecanja praktičnog znanja i vještina u primjeni pojedinih numeričkih metoda, a u završnom dijelu samostalno rješavanje složenijeg projektnog zadatka iz teorijske fizike. Cilj je stjecanje interdisciplinarnih kompetencija potrebnih za modeliranje kompleksnih sustava upotrebom numeričkih metoda i računalnog programiranja koje mogu biti primijenjene u bilo kojem području temeljnih ili primijenjenih znanosti.

Sadržaj predmeta po temama: Primjena računalnog programiranja u C programskom jeziku u numeričkom rješavanju problema u fizici. Numerička preciznost i analiza pogreške. Numeričko deriviranje. Operacije s vektorima i matricama, rješavanje linearnog sustava jednažbi. Nelinearne jednažbe i određivanje nultočke - metoda bisekcije, Newton-Raphson metoda, metoda sekante. Numerička interpolacija, ekstrapolacija i prilagodba fizikalnih podataka. Numerička integracija - Newton-Cotes kvadratura, Gaussova kvadratura, višedimenzionalna integracija u opisu fizikalnih sustava. Monte-Carlo metode u opisu radioaktivnog raspada, Monte-Carlo integracija. Numerička simulacija slučajnog hoda, difuzija, Metropolis algoritam. Problem svojstvenih vrijednosti, dijagonalizacija, Jacobi i Hausholder metoda u opisu vezanih kvantnih stanja u impulsnom prostoru. Diferencijalne jednažbe - Euler, Runge-Kutta, Adams metode u opisu dinamike nelinearnih oscilatora, neutronske zvijezde i bijelog patuljka. Problem rubnih uvjeta, metoda gađanja u rješavanju Schroedingerove jednažbe za različite potencijale. Parcijalne diferencijalne jednažbe u rješavanju problema difuzije. Fourierova analiza nelinearnih oscilacija. Algoritam brzog Fourierovog transformata i primjena u spektralnoj analizi. Metode paralelizacije na klaster i grid računalnim sustavima i primjena u modeliranju fizikalnih sustava.

#### **POPIS LITERATURE**

- Morten Hjorth Jensen, Computational Physics, University of Oslo, 2009.
- S.E. Koonin, D.C. Meredith, Computational Physics, Addison-Wesley, 1990.
- Rubin H. Landau, Manuel Jose Paez, Cristian C. Bordeianu, A Survey of Computational Physics - Introductory Computational Science, Princeton University Press, 2008.

- W.H. Press, S.A. Teukolsky, W.T. Vetterling, B.P. Flannery, Numerical Recipes, The Art of Scientific Computing, Cambridge University Press, 2002.

#### **OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Osim predavanja, u okviru vježbi je planirano rješavanje zadataka na računalu (modeliranje danog problema, numeričko rješenje, primjena računalnog programa, analiza rezultata). Studenti samostalno trebaju izraditi složeniji završni projektni zadatak i napisati seminarski rad u formi znanstvenog rada.

#### **OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Obveze studenata su redovito pohađanje nastave; ocjenjivanje je temeljeno na uspjehu postignutom u rješavanju praktičnih zadataka na računalu i završnog projektnog zadatka.

#### **OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 25.

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Nuklearne reakcije

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Izborni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Suzana Szilner, Neven Soić

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU:** -

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** Hrvatski i/ili engleski.

**BROJ SATI NASTAVE:** 20 sati predavanja i 10 sati laboratorijskih vježbi.

#### **OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

Cilj kolegija je upoznavanje studenata s osnovnim konceptima opisa nuklearnih reakcija i s teorijskog i s eksperimentalnog aspekta. Kolegij će biti orijentiran na stjecanje znanja i praktičnog iskustva potrebnih za znanstveni rad, te će kao takav upoznati studente s najnovijim rezultatima u području.

Sadržaj kolegija po temama: osnovni koncepti i pojmovi vezani za različite tipove nuklearnih reakcija. Direktne reakcije: elastično i neelastično raspršenje, reakcije prijenosa pojedinačnih nukleona i nakupina vezanih nukleona), reakcije preko složene jezgre, duboko-neelastični sudari, reakcije fuzije i fisije (fuzijafisija, transferom inducirana fisija). Osnovne vrste akceleratora i detektora za različite produkte reakcija (jezgre, neutroni, gama-zračenje), te pregled najsuvremenijih eksperimentalnih metoda za mjerenja nuklearnih reakcija, zasebno prikazano za reakcije među lakim ( $A < 20$ ) i težim jezgrama. Koincidentna mjerenja više produkata reakcije, kinematički kompletna mjerenja. Specifičnosti mjerenja nuklearnih reakcija izazvanih snopovima kratkoživućih (radioaktivnih) jezgara. Osnovni modeli za opis reakcija koji su razvijeni uzimajući u obzir različite aspekte fenomena koji se javljaju u sudarima jezgara (od lakih do teških jezgara, ovisno o centralnosti sudara, od niskih do srednjih energija). Teorija sudara, metode direktnih reakcija, poluklasična teorija sudara, koncept

vezanja kanala. Trendovi i budućnost mjerenja nuklearnih reakcija. Primjene u interdisciplinarnim istraživanjima i tehnologiji.

#### **POPIS LITERATURE**

- G.R. Satchler, Introduction to Nuclear Reactions, Oxford University Press, 1990.
- G.R. Satchler, Direct nuclear reactions, Clarendon Press, 1983.
- I.J. Thompson, F. Nunes, Nuclear Reactions for Astrophysics, Cambridge University Press, 2010.
- R. Bass, Nuclear reactions with heavy ions, Springer-Verlag, 1980.
- R.A. Broglia, A. Winther, Heavy Ion Reactions, Redwood City, CA: Addison-Wesley, 1991.
- Izvorni znanstveni članci.

#### **OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Nastava se provodi kroz predavanja i studentske seminare, te sudjelovanja u laboratorijskim vježbama.

#### **OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Studenti su dužni pohađati nastavu, pripremiti i prezentirati seminar, te položiti usmeni ispit.

#### **OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 26.

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Fizika zvijezda i zvjezdanih populacija

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNII):** Obvezni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Lovro Palaversa

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU:** /

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** Hrvatski i/ili engleski

**BROJ SATI NASTAVE:** 30 sati predavanja i 15 sati vježbi

#### **OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

1) Pregled svojstava zvijezda, 2) Jednadžbe stanja idealnog i degeneriranog fermionskog plina, 3) Jednadžbe zvjezdane strukture i uloga gustoće, 3) Virijalni teorem, 4) Prijenos energije zračenjem i konvekcijom, 5) Termonuklearni procesi kao izvor energije i nastanak elemenata, 6) Jednostavni zvjezdani modeli, 7) Nastanak zvijezda (Jeansov kriterij), 8) Zvijezde glavnog niza i stabilnost zvijezda, 9) Razvoj zvijezda velikih masa, 10) Razvoj zvijezda malih masa (model i razvoj Sunca), 11) Kompaktne zvijezde (bijeli patuljci i neutronske zvijezde), 12) Supernove, 13) Jednostavne zvjezdane populacije, 14) Rotacija zvijezda, 15) Oscilacije zvijezda

#### **POPIS LITERATURE**

- R. Kippenhahn & A. Weigert: Stellar Structure and Evolution, Springer-Verlag, 1990.
- M. Salaris & S. Cassisi: Evolution of Stars and Stellar Populations, Wiley, 2005.

## **OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Nastava će se odvijati kroz predavanja i seminare.

## **OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Obveze studenata su uredno pohađanje predavanja, odrađivanje seminara i polaganje usmenog ispita.

## **OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 27

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Galaksije i opažacka kozmologija

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Obvezni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Vernesa Smolčić

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU: /**

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** Hrvatski i/ili engleski

**BROJ SATI NASTAVE:** 30 sati predavanja i 15 sati vježbi / seminara

## **OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

1) Specifičnosti opažackih tehnika kroz elektromagnetski spektar (od gamma do radio područja, sinteza aperture, radio interferometrija); 2) Metode obrade velikih baza podataka (oslikavanje, obrada slika, funkcije luminoziteta, sinteza populacija, napredne statističke metode identifikacije skupova galaksija); 3) Velike strukture i raspodjela tvari u svemiru (moderni pregledi neba, SDSS, COSMOS, 2dF, HDF, fotometrijski pomaci prema crvenom); 4) Nastanak i razvoj galaksija (galaksije na velikom crvenom pomaku, 'starburst' i značaj interakcije galaksija, kvazari, aktivne galaktičke jezgre, stvaranje i razvoj galaksija – očekivanja i modeli); 5) Uvod u opažacku kozmologiju (homogeni i izotropni modeli svemira, svemir koji se širi, povijest svemira, standardni model i inflacija); 6) Nehomogenost u svemiru (nehomogenosti u svemiru, primordijalne fluktuacije gustoće, stvaranje i razvoj struktura u svemiru); 7) Određivanje kozmoloških veličina (skupovi galaksija, supernovae u galaksijama na velikom crvenom pomaku, kozmičko pozadinsko zračenje); 8) Rani svemir (Ly-break galaksije, 'novi' tipovi galaksija, infracrveno i rendgensko pozadinsko zračenje, reionizacija svemira, usporedba s modelima).

## **POPIS LITERATURE**

- Peter Schneider: Extragalactic Astronomy and Cosmology, Springer, 2006.
- Alessandro Boselli: A Panchromatic View of Galaxies AGN, radio astronomija.

## **OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Nastava će se odvijati kroz predavanja, diskusije, seminare i konzultacije.

## **OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Obveze studenata su uredno pohađanje predavanja i polaganje usmenog ispita

## **OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 28

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Seminar iz astrofizike

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Obvezni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Vernesa Smolčić

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU:** /

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** Hrvatski i/ili engleski

**BROJ SATI NASTAVE:** 15

### **OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

Izbori tema istraživanja, proučavanje i selekcija znanstvene literature, praćenje tuđih i prezentiranje vlastitih seminara.

### **POPIS LITERATURE**

Prema dogovoru sa studentom i mentorom.

### **OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Odabir teme znanstvenog rada, proširene seminarske diskusije, pripreme vlastitih prezentacija i seminara. Postavljanje znanstvenih hipoteza, metode rada i analize rezultata.

### **OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Redovito i aktivno sudjelovanje u radu seminara. Prezentiranje vlastitog seminarskog rada.

## **OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 29.

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Astronomija s masivnim bazama podataka

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Izborni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Željko Ivezić, Vernesa Smolčić

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU:** Mario Jurić

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** Hrvatski i/ili engleski

**BROJ SATI NASTAVE:** 20 sati predavanja i 10 sati vježbi

**OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

Uvod u moderne masivne astronomske preglede neba, statističke metode analize podataka i softverske alate (SQL, Python, GIT)

**POPIS LITERATURE**

- Ivezić, Connolly, VanderPlas & Gray: "Statistics, Data Mining, and Machine Learning in Astronomy", 2014, Princeton University Press.

**OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Nastava će se odvijati kroz predavanja i izradu seminarskih radova (analizu podataka).

**OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Tri praktična projekta (75% ocjene) i prezentacija projekta (25%).

**OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 30.

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Solarna magnetohidrodinamika

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Izborni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Bojan Vršnak

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU: /**

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA/MODULA:** Hrvatski i/ili engleski

**BROJ SATI NASTAVE:** 15 sati predavanja i 15 sati vježbi

**OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

1. Uvod: a) struktura Sunca, s naglaskom na konvektivno područje i atmosferu; b) Sunčeva aktivnost i 22- godišnji magnetski ciklus; c) utjecaj Sunčeve aktivnosti na međuplanetarni prostor i planet Zemlju.
2. Osnovne značajke magnetohidrodinamičkog (MHD) približenja: a) jednačbe MHD i osnovni MHD parametri; b) primjena na astrofizičke uvjete; c) MHD valovi, udarni valovi; d) idealne i rezistivne MHD nestabilnosti; e) magnetsko prespajanje.
3. Sunčev MHD dinamo - izvorište Sunčeva magnetizma: a) uzroci diferencijalne vrtnje; b) međudjelovanje magnetskog polja, konvekcije i vrtnje; c) pobuđivanje globalnog sustava električnih struja i uskladištenje energije; d) izviranje magnetskog polja; e) Sunčev ciklus aktivnosti.
4. Aktivnih područja: a) Sunčeve pjege - nastanak i razvoj; b) ustrojstvo korone; c) lokalni MHD dinamo.
5. Sunčeve prominencije: a) nastanak, ustrojstvo i razvoj; b) pojam gubitka stabilnosti; c) proces erupcije.

6. Eruptivni procesi - I: a) koronini izbačaji - uzroci i razvoj; b) Sunčevi bljeskovi - uzroci i razvoj.
7. Eruptivni procesi - II: a) povezanost izbačaja i bljeskova; b) nastanak i svojstva globalnih udarnih valova.
8. Koronine šupljine i Sunčev vjetar: a) Parkerov model Sunčevog vjetra; b) magnetsko polje heliosfere; c) brzi i spori Sunčev vjetar; d) ko-rotirajuća interaktivna područja.
9. Utjecaj eruptivnih procesa na stanje Sunčeva vjetra: a) međuplanetarni izbačaji; b) udarni valovi; c) čestični snopovi.
10. Fizika sustava Sunce-Zemlja: a) utjecaj X- i EUV-zračenja na ionosferu; b) čestični snopovi; c) geomagnetske oluje; d) Forbushev učinak; e) svemirska prognostika.

#### **POPIS LITERATURE**

- E. R. Priest: Solar Magnetohydrodynamics (Springer, 1984)
- M. Aschwanden: Physics of the Solar Corona (Springer 2005)
- B. Vršnak: Temelji fizike plazme (Šk. knjiga, 1996)

#### **OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Interaktivna predavanja i diskusije, tematsko-problemski teorijski i empirijski „mini-projekti“, tematski seminari, problemske zadaće, konzultacije.

#### **OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Ovisno o broju studenata i njihovim obavezama: ili predavanja jednom tjedno, ili predavanja u nekoliko većih blokova. Ispiti prema dogovoru.

#### **OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 31.

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Relativistička magnetohidrodinamika

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Izborni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** TBD

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU:** /

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** Hrvatski i/ili engleski

**BROJ SATI NASTAVE:** 15 sati predavanja i 10 sati vježbi

**OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

Osnovni koncepti specijalne i opće relativnosti. Osnove relativističke magnetohidromehanike. Osnovni koncepti astrofizike zvijezda. Supernove i zvjezdani kolaps. Kompaktni objekti: bijeli patuljci, neutronske zvijezde, crne rupe. Osnove akrecije u astrofizici. Teorija akrecijskih diskova. Akrecija na

crne rupe. Prethodnici provala gama-zračenja. Fizika relativističkih mlazova. Astrofizički izvori gravitacijskog zračenja.

#### **POPIS LITERATURE**

- Kippenhahn, R. Weigert, H., Stellar Structure and Evolution. Second Edition, Springer-Verlag, Berlin (1991).
- Boettcher, M., Harris, D.E., Krawczynski, H., Relativistic Jets from Active Galactic Nuclei, Wiley-VCH, Weinheim (2012).
- C.W. Misner, K.S. Thorne, J.A. Wheeler, Gravitation. W.H. Freeman and Co., San Francisco, CA (1973).
- Frank, J., King, A. Raine, D., Accretion Power in Astrophysics. Second Edition, Cambridge University Press, Cambridge (1992).
- Shapiro, S.L., Teukolsky, S.A., Black Holes, White Dwarfs and Neutron Stars. John Wiley and Sons, New York (1983).
- Punsly, B., Black Hole Gravitohydrodynamics, Springer Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York (2001).

#### **OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Nastava će se odvijati kroz predavanja i vježbe.

#### **OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Studenti će se kontinuirano vrednovati tijekom predavanja: očekuje se aktivno sudjelovanje i rješavanje vježbi u učionici. Studenti će se ocjenjivati i po završetku predavanja testovima s višestrukim izborom.

#### **OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 32.

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Međuzvezdana materija

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Izborni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Dejan Vinković, Vibor Jelić

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU:** /

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** Hrvatski i/ili engleski

**BROJ SATI NASTAVE:** 20 sati predavanja i 10 sati vježbi

#### **OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

Ravnoteža u međuzvezdanoj materiji (MZM), modeli MZM, HI područja (apsorpcija, emisija), prijenos zračenja u linijama, formiranje linija, linija 21cm, HII područja (ionizacija i rekombinacija, grijanje i hlađenje), međuzvezdana prašina (fizika i kemija prašine, ekstincija, prašinasta optička dubina i prijenos zračenja), međuzvezdane molekule, molekule CO i H<sub>2</sub>, molekularni oblaci.



## **POPIS LITERATURE**

- E. Kruegel, The Physics of Interstellar Dust, Institute of Physics Publishing (December, 2002).
- L. Spitzer, Physical Processes in the Interstellar Medium, Wiley, John & Sons, Inc. (1998).

## **OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Nastava će se odvijati kroz predavanja i izradu seminarskih radova.

## **OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Obveze studenata su uredno pohađanje predavanja i polaganje usmenog ispita.

## **OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 33.

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Opažачke metode u astrofizici

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Izborni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Vibor Jelić

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU:**

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** Hrvatski i/ili engleski

**BROJ SATI NASTAVE:** 20 sati predavanja i 10 sati vježbi

## **OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

1) Pregled opažачkih metoda kroz elektromagnetski spektar (od gamma do radio područja); 2) Pregled teleskopa i detektora kroz elektromagnetski spektar; 3) Fotometrija i spektroskopija; 4) Interferometrija; 5) Uvod u radioastronomiju (radio izvori, širenje i interakcija radiovalova, polarizacija, fizika radio zračenja); 6) Radio teleskopi i radio interferometri (tehničke karakteristike, analiza opažanja i kalibracija); 7) Uvod u Xzračenje i  $\gamma$ -zračenje astronomiju; 8) Odabrana poglavlja iz opažачke kozmologije (npr. pozadinsko zračenje i Epoha reionizacije Svemira).

## **POPIS LITERATURE**

- Observational Astrophysics, A&A Library, Lena et al., Springer;
- Tools of Radio Astronomy, A&A Library, Wilson et al., Springer;
- Interferometry and Synthesis in Radio Astronomy, Thompson et al., Wiley.

## **OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Nastava će se odvijati kroz predavanja, diskusije, seminare i konzultacije.

## **OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Obveze studenata su uredno pohađanje predavanja i polaganje ispita u obliku seminara.

## **OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 34.

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Uvod u modernu atomsku, molekulsku i optičku fiziku

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Obavezni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Hrvoje Buljan, Tacijana Ban

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU:** /

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** Hrvatski i/ili engleski

**BROJ SATI NASTAVE:** 40 sati predavanja i 15 sati vježbi

**OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

Kvantni opis atoma i molekula. Višečestične funkcije i operatori. Born-Oppenheimerova aproksimacija. Hartree-Fock aproksimacija. Matrični elementi. Druga kvantizacija. Coulombovi i operatori izmjene. Multikonfiguracijske valne funkcije. Jednočestična reducirana matrica gustoće i prirodne orbitale.

Osnove spektroskopije. Fina i hiperfina atomska struktura. Rydbergovi atomi.

Međudjelovanje atoma i elektromagnetskog polja; dipolna aproksimacija; sustav s dva nivoa i Rabijeve oscilacije; matrica gustoće i optičke Blochove jednačbe; obučena stanja; račun linearne susceptibilnosti; spontana i stimulirana emisija; sustav s tri nivoa, tamna stanja i elektromagnetski inducirana transparentija. Mehaničko djelovanje svjetlosti na atome.

Bose-Einsteinova kondenzacija. Kvantni opis ultrahladnih atomskih plinova.

Hamiltonijan kvantne elektrodinamike (KvED). Kvantni opis svjetlosti. Klasična nasuprot ne-klasičnoj svjetlosti. Kvantna nasuprot klasične koherencije. Zapetljena stanja. Primjeri KvED (šupljine).

Svjetlost u fotoničkim sustavima. Fotonički kristali. Fotoničke vrpce i procjepi. Vezani valovodi i propagacija svjetlosti. Osnovni elementi plazmonike.

#### **POPIS LITERATURE**

- A. Szabo and N.S. Ostlund, Modern Quantum Chemistry – Introduction to Advanced Electronic Structure Theory, Dover Publications Inc., New York (1996).
- H. J. Metcalf, Peter van der Straten: Laser Cooling and Trapping, Springer-Verlag, Berlin (1999).
- M. O. Scully, M.S. Zubairy, Quantum Optics, University Press, Cambridge (1997).
- C. J. Pethic and H. Smith, Bose-Einstein Condensation in Dilute Gases, Cambridge University Press, Cambridge (2008).
- J. D. Joannopoulos, S.G. Johnson, J.N. Winn, and R.D. Meade, Photonic Crystals: Molding the Flow of Light, Princeton University Press, Princeton (2008).

#### **OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Nastava će se odvijati kroz standardne oblike: predavanja i vježbe.

#### **OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Obveze studenata su rješavanje manjeg projektnog zadatka, te polaganje usmenog ispita na kraju kolegija.

#### **OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 35

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Seminar iz atomske, molekulske i optičke fizike

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Obvezni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Hrvoje Buljan

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU:** /

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** Hrvatski i/ili engleski

**BROJ SATI NASTAVE:** 15

#### **OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

Izbori tema istraživanja, proučavanje i selekcija znanstvene literature, praćenje tuđih i prezentiranje vlastitih seminara.

#### **POPIS LITERATURE**

Prema dogovoru sa studentom i mentorom.

#### **OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Odabir teme znanstvenog rada, proširene seminarske diskusije, pripreme vlastitih prezentacija i seminara. Postavljanje znanstvenih hipoteza, metode rada i analize rezultata.

#### **OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Redovito i aktivno sudjelovanje u radu seminara. Prezentiranje vlastitog seminarskog rada.

#### **OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 36.

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Nelinearna optika

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Izborni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Marinko Jablan

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU: /**

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** Hrvatski i/ili engleski

**BROJ SATI NASTAVE:** 15 sati predavanja i 15 sati vježbi

**OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

Nelinearna optička susceptibilnost. Model klasičnog aharmoničkog oscilatora. Kramers-Kronig relacije u linearnoj nelinearnoj optici. Valna jednažba za opis nelinearnih optičkih sustava. Sustav vezanih jednažbi za opis stvaranja sume harmonika. Slaganje faza. Stvaranje drugog harmonika, razlike frekvencija. Optičko parametarsko pojačanje. Kvantno-mehanička teorija nelinearne optičke susceptibilnosti; formalizam matrice gustoće; sustav s dva nivoa. Nelinearne pojave u sustavu gdje indeks loma ovisi o intenzitetu. Samofokusiranje. Solitoni. Modulacijska nestabilnost. Nelinearne fotoničke rešetke. Nelinearna optika s ultrabrzim i jakim poljima.

**POPIS LITERATURE**

- R. Boyd, Nonlinear Optics, 3rd edition, Academic Press/Elsevier, Amsterdam (2008).
- Y.R. Shen, The Principles of Nonlinear Optics, Wiley, Hoboken NJ (2003).

**OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Nastava bi se odvijala kroz predavanja i vježbe.

**OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Obveze studenata su rješavanje manjih projektnih zadataka, te polaganje usmenog ispita na kraju kolegija.

**OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 37.

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Optika i holografija

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Izborni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Hrvoje Skenderović

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU: /**

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** Hrvatski i/ili engleski

**BROJ SATI NASTAVE:** 15 sati predavanja i 30 sati vježbi

**OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

Uvod. Tumačenje prirode svjetlosti (od najranijih ideja do novih spoznaja). Signali i sustavi (optičko filtriranje, karakteriziranje signala, uzorkovanje, linearni sustavi). Geometrijska optika (paraksijalna

aproximacija, matrične metode, aberacije). Valna optika (Maxwellove jednadžbe, rješenja, svojstva, koherencija). Interferencija svjetlosti (uvjeti, primjeri, interferometri). Difrakcija svjetlosti (aproximacije, Fresnelova, Fraunhoferova, FT lećom). Holografija (povijesni uvod, matematički opis, klasifikacija holograma). Digitalna holografija (koncept, uvjeti snimanja, problemi, rješenja). Primjena holografije (display, holografaska interferometrija, optičko koreliranje). Holografaska interferometrija (matematički opis, interpretacija pruga, svojstva, primjeri). Optičko koreliranje (matematički opis, tipovi korelatora, primjeri). Korelacijski filtri (klasični, sintetski, matrična notacija, tipovi). Hibridni opto-elektronički sustavi (svjetlosni modulatori, primjeri sustava za raspoznavanje uzoraka).

#### **POPIS LITERATURE**

- J. W. Goodman, Introduction to Fourier Optics, McGraw-Hill, New York, 1968.
- P. Hariharan, Optical Holography, Cambridge University Press, 1996.
- E. Hecht, Optics, Addison Wesley, San Francisco, 2002.

#### **OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

1. Predavanja (blokovi od po 2-3 sata); 2. Laboratorijske vježbe (holografija, holografaska interferometrija); 3. Seminar (tema u okviru kolegija); 4. Usmeni ispit.

#### **OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Pohađanje nastave uz aktivno sudjelovanje (tematske diskusije), upoznavanje laboratorija i opreme, izvođenje laboratorijskih vježbi, detaljan opis vježbi i postignutih rezultata, seminarski rad s temom iz sadržaja kolegija, usmeni ispit.

#### **OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 38.

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Kvantna optika

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNII):** Izborni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Marinko Jablan

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU:** /

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** Hrvatski i/ili engleski

**BROJ SATI NASTAVE:** 15 sati predavanja i 15 sati vježbi

#### **OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

1) Interakcija atoma i elektromagnetskog polja. Polu-klasična teorija, atom s dva levela i Rabijeve oscilacije. Stimulirana emisija i laser. Jaynes-Cummings model i Weisskopf-Wigner teorija spontane emisije. Tamna stanja i elektromagnetski inducirana transparentija.

2) Kvantna teorija gušenja. Interakcija s termalnim rezervoarom u aproksimaciji Markovianskog bijelog šuma. Kraljevska jednadžba za operator gustoće. Heisenberg-Langevin formalizam.

3) Rezonantna fluorescencija. Teorija spektralnog analizatora. Kvantni regresijski teorem. Fotonsko antigužvanje i ne-klasična svojstva raspršene svjetlosti.

#### **POPIS LITERATURE**

- M.O. Scully, M.S. Zubairy, Quantum Optics, University Press, Cambridge (1997).
- P. Meystre, M. Sargent III, Elements of Quantum Optics, 4th Edition, Springer, Berlin (2007).
- G. Grynberg, A. Aspect, C. Fabre, Introduction to Quantum Optics, University Press, Cambridge (2010).

#### **OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Nastava bi se odvijala kroz predavanja i vježbe.

#### **OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Obveze studenata uključuju izradu domaćih zadaća, te polaganje usmenog ispita.

#### **OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 39.

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Nekonvencionalne tehnike u atomskoj spektroskopiji

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Izborni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Silvije Vdović

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU:** /

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** Hrvatski i/ili engleski

**BROJ SATI NASTAVE:** 15 sati predavanja i 15 sati vježbi

#### **OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

A. Mogućnosti i ograničenja klasičnih i laserskih spektroskopskih tehnika: Spektroskopija uporabom monokromatora. Laserska atomska apsorpcijska spektroskopija. Laserom inducirana fluorescencija. Doppler-limited i Doppler-free spektroskopija. B. Prednosti nekonvencionalnih klasičnih i laserskih spektroskopskih tehnika: Fourier-transform spektroskopija. Optogalvanska, optoakustička i termionska detekcija. Spektroskopija valova u plazmi. C. Osnove modulacijske spektroskopije: Optoelektroničke osobine poluvodičkih diodnih lasera. Metode stabilizacije i ugađanja valne duljine diodnih lasera. Spektroskopija modulacijom valne duljine, frekvencije i faze zračenja lasera. D. Primjene nekonvencionalnih tehnika: novi standardi valne duljine i frekvencije, detekcija valova u plazmi, detekcija tragova elemenata i kemijskih spojeva, fotodinamička dijagnostika, kontrola zagađenja atmosfere i okoliša.

#### **POPIS LITERATURE**

- Wolfgang Demtröder, "Laser Spectroscopy", Vol. 1: Basic Principles, Springer 2008, ISBN-10: 3540734155 Edition: 4th

- Wolfgang Demtröder, "Laser Spectroscopy", Vol. 2: EXPERIMENTAL TECHNIQUES, Springer 2008, ISBN-10: 3540749527 EDITION: 4TH
- ALAN CORNEY, "ATOMIC AND LASER SPECTROSCOPY", OXFORD 2006, ISBN-10: 0199211450, Edition: 2nd

#### **OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Nastava će se održavati putem predavanja, vježbi i konzultacija, te kroz studentske seminare.

#### **OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Obveze nastavnika su pismeno (referat) i usmeno održavanje seminara od cca 30 minuta na izabranu temu, odnosno članak.

#### **OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 40.

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Spektroskopske metode u proučavanju molekulskih vibracija

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** izborni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Vedran Đerek

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU:** Vlatko Gašparić

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** hrvatski i/ili engleski.

**BROJ SATI NASTAVE:** 15 sati predavanja i 15 sati vježbi

#### **OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

Svojstvena stanja energije slobodnih molekula, razdvajanje elektronskih, vibracijskih i rotacijskih stanja za slobodne molekule. Stanja elektronskog i nuklearnog spina. Spektroskopije elektronskih prijelaza- UV/vis, fluorescentna, fotoelektronska spektroskopija. Spektroskopije prijelaza u osnovnom elektronskom stanju – vibracijske spektroskopije, mikrovalna spektroskopija rotacijskih prijelaza. Spektroskopija elektronske paramagnetske rezonancije. Nuklearna magnetska rezonancija. Masena spektrometrija.

Osnove kvantne teorije molekula, Born-Oppenheimerova aproksimacija. Svojstvena stanja energije slobodnih molekula, razdvajanje vibracijskih od rotacijskih stanja za slobodne molekule, analiza oblika vrpce za tekućine. Definiranje simetrije molekula, točkaste grupe, permutacijsko-inverzijske grupe, grupe kristala. Vibracijska analiza normalnim modovima uz interne koordinate za krute molekule. Inverzija i nabiranje prstenova. Primjeri fleksibilnih molekula – nitrometan, ciklobutan, amonijak. Ramanova i infracrvena spektroskopija, izborna pravila opaženih modova. Vibracijska spektroskopija faznih prijelaza, plastični i tekući molekularni kristali. Numeričke metode računanja vibracija – programi gaussian, balga, molvib za slobodne molekule. Dftb+ za račun kristalnih vibracija. Metode molekulske dinamike i račun gustoće stanja u neuređenim sistemima.

#### **POPIS LITERATURE**

- Wolfgang Demtröder: Molecular Physics, Theoretical Principles and Experimental Methods, NRC Press Ottawa 1998
- J. M. Hollas: Modern spectroscopy, Wiley 2004.
- B. Schrader: Infrared and Raman Spectroscopy, VCH Weinheim 1995.
- R. Lewis, H. G. M. Edwards: Handbook of Raman Spectroscopy, Marcel Dekker New York 2002.
- Carrington, A. D. McLachlan: Introduction to Magnetic Resonance, Chapman & Hall 1983
- M. H. Levitt: Spin Dynamics: Basics of Nuclear Magnetic Resonance, Wiley 2008.
- J. H. Gross: Mass Spectrometry, Springer Verlag 2004.
- P. R. Bunker, Per Jensen: Molecular Symmetry and Spectroscopy, NRC Press Ottawa 1998
- J. M. Hollas: Modern spectroscopy, Wiley 2004.
- E. B. Wilson., J. C. Decious, P. C. Cross: Molecular vibrations, Dover 1955
- S. Califano: Vibrational states, Wiley 1976
- D. G. Lister, J. N. MacDonald, N. L. Owen: Internal rotation and inversion, Academic Press 1978.

#### **OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Na predavanjima bi se izložila teorija, uz to bi se organizirao posjet laboratorijima u kojima se metode primjenjuju.

#### **OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Svaka studentica/student bi u svom seminarskom radu trebala/trebao primijeniti stečeno znanje na konkretnom primjeru prilagođenom vlastitom interesu. Seminar zamjenjuje pismeni dio ispita, a ispit se polaže usmeno.

#### **OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 41.

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Femtosekundna laserska spektroskopija

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Izborni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Nataša Vujičić

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU:** /

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** hrvatski

**BROJ SATI NASTAVE:** 15 sati predavanja i 15 sati vježbi

#### **OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

Razvojem tehnologije te otkrićem stabilnih femtosekundnih (fs) lasera koji emitiraju pulseve u subpikosekundnom području došlo je do novog preokreta u ultrabrzoj znanosti. Koncepti i metodologije svojstvene ultrabrzoj znanosti na uzbudljiv su način utjecali na razvoj kemije, biologije, fizike, ali i drugih područja istraživanja, kao što su znanost o materijalima, elektrotehnika i telekomunikacije. Tijekom kolegija obradit će se teme vezane za generaciju ultrakratkih fs pulseva,



njihovu vremensku i spektralnu karakterizaciju te vrste fs lasera. Zbog svojih svojstva u komplementarnim vremenskim i frekventnim domenama, femtosekundni laseri su omogućili prodore u istraživanjima ultrabrze vremenske dinamike i precizne spektroskopije, dok je napredak u nelinearnim i višedimenzionalnim optičkim tehnikama doveo do primjene lasera u mikoobradi materijala, mikroskopiji te stvaranju attopulseva.

#### **POPIS LITERATURE**

- C. Rulliere: Femtosecond Laser Pulses- Principles and Experiments, (Springer Science +Business Media, Inc, 2005)
- J.-C. Diels and W. Rudolph: Ultrashort Laser Pulse Phenomenon: Fundamentals, techniques and applications on a femtosecond time scale, (Academic Press, Boston, 1996)
- J. Ye and S. T. Cundiff, Femtosecond Optical Frequency Comb Technology (Springer, Boston, 2005)

#### **OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Predavanja će biti raspoređena tako da pokrivaju sadržaj kolegija: Pulsna optika; Tehnike stvaranja femtosekundnih pulseva; Vremenska i spektralna karakterizacija femtosekundnih pulseva; Femtosekundni laseri kao izvori ultrakratkih laserskih pulseva bazirani na (i) kristalnim medijima (eng. solid state femtosecond lasers) te (ii) optičkim vlaknima (eng. femtosecond fiber lasers); Niz fs pulseva (eng. Pulse train) vs. frekventni češalj (eng. frequency comb) te njihova karakterizacija u vremenskoj /spektralnoj domeni; Spektroskopija femtosekundnim laserom u istraživanjima ultra-brze vremenske dinamike sustava (eng. pump-probe experiments); Spektroskopija frekventnim češljem (eng. frequency comb spectroscopy) i primjene optičkog frekventnog češlja u metrologiji, optičkim atomskim satovima i preciznoj spektroskopiji; Višefotonska apsorpcija i primjena femtosekundnih lasera u mikroskopiji; Nelinearna interakcija fs pulseva s medijem, stvaranje viših harmonika i generacija attosekundnih pulseva.

Vježbe u trajanju od 15 sati izvodit će se kroz studentske seminare. Studentima će se ponuditi na izbor jedna od aktualnih tema u znanosti povezana uz femtosekundne lasere koju će studenti, uz pomoć znanstvene literature, obraditi i prezentirati u vidu predavanja (u trajanju do max. 45 minuta).

#### **OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Predavanja i konzultacije će se održavati po dogovoru sa studentima, u vremenskom periodu ne dužem od dva mjeseca. Nakon predavanja napraviti će se pauza u trajanju od tri tjedna tijekom koje će studenti pripremati svoje seminare. Nakon održanih seminara, organizirat će se u posebnom terminu i usmeni ispit iz obrađenog gradiva.

#### **OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 42.

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Ultrahladni atomski plinovi i metode višečestične fizike

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Izborni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Hrvoje Buljan, Dario Jukić

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU: /**

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** Hrvatski i/ili engleski.

**BROJ SATI NASTAVE:** 15 sati predavanja i 15 sati seminara

**OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

Uvod: neinteragirajući atomski plinovi, Bose-Einsteinova raspodjela, kondenzacija na niskim temperaturama. Tehnike hlađenja i zatočenja atomskih plinova. Kvantno raspršenje dvaju atoma, duljina raspršenja, opis interakcije među atomima preko pseudopotencijala.

Gross-Pitaevskii jednadžba za opis kondenzata. Dinamika kondenzata: slobodna ekspanzija, solitoni. Mikroskopski opis bozonskog plina: Bogoliubovljeva transformacija, elementarna pobuđenja. Rotirajući kondenzati, efektivna magnetska polja za hladne atome. Interferencija i korelacije u kondenzatima.

Optičke rešetke: dimenzionalnost rešetke, energetske skale, vrpce. Bose-Hubbardov model. Prijelaz superfluid-Mottov izolator. Hladni atomi u nižim dimenzijama: BKT prijelaz u 2D, korelacijske funkcije i limit jakog vezanja u 1D.

Uvod u Monte Carlo metode, pseudoslučajni brojevi, slučajni hod, procjena greške. Varijacijski Monte Carlo. Probne valne funkcije prikladne za simulacije atoma, molekula, klastera, fluida i krutina te njihova optimizacija. Difuzijski Monte Carlo. Fermioni i pobuđena stanja – problem predznaka. Proračun očekivanih vrijednosti. Proračuni na konačnim temperaturama: 'path integral' kvantni Monte Carlo. Sve će metode biti popraćene primjerima primjena u područjima atomske i molekularne te fizike kondenzirane materije.

#### **POPIS LITERATURE**

- Pethick, C. J., and H. Smith, 2008, Bose-Einstein Condensation in Dilute Gases (Cambridge University Press, Cambridge, UK);
- Pitaevskii, L., and S. Stringari, 2003, Bose-Einstein Condensation (Oxford University Press, UK);
- Cohen-Tannoudji, C., and D. Guery-Odelin, 2011, Advances In Atomic Physics: An Overview (World Scientific Publishing Company, Singapore);
- Lewenstein, M., A. Sanpera, and V. Ahufinger, 2012, Ultracold Atoms in Optical Lattices (Oxford University Press, Oxford, UK).
- Schattke, W., and R. Díez Muiño, Quantum Monte Carlo programming for atoms, molecules, clusters and solids (Wiley 2013)
- Hammond, B. L., W.A. Lester, i P.J. Reynolds, Monte Carlo methods In ab initio quantum chemistry: quantum Monte Carlo for molecules (Wspc 1994)
- Bloch, J. Dalibard, W. Zwerger, Many-body physics with ultracold gases, Rev. Mod. Phys. 80, 885 (2008);
- J. Kolorenč and L. Mitas, Applications of quantum Monte Carlo methods in condensed systems, Rep. Prog. Phys. 74, 026502 (2011)
- R. J. Needs, M.D. Towler, N.D. Drummond, and P. López Ríó, Continuum variational and diffusion quantum Monte Carlo calculations, J. Phys. Cond. Mat. 22, 023201 (2009);
- W. A. Lester Jr., L. Mitas and B. Hammond, Quantum Monte Carlo for atoms, molecules and solids, Chem. Phys. Lett. 478, 1–10 (2009)

- D. M. Ceperley, Path integrals in the theory of condensed helium, Rev. Mod. Phys. 67, 279 (1995).

#### **OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Nastava će se odvijati kroz predavanja i seminare.

#### **OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Obveze studenata su rješavanje seminarskog zadatka, te polaganje usmenog ispita na kraju kolegija.

#### **OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 43.

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Koherentno međudjelovanje atoma i svjetlosti

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Izborni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Damir Aumiler

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU:** /

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** Hrvatski i/ili engleski.

**BROJ SATI NASTAVE:** 15 sati predavanja i 15 sati vježbi.

#### **OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

U sklopu kolegija studenti će se upoznati s osnovnim fizikalnim pojavama vezanim uz pobudu atoma laserskom svjetlošću. Opis međudjelovanja lasera s atomima izložit će se koristeći formalizam matrice gustoće i optičkih Blochovih jednadžbi, s konkretnim primjerima/ilustracijama izloženim kroz numeričke simulacije. Obuhvatit će se slijedeće teme: 1. Opis stanja atoma pomoću matrice gustoće; 2. Optičke Blochove jednadžbe; 3. Atom s dva nivoa; 4. Rabijeve oscilacij; 5. Mehanizmi širenja atomskih linija; 6. Apsorpcija i emisija svjetlosti; 7. Optičko pumpanje; 8. Koherentno zarobljavanje naseljenosti (CPT); 9. Elektromagnetski inducirana transparentija (EIT); 10. Autler-Townes cijepanje; 11. Pobuda atoma ultrakratkim pulsevima; 12. Pobuda atoma optičkim frekventnim češljem.

#### **POPIS LITERATURE**

- D. A. Steck: Quantum and Atom Optics, <http://steck.us/teaching>

#### **OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Nastava će se izvoditi putem predavanja (20 sati), vježbi (10 sati) i konzultacija. Kroz vježbe će se na konkretnim primjerima i numeričkim simulacijama izložiti osnovni koncepti i pojave. Odabrane teme obraditi će se u obliku seminara.

#### **OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Nositelj kolegija će održavati predavanja i vježbe te uz osnovnu literaturu osigurati i dodatnu literaturu temeljenu na relevantnim znanstvenim radovima. Svaki će student održati seminar u sklopu kojeg će koristeći numeričke simulacije obraditi neku od tematika iz sadržaja kolegija.

#### **OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 44.

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Lasersko hlađenje i zarobljavanje

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Izborni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Tacijana Ban

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU:** /

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** Hrvatski i/ili engleski.

**BROJ SATI NASTAVE:** 15 sati predavanja i 15 sati vježbi.

#### **OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

Cilj predmeta je upoznati studente s osnovama laserskog hlađenja i zarobljavanja; tehnike koja je omogućila hlađenje atoma do temperatura bliskih apsolutnoj nuli, te time otvorila novi uvid u svijet kvantne fizike. Sadržaj predmeta obuhvaća: 1. Međudjelovanje svjetlosti i atoma s dva energijska nivoa; 2. Sila na atom uzrokovana laserom; 3. Osnovni koncepti laserskog hlađenja; 4. Dopplerovo hlađenje; 5. Magneto-optička stupica (MOT); 6. Hlađenje ispod Dopplerove granice; 7. Dipolna sila; 8. Magnetsko zarobljavanje atoma; 9. Evaporativno hlađenje; 10. Primjene (atomska optika, atomska interferometrija, Rydbergova stanja, ultrahladne molekule, ultra-hladne atomske plazme, BEC, optičke rešetke, atomski satovi, kvantne informacije, kvantno sprezanje).

#### **POPIS LITERATURE**

- H. J. Metcalf, P. van der Straten, Laser Cooling and Trapping, Springer-Verlag, Berlin, 1999.
- W. D. Phillips, Laser cooling and trapping of neutral atoms, Reviews of Modern Physics, Vol. 70, No. 3, July 1998.

#### **OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Nastava će se izvoditi putem predavanja (20 sati), seminara (10 sati) i konzultacija. Kroz seminare će se obraditi dio sadržaja predmeta koji je vezan za primjenu tehnika laserskog hlađenja i zarobljavanja.

#### **OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Nositelj predmeta će održavati predavanja, a svaki student će održati seminar i obraditi jednu primjenu laserskog hlađenja i zarobljavanja. Nositelj predmeta osigurat će literaturu za kolegij, kao i literaturu baziranu na znanstvenim radovima potrebnu za održavanje seminara.

#### **OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 45.

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Niskotemperaturne plazme i primjene

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Izborni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Slobodan Milošević

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU:** /

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** Hrvatski i/ili engleski.

**BROJ SATI NASTAVE:** 15 sati predavanja i 15 sati seminara

**OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

Niskotemperaturne plazme predstavljaju posebno područje istraživanja u fizici plazme označeno od strane američkog nacionalnog istraživačkog vijeća (NRC) kao posebno važno i propulzivno (2010. <http://www.nap.edu/read/11960/chapter/1>). Niskotemperaturne, hladne, plazme su neravnotežne plazme još i danas komplicirane za teoriju ali i za dijagnostiku, te prepune izazova u temeljnim znanostima. S druge strane primjene su izuzetno raširene u vrlo različitim područjima, što ih čini osnovom za interdisciplinarna istraživanja. Ovakav kolegij osim fizičarima može biti od interesa medicinarima, stomatolozima, biologima, kemičarima, tekstilcima, biotehničarima, strojarima i drugima. U sklopu kolegija obrađivat će se osnovni načini stvaranja i dijagnostike niskotemperaturnih plazmi i primjeri koji će biti od interesa pojedinom student/ici. Cilj je približiti studentu najnovija postignuća u razumijevanju i korištenju niskotemperaturnih plazmi u međudjelovanju od ljudskog tkiva do čelika ili modernih materijala kao grafen. Niskotemperaturne plazme, niskotlačne ili atmosferske, istražuju se na Institutu za fiziku pa će studentima biti na raspolaganju obilazak i vježba u nekoliko laboratorija.

**POPIS LITERATURE**

- [http://eskola.hfd.hr/proc\\_za\\_vas/proc-21/proc21.htm](http://eskola.hfd.hr/proc_za_vas/proc-21/proc21.htm) (elementarni pojmovi)
- Literatura je brojna i bit će stavljena na raspolaganje studentima prema potrebi.

**OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Nastava će se odvijati kroz predavanja, vježbe i seminare, te posjet laboratorijima Instituta za fiziku.

**OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Obveze studenata su izrada seminarskog rada na zadanu temu (elektronička forma i usmeno izlaganje)

**OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 46.

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Fizika plazme

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Izborni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Bojan Vršnak

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU:** /

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA/MODULA:** Hrvatski i/ili engleski

**BROJ SATI NASTAVE:** 15 sati predavanja i 15 sati vježbi.

**OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

1. Uvod: Osnovne karakteristike plazmenih sustava. 2. Debye-Hückelova teorija. Elementarni procesi u plazmi. Sahina jednadžba. 3. Jednočestični pristup: gibanje nabijenih čestica u električnim i magnetskim poljima; čestični sudari. 4. Hidrodinamički pristup: magnetohidrodinamika (MHD) i dvokomponentni model. 5. Kinetički pristup: osnovne jednadžbe; nemaxswelovske distribucije. 6. Ravnotežni sustavi. Oscilacije i valovi u plazmenim sustavima. 7. Idealni i disipativni procesi. MHD udarni valovi. Magnetska rekonekcija. 8. Nestabilnosti plazmenih sustava. Gubitak ravnoteže sustava. MHD i kinetičke nestabilnosti. 9. Elektromagnetsko zračenje plazmenih sustava. 10. Primjene: laboratorijsko dobivanje plazme i dijagnostika plazme; procesi u Sunčevoj atmosferi i Sunčevom vjetru; magnetosfera Zemlje.

**POPIS LITERATURE**

- B. Vršnak: Temelji fizike plazme (Šk. knjiga, 1996)
- L. Landau: Electrodynamics of Continuous Media, Pergamon, Oxford, 1984

**OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Interaktivna predavanja i diskusije, tematsko-problemski teorijski i empirijski „mini-projekti“, tematski seminari, problemske zadaće, konzultacije.

**OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Ovisno o broju studenata i njihovim obavezama: ili predavanja jednom tjedno, ili predavanja u nekoliko većih blokova. Ispiti prema dogovoru.

**OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 47.

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Fuzijska plazma i reaktori

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Izborni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Tonči Tadić

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU:** /

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** Hrvatski i/ili engleski

**BROJ SATI NASTAVE:** 15 sati predavanja i 15 sati seminara  
**OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

Upoznavanje s nuklearnom fuzijom i mogućnostima primjene u fuzijskoj elektrani; Režimi plazme u fuzijskoj elektrani; Napredni materijali za visoke temperature i emisija čestica na površinama izloženim fuzijskoj plazmi; Otpornost materijala na neutronske zračenje; Proizvodnja tricija i prijenos energije; Sigurnosni aspekti fuzije; Dijagnostika procesa u fuzijskom reaktoru; Konstrukcija fuzijske elektrane; Alternativni modeli fuzijskih reaktora.

**POPIS LITERATURE**

- EFDA „Fusion Electricity – A roadmap to the realisation of fusion energy“
- EFDA „Fusion Electricity – A roadmap to the realisation of fusion energy“ – Annexes, uz radove navedene u referencama svih poglavlja

**OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Nastava će se odvijati kroz predavanja i samostalne seminare.

**OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Obveze studenata je izlaganje seminarskog rada.

**OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 48.

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Fizika kondenzirane tvari

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Obvezni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Miroslav Požek, Danko Radić

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU:** /

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** Hrvatski i/ili engleski

**BROJ SATI NASTAVE:** 56 sati predavanja i 36 sati vježbi

**OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

U predmetu će se izložiti temelje suvremene fizike kondenzirane materije kroz razradu najvažnijih teorijskih koncepata i metoda, i dati prikaz eksperimentalnih metoda kojima se mjere svojstva, kako standardnih krutina, tako i onih koji su predmetom današnjih intenzivnih istraživanja. Sadržaj će u varijabilnom dijelu pratiti i nove istraživačke pravce u daljnjem razvoju ove grane fizike.

Cilj predmeta je upoznavati studente s ključnim fizikalnim konceptima i teorijskim metodama te im približiti razne eksperimentalne tehnike, kako bi se osposobili za sintetsko povezivanje rezultata mjerenja s teorijskim predviđanjima i interpretacijama.

Teorijski dio gradiva obuhvatiti će sljedeće cjeline:

- osnovne teorijske metode za sustave mnoštva čestica
- kristalne strukture i pripadne simetrije
- elektronske vrpce
- Coulombovo međudjelovanje u Fermijevim i drugim fermionskim tekućinama
- Izolatori, ekscitoni, prijelazi metal-izolator, feroelektrična uređenja
- dinamika kristalne rešetke, vezanje elektrona i fonona, polaroni
- magnetska uređenja i uređenja s modulacijama gustoće naboja
- neke pojave u strukturama reducirane dimenzije (kvantni Hallov efekt, topološki izolatori)
- supravodljivost

Uz teorijske elemente studenti će biti upoznati sa širokim rasponom sofisticiranih eksperimentalnih tehnika koje se koriste u suvremenoj fizici kondenzirane materije. Studenti bi na kraju trebali razumjeti eksperimentalne procedure prikazane u većini publikacija iz čvrstog stanja. Za metode koje se obrađuju naučit će koje informacije pojedina metoda može dati, koja su ograničenja, koliko traju eksperimenti, je li to oprema za koju treba aplicirati projekt. Pojedine tehnike će biti detaljnije obrađene, a ostale će biti ukratko opisane uz navođenje prikladne literature za proširivanje znanja.

Obuhvatiti će se sljedeće eksperimentalne tehnike:

- niske temperature, visoki tlakovi, jaka magnetska polja
- sinkrotronsko zračenje, rendgenska difrakcija, neelastično rendgensko raspršenje, neutronska raspršenje
- kutno razlučiva fotoemisijaska spektroskopija (ARPES)
- optičke tehnike: vodljivost, reflektometrija, elipsometrija, Ramanova spektroskopija
- električni transport: otpor, Hall efekt, Nernstov efekt, magnetootpor, kvantne oscilacije, toplinski transport
- Toplinski kapacitet, magnetokalorički efekt, toplinsko rastezanje
- magnetska karakterizacija: AC susceptibilnost, SQUID, vibrirajući magnetometar, mjerenje momenta magnetske sile
- nuklearna magnetska i kvadrupolna rezonancija,  $\mu$ SR, ESR
- elektronska mikroskopija: TEM, SEM; pretražne mikroskopije: STM, AFM

#### **POPIS LITERATURE**

- C. Kittel, Quantum Theory of Solids, John Wiley&sons, 2005.
- H. Haken, Quantum Field Theory of Solids, North-Holland, 1976.
- J. Solyom, Fundamentals of the Physics of Solids, I, II, III, Springer 2007 - 2010.
- J. Ziman: Electrons and phonons: The Theory of Transport Phenomena in Solids, Oxford 2001.
- J. S. Dugdale: Electrical Properties of Metals and Alloys, Hodder & Stoughton Educational 1977.
- Strongly Correlated Systems: Experimental Techniques (Springer Series in Solid-State Sciences), urednici A. Avella i F. Mancini, Springer 2014.
- Pregledni tekstovi, originalni znanstveni radovi I drugi izvori vezani uz pojedine teme.

#### **OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Nastava će se odvijati kroz predavanja i seminare.

#### **OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**



Očekuje se od studenata da prisustvuju nastavi. Studenti trebaju predstaviti seminar o jednoj metodi pred kolegama. Ocjena se dodjeljuje na temelju usmenog ispita i seminara.

#### **OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 49.

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Teorijska fizika kondenzirane tvari

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Obvezni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Osor S. Barišić

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU:** /

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** Hrvatski i/ili engleski

**BROJ SATI NASTAVE:** 36 sati predavanja i 18 sati vježbi

#### **OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

Metode teorije polja u fizici kondenzirane tvari: Sistemi mnoštva čestica, metode rješavanja; Greenove funkcije – propagatori. Definicije, svojstva; Račun smetnje, Feynmanovi dijagrami. Fluktuacije vakuuma, povezani i nepovezani dijagrami. Teorem o povezanim dijagramima (Linked Cluster Theorem); Vlastita energija, Dysonova jednačba. Pojam i svojstva kvazičestice; Energija osnovnog stanja: kulonska (Hartree), zamjena (Fock), energija korelacije; Jednačba gibanja za Greenove funkcije i metode rješavanja (Hartree, Hartree-Fock); Bozonske Greenove funkcije. Fermion – bozon interakcija; Polaron, renormalizacija mase i energije.

Linearni odziv sistema: Korelativne funkcije i diferencijalni udarni presjek. Dinamički i statički strukturni faktor; Raspršenje neutrona i x-zraka na kristalu: Diferencijalni udarni presjek, elastično raspršenje, DebyeWallerov factor, emisija i absorpcija fonona; Odzivne funkcije. Kubo formula, spektralni prikaz odzivne funkcije; Svojstva odzivnih funkcija, veza s korelativnom funkcijom; Odzivna funkcija fermionskog plina (Lindhardova); Statički i dinamički slučajevi, Kohnova anomalija i Friedelove oscilacije; Bozonska odzivna funkcija; Struja-struja korelativna funkcija. Vodljivost. Optička svojstva.

Kolektivne pojave u fermionskom plinu s kulonskim međudjelovanjem: Dinamički zasjenjena kulonska interakcija, Aproksimacija nasumičnih faza (RPA); Spektralno pobuđenje, plazmoni u elektronskom plinu. Landauovo gušenje; Dinamički i statički dugovalni limesi. Thomas-Fermijevo zasjenjenje; Veza s dielektričnom funkcijom; GW aproksimacija, energija osnovnog stanja.

Elektronska stanja u krutim tvarima: Spektri lokaliziranih stanja; Neperturbativni račun spektra, kumulativni razvoj, model nezavisnih bozona (IBM); Svojstva spektra: pomak energije osnovnog stanja, sateliti, pravila zbroja, Koopmansov teorem; Adijabatski i nagli prijelazi; Pojave: relaksacija, zasjenjenje; Primjeri: elektronfonon i elektron-elektron interakcija, diskretna i kontinuirana pobuđenja; Raspad elektronskih stanja, ireverzibilnost, Fano-Anderson model; Spektri delokaliziranih stanja; Spektri absorpcije zračenja.

Teorija funkcionala gustoće: Hohenberg-Kohnov teorem, Energija osnovnog stanja kao funkcional gustoće; Samosuglasne Kohn-Shamove jednačbe; Aproksimacija lokalne gustoće (LDA), Aproksimacije za energiju zamjene i korelacije; Primjeri, diskusija rezultata.

Matrice gustoće: Definicije i svojstva; Prirodne orbitale; Hartree-Fockova aproksimacija; Slobodni fermionski plin, Fermijeva šupljina; Funkcija raspodjele parova čestica i statički strukturni faktor.

#### **POPIS LITERATURE**

- A.P.Abrikosov, J.I.Gorkov, I.E. Dyaloshinskii, *Methods of Quantum Field Theory in Statistical Physics*, (new ed.), Dover 1976
- A.L.Fetter-J.D.Walecka: *Quantum Theory of Many-Particle Systems*, McGraw Hill, New York, 2003
- M. Šunjić: *Kvantna fizika mnoštva čestica*, (Školska knjiga, Zagreb, 2002)
- G.D.Mahan: *Many-Particle Physics*, Plenum, 1990
- S.Doniach, E.H.Sondheimer: *Green's Functions for Solid State Physicists*, Benjamin, 1974
- P.Nozieres: *Theory of Interacting Fermi Systems*, Westview Press 1997
- C. Kittel, *Quantum Theory of Solids*, 2nd ed., Wiley & Sons, 1966
- E.N. Economou, *Green's functions in quantum physics*, 3rd ed., Springer 2007
- K. Burke and friends, *The ABC of DFT*, <http://chem.ps.uci.edu/~kieron/dft/book>
- H. Bruus and K. Flensberg, *Many-body Quantum Theory in Condensed Matter Physics*, Oxford UP 2004

#### **OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Pretpostavlja se da studenti imaju adekvatno predznanje koje uključuje matematičke metode, klasičnu i kvantnu fiziku i poznavanje osnova fizike čvrstog stanja. Cilj je kroz nastavu i rješavanje seminarskih projekata studente upoznati s nekim naprednim kvantno mehaničkim metodama (teorije polja) u fizici kondenzirane tvari, s osnovnim pojmovima i s višečestičnim pojavama koje utječu na osnovno stanje i na pobuđenja u tim sistemima, uključujući i diskusiju eksperimentalnih rezultata, te pokazati primjenu i analizirati fizikalno značenje teorijski dobivenih rezultata.

#### **OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Traži se pohađanje predavanja i vježbi, izrada seminarskih radova, polaganje dvaju kolokvija. Završni dio ispita polaže se u pismenom i usmenom obliku. Studenti koji za seminarske radove skupe dovoljno bodova oslobođeni su pismenog dijela.

#### **OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 50.

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Eksperimentalna istraživanja u fizici kondenzirane tvari

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Obvezni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Neven Ž. Barišić

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU: /**

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** Hrvatski i/ili engleski

**BROJ SATI NASTAVE:** 60 sati laboratorijskih vježbi i 15 sati seminara

**OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

Temeljna zadaća predmeta je upoznavanje studenta sa suvremenim eksperimentalnim istraživanjima u fizici kondenzirane materije. Student se uz pomoć mentora aktivno uključuje u neko aktualno istraživanje korištenjem prvenstveno istraživačkih resursa Prirodoslovno-matematičkog fakulteta, Instituta Ruđer Bošković i Instituta za fiziku. Moguća su i istraživanja tehnikama koje ne postoje u Zagrebu (primjerice : sinkrotronsko zračenje, termalni neutroni itd.). Radi stjecanja šireg uvida u suvremena istraživanja student se uključuje u rad laboratorija koji se ni eksperimentalnom tehnikom ni temom istraživanja ne preklapa s njegovim budućim doktorskim istraživanjem. Stoga predmet uključuje gotovo sva područja suvremene fizike čvrstog stanja te širok spektar eksperimentalnih metoda. Studentima su ponuđena istraživanja mnogih sustava u žarištu pozornosti suvremene fizike čvrstog stanja (uključujući jednoatomske slojeve, površine, nanočestice i nanostrukture, samoorganizirajuće i niskodimenzionalne materijale, kompozite, meku tvar itd.,) korištenjem brojnih mikroskopskih (difrakcije zračenja i čestica, spektroskopije u širokom rasponu frekvencija, STM, AFM, magnetske rezonancije, ...) i makroskopskih (transport naboja i topline, magnetska i termodinamička mjerenja, ...) metoda istraživanja, kao i tehnika pripreme (tanki filmovi, monokristali, nanočestice, kompoziti, ...) i karakterizacije sustava.

#### **POPIS LITERATURE**

- literatura za upoznavanje s izabranom eksperimentalnom tehnikom i uređajem
- pregledni članci o izabranoj temi istraživanja

#### **OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Studenti se upoznaju s teorijskim osnovama određene eksperimentalne metode i pregledom mogućih primjena te metode za rješavanje problema u fizici čvrstog stanja. Studenti borave u jednom od eksperimentalnih laboratorija u Zagrebu (PMF, IRB, IF, ..) ili izvan Zagreba te uz pomoć mentora sudjeluju u izvođenju eksperimenta odnosno aktualnom istraživanju.

#### **OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Izvješće o sudjelovanju u aktualnom istraživanju u nekom laboratoriju studenti podnose u obliku seminarskog rada (esej 8 – 10 stranica) i javne prezentacije/seminara. Seminar mora sadržavati opis korištene eksperimentalne tehnike te rezultate i analizu mjerenja

#### **OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 51

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Seminar iz fizike kondenzirane tvari

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Obvezni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** D. Sunko (prijedlog Ana Akrap?)

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU:** /

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** Hrvatski i/ili engleski

**BROJ SATI NASTAVE:** 15

**OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

Izbori tema istraživanja, proučavanje i selekcija znanstvene literature, praćenje tuđih i prezentiranje vlastitih seminara.

**POPIS LITERATURE**

- Prema dogovoru sa studentom i mentorom.

**OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Odabir teme znanstvenog rada, proširene seminarske diskusije, pripreme vlastitih prezentacija i seminara. Postavljanje znanstvenih hipoteza, metode rada i analize rezultata.

**OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Redovito i aktivno sudjelovanje u radu seminara. Prezentiranje vlastitog seminarskog rada.

**OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 52.

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Fizika površina i nanostruktura

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Izborni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Vito Despoja

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU:** /

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** Hrvatski i/ili engleski

**BROJ SATI NASTAVE:** 15 sati predavanja i 7 sati vježbi

**OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

U dogovoru s mentorom upisuje se četiri (4) od sedam (7) modula:

Sistemi reduciranih dimenzija, površine, tanki slojevi, kvantne jame, nanožice, nanocjevčice, kvantne točke, grafen, fuleren. Promjene elektronske i kristalne strukture

Osnovni pojmovi i struktura površina, promjene na granici faza (relaksacija, rekonstrukcija i segregacija), idealne dvodimenzionalna rešetka (mreža), recipročna rešetka (volumna i površinska), pokrivenost, realna i idealna površina, površinski defekti.

Procesi i eksperimentalne metode, ogib, općenito (neutroni, X-zrake, elektroni), ogib sporih elektrona (LEED) - kinematička i dinamička teorija, raspršenje atoma, međudjelovanje zračenja s elektronima u kristalu, apsorpcija, emisija, fluorescencija, neelastično raspršenje elektrona na kristalu, fotoemisija (ARUPS, XPS-ESCA), EXAFS, NEXAFS, SEXAFS, Augerova emisija, elektronska mikroskopija (TEM, SEM), emisija elektrona poljem, emisija iona poljem; STM i slični procesi: fenomenološki uvod, osnovni teorijski prikazi (STM, AFM), pregled eksperimentalnih rezultata

Površine metala, model beskonačne barijere (IBM), lokalna gustoća stanja, Bardeenove oscilacije, dipolni sloj i dipolni potencijal, potencijal u blizini površine (elektrostatski potencijal, članovi zamjene, korelacije), izlazni rad

Površine poluvodiča i izolatora: površinska stanja, elektrostatski potencijal i sloj prostornog naboja, invertirani (osiromašeni i obogaćeni) slojevi; dvodimenzionalni elektronski plin – podvrpce, elektroni na heliju, stanja zrcalnog potencijala

Elementarna pobuđenja na planarnim površinama i ostalim nanostrukturama, plazmoni i LO fononi, Rayleighovi valovi, diskretni linearni modeli (akustički), površinska pobuđenja u malim kristalima, efekti retardacije i polaritoni, kvantni opis polubeskonačnog metala (RPA: IBM i SCIBM, LDA)

Adsorpcija i desorpcija, općenito o adsorpciji, kemisorpcija i fizisorpcija, mehanizmi vezanja (van der Waalsova, ionska i kovalentna veza), Newns-Andersonov model, tuneliranje između podloge i adsorbata: ionska, ili neutralna adsorpcija, rezonantna elektronska stanja na adsorbatima, određivanje elementalnog sastava površine - eksperimentalne metode.

## **POPIS LITERATURE**

- N. W. Ashcroft, N. D. Mermin, Solid State Physics, Holt, Rinehart and Winston, 1976.
- C. Kittel, Quantum Theory of Solids; Willey & Sons, 1953.
- D. Langreth, H. Suhl, eds., Many-Body Phenomena at Surfaces, Academic Press, 1984.
- A. Prutton, ed. Electronic Properties of Surfaces, Adam Hilger, Bristol, 1984.
- M. Šunjić, Surface Elementary Excitations, in Dynamics of Gas-Surface Interactions, Springer Series in Chemical Physics, Vol. 21., G. Benedek, U. Valbusa, eds., 1982.
- A. Zangwill, Physics of Surfaces, Cambridge University Press, 1988.
- D.P. Woodruff, T. A. Delchar, Modern techniques of surface science, Cambridge University Press, 1985.
- Hans Luth, Solid surfaces, interfaces and thin films, Springer 2001.

## **OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Pretpostavlja se da studenti imaju adekvatno predznanje koje uključuje matematičke metode, klasičnu i kvantnu fiziku i poznavanje osnova fizike čvrstog stanja. Cilj je kroz nastavu i rješavanje seminarskih projekata studente upoznati s najvažnijim pojmovima u fizici površina i nanostruktura, atomskom i elektronskom strukturom i pobuđenjima, te s višestručnim pojavama koje utječu na osnovno stanje i na pobuđenja u tim sistemima, uključujući i diskusiju eksperimentalnih metoda i rezultata, te pokazati primjenu i analizirati fizikalno značenje teorijski dobivenih rezultata.

## **OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Traži se pohađanje predavanja i vježbi, izrada seminarskih radova, polaganje dvaju kolokvija. Završni dio ispita polaže se u pismenom i usmenom obliku. Studenti koji za seminarske radove skupe dovoljno bodova oslobođeni su pismenog dijela.

#### **OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 53.

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Teorija faznih prijelaza

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Izborni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Ivan Balog

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU:** /

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** hrvatski i/ili engleski

**BROJ SATI NASTAVE:** 15 sati predavanja i 7 sati vježbi

#### **OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

Kratki pregled opisa fluktuacija u ravnotežnim sustavima, prostorne i vremenske korelacije, fluktuacijskodisipacijski teorem. Fazni prijelazi – fenomenologija, primjeri, zajednička svojstva, klasifikacija. Teorije srednjeg polja. Jednostavni modeli, egzaktna rješenja i približne metode. Koncept scalinga i univerzalnost kritičnog ponašanja. Renormalizacijska grupa, Wilsonov razvoj, RG u direktnom prostoru. Kvantni fazni prijelazi i primjeri korespondencije s klasičnim. Perkolacija i fraktali. Nered, frustracija i složeni oblici uređenja. Samoorganizirani sustavi. Fazni prijelazi daleko izvan ravnoteže.

#### **POPIS LITERATURE**

- Landau & Lifshitz: Statistical Physics (3rd edition)
- H. E. Stanley: Introduction to phase transitions and critical phenomena
- N. Goldenfeld: Lectures on phase transitions and the renormalization group
- P. Pfeuty, G. Toulouse: Introduction to renormalisation group nad to critical phenomena
- J.P. Cardy: Scaling and renormalization in statistical physics
- Shang-Keng Ma: Modern theory of critical phenomena

#### **OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Nastava će se provoditi putem predavanja i seminara.

#### **OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Studentske obveze su pohađanje predavanja, rješavanje problema i seminarski rad.

#### **OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 54.

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Visokotemperaturna supravodljivost

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Izborni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Ivan Kupčić

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU:** /

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** Hrvatski i/ili engleski

**BROJ SATI NASTAVE:** 15 sati predavanja i 7 sati vježbi

**OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

1. Kratki uvod u fenomenologiju i teoriju supravodljivosti. 2. Kristalna struktura i strukturni fazni prijelazi u visokotemperaturnim supravodljivim kupratima. 3. Magnetska svojstva kuprata: neutronska raspršenje i NMR. 4. Termodinamička svojstva kuprata: mjerenje specifične topline. 5. Elektronska svojstva kuprata: računanje strukture vrpce i mjerenje kutno razlučivih fotoemisijskih spektara. Pseudoprocjep u elektronskoj gustoći stanja. 6. Transportna i mikrovalna svojstva kuprata. Elektronsko, fononsko i dvo-magnonsko Ramanovo raspršenje. Mjerenje koeficijenta refleksije. 7. Eksperimentalno određivanje i teorijska razmatranja simetrije parametra supravodljivog uređenja. 8. Teorijski modeli visokotemperaturne supravodljivosti. Fizikalno porijeklo mehanizma supravodljivosti. Uloga jakih korelacija te elektron-fonon vezanja u opisu normalnog i supravodljivog stanja kuprata.

**POPIS LITERATURE**

- N. Plakida, High-Temperature Cuprate Superconductors, Springer, Berlin, 2010 (i prvo izdanje iz 1995).
- M. Tinkham, Introduction to Superconductivity, Dover, New York, 1995.
- A. Marouchkine, Room-Temperature Superconductivity, Cambridge International Sc. Publ., 2007.
- J. R. Schrieffer, Theory of Superconductivity, Benjamin, New York, 1964.
- P. W. Anderson, The Theory of Superconductivity in the High-Tc Cuprates, Princeton University Press, 1997.

**OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Nastava se sastoji od 15 sati predavanja i 7 sati vježbi. Svaki student također izrađuje seminarski rad u kojem se provode numerički proračuni na računalu. Tema rada povezuje jednu temu iz ovog kolegija s pitanjima iz područja doktorskog istraživanja studenta.

**OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Studenti su dužni prisustvovati predavanjima i vježbama. Studenti izrađuju seminarski rad (50% ocjene) i polažu usmeni ispit (50% ocjene).

**OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 55.

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Fizika poluvodiča

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** izborni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Vito Despoja

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU:** /

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** Hrvatski i/ili engleski

**BROJ SATI NASTAVE:** 15 sati predavanja i 7 sati vježbi.

#### **OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

Namjera predmeta je pružiti razumijevanje razvoja koji su poluvodiče učinili osnovom širokog spektra uređaja, njihovog tekućeg razvoja i njihovu perspektivu. U prvom dijelu kolegij se bavi mikroskopskim osnovama velike osjetljivosti tih materijala na dopiranje, temperaturu, magnetska polja i sl., te korištenju tih svojstava na spojevima i strukturama koje čine osnovu funkcioniranja poluvodičkih uređaja. Nova fundamentalna i primijenjena istraživanja ilustrirana su kroz primjere istraživanja materijala i struktura koje proširuju granice postavljene klasičnim poluvodičima, kroz stvaranje artifičijelnih kvantnomehaničkih struktura i molekularnih uređaja.

Fiksni dio: 1. Povijest upotrebe i razumijevanja poluvodiča. Elektronska struktura nekih poluvodičkih materijala. Dopiranje. 2. Raspršenje nosilaca naboja i transportna svojstva poluvodiča. Električna vodljivost, termoelektrični učinci, klasični poluvodiči u magnetskom polju. Primjeri jednostavnih uređaja. 3. Poluvodički spoj, granica poluvodiča i metala, heterostrukture. Poluvodička dioda i bipolarni transistor. Optička svojstva poluvodiča. Apsorpcija zračenja i emisija svjetlosti i poluvodički spojevi. 4. Niskodimenzionalne poluvodičke strukture; kvantne jame i kvantne točke.

Varijabilni dio: (do tri teme, odabir na osnovi slušateljstva): 1. Amorfni silicij – elektronska stanja, dopiranje, primjena. Polikristalinični silicij. 2. Vođenje u organskim neuređenim materijalima i polimerima. Organske svjetleće diode i ekrani. 3. Polaroniska stanja i polaronski transport u poluvodičima. 4. Fizikalni principi i realizacija memorijskih uređaja baziranih na kompozitima poluvodiča i metala. 5. Poluvodiči na bazi ugljika. Nanocjevčice od ugljika. 6. Magnetski poluvodiči, spintronika. 7. Kvantni Hallov učinak. 8. Elektronički uređaji bazirani na jednoj ili nekoliko molekula.

#### **POPIS LITERATURE**

##### **OBAVEZNA LITERATURA :**

- B.Sapoval and C.Hermann, Physics of Semiconductors, Springer Verlag (2003)
- G. Parker, Introductory Semiconductor Device Physics, IOP Publishing (2004)
- J. Orton, The Story of Semiconductors, Oxford University Press (2004)
- R.A.Smith, Semiconductors, 2nd Edition, Cambridge University Press (1978)

##### **DOPUNSKA LITERATURA :**

- Physics and applications of low-dimensional semiconductor structures, chapter 5. in E. O'Reilly, Quantum Theory of Solids, Taylor and Francis (2002)
- J.I. Pankove, Optical properties in semiconductors, Dover (1975)



- S.M. Sze (ur) Modern semiconductor device physics, John Wiley & Sons, (1998)
- R.E Prange S.M. Girvin (ur.) The quantumHall effect, Springer (1990)
- Za potrebe seminara bit će odbrana dodatna literatura u obliku recentnih članaka iz znanstvenih časopisa i knjiga.

#### **OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Nastava će se provoditi kroz predavanja i konzultacije.

#### **OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Studentske obveze su pohađanje nastave ili konzultacija, izrada problemskih zadataka i seminarskih radova.

#### **OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 56.

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Nelinearni kontinuumi

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Izborni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Hrvoje Buljan

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU:** /

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** Hrvatski i/ili engleski

**BROJ SATI NASTAVE:** 15 sati predavanja i 7 sati seminara

#### **OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

Nelinearne valne jednadžbe. Osnovni principi prostiranja valova u linearnim sustavima: disperzija. Elementarne ideje vezane iz nelinearnu dinamiku valova: samodjelovanje. Stacionarni valovi (solitoni): stabilna protuteža nelinearnih i linearnih efekata. Pojam stabilnosti i bifurkacije: modulacijska nestabilnost. Stvaranje samoorganiziranih struktura. Turbulencija. Nelinearne valne jednadžbe i nelinearne pojave u raznim fizikalnim sustavima. Nelinearna Schrödingerova jednadžba (NLS): nelinearnoj optika, BoseEinsteinovi kondenzati (Gross-Pitaevskii jednadžba). Korteweg de Vriesova jednadžba (KdV): dugi valovi u plitkoj vodi, ionski akustični valovi. Sine-Gordonova jednadžba (SG): sustav mehaničkih njihala, kvantna optika. Metode rješavanja nelinearnih valnih jednadžbi: numeričke simulacije, metoda inverznog raspršenja.

#### **POPIS LITERATURE**

- R.K. Dodd, J.C. Eilbeck, J.D. Gibbon, H.C. Morris, Solitons and nonlinear wave equations, Academic Press, London, 1982.
- S.P. Novikov, S.V. Manakov, L.P. Pitaevskii, V.E. Zakharov, Theory of Solitons, Plenum 1968.
- L.D. Landau, E.M. Lifshitz, Fluid Mechanics, Pergamon Press, 1987.

#### **OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Održati će se predavanja slijedeći sadržaj predmeta. Formulirati će se projektni zadaci, koje će studenti morati izraditi i održati seminar.

#### **OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Studenti su dužni izraditi projektne zadatke i seminar, te u konačnici položiti usmeni ispit.

#### **OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 57.

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Fizika novih materijala

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Izborni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** TBD

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU:** -

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** Hrvatski i/ili engleski

**BROJ SATI NASTAVE:** 15 sati predavanja i 7 sati vježbi

#### **OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

Sadržaj predmeta obuhvaća izabrane primjere suvremenih istraživanja novih materijala koji se ne obrađuju u posebnim predmetima (supravodiči, poluvodiči, ..).

Uvodni pregled: metali i slitine, keramike, kompoziti, polimeri. Aerogeli. Masivna metalna stakla. Biomaterijali. Nanomaterijali. Funkcionalni i pametni materijali: elektro/magnetostruktivni, fotomehanički, magnetokalorični, termoelektrični, elektro/magnetoreološki materijali. Ugljik: fulereni, grafen, ugljikove nanocjevčice. Materijali za proizvodnju i pohranu energije. Metamaterijali

#### **POPIS LITERATURE**

- J. I. Gersten, F. W. Smith, The Physics and Chemistry of Materials, John Wiley&Sons, 2001
- Smart Materials, ed. Mel Schwartz, CRC Press, 2008.
- pregledni članci o suvremenim istraživanjima u području novih materijala

#### **OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Nastava se provodi kroz predavanja, seminare, konzultacije te individualni studentski rad na primjerima iz suvremenih istraživanja. Pojedine teme prezentiraju gosti predavači. Također, studenti se pozivaju na slušanje aktualnih znanstvenih seminara iz područja materijala.

#### **OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Studenti su dužni pohađati predavanja i seminare te aktivno sudjelovati u raspravama. Svaki student mora samostalno prirediti i prezentirati seminar na zadanu temu.

#### **OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 58.

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Odabrana poglavlja teorijske fizike kondenzirane tvari

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Izborni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Dino Novko

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU:** /

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** Hrvatski i/ili engleski

**BROJ SATI NASTAVE:** 20 sati predavanja

**OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

Sadržaj predmeta će se prilagođavati iz godine u godinu prema aktualnim istraživačkim temama koje zaokupljaju znanstvenu zajednicu. Tipično program će se sastojati od nekoliko tema koje će predavati profesori/znanstvenici koji upravo rade na tim znanstvenim problemima. Predavanja bi sadržavala osnovne teorijske postavke, teorijske modele i metode, te pregled eksperimentalnih saznanja iz tog područja.

**LISTA MOGUĆIH TEORIJSKIH TEMA:**

- Kupratni visoko-temperaturni supravodiči
- Ostali visoko-temperaturni supravodiči
- Fizika termoelektričnih materijala
- Grafen i metarijali/molekule bazirane na ugljiku
- Fizika bioloških tvari i fizika mekih tvari
- Jako korelirani sustavi (Hubbard modeli, Kondo i periodični Kondo sustavi, teški fermioni, ...)
- Površinska fizika
- Napredne metode teorije funkcionala gustoće (DFT)
- Nanoskopska i mezoskopska fizika, teorijsko modeliranje uređaja
- Spintronika
- Magnetizam (frustrirani sustavi, nano magneti, ...)
- Neuređeni sustav

**POPIS LITERATURE**

Literatura će ovisiti o odabranim temama, a u prvom redu sadržavat će važne članke koje pokrivaju područje.

**OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Nastava će se odvijati kroz predavanja po pola sata te 15 min diskusije sa studentima o temi.

**OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Zahtijeva se prisustvovanje predavanjima i sudjelovanje u diskusiji. Alternativno predavač može ponuditi čitanje niza članaka studentu koji ne može prisustvovati nastavi i koji će se detaljno

prodiskutirati kroz povremene konzultacije (za svaku temu posebno). Za prolazak ispita i dobivanje ocjene student treba NAPISATI dva seminarska rada (do 10 stranica A4, jednostruki prored) u kojima treba ili revijalno dati pregled ispredavane teme ili detaljno obraditi jedan određeni problem unutar teme po svom izboru. Napisani seminarski radovi se ocjenjuju.

#### **OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 59

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Opća biofizika

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Obvezni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Nenad Pavin, Sanja Dolanski Babić

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU: /**

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** Hrvatski i/ili engleski

**BROJ SATI NASTAVE:** 45 sati predavanja i 30 sati seminara

#### **OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

Osnovni ishod učenja je upoznati studenta s intermolekularnim interakcijama i njihovom ulogom u izgradnji specifične strukture bioloških makromolekula i njihovih kompleksa. Student treba opisati i analizirati fizikalne procese na kojima se temelji dinamika, konformacijske promjene i međusobne interakcije bioloških makromolekula te njihovo vezivanje na veće strukture. Student treba opisati i analizirati intermolekularne interakcije: van der Waalsove sile, vodikovu vezu, hidrofobne interakcije i ionsku vezu. Upoznaje se sa strukturom bioloških makromolekula, fizikom vode i hidratacijskom ovojnicom. Upoznaje se s ulogom intermolekularnih interakcija i s termodinamičkim pristupom u analizi tercijarne i kvartarne strukture bioloških makromolekula. Student treba opisati i analizirati mehanizme pasivnog prijenosa tvari preko stanične membrane, pojavu akcijskog potencijala i njegovog prijenosa. Upoznaje se sa stanicom kao izvorom polja i mogućom interakcijom s vanjskim poljima. Cilj kolegija je i upoznati studenta s teorijskim osnovama eksperimentalnih biofizičkih metoda koje se upotrebljavaju u istraživanjima strukture i dinamike bioloških makromolekula kao i sa specifičnim tehnikama na kojima se temelji područje biofizike pojedinačnih molekula.

#### **POPIS LITERATURE**

- T.F.Weiss, Cellular Biophysics, Volume I i II, The MIT Press, Cambridge MA (1996)
- V.A. Bloomfield, Nucleic Acids, University Science Books, Sausalito (2000)
- R.Glaser, Biophysics, Springer, New York (2004)
- Michel Daune, Molecular Biophysics, Oxford University Press (2003)

#### **OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Nastava će se odvijati kroz standardne oblike, putem predavanja i seminara.

#### **OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Studenti samostalno izrađuju dva seminarska rada po vlastitom izboru iz popisa predloženih tema. Seminarski rad je u obliku eseja od oko 2500 riječi te usmenog izlaganja u trajanju od 20 minuta. Usmeni ispit se održava nakon prezentirane druge teme. Konačna ocjena iz kolegija se formira na osnovu ocjena iz seminarskih radova, usmenog ispita i aktivnosti tijekom nastave.

#### **OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 60

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Seminar iz biofizike

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Obvezni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Matko Glunčić

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU:** /

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** Hrvatski i/ili engleski

**BROJ SATI NASTAVE:** 15

#### **OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

Izbori tema istraživanja, proučavanje i selekcija znanstvene literature, praćenje tuđih i prezentiranje vlastitih seminara.

#### **POPIS LITERATURE**

Prema dogovoru sa studentom i mentorom.

#### **OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Odabir teme znanstvenog rada, proširene seminarske diskusije, pripreme vlastitih prezentacija i seminara. Postavljanje znanstvenih hipoteza, metode rada i analize rezultata.

#### **OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Redovito i aktivno sudjelovanje u radu seminara. Prezentiranje vlastitog seminarskog rada.

#### **OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 61

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Svjetlosna mikroskopija

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Izborni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Igor Weber

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU:** -

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** Hrvatski i/ili engleski

**BROJ SATI NASTAVE:** 6 sati predavanja i 10 sati vježbi

**OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

Optika svjetlosnog mikroskopa. Specijalne metode svjetlosne mikroskopije. Mikrobiofotonika. Metode digitalne obrade i analize slika. Konfokalna pretražna mikroskopija. Praktični rad na konfokalnom mikroskopu. Metode superiorno razlučujuće fluorescencijske mikroskopije.

**POPIS LITERATURE**

- Douglas B. Murphy, Fundamentals of light microscopy and electronic imaging, Wiley-Liss, Inc., 2001.
- Handbook of Biological Confocal Microscopy, James Pawley (ur.), 3rd ed., Springer, 2006. (odabrana poglavlja).

**OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Nakon uvodnih predavanja, nastava će se uglavnom odvijati kroz rad u laboratoriju, seminare i konzultacije.

**OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Studenti samostalno izrađuju seminare, te na kraju kolegija pristupaju usmenom ispitu.

**OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 62.

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Mikroskopija i spektroskopija pretražnom probom

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Izborni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Marko Kralj

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU:** /

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** Hrvatski i/ili engleski

**BROJ SATI NASTAVE:** 6 sati predavanja i 10 sati vježbi

**OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

Uvod u mikroskopije pretražnom probom. Osnove pretražne tunelirajuće mikroskopije (STM). Osnove mikroskopije atomskih sila (AFM). Lateralna i vertikalna razlučivost, te artefakti u mjerenju. Međudjelovanje probe i površine uzoraka. Stablnost eksperimenta i šum u mjerenju. Oslikavajući i spektroskopski modovi. Moderni dosezi primjene AFM tehnike na biološkim uzorcima.

## **POPIS LITERATURE**

- A. Alessandrini and P. Facci, AFM: a versatile tool in biophysics, Meas. Sci. Technol. 16, R65-R92 (2005).
- F. J. Giessibl, Advances in atomic force microscopy, Rev. Mod. Phys. 75, 949-983 (2003)

## **OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Nakon uvodnih predavanja, nastava će se uglavnom odvijati kroz rad u laboratoriju, seminare i konzultacije.

## **OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Studenti samostalno izrađuju seminare, te na kraju kolegija pristupaju usmenom ispitu.

## **OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 63.

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Makromolekularna kristalografija

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Izborni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** TBD

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU:** /

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** Hrvatski i/ili engleski

**BROJ SATI NASTAVE:** 6 sati predavanja i 10 sati vježbi

## **OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

Makromolekularnom kristalografijom izučavamo biološke molekule (proteine, nukleinske kiseline, viruse) kod visokog, često atomnog razlučivanja. Visoko razlučivanje pomaže nam razumjeti mehanizame djelovanja makromolekula u živim stanicama i organizmima.

## **POPIS LITERATURE**

- Alexander McPherson, Introduction to Macromolecular Crystallography, John Wiley & Sons Inc., 2002.
- Bernhard Rupp, Biomolecular Crystallography: Principles, Practice, and Application to Structural Biology, Garland Science, 2010.

## **OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Nastava će se odvijati kroz predavanja i vježbe, te rad studenata u laboratoriju.

## **OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Studenti su obvezni pristupiti pismenom ispitu ili samostalno izraditi seminar.

## **OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 64.

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Masena spektrometrija

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Izborni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Saša Kazazić

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU:** -

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** Hrvatski i/ili engleski

**BROJ SATI NASTAVE:** 6 sati predavanja i 10 sati vježbi

**OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

Uvod i osnovni principi (spektar masa, ionizacija tvari, višestruko nabijeni ioni, izotopi, elementarni sastav iona). Instrumentacija (osnovni dijelovi spektrometra masa, ionizacijske metode, analizatori masa, dinamički opseg, brzina mjerenja, osjetljivost, točnost mjerenja, rezolucija). Separacijske metode i spektrometar masa, vezani sustav. Kvalitativna i kvantitativna mjerenja (tandemska spektrometrija masa, metode fragmentacije, strukturna analiza, izotopno obilježavanje). Eksperimenti analize 3D strukture proteina temeljenih na spektrometriji masa: direktne metode strukturne karakterizacije, metode kemijskog povezivanja: karakterizacija topografije makromolekule proteina i metode selektivnog i neselektivnog obilježavanja: mapiranje otapalu dostupne površine proteina. Spektrometrija masa u istraživanju dinamike proteina i njihovih interakcija te provedbu kinetičkih mjerenja. Spektrometrija masa drugih biopolimera: nukleinske kiseline i oligosaharidi.

**POPIS LITERATURE**

- Gross, Jurgen H., Mass Spectrometry: A Textbook, ISBN 978-3-642-10711-5 2nd ed. (2011), XXIV, 753 p., Springer, Berlin
- Kaltashov, I. A., Eyles, S. J., Desiderio, D. M., Mass Spectrometry in Structural Biology and Biophysics: Architecture, Dynamics, and Interaction of Biomolecules, ISBN: 978-0-470-93779-2, Wiley 2012.
- M.L. Gross, R. Caprioli, Encyclopedia of mass spectrometry (Elsevier, 2003-)

**OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Nastava će se odvijati kroz standardne oblike: predavanja, konzultacije i vježbe.

**OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Na kraju kolegija studenti su obavezni pristupi pismenom i/ili usmenom ispitu.

**OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.



**REDNI BROJ PREDMETA:** 65.

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Dielektrična spektroskopija

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Izborni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Tomislav Vuletić

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU:** /

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** Hrvatski i/ili engleski

**BROJ SATI NASTAVE:** 6 sati predavanja i 10 sati vježbi

**OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

Dielektrična spektroskopija u frekventnom rasponu 40 do 100 MHz i njena primjena u proučavanju dinamike, strukture i interakcija u polielektrolitima. Polielektroliti tj biopolimeri u otopinama; DNK kao primjer semikrutog, jako nabijenog polimera; veza između dielektričnih svojstava i fundamentalnih prostornih skala i zakona potencije u razrijeđenim i polurazrijeđenim otopinama polielektrolitima.

**POPIS LITERATURE**

- „Dielectric spectroscopy and conductivity of polyelectrolyte solutions“, F. Bordi, C. Cametti and R. H. Colby, J. Phys.: Condens. Matter 16, R1423-R1463 (2004).
- „Manual for Dielectric Spectroscopy“, T. Vuletić, T. Ivek and S. Tomić (unpublished).
- „DNA in Aqueous Solutions with Repulsive Interactions: Structure Determined on the Basis of Dielectric Spectroscopy Measurements“, S. Tomić, D. Grgičin, T. Vuletić, S. Dolanski Babić, T. Ivek, R. Podgornik, Bioinformatics and biological physics: proceedings of the scientific meeting// editor Vladimir Paar. Zagreb : Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti, Odbor za bioinformatiku i biološku fiziku, Razred za matematičke, fizičke i kemijske znanosti, 2013. Str. 159-177. (CIP NSK, Zagreb: 862926.; ISBN 978-953-154-199-2)
- “Theory of polyelectrolytes in solutions and at surfaces”, A. V. Dobrynin and M. Rubinstein, Prog.Polym.Sci. 30, 1049-1118 (2005).
- “Low-frequency exchange mode in the dielectric spectrum of salt-free dilute polyelectrolyte solutions”, S. Fischer and R. R. Netz, Eur.Phys. J. E 36, 117 (1-14) (2013).

**OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Uvodno predavanje: osnove teorije i eksperimentalne metode; upoznavanje s tehnikom DSA i elementima eksperimentalnog postave te mjernim procedurama u laboratoriju na Institutu za fiziku, Zagreb (procedura mjerenja i analiza podataka).

**OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Pismeni seminarski rad i usmena prezentacija (ppt); dvije opcije: 1.opcija: diskusija rezultata iz laboratorija; 2.opcija: prezentacija izabranog znanstvenog rada iz povezane tematike

**OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 66.

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Raspršenje rentgenskih zraka pod malim kutom

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Izborni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Tomislav Vuletić

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU: /**

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** Hrvatski i/ili engleski

**BROJ SATI NASTAVE:** 6 sati predavanja i 10 sati vježbi

**OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

Raspršenjem rentgenskih zraka pod malim kutom  $\theta \approx 0.1-10^\circ$  (engl. Small Angle X-ray Scattering, SAXS), proučava se strukturna svojstva prvenstveno nekristaliničnih materijala. Strukturna skala i kut raspršenja su obrnuto proporcionalni te SAXS daje informacije na relativno velikim skalama, 1-100 nm. Distribucija intenziteta raspršenja je funkcija distribucije elektronske gustoće u uzorku te sadrži informacije o veličini, obliku, orijentaciji i distribuciji elemenata (makromolekula, koloidnih čestica i drugih superstrukture) koji sačinjavaju uzorak. Prikazati će se primjena SAXS-a u proučavanju konformacija u polielektrolitima. Koristiti ćemo DNK kao primjer polurigidnog biopolielektrolita.

**POPIS LITERATURE**

- van der Maarel, J. R. C. Introduction to Biopolymer Physics; World Scientific; Singapore, (2007).
- „2D X-ray diffraction“, Bob B. He, Wiley, New Jersey (2009). Str. 329-350. (ISBN 978-0-470-22722)
- „Konformacije biopolielektrolita“, diplomski rad A. Sučić, mentor T. Vuletić (2012).
- Nierlich, M.; Williams, C. E.; Boue, F.; Cotton, J. P.; Daoud, M.; Farnoux, B.; Jannink, G.; Picot, C.; Moan, M.; Wol, C.; Rinaudo, M.; de Gennes, P.-G., J. Phys. (Fr.) 40, 701 (1979).
- Koyama, R., Macromolecules 17, 1594 (1984); Koyama, R., Physica B 120, 418 (1983).
- Wang, L.; Bloomfield, V. A., Macromolecules 24, 5791 (1991).
- K. Salamon, D. Aumiler, G. Pabst, T. Vuletić, Macromolecules 46, 1107 (2013)

**OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Uvodno predavanje: osnove teorije i eksperimentalne metode; upoznavanje s tehnikom SAXS i elementima eksperimentalnog postave te mjernim procedurama u laboratoriju na Institutu za fiziku, Zagreb (procedura mjerenja i analiza podataka).

**OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Pismeni seminarski rad i usmena prezentacija (ppt); dvije opcije: 1.opcija: diskusija rezultata iz laboratorija; 2.opcija: prezentacija izabranog znanstvenog rada iz povezone tematike.

**OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 67.

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Elektronska mikroskopija

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Izborni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Željko Skoko

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU:** -

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** Hrvatski i/ili engleski

**BROJ SATI NASTAVE:** 6 sati predavanja i 10 sati vježbi

#### **OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

Primjena elektronske mikroskopije i difrakcije u fizici materijala, biofizici i kemiji. Osnovni modeli elektronskih mikroskopa: rasterski elektronski mikroskop (SEM), SEM za ispitivanje okoliša (ESEM). Transmisijski elektronski mikroskop s difrakcijom i elektronska mikroskopija visokog razlučivanja. Interpretacija transmisijskih elektronskih mikrografija i difrakcija polikristalnog, monokristalnog i amorfno uzorka. Karakterizacija defekata iz slika svijetlog i tamnog polja.

Fazni kontrast. Slika visokog razlučivanja. Opažanje defekata u slici visokog razlučivanja i Z-kontrastu pri strukturnom razlučivanju manjem od 0.1 nm. Najnovija dostignuća: opažanja položaja i veza kisikovih atoma u kupratima, rješavanje kristalne strukture iz slike elektronske mikroskopije.

Oslikavanje na atomskoj razini individualnih atoma dopiranih u siliciju. Ispitivanje nanokristalnih materijala. Određivanje strukturnog faktora iz slike visokog razlučivanja i iz elektronske difrakcije

Primjena Rietveldove metode na elektronsku difrakcijsku sliku nanokristalnog materijala. Određivanje indeksa difrakcijskih maksimuma iz slike elektronske difrakcije.

Posjet laboratoriju za mikrostrukturna istraživanja na FO PMF-a i upoznavanje s osnovama rada na transmisijskom elektronskom mikroskopu.

#### **POPIS LITERATURE**

- D.B. Williams and C.B. Carter, Transmission Electron Microscopy, A Textbook for Materials Science, Plenum Press, New York 1996.
- J.J. Goldstein, D.E. Newbury, P. Echlin, D.C. Joy, C. Fiori, E. Lihshin, Electron Microscopy and X-ray Microanalysis, Plenum Press, New York / London, 1984.
- J.J. Bozzola, L.D. Russell, Electron microscopy, Jones & Bartlett Publishers Canada, Toronto, 1992.

#### **OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Nastava se sastoji od usmenih predavanja, seminarskih radova studenata, obilaska laboratorija koji posjeduju elektronske mikroskope te praktične vježbe na mikroskopu visokog razlučivanja.

#### **OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

U okviru kolegija studenti će morati usmeno izložiti jedan seminar, obaviti jednu praktičnu vježbu, ocijenit će se zalaganje na samom kolegiju i obaviti će se konačnim usmeni razgovor s nastavnikom.

#### **OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 68.

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Modeliranje biomakromolekula

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** izborni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Sanja Tomić

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU:** -

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** Hrvatski i/ili engleski

**BROJ SATI NASTAVE:** 20 sati predavanja i 15 sati vježbi

#### **OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

Pojam strukture proteina i nukleinskih kiselina i najznačajnije eksperimentalne metode za određivanje trodimenzionalne strukture tih molekula. Upoznavanje s bazom trodimenzionalnih struktura makromolekula «Protein Data Bank» (PDB) i s mrežnim alatima za komparativno modeliranje proteina. Metode molekuskog modeliranja – osnovne karakteristike i bitne razlike između empirijskih i kvantnomehaničkih metoda. Pojam polja sila, parametrizacija modela polja sile molekula. Računanje potencijalne energije molekularnog sistema, te strukturnih svojstava molekule i reaktivnosti, optimizacija sustava - metode. Posebnosti kada se radi o modeliranju bioloških makromolekula. Molekulska dinamika i Monte Carlo metode. Važnost otapala kod molekuskog modeliranja. Ansambli – mikrokanonski, kanonski, izotermni-izobarni. Termodinamička svojstva molekularnih sustava. Računalni programi za molekulske modeliranje. Napredne metode molekulske dinamike (akcelerirana, slučajnog pomaka, krupnog zrna, esencijalna dinamika). Analiza glavnih komponenti, klasteriranje. Računanje Gibbsovih potencijala odnosno entalpijskih i entropijskih doprinosa u simuliranim sustavima. Prikaz hibridnih-kvantno-mehaničkih i molekulske mehaničkih metoda kod tretiranja kemijskih reakcija u kojima sudjeluju proteinski enzimi.

#### **POPIS LITERATURE**

- T. Schlick, Molecular Modeling and Simulation, Springer 2006
- Kukulj, Molecular modelling of Proteins, Humana Press, 2008.

#### **OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Nastava će se održavati kroz predavanja i seminare, pri čemu se koristi multimedijalni pristup.

#### **OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Obaveze studenata su održavanje seminara, te polaganje usmenog ispita na kraju kolegija.

#### **OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 69.

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** EPR spektroskopija

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** izborni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Dijana Žilić

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU:** /

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** Hrvatski i/ili engleski

**BROJ SATI NASTAVE:** 10 sati predavanja i 30 sati praktične nastave

**OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

Osnove EPR spektroskopije (CW/EPR, FT/EPR), teorija sprege elektronskog spina sa rešetkom/spinskim rezervoarom, paramagnetski centri, spinske sonde-spinske oznake/spinske stupice, teorijska analiza eksperimentalnih EPR podataka.

**POPIS LITERATURE**

- A. Abragam, B. Bleaney: Electron Paramagnetic resonance of transition ions, Clarendon press, Oxford 1970;
- Larry Kevan, Robert N. Schwartz: Time domain electron spin resonance, John Wiley & Sons, New York 1979;
- najnoviji radovi iz područja fizike kondenzirane materije.

**OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Nastava će se odvijati kroz standardne oblike: predavanja i praktične (laboratorijske) vježbe.

**OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Svaki student obavezan je izvršiti EPR-mjerenje, te izraditi seminar.

**OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 70.

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Neurodinamičko oslikavanje mozga

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Izborni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** TBD

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU:** -

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** hrvatski i/ili engleski

**BROJ SATI NASTAVE:** 30 sati predavanja i 15 sati seminara

**OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

Bioelektromagnetizam. Stanična neurodinamika. Neurodinamičke metode za funkcionalno oslikavanje mozga: elektroencefalografija (EEG), magnetoencefalografija (MEG), transkranijaska magnetska

stimulacija (TMS). Neurofiziološke osnove EEG/MEG-a. Mjerenja i oblikovanja EEG/MEG/TMS eksperimenata. Bioelektromagnetski inverzni problem. Linearne i nelinearne metode prostorno-vremenskog lokaliziranja. Dinamičke kortikalne mreže. Kortikalna funkcionalna povezanost. Oscilatorna aktivnost mozga. Višemodalno integriranje neurodinamičkih i hemodinamičkih/metaboličkih metoda za oslikavanje mozga. Vidna, auditorna i višeosjetna percepcija. Kognitivna neurodinamika. Translacijska istraživanja i kliničke primjene neurodinamičkog oslikavanja mozga.

#### **POPIS LITERATURE**

- Supek, S. and Aine, C.J. (Eds.): *Magnetoencephalography: From Signals to Dynamic Cortical Networks*, Springer-Verlag, Heidelberg, 2014
- Leone, A. P. et al. (Eds.): *Handbook of Transcranial Magnetic Stimulation*, Arnold, London, 2002
- Toga, A. W, Mazziotta, J.C. (Eds): *Brain Mapping: The Methods*, 2nd ed., Elsevier Science, 2002
- Sporns, O.: *Networks of the Brain*, The MIT Press, Cambridge MA, 2011
- Aine, C.J.: *A Conceptual Overview and Critique of Functional Neuroimaging Techniques in Humans*:
- *MRI/fMRI and PET, Critical Reviews in Neurobiology*, 9(2&3): 229-309, 1995.
- Izbor recentih znanstvenih članaka.

#### **OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Predavanja i seminari. Tijekom seminara kritički će se evaluirati izabrana recentna MEG/EEG/TMS istraživanja i korištene metode analize. U slučaju malog broja studenata i predavanja i seminari će se održavati individualnim konzultacijama i diskusijama i redovitom email razmjenama.

#### **OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Obveze studenata su pisanje i održavanje seminara, te pisanje izvješća i kritičke analize izabranih znanstvenih članaka.

#### **OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 71.

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Stohastički procesi u biofizici

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Izborni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Matko Glunčić, Nenad Pavin

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU:** -

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** Hrvatski i/ili engleski

**BROJ SATI NASTAVE:** 20 sati predavanja i 10 sati vježbi

**OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

Stohastički procesi. Stohastičke varijable, slučajni događaji, statističke distribucije, funkcije korelacije, Markovi procesi, Chapman-Kolmogorov jednačnja, Markovi lanci.

Master jednačnja. Izvod i primjeri, klase  $W$ -matrice, primjena na zatvorene i izolirane fizikalne sisteme, princip detaljne ravnoteže, razvoj Master jednačnje, makroskopska jednačnja, adjungirana jednačnja, linearni one-step procesi-primjeri i rješenja, slučajni hod, nelinearni one-step procesi.

Fokker-Planck jednačnja. Izvod i primjeri s naglaskom na Brownovo gibanje, Reyleightov princip, primjene na one-step procese, višedimenzijaska F-P jednačnja, Kramerova jednačnja.

Langevineov pristup. Langevinov tretman Brownovog gibanja, primjene Langevinova pristupa, odnos prema F-P jednačnji, Ito-Stratonovich dilema, Non-Gaussov bijeli šum, obojeni šum.

#### **POPIS LITERATURE**

- N.G. Van Kampen, Stochastic Processes in Physics and Chemistry, North-Holland Personal Library
- C. Gardiner, Stochastic Methods: A Handbook for the Natural and Social Sciences, Springer Series in Synergetics
- H. Risken, The Fokker-Planck Equation: Methods of Solution and Applications, Springer Series in Synergetics

#### **OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Nastava će se odvijati kroz standardne oblike: predavanja, vježbe i studentske seminare.

#### **OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Obveze studenata su održavanje seminara, te polaganje usmenog ispita na kraju kolegija.

#### **OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 72.

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Radiološka i radioterapijska fizika te dozimetrija

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Obvezni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Tomislav Bokulić

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU:** /

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** Hrvatski i/ili engleski.

**BROJ SATI NASTAVE:** 25 sati predavanja, 15 sati vježbi i 15 sati seminara.

#### **OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

Razumijevanje osnovnih fizikalnih pojmova i relacija vezanih uz izvore i korištenje ionizirajućih zračenja u radioterapiji i dijagnostičkoj radiologiji. Razumijevanje načela rada uređaja koji se koriste za proizvodnju ionizirajućih zračenja, te pomoćnih uređaja i računalnih programa u radioterapiji i

dijagnostičkoj radiologiji i njihovu namjenu. Razumijevanje temeljnih načela rada uređaja za detekciju i mjerenje veličina kojima se karakteriziraju snopovi zračenja u medicinskoj uporabi. Razumijevanje temeljnih načela detektora koji se koriste za dobivanje dijagnostičke informacije u dijagnostičkoj radiologiji. Student će naučiti koristiti osnovne dozimetrijske uređaje i protokole za određivanje dozimetrijskih veličina koje se koriste u medicinskoj primjeni. Student će naučiti koristiti osnovna načela zaštite od zračenja u medicini. Razvijanje vještina znanstvenog istraživanja. Razvijanje pisanih i govornih komunikacijskih vještina te stručnog izražavanja prilikom pisanja seminara te javnog nastupa.

Sadržaj: Radioaktivnost; Međudjelovanje nabijenih čestica s materijom; Međudjelovanje fotona s materijom; Temeljna načela i koncepti u dozimetriji zračenja; Tok čestica i energije; Stohastička priroda depozicije doze; Definicije dozimetrijskih veličina; Apsorbirana doza, kerma, ekspozicija; Odnos toka fotona i dozimetrijskih veličina, kerme i apsorbirane doze; Ravnoteža nabijenih čestica; Odnos između toka čestica i doze kod elektrona; Zaustavna snaga i cema; Ravnoteža delta elektrona ; Uvod u teoriju šupljine; Teorija šupljine za velike detektore fotona; Bragg–Grayeva teorija šupljine; Spencer–Attixova modifikacija Bragg– Grayeve teorije; Burlinova teorija šupljine; Opća teorija šupljine; Fanov teorem; Radioterapijski uređaji; Kilonaponski uređaji; Co-60 uređaji za zračenje; Linearni akceleratori; Simulatori, CT simulatori; Portalno oslikavanje; Mjerenje apsorbirane doze-protokoli za određivanje apsorbirane doze u fotonskim i elektronskim snopovima; Određivanje relativne doze; In-vivo dozimetrija-diode, TLD, OSL, MOSFET; Svojstva kliničkih fotonskih snopova; Dozimetrijske veličine i manualni način računanja doze; Klinički elektronski snopovi; Računalni sustavi za planiranje radioterapije; Algoritmi TPSa; Tehnike planiranja radioterapije elektronskim i fotonskim snopovima; Uvod u Monte Carlo simulacije i primjena u radioterapiji; Brahiterapija; Izvori, tehnike i osnovna klinička razmatranja; Kalibracija BT izvora ; Osiguranje kvalitete; Računalno planiranje, algoritmi i optimizacija; Uvod u radioterapiju moduliranog intenziteta (IMRT) i slikom vođenu radioterapiju (IGRT); Mogući izvori nesigurnosti u radioterapiji, osiguranje kvalitete i zakonski okvir; Uvod u fiziku u dijagnostičkoj radiologiji; Pregled uređaja i tehnika koji se koriste u dijagnostičkoj radiologiji; Kvaliteta slike u dijagnostičkoj radiologiji i njeno mjerenje; Uloga medicinskog fizičara u dijagnostičkoj radiologiji; Uređaji koji se koriste u radiološkoj dijagnostici; Rendgen uređaj i nastanak rendgenskog zračenja; Svojstva rendgenskih snopova koji se koriste u dijagnostičkoj radiologiji i njihov utjecaj na kvalitetu slike; Rendgenski uređaji za radiografiju, dijaskopiju i intervencijsku radiologiju; Rendgenski uređaji za posebne namjene (mamografski, zubni, fluoroskopija); Kompjutorska tomografija; Prijamnici slike; Sustav film-folija; Kompjutorska radiografija; Digitalni prijamnik; Elektronsko pojačalo; Dozimetrija rendgenskih snopova koji se koriste u dijagnostičkoj radiologiji; Osnovne dozimetrijske veličine (tok, kerma, apsorbirana doza); Specijalne dozimetrijske veličine pojedinih radioloških tehnika; Veličine koje služe za procjenu stohastičkih i determinističkih efekata; Dozimetri u dijagnostičkoj radiologiji; Kvaliteta slike i doze zračenja – optimizacija i osiguranje kvalitete; Radiološka sigurnost u praksi (primjeri dobre i loše prakse) i zakonski okvir.

## POPIS LITERATURE

- Radiation oncology physics: a handbook for teachers and students: E.B. Podgorsak (Editor); IAEA, Vienna. [http://www-pub.iaea.org/mtcd/publications/pdf/pub1196\\_web.pdf](http://www-pub.iaea.org/mtcd/publications/pdf/pub1196_web.pdf)
- Diagnostic radiology physics: a handbook for teachers and students: D.R. Dance (Editor); IAEA, Vienna. <http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1564web-82725456.pdf>
- Zakonodavstvo iz područja radiološke sigurnosti u medicini: [www.dzrns.hr](http://www.dzrns.hr)

Dodatna literatura:

- The physics of radiation therapy: F. M. Kahn; Williams and Williams, Baltimore.
- Introduction to radiological physics and radiati on dosimetry: P.H. Attix; Wiley, New York.



- The physics of radiology (Fourth Edition.): H.E. Johns and J.R. Cunningham; Charles C. Thomas, Springfield Ill.
- Modern technology of radiation oncology: J. Van Dyk (Editor); Medical Physics Publishing, Madison Wisconsin.
- Radiation physics for medical physicists: E.B. Podgorsak; Springer, New York.
- Radiobiology for the radiobiologist: E.J. Hall; Lippincott Williams & Wilkins, New York.
- ICRP publication 103: 2007 recommendations of the international commission on radiological protection: The International Commission on Radiological Protection; New York.
- NCRP report 147: Structural shielding design for medical x-ray imaging facilities: National Council on Radiation Protection and Measurements; Bethesda MD.
- NCRP report 151: Structural shielding design and evaluation for megavoltage X- and gamma-ray radiotherapy facilities: National Council on Radiation Protection and Measurements; Bethesda MD
- INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, ABSORBED DOSE DETERMINATION IN EXTERNAL BEAM RADIOTHERAPY: AN INTERNATIONAL CODE OF PRACTICE FOR DOSIMETRY BASED STANDARDS OF ABSORBED DOSE TO WATER, TECHNICAL REPORTS SERIES NO. 398, IAEA, VIENNA (2000).

#### **OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Predavanja (30 sati) uz korištenje Power Point prezentacija, interaktivnih simulacija, izvođenje demonstracijskih pokusa, rješavanje izabranih primjera zadataka, samostalno i u grupi, diskusiju te testove za provjeru znanja. U slučaju malog broja upisanih studenata nastava će se zamijeniti duljim konzultacijama sa studentima.

Praktične vježbe (15 sati) u Kliničko bolničkom centru (KBC). Studenti će moći vidjeti radioterapijske i radiološke uređaje koji se koriste u KBC, te povezati teorijsko znanje s praktičnim. Moći će naučiti raditi s opremom za mjerenje zračenja, te za opisivanje polja zračenja kao i s računalnim programima koji se koriste za planiranje u radioterapiji. Moći će provjeriti računske zadatke mjerenjima.

Studentske prezentacije i rasprave pojedinih tema na seminaru (15 sati). Studenti će seminarskim temama povezati teorijsko i praktično znanje. Teme će izabrati u skladu sa savladanim gradivom na predavanjima i vježbama, a uključivat će i vlastito istraživanje.

Provjera rješenja i diskusija na satovima predviđenim za konzultacije.

#### **OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Studenti su dužni savladati gradivo dano na predavanjima i konzultacijama. Gradivo je dano u obveznoj literaturi koja je u e-obliku dostupna studentima. Student je obvezan odraditi 15 sati vježbi prema programu u KBC. Nakon predavanja studenti će pristupiti pismenom ispitu na kojem moraju ostvariti više od 60%. Nakon položenog teorijskog dijela student će u suradnji s nositeljem kolegija izabrati zadatak koji povezuje teorijsko znanje i praktični dio ispita te izraditi seminar. Ocjena će se formirati na osnovi pismenog ispita i seminarskog rada.

#### **OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 73.

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Fizika u nuklearnoj medicini

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Obvezni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Mario Medvedec

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU:** -

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** hrvatski i/ili engleski.

**BROJ SATI NASTAVE:** 20 sati predavanja i 15 sati vježbi / seminara.

#### **OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

nuklearna medicina kao klinička medicinska grana, proizvodnja radionuklida i radiofarmaka, brojački sustavi, nuklearnomedicinsko oslikavanje, gama-kamera, jednofotonska odašiljačka računalna tomografija (SPECT), pozitronska odašiljačka računalna tomografija (PET), višenačinski oslikavajući sustavi (SPECT/CT, PET/CT, PET/MR), osiguranje i kontrola kvalitete, biokinetička analiza, dozimetrija, radiološka sigurnost

#### **POPIS LITERATURE**

- Cherry SR, Sorenson JA, Phelps ME. Physics in Nuclear Medicine. 4th ed. Philadelphia: Saunders Elsevier; 2012.

#### **OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Predavanja, seminari, vježbe, konzultacije.

#### **OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Polaganje usmenog ispita.

#### **OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 74

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Seminar iz medicinske fizike

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Obvezni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Tomislav Bokulić

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU:** /

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** Hrvatski i/ili engleski

**BROJ SATI NASTAVE:** 15

#### **OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

Izbori tema istraživanja, proučavanje i selekcija znanstvene literature, praćenje tuđih i prezentiranje vlastitih seminara.

## **POPIS LITERATURE**

Prema dogovoru sa studentom i mentorom.

## **OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Odabir teme znanstvenog rada, proširene seminarske diskusije, pripreme vlastitih prezentacija i seminara. Postavljanje znanstvenih hipoteza, metode rada i analize rezultata.

## **OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Redovito i aktivno sudjelovanje u radu seminara. Prezentiranje vlastitog seminarskog rada.

## **OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 75.

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Fizika i tehnika ultrazvuka u medicini

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Izborni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Gordana Žauhar

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU:** -

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** hrvatski i/ili engleski.

**BROJ SATI NASTAVE:** 14 sati predavanja i 14 sati vježbi.

## **OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

Ultrazvučni valovi, ravni val, sferni val, ultrazvučni snop. Refleksija, raspršenje, lom valova u sredstvima i na granicama sredstva. Intenzitet i energija valova. Amplitudni i fazni spektri impulsa ultrazvuka. Sile u sredstvu i reflektorima izloženim ultrazvuku. Impedancija odašiljača sfernih valova. Generiranje ultrazvučnih snopova, piezoelektrični efekt, složeni pretvarači. Ehoskopski sustavi, način funkcioniranja, razlučivanje, granice razlučivanja. Dopplerov efekt za ravni val. Mjerenje brzine Dopplerovim efektom, kontinuirani i impulsnii sustavi. Teorem uzimanja uzoraka i posljedice na točnost mjerenja. Terapijski ultrazvuk, veliki intenziteti i njihova primjena. Mjerenje ultrazvučnog polja, hidrofoni, ultrazvučne vage, pitanja štetnosti medicinskog ultrazvuka.

## **POPIS LITERATURE**

- C.R.Hill, Physical Principles of Medical Ultrasonics, John Wiley & Sons, Chichester, 2004.
- B. Breyer, Medicinski dijagnostički ultrazvuk, Školska knjiga, Zagreb, 1991.
- P. Fish, Physics and instrumentation of Diagnostic Medical Ultrasound, John Wiley & Sons, Chichester, 1996.
- G. ter Haar, The Safe Use of Ultrasound in Medical Diagnosis, The British Institute of Radiology, London, 2012.

## **OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Nastava se izvodi kroz predavanja i konzultacije te seminarski rad.

#### **OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Uvjet za izlazak na usmeni ispit je dobro riješen seminarski zadatak. Nakon što je predao pismeno rješenje zadatka, student pristupa usmenom dijelu ispita.

#### **OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 76.

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Metode tomografske rekonstrukcije u medicini

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Izborni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Darko Grošev

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU:** -

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** Hrvatski i/ili engleski.

**BROJ SATI NASTAVE:** 14 sati predavanja i 14 sati vježbi / seminara.

#### **OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

Uvodni i povijesni pregled o primjeni tomografskih tehnika u medicini, znanosti i tehnologiji. Artefakti i fizikalni faktori koji utječu na kvalitetu slike: gušenje i raspršenje zračenja, dubinski promjenjiva rezolucija. Osnove teorije obrade signala i diskretne Fourierove transformacije. Osnovni teoremi. Radonova transformacija. Metode tomografske rekonstrukcije: analitičke, algebarske/iterativne, statističke. Fantomi za emisijsku kompjuteriziranu tomografiju. Utjecaj parametara akvizicije (odnos signa/šum) i rekonstrukcije (Filtered-backprojection algoritam ili iterativni) na kvalitetu rekonstruirane slike tomografskih fantoma. Izbor i karakteristike pojedinih rekonstrukcijskih filtera. Metode korekcije gušenja zračenja i promjenjive rezolucije. Primjena i važnost metoda kompjuterske simulacije tomografske akvizicije. Analitički i antropomorfni fantomi.

#### **POPIS LITERATURE**

- Kak AC, Slaney M: Principles of Computerized Tomographic Imaging. IEEE Press, New York, 1988, (SIAM 2001)

#### **OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Predavanja korištenjem PowerPoint prezentacija. Organizirane posjete zavodu za nuklearnu medicinu da bi se demonstrirao praktičan rad s tomografskim uređajima, kao i klinička analiza na pacijentima.

#### **OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Usmeni ispit.

#### **OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 77.

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Biomedicinska elektronika i instrumentacija

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Izborni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Igor Lacković, Mario Medvedec

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU:** -

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** Hrvatski i/ili engleski.

**BROJ SATI NASTAVE:** 14 sati predavanja i 14 sati vježbi.

#### **OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

Senzori i pretvornici u biomedicinskoj instrumentaciji. Biomedicinska pojačala. Temeljne metode potiskivanja smetnji u elektromedicini. Mjerila EKG-a i EEG-a. Mjerenje krvnog tlaka i protoka. Mjerenje parametara respiracijskog sustava. Elektrostimulatori srca i defibrilatori. VF kirurški nož. Laseri. Instrumentacija za dobivanje medicinskih slika (CT, DSA, SPECT, PET, MRI, UZV).

Biomedicinsko inženjerstvo u kliničkom okružju: tehnologije, menadžment, sigurnost, medicinski uređaji i oprema, informacijski sustavi, obrazovanje i uvježbavanje, istraživanje i razvoj, zakonodovstvo.

#### **POPIS LITERATURE**

- Šantić: Biomedicinska elektronika, Školska knjiga. Zagreb. 1995.
- Webster: Medical Instrumentation Application and Design, John Wiley & Sons, 2009.
- Webb: The Physics of Medical Imaging, Institut of Physics Publishing. Bristol, Philadelphia. Medical Science Series. 1993.
- Krestel: Imaging Systems for Medical Diagnostics, Siemens A. G: Berlin, Muenchen. 1990.
- David Y, von Maltzahn WW, Neuman MR, Bronzino JD. Clinical Engineering. Boca Raton: CRC Press, 2003.
- Dyro J. Clinical Engineering Handbook. Burlington: Elsevier Academic Press; 2004.
- Taktak A, Ganney P, Long D, White P. Clinical Engineering: A Handbook for Clinical and Biomedical Engineers. Oxford: Elsevier Academic Press; 2014.

#### **OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Nastava će se odvijati kroz predavanja, laboratorijske vježbe i konzultacije; studenti će odrađivati i domaće zadaće.

#### **OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Obveze studenata su pohađanje svih oblika nastave te polaganje ispita.

#### **OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 78.

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Zaštita od zračenja u medicini

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Izborni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Mario Medvedec, Marija Majer, Tomislav Bokulić

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU:** -

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** Hrvatski i/ili engleski.

**BROJ SATI NASTAVE:** 15 sati predavanja i 15 sati vježbi.

#### **OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

Dozimetrijske veličine i jedinice. Mjerni uređaji u zaštiti od zračenja i mjerne tehnike. Biološki učinci zračenja. Opća načela zaštite od zračenja. Vrste izlaganja zračenju. Medicinska ozračivanja. Procjene i proračuni vanjskog i unutarnjeg ozračenja. Zakonodavstvo.

#### **POPIS LITERATURE**

- Grupen C. Introduction to Radiation Protection - Practical Knowledge for Handling Radioactive Sources. Heidelberg: Springer; 2010.
- Martin A, Harbison S, Beach K, Cole P. An Introduction to Radiation Protection. London: Hodder Arnold; 2012.
- Trapp JV, Kron T. An Introduction to Radiation Protection in Medicine. Boca Raton: CRC Press; 2008.

#### **OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Nastava će se provoditi kroz predavanja, vježbe, seminare i konzultacije.

#### **OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Obveze studenata su pohađanje nastave i polaganje ispita.

#### **OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 79.

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Primjena lasera u medicini

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Izborni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Ticijana Ban

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU:** -

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** Hrvatski i/ili engleski.

**BROJ SATI NASTAVE:** 14 sati predavanja i 14 sati seminara.

#### **OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

Laserska svjetlost različitih karakteristika (boja, snaga, trajanje laserske emisije) koristi se u suvremenoj medicini kao dijagnostički, terapijski i kirurški alat. Način na koji različiti laseri međudjeluju s različitim komponentama biološkog tkiva ključ je za razumijevanje upotrebe lasera u medicini. Temelj ovog predmeta je, stoga, opis fizikalnih načela apsorpcije i raspršenja i njihova primjena na opis interakcije svjetlosti i tkiva, te transporta svjetlosti kroz tkivo.

Sadržaj predmeta je slijedeći: 1. Emisija i apsorpcija elektromagnetskog zračenja; 2. Osnove fizikalnih principa rada lasera; 3. Opis različitih laserskih sistema; 4. Optički rezonatori; 5. Međudjelovanje svjetlosti i tkiva I (refleksija, apsorpcija, raspršenje, lom); 6. Međudjelovanje svjetlosti i tkiva II (fotokemijska interakcija – zagrijavanje, foto-ablacija, foto-razaranje); 7. Primjeri upotrebe lasera u medicini; 8. Sigurnost rada s laserima.

#### **POPIS LITERATURE**

- W. Demtroder, Atoms, Molecules and Photons, Springer Verlag, 2006.
- M. H. Niemz, Laser tissue interactions, 3rd edition, Springer Verlag, 2003.
- D. Meschede, Optics, Light and Lasers, WILLEY-VICH Verlag GmbH & Co. KgaA, 2004.
- O. Svelto, Principles of Lasers, Plenum Press 1982.

#### **OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Nastava će se izvoditi putem predavanja (20 sati), seminara (10 sati) i konzultacija. Kroz seminare će se obraditi dio sadržaja predmeta koji je vezan za primjenu lasera u medicini.

#### **OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Nositelj predmeta će održavati predavanja, a svaki student će održati seminar i obraditi jednu primjenu lasera u medicini. Nositelj predmeta osigurat će literaturu za kolegij, kao i literaturu baziranu na znanstvenim radovima potrebnu za održavanje seminara.

#### **OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 80.

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Magnetska tomografija

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Izborni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Nadica Maltar Strmečki

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU:** -

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** hrvatski i/ili engleski.

**BROJ SATI NASTAVE:** 14 sati predavanja i 14 sati seminara.

### **OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

Fizikalne osnove nuklearne (NMR) magnetske spektroskopije. Jezgra u vanjskom magnetskom polju. Uvjet rezonancije. Karakteristični parametri za razlikovanje molekularnih skupina. Relaksacijski procesi i dinamika molekula. Blochove jednadžbe. Kemijski pomak i karakteristična vremena relaksacije T1 i T2. Načini prikupljanja podataka vezano uz parametre za razlikovanje tkiva i pulsne tehnike. Pulsni nizovi različitih metoda oslikavanja: spinskom jekom, istitravanjem iz područja inverzije, istitravanjem iz područja zasićenja. Komponente uređaja za tomografska snimanja. Tomografsko snimanje i metode rekonstrukcije slike. Uporaba gradijenta magnetskog polja za određivanje fazne i frekvencijske razlike u rezonanciji i relaksaciji spinova. Rezolucija metode. Upotreba kontrastnih sredstava.

Fizikalne osnove elektronske (EPR) spinske magnetske spektroskopije. Svojstva elektrona u vanjskom magnetskom polju. Karakteristični parametri. Uporaba spinskih oznaka. Razlike u oslikavanju pomoću nuklearne magnetske rezonancije (MRI) i oslikavanja pomoću elektronske spinske rezonancije (EPRI). Prednosti i nedostaci NMR i EPR prikaza.

Prednosti i primjena kombiniranih EPR i NMR snimanja.

### **POPIS LITERATURE**

- J. P. Hornak: The Basic of MRI, 1996-2014 <https://www.cis.rit.edu/htbooks/mri/>
- H. Yokoyama: EPR Imaging and Its in Vivo Application, Nova Biomedical Books, 2009.
- S. Janković i D. Eterović: Fizikalne osnove i klinički aspekti slikovne dijagnostike, Medicinska naklada, Zagreb, 2002.
- Ante Šantić: Biomedicinska elektronika, Školska knjiga, Zagreb, 1995.
- Swartz, H. M., Khan, N., Buckley, J., Comi, R., Gould, L., Grinberg, O., Hartford, A., Hopf, H., Hou, H., Hug, E., Iwasaki, A., Lesniewski, P., Salikhov, I. and Walczak, T. (2004), Clinical applications of EPR: overview and perspectives. NMR Biomed., 17: 335–351.
- Danhier P. and Gallez B. (2014) Electron paramagnetic resonance: a powerful tool to support magnetic resonance imaging research, Contrast Media & Molecular Imaging, DOI: 10.1002/cmml.1630.

### **OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Predavanja (teorija uz primjere), prezentacije, diskusije o izabranim temama i konzultacije (kontakt u živo ili putem komunikacije podržane računalom: e-mail, forum). Studenti moraju samostalno izraditi seminar i održati ga pred kolegama.

### **OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Obveze studenata su pohađanje nastave i samostalni seminarski rad, način polaganja ispita :70% seminarski rad +30% usmeni ispit

### **OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**



Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 81.

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Radiološka anatomija

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** izborni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Jelena Popić Ramač

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU:** -

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** Hrvatski i/ili engleski.

**BROJ SATI NASTAVE:** 10 sati predavanja i 20 sati vježbi.

#### **OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

Prikaz klasičnih radioloških uređaja i upoznavanje s načinima snimanja konvencionalnim radiološkim metodama.

Prikaz radiološke anatomije respiratornog, kardiovaskularnog, gastrointestinalnog i osteomuskularnog sustava; organa abdomena i zdjelice konvencionalnim načinima snimanja (radiografija, dijaskopije). Upoznavanje s kontrastnim sredstvima i načinima snimanja uz uporabu kontrasta te radiološkim značajkama njihovog prikaza (pasaže, kolonografije, konvencionalne angiografije i flebografije). Prikaz oslikavanja ultrazvukom (UZ), kompjutoriziranom tomografijom (CT), magnetnom rezonancijom (MR) i pozitronskom emisijskom tomografijom spregnutom s CT-om (PET/CT).

Prikaz radiološke anatomije središnjeg živčanog, respiratornog, kardiovaskularnog, gastrointestinalnog i muskuloskeletnog sustava; organa abdomena i zdjelice UZV-om, CT-om i MR-om.

Komparativni prikaz anatomije pojedinim radiološkim metodama.

Upoznavanje s mogućnostima i ograničenjima prikaza pojedinim metodama i izborom metoda za pojedine anatomske regije i organske sustave.

#### **POPIS LITERATURE**

- Wicke L. Atlas rendgenske anatomije. Medicinska naklada, Zagreb
- Cochard LR. Netter's Introduction to imaging. Elsevier Saunders

Dodatna literatura:

- Bushong, S. C. Radiological Science for Technologists Physics, Biology and Protection. S. Louis: Mosby-Year Book, 8. 2004.
- Putz, R., & Pabst, R. Sobotta Atlas of Human Anatomy, Volume 1: Head, Neck, Upper Limb, 2006.
- Putz, R., & Pabst, R. Sobotta Atlas of Human Anatomy, Volume 2: Thorax, Abdomen, Pelvis, Lower Limb, 2006.

#### **OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Predavanja sa slikovnim prikazom radiološke anatomije organa i organskih sustava prikazanih različitim radiološkim metodama.

Vježbe u radiološkim dijagnostikama gdje se polaznik upoznaje s načinom snimanja različitih pretraga.

Vježbe sa snimkama s radioloških radnih stanica gdje polaznik stječe vještine prepoznavanja anatomskih struktura oslikanih pojedinim metodama .

#### **OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Redovito pohađanje nastave i vježbi, usmeno polaganje završnog ispita na slikovnim primjerima s radne stanice, izrada završnog rada iz radiološke anatomije.

#### **OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 82.

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Odabrana poglavlja fiziologije s patofiziologijom

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Izborni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Marija Gamulin

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU:** -

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** hrvatski i/ili engleski

**BROJ SATI NASTAVE:** 10 sati predavanja i 20 sati vježbi

#### **OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

Osnovni patofiziološki poremećaji organskih sustava uz kliničke primjere, putevi i mehanizmi nastanka bolesti. Mogući etiološki čimbenici nastanka bolesti, okoliš, stil života, genetski utjecaji. Osnove transformacije tjelesnih poremećaja koje rezultiraju onkološkim disbalansom. Mogući štetni terapijski utjecaji na organizam čovjeka: zračenje, kemoterapija, hormonska terapija, bioterapija („pametni lijekovi“). Uloga genotoksikologije u onkologiji. Timski pristup u onkologiji – važnost međusobnog timskog i rada područja medicinske fizike i liječnika specijaliste.

#### **POPIS LITERATURE**

- Gamulin S, Marušić M, Kovač Z. Patofiziologija. Medicinska naklada, izdanje 2011.
- Hansen EK, Roach M III. Handbook of evidence-based Radiation Oncology. Springer Science-Busines media.LCC. 2015.
- Barrett A, Dobbs J, Morris S, Roques T. Practical radiotherapy planning. Practical radiotherapy planing. Hodder&Arnold An Hachette UK company, 2009.

#### **OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Nastava će se izvoditi putem predavanja, seminara i konzultacija

#### **OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Obaveze studenta su pohađanje nastave i polaganje usmenog ispita

#### **OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 83.

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Odabrana poglavlja onkologije i radioterapije

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Izborni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Ana Fröbe

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU:** /

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** Hrvatski i/ili engleski.

**BROJ SATI NASTAVE:** 10 sati predavanja i 20 sati vježbi.

**OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA:**

Upoznavanje studenata s epidemiologijom, biološkim osnovama raka, citološkom, patološkom i laboratorijskom dijagnostikom te metodama liječenja u onkologiji.

Maligni tumori kao poseban problem zdravstva, važnost preventivnih mjera i rane dijagnoze raka, najnovija istraživanja i primjena radioterapije same i njezinog kombiniranja s kemoterapijom u liječenju raka. Definicija i djelokrug onkološke znanosti. Biologija rasta: molekulsko-genetička osnova raka, stanična dioba i rak, imunološko prepoznavanje maligne stanice, metastaziranje i angiogeneza. Epidemiologija i prevencija zloćudnih tumora. Pristup onkološkom bolesniku Osnovi kemoterapije, radioterapije i hormonske terapije. Radiobiološka osnova radioterapije: učinak radioterapije na normalna tkiva, tumore, frakcioniranje radioterapije, radiobiološki učinak. Interakcija citostatika i radioterapije. Hipertermija. Svrha i primjena radioterapije (fotonski snopovi, elektronski snopovi, neutroni, protoni, brahiterapija) u liječenju tumora glave i vrata, dojke, pluća, malignih limfoma, tumora gastrointestinalnog, urinarnog, endokrinog sustava, kože, kosti i mekih tkiva, CNS-a te spolnih organa.

#### **POPIS LITERATURE**

- DeVita, Hellman, and Rosenberg's Cancer: Principles & Practice of Oncology, 10th edition, Wolters Kluwer Health/Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, USA, 2014.
- Hansen EK, Roach M. Handbook of evidence-based radiation oncology, 2nd edition, Springer Science Bussines, LLC 2010.
- Carlos A. Perez, Luther W. Brady: Principles and practice of radiation oncology, 6th edition, Wolters Kluwer Health/Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, USA, 2013.

#### **OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Nastava će se provoditi kroz predavanja i vježbe.

#### **OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Obveze studenata su pohađanje predavanja i polaganje usmenog ispita.

#### **OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 84.

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Analiza podataka u geofizici

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Obvezni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Zoran Pasarić

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU:** -

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** Hrvatski i/ili engleski

**BROJ SATI NASTAVE:** 30 sati predavanja i 15 sati vježbi

#### **OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

Pomoćni rezultati iz linearne algebre: matrice, vlastite vrijednosti, dijagonalizacija, dekompozicija singularnih vrijednosti, metoda najmanjih kvadrata. Višestruka linearna regresija i korelacija. Metoda empirijskih ortogonalnih funkcija (EOF). Objektivna analiza: prilagodba polinomom, objektivna interpolacija. Vremenski nizovi, prostorna polja: a) deterministička teorija: linearni sustavi, Fourierova transformacija, diskretno uzorkovanje, aliasing, digitalni filtri; b) stohastička teorija u vremenskoj, odnosno prostornoj domeni: stacionarnost, ergodičnost, autokorelacijska funkcija; c) stohastička teorija u frekvencijskoj domeni, odnosno domeni valnih brojeva: linearni sustavi sa stohastičkim ulazom, spektri i poprečni spektri snage stacionarnih slučajnih procesa, model sa šumom na izlazu; d) procjena spektra snage iz realnih vremenskih nizova; e) valići.

Praktični dio se sastoji od vježbi na računalu, pri čemu se pojedine metode implementiraju i primjenjuju na realne ili računalno proizvedene podatke.

#### **POPIS LITERATURE**

- Bendat, S. J., Piersol, G. A. 2000: Random Data Analysis and Measurement Procedures. John Wiley & Sons, Inc., New York, 594 pp.
- Jenkins, G. M., Watts, D. G. 1968: Spectral Analysis and its applications. Holden-Day, San Francisco, 525 pp.
- Papoulis, A. 1977: Signal Analysis. McGraw-Hill, Auckland, 431 pp.
- Papoulis, A. 1984: Probability, Random Variables, and Stochastic Processes. McGraw-Hill, Auckland, 576 pp.
- Press, H. W., Teukolsky, A. S., Vetterling, T. W., Flannery, P. B. 2001: Numerical Recipes in Fortran 77, Cambridge University Press, Cambridge, 974 pp.
- von Storch, H., Zwiers, W. F. 2003: Statistical Analysis in Climate Research, Cambridge University Press, Cambridge, 484 pp.

#### **OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Nastava će se odvijati kroz predavanja i konzultacije. Bit će davani i zadaci za samostalno rješavanje uz korištenje računala.

#### **OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Obveze studenata su pohađanje predavanja, rješavanje zadanih zadataka pomoću računala i pisanje izvješća, usmeni ispit

#### **OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 85

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Seminar iz geofizike

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Obvezni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Ivana Herceg Bulić, Josip Stipčević

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU:**

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** Hrvatski i/ili engleski

**BROJ SATI NASTAVE:** 15

#### **OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

Izbori tema istraživanja, proučavanje i selekcija znanstvene literature, praćenje tuđih i prezentiranje vlastitih seminara.

#### **POPIS LITERATURE**

Prema dogovoru sa studentom i mentorom.

#### **OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Odabir teme znanstvenog rada, proširene seminarske diskusije, pripreme vlastitih prezentacija i seminara. Postavljanje znanstvenih hipoteza, metode rada i analize rezultata.

#### **OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Redovito i aktivno sudjelovanje u radu seminara. Prezentiranje vlastitog seminarskog rada.

#### **OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 86.

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Modeliranje atmosfere

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Izborni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Darko Koračin, Kristian Horvath

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU:** -

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** Hrvatski i/ili engleski

**BROJ SATI NASTAVE:** 20 sati predavanja i 10 sati vježbi

**OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

Struktura atmosferskih modela. Parameterizacije fizičkih procesa. Početni i rubni uvjeti modela. Numeričke metode i nestabilnosti rješenja. Kaotičnost modeliranih rješenja. Stohastički procesi. Prognoze ansamblima. Struktura modela transporta i disperzije atmosferskih polutanata. Fotokemijski modeli onečišćenja.

**POPIS LITERATURE**

- R. Pielke (2001): Mesoscale Meteorological Modeling. Academic Press, 2nd Edition.
- R. Stull (1997): Introduction to Boundary Layer Meteorology. Kluwer Academic Publishers, 2nd Edition.
- H. C. Rodean (1996): Stochastic Lagrangian Models of Turbulent Diffusion. Meteorological Monographs, American Meteorological Society, Boston.

**OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Nastava i vježbe, proširene diskusije, zadaće i čitanje znanstvenih članaka. Rad u grupi i izvješća. Aktualne diskusije problema s korištenjem i primjenama numeričkih modela. Priprema materijala za prezentacije i završni ispit.

**OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Obveze studenata su domaće zadaće, pisana i usmena izvješća (seminari), završni (pismeni ili usmeni) ispit.

**OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 87.

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Odabrana poglavlja iz fizike atmosfere

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** izborni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Kristian Horvath

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU:** -

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** Hrvatski i/ili engleski

**BROJ SATI NASTAVE:** 20 sati predavanja i 10 sati vježbi

**OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

Atmosferske lebdeće čestice (PM) – procesi nastanka. Međudjelovanja PM s drugim atmosferskim sastojcima. Međudjelovanja PM i oblaka. Daljinski transport i depozicija lebdećih čestica. Radijacijsko forsiranje PM i klima. Utjecaj lebdećih čestica na ljudsko zdravlje. Tehnike mjerenja svjetske eksperimentalne studije. Razine onečišćenja lebdećim česticama u Hrvatskoj.

**POPIS LITERATURE**

**OBAVEZNA LITERATURA**

- Kondratyev, K. Y., Ivlev, L. S., Krapivin, V. F., Varotsos C. A. (2006): Atmospheric aerosol properties. Formation, processes and impacts. Springer, Chichester, UK, 572 str.
- John, W., 2001: Size distribution characteristics of aerosols. (In: Aerosol measurement: principles, techniques, and applications, 2nd edition, Baron, P. A. and Willeke, K., eds, New York, WileyInterScience, Inc., pp 99 – 116).
- Monks, P. S., Granier, C., Fuzzi, S., Stohl, A., Williams, M. L. i sur. (2009): Atmospheric composition change – global and regional air quality, Atmos. Environ., 43, 5268–5350, doi: 10.1016/j.atmosenv.2009.08.021.

**DODATNA LITERATURA**

- Kondratyev, K. Y. (1999): Climatic effects of aerosols and clouds. Springer, Chichester, UK, 264 str.
- Noviji znanstveni članci.

**OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Uz predavanja, detaljne diskusije sa studentima, naročito usmjerene na rezultate njihovih domaćih zadataka i zadanu novu literaturu.

**OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Domaće zadaće – timske analize stvarnog niza PM podataka. Svaka grupa (2-3 studenta) ispituje drugi atmosferski problem analiziranjem seta izmjerenih podataka. Usmena prezentacija novijeg znanstvenog članka. Završni ispit.

**OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 88.

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Odabrana poglavlja iz atmosferske turbulencije

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Izborni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Željko Večenaj, Danijel Belušić

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU:** -

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** Hrvatski i/ili engleski

**BROJ SATI NASTAVE:** 20 sati predavanja i 10 sati vježbi

**OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

Nestabilnosti strujanja na maloj skali; cirkulacija i vrtložnost. Atmosferski granični slojevi. Turbulencija i problem zatvaranja. Prognoza turbulentne kinetičke i potencijalne energije. Modifikacije Monin-Obukhovljeve duljine. Spektralni prikaz turbulentnih strujanja. Prognoza Reynoldsovog tenzora napetosti. Modeliranje prijenosa, raspršenja i difuzije u atmosferi. Detalji lokalnih cirkulacija i osnovni parametri turbulencije. Atmosferska dinamika i parametrizacije mikroskalnih procesa u numeričkim prognostičkim modelima za vrijeme i klimu. Dopunjeni model Prandtlja za nagnute granične slojeve.

**POPIS LITERATURE**

- • Stull, R.B. (1988): An Introduction to Boundary Layer Meteorology, Kluwer, Dordrecht, 666 str.

**OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Nastava i vježbe, proširene diskusije, zadaće i čitanje znanstvenih članaka. Rad u grupi i izvješća. Aktualne diskusije mezoskalnih i lokalnih vremenskih pojava. Obrada podataka. Potencijalni izbor studenta za vlastitu ekspertizu u atmosferskoj turbulenciji, priprema i odabir vlastitog završnog ispita.

**OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Obveze studenata uključuju domaće zadaće, testove, i usmena izlaganja tuđeg i vlastitog istraživanja.

**OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 89.

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Mezoskalna meteorologija

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Izborni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Danijel Belušić

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU:** -

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** Hrvatski i/ili engleski

**BROJ SATI NASTAVE:** 20 sati predavanja i 10 sati vježbi

**OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

Nestabilnosti na mezoskali. Linearna teorija perturbacija i različiti tipovi valnih gibanja. Interni težinski valovi. Orografski uzrokovani mezoskalni procesi. Linearna i nelinearna analitička rješenja za strujanja preko planina. Zavjetrinska strujanja i zavjetrinska ciklogeneza. Mezoskalni oborinski sustavi i orografska oborina. Termalna strujanja u kompleksnom terenu. Mezoskalna opažanja i mjerenja – avionska mjerenja, radar, lidari, površinska mjerenja i mreže. Numeričko modeliranje mezoskalnih procesa i prediktabilnost.



## **POPIS LITERATURE**

- Markowski, P., and Y. Richardson (2011): Mesoscale Meteorology in Midlatitudes, Wiley-Blackwell, 430 pp.

## **OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Izlaganje i zajednička diskusija. Izvodi jednadžbi. Samostalni rad i rad u manjim grupama.

## **OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Obveze studenata uključuju domaće zadaće, prezentacije seminara, pisani izvještaj projektnog zadatka i pismeni ispit.

## **OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 90.

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Atmosferska prediktabilnost i modeliranje klimatskog sustava

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Izborni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Ivana Herceg Bulić, Ivan Güttler

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU:** -

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** Hrvatski i/ili engleski

**BROJ SATI NASTAVE:** 20 sati predavanja i 10 sati vježbi

## **OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

Uvod u teoriju prediktabilnosti atmosfere. Liouville-ove jednadžbe i atmosferska prediktabilnost. Primjena teorije generalizirane stabilnosti na determinističku i statističku prognozu stanja atmosfere. Asimilacija podataka za ansambl prognoze. Prediktabilnost dvojnih procesa. Ansambl prognostički sustav Europskog centra za srednjoročne prognoze vremena.

Hijerarhija atmosferskih klimatskih modela: nul-dimenzijalni, jedno-dimenzijalni, dvo-dimenzijalni i modeli opće cirkulacije atmosfere. Modeli opće oceanske cirkulacije. Modeli leda na moru i kopnu. Biofizikalni modeli procesa na površini kopna. Biokemijski oceanski modeli. Dvojni modeli i njihovo međudjelovanje. Teorije klimatskih promjena.

## **POPIS LITERATURE**

- Palmer, T. And R. Hagedorn (editors), 2006: Predictability of weather and climate. Cambridge University Press, Cambridge. 702 pp.
- Trenberth, K.E (editor)., 1992: Climate system modeling. Cambridge University Press, Cambridge. 788.pp.

## **OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Nastava će se odvijati kroz predavanja, seminarski rad i projektni zadatak.

## **OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Obveze studenata uključuju pohađanje predavanja, seminarski rad i projektni zadatak.

## **OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 91.

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Obalna meteorologija

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Izborni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Maja Telišman Prtenjak, Amela Jeričević

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU:** -

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** Hrvatski i/ili engleski

**BROJ SATI NASTAVE:** 20 sati predavanja i 10 sati vježbi

## **OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

Temeljna i najnovija znanja o mezoskalnoj cirkulaciji atmosfere u obalnom području s gledišta teorije, primijenjenih metoda i pripadnih mjerenih podataka. Spoznaje i suštinske razlike u mehanizmu stvaranja i održavanja termičkih i orografskih atmosferskih cirkulacija nastalih u obalnom području te njihova interakcija sa sinoptičkim sustavima. Njihova povezanost s hidrološkim promjenama.

Novija saznanja o mogućnostima primjene atmosferskih numeričkih i kemijskih modela, njihovim ograničenjima i posebnostima u obalnom području pri dinamičkoj interakciji zraka iznad mora i kopna. Razvoj združenog sustava modela obalnog područja. Granični sloj i parametrizacije turbulencije obalnog područja. Interakcija cirkulacija zraka na različitim meteorološkim skalama i oborinski konvektivni sustavi obalnog područja. Utjecaj interakcija na pojave koje su ovisne o strukturi graničnog sloja.

## **POPIS LITERATURE**

- Cotton, W.R., Bryan, G. And Van den Heever, S.C., 2011: Storm and Cloud Dynamics, 2nd ed., Elsevier Academic Press, Oxford, 2011.
- Hsu, S.A., 1988: Coastal meteorology. Academic Press Inc., San Diego, 260pp.
- Nuss, W.A., J.M. Bane, W.T. Thompson, T. Holt, C.E. Dorman, F.M. Ralph, R. Rotunno, J.B. Klemp, W.C. Skamarock, R.M. Samelson, A.M. Rodgerson, C. Reason, and P. Jackson, 2000: Coastally trapped wind reversals: Progress toward understanding. Bull. Amer. Meteor. Soc., 81, 719-743.
- Rogers, D., C. Dorman, K. Edwards, I. Brooks, S. Burk, W. Thompson, T. Holt, L. Strom, M. Tjernström, B. Grisogono, J. Bane, W. Nuss, B. Morely and A. Schanot, 1998: Highlights of Coastal Waves 1996. Bull. Amer. Meteor. Soc., 79, 1307-1326.
- Rotunno, R., J. A. Curry, C. W. Fairall, C. A. Friehe, W. A. Lyons, J. E. Overland, R. A. Pielke, D. P. Rogers, S. A. Stage, 1992: Coastal Meteorology, A review of the state of the science, National Academy Press, Washington, D. C., 99 pp.

## **OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Aktivno pohađanje nastave, izrada zadaća, prezentacije novijih rezultata znanstvenih istraživanja kroz seminare, izrada projektnog zadatka pomoću numeričkih modela.

## **OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Obveze studenata uključuju domaće zadaće, seminare te uspješno prezentiran projektni rad.

## **OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 92.

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Dinamička oceanografija

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Izborni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Mirko Orlić

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU:** -

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** Hrvatski i/ili engleski

**BROJ SATI NASTAVE:** 20 sati predavanja i 10 sati nastave

## **OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

Kvazistacionarno strujanje. Osnovni elementi strujnog sistema. Vjetrovno strujanje u oceanima (Sverdrup, Stommel, Munk). Vjetrovno strujanje u okrajnim morima (Weenink, Felzenbaum, Welander). Termohalino strujanje – unutar okrajnih bazena te između okrajnih i otvorenih mora (estuarina cirkulacija, inverzna estuarina cirkulacija).

Slobodni valovi. Opći slučaj oscilacija u rotirajućem stratificiranom fluidu. Kratkoperiodički površinski valovi. Dugoperiodički valovi u sloju fluida. Unutarnji valovi. Topografski efekti.

Prisilni valovi. Analitička rješenja za shematizirane oceane i okrajnja mora: plimne oscilacije, utjecaj atmosfere na more, sezonske oscilacije. Rezonantna pobuda gibanja u moru.

## **POPIS LITERATURE**

- Bowden K. F.: Physical Oceanography of Coastal Waters, Ellis Horwood Ltd., Chichester, 1983.
- Gill A. E.: Atmosphere-Ocean Dynamics, Academic Press, New York, 1982.
- Pedlosky J.: Geophysical Fluid Dynamics (Second Edition), Springer Verlag, New York, 1987.
- Vallis G. K.: Atmospheric and Oceanic Fluid Dynamics, Cambridge University Press, Cambridge, 2006.

## **OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Nastava će se provoditi kroz predavanja i konzultacije.

## **OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Prisustvovanje predavanjima i sudjelovanje u konzultacijama, rješavanje postavljenog problema i usmeno odgovaranje na ispitna pitanja.

#### **OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 93.

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Odabrana poglavlja fizike mora

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Izborni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Gordana Beg Paklar

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU:** -

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** Hrvatski i/ili engleski

**BROJ SATI NASTAVE:** 20 sati predavanja i 10 sati vježbi

#### **OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

Numeričko modeliranje dinamike mora. Osnovne jednadžbe, diskretizacija, konačne razlike, konvergencija, stabilnost, analiza numeričkih shema za jednadžbe plitkog fluida. Tipične aproksimacije, rubni uvjeti, klasifikacija modela. Princeton Ocean Model (POM). Verifikacija modela usporedbom s analitičkim rješenjima. Primjena POM-a na cijeli Jadran i na odabrano obalno područje. Istraživanje odnosa između vjetrovne i termohaline dinamike.

#### **POPIS LITERATURE**

- Mesinger F. (1976): Dinamička meteorologija. Građevinska knjiga, Beograd.
- Mellor G. L. (1996): Introduction to Physical Oceanography. Springer, New York.
- Mellor G. L. (1998): User Guide for a Three-dimensional, Primitive Equation, Numerical Ocean Model. Princeton University, Princeton.
- Blumberg A.F. and G.L. Mellor (1987): A description of a three-dimensional coastal ocean circulation model. In: Heaps N.S., (Ed.), Three Dimensional Coastal Ocean Models, Coastal and Estuarine Science, 4, American Geophysical Union, Washington, D.C. 16 pp.
- Mellor G. L. and T. Yamada (1982): Development of a turbulence closure model for geophysical fluid problems. Reviews of Geophysics and Space Physics, 20, pp. 851-875.

#### **OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Nastava će se provoditi kroz predavanja, te praktični rad na računalu.

#### **OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Pohađanje nastave, samostalna primjena numeričkog modela POM na jednostavne primjere u idealiziranim i realističnim bazenima sa shematiziranim forsiranjem, usmeni ispit.

#### **OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 94.

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Bayesova statistika

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Izborni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Zoran Pasarić

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU:** -

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** Hrvatski i/ili engleski

**BROJ SATI NASTAVE:** 20 sati predavanja i 10 sati vježbi

**OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

Osnove: deduktivno naspram induktivnog zaključivanja, Cox-ovi aksiomi i vjerojatnost, Bayesov teorem, povijesni pregled. Procjena parametara: elementarni primjeri, sažeti opis posteriora, uloga priora, poopćenje na dvije i više dimenzija, veza s metodama maksimalne vjerodostojnosti i najmanjih kvadrata. Usporedba modela: dokazi (engl. evidence) u korist pojedinog modela, Bayesov faktor, Ocamovo pravilo. Zadavanje vjerojatnosti: princip indiferentnosti, grupe transformacija, parametri položaja i rasapa, princip maksimalne entropije. Metode Monte Carlo za uzorkovanje posteriora: uniformno uzorkovanje, uzorkovanje po važnosti, uzorkovanje s prihvaćanjem i odbacivanjem, metoda Markovljevih lanaca (MCMC).

**POPIS LITERATURE**

- Sivia, D., Skilling, J. 2001: Data Analysis: A Bayesian Tutorial. Oxford University Press, 246 pp.
- Gegory, P. 2005: Bayesian Logical Data Analysis for the Physical Sciences. Oxford University Press, 468 pp.
- Jaynes, E. T. 2003: Probability Theory: The Logic of Science. Cambridge University Press, 727 pp.
- MacKay, D. 2003: Information Theory, Inference, and Learning Algorithms. Cambridge University Press, 628 pp.
- Bolstad, W. M. 2007: Introduction to Bayesian Statistics. John Wiley & Sons, 437 pp.
- Gelman, A., Carlin, J. B., Stern, H. S., Rubin 2004: Bayesian Data Analysis. Chapman & Hall/CRC, 668 pp.

**OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Nastava će se provoditi kroz predavanja i konzultacije, te rješavanja zadanih zadataka pomoću računala.

**OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Obveze studenata su pohađanje predavanja, rješavanje zadanih zadataka pomoću računala i pisanje izvješća, usmeni ispit.

**OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 95.

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Fizika unutrašnjosti Zemlje

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Izborni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Snježana Markušić

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU:** -

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** Hrvatski i/ili engleski

**BROJ SATI NASTAVE:** 20 sati predavanja i 10 sati vježbi

**OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

Rasprostiranje volumnih valova kroz heterogeno sredstvo. Raspršenje i atenuacija prostornih valova potresa. Koda valovi. Anizotropija u Zemlji. Slobodne oscilacije slojevite sfere.

**POPIS LITERATURE**

- Aki, K. And Richards, P. G. (2002): Quantitative seismology, University Science Books, Sausalito, 700 pp.
- Lapwood, E.R. and Usami, T. (1981): Free oscillations of the Earth, Cambridge University Press. Cambridge, 243 pp.
- Sato, H. and M. C. Fehler (2012): Seismic wave propagation and scattering in the heterogeneous Earth, Springer-Verlag, New York, 494 pp.
- Stein, S. and Wysession, M. (2003): An introduction to seismology, earthquakes, and Earth structure, Blackwell Publishing, 498 pp.
- Lowrie, W. (2007): Fundamentals of Geophysics, Cambridge University Press, 381 pp.

**OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Nastava će se provoditi kroz predavanja i vježbe, uz diskusije, te izradu zadaća.

**OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Obveze studenata su pohađanje predavanja, izvršavanje projektnog zadatka, te polaganje usmenog ispita.

**OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 96.

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Fizika žarišta potresa

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Izborni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Marijan Herak

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU:** -

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** Hrvatski i/ili engleski

**BROJ SATI NASTAVE:** 20 sati predavanja i 10 vježbi

**OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

Teorija elastičnog odskoka. Energija deformacije prije potresa. Rasjedi i pukotine. Prikaz seizmičkog izvora. Teorem reprezentacije dinamičke elastičnosti. Jednostavan primjer pomaka na rasjedu. Općenita analiza diskontinuiteta pomaka. Seizmički izvor. (a) Kinematika potresa promatrana na velikoj udaljenosti od izvora. Homogeno, izotropno, neograničeno sredstvo. Općenita svojstva pomaka. Seizmički spektar na malim frekvencijama. (b) Dinamika širenja pukotine. Seizmički moment. Tenzor seizmičkog momenta. Procjena seizmičkih momenata. Volumni seizmički izvori. Osnove teorije i primjeri. Kinematika potresa promatrana na velikoj udaljenosti od seizmičkog izvora. Nehomogeno, izotropno sredstvo. Model rasjeda sa širenjem u jednom smjeru. Početak, širenje i zaustavljanje loma. Kutna frekvencija i asimptota visoke frekvencije. Kinematika potresa promatrana na maloj udaljenosti od seizmičkog izvora.

**POPIS LITERATURE**

- Aki, K., P. G. Richards: Quantitative Seismology, 2nd edition, University Science Books, Sausalito, California, 2002.
- Ben-Menahem, A., S. J. Singh: Seismic waves and sources, Springer Verlag, New York – Heidelberg – Berlin, 1981.
- Lay, T., T. C. Wallace: Modern Global Seismology, Academic Press, San Diego, 1995.
- Pujol, J.: Elastic Wave Propagation and Generation in Seismology, Cambridge University Press, Cambridge, 2003.
- Stein, S. and M. Wyss: An introduction to Seismology, Earthquakes and Earth structure, Blackwell Publ., 2003.
- • Udias, A.: Principles of Seismology, Cambridge University Press, United Kingdom, 1999.

**OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Nastava će se provoditi kroz predavanja i vježbe, uz diskusije, te izradu zadaća.

**OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Obveza studenta je polaganje završnog (pismenog ili usmenog) ispita.

**OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 97.

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Odabrana poglavlja iz seizmologije

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Izborni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Marijan Herak

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU:** -

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** Hrvatski i/ili engleski

**BROJ SATI NASTAVE:** 20 sati predavanja i 10 sati vježbi

**OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

Sadržaj kolegija odabire se u skladu sa sklonostima i izborom slušača. Predložene teme su: rasprostiranje elastičkih valova u anizotropnom sredstvu, inverzni problemi u seizmologiji, površinski valovi i slobodne oscilacije Zemlje, statistika potresa. Koristi se dolje navedena kao i tekuća stručna literatura.

#### **POPIS LITERATURE**

- Aki, K., P. G. Richards: Quantitative Seismology, 2nd edition, University Science Books, Sausalito, California, 2002.
- Stein, S. and M. Wysession: An introduction to Seismology, Earthquakes and Earth structure, Blackwell Publ., 2003.
- Lay, T., T. C. Wallace: Modern Global Seismology, Academic Press, San Diego, 1995.
- Udias, A.: Principles of Seismology, Cambridge University Press, United Kingdom, 1999.
- Ben-Menahem, A., S. J. Singh: Seismic waves and sources, Springer Verlag, New York – Heidelberg – Berlin, 1981.

#### **OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Nastava će se provoditi kroz predavanja i vježbe, uz diskusije, te izrade zadaća.

#### **OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Obveze studenata su pohađanje nastave, te polaganje završnog (pismenog ili usmenog) ispita.

#### **OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 98.

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Seizmotektonski parametri i magnituda potresa

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Izborni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Bruno Tomljenović

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU:** -

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** Hrvatski i/ili engleski



**BROJ SATI NASTAVE:** 20 sati predavanja i 10 sati vježbi

**OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

Potresni ciklus: klasični i alternativni modeli. Gdje dolazi do sloma i žarišta potresa: rasjedne zaravni i rampe, rasjedne barijere i segmentiranost rasjeda. Karakteristični i nekarakteristični potresi. Varijacije u pomacima po rasjedu, napredovanje rasjeda u prostoru i vremenu. Odnos između seismotektonskih parametara i magnituda potresa. Upoznavanje s tipskim primjerima iz seizmički aktivnih područja s ekstenzijskom, kompresijskom i smičnom tektonikom u svijetu i na području Hrvatske.

**POPIS LITERATURE**

- Stein, S., Wysession, M. (2003): An introduction to Seismology, Earthquakes and Earth Structure, Blackwell publishing.
- Wells, D.L. & Coppersmith, K.J. (1994): New empirical Relationships among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and Surface Displacement.- Bull. Seismol. Soc. Am., Vol. 84, No. 4, 974-1002.
- Burbank, D.W & Anderson, R.S. (2001): Tectonic Geomorphology.- Blackwell Publishing

**OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Nastava će se provoditi kroz predavanja, vježbe i konzultacije.

**OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Obveze studenata su redovito i aktivno sudjelovanje u nastavi, prezentacije vlastitih rješenja tipskih zadataka iz seismotektonike, te polaganje završnog usmenog ispita.

**OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.

**REDNI BROJ PREDMETA:** 99.

**NAZIV PREDMETA/MODULA:** Odabrana poglavlja iz geofizičkih istraživanja

**VRSTA (OBVEZNI ILI IZBORNI):** Izborni

**IME NOSITELJA PREDMETA/MODULA:** Franjo Šumanovac

**IMENA NASTAVNIKA /SURADNIKA NA PREDMETU/MODULU:** -

**JEZIK IZVOĐENJA PREDMETA MODULA:** Hrvatski i/ili engleski

**BROJ SATI NASTAVE:** 20 sati predavanja i 10 sati vježbi

**OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA/MODULA**

Refleksijska seizmička metoda visoke rezolucije (HRS-metoda). Instrumenti i oprema. Metode mjerenja i obrade podataka. Interpretacija. Seizmičke metode istraživanja naslaga između bušotina. Trodimenzionalna (3-D) seizmička istraživanja. Seizmička tomografija. Primjena seizmičkih istraživanja.

Električna istraživanja. Vertikalna i horizontalna moć razlučivanja električnih metoda. Površinska električna tomografija: teoretske osnove, višeelektrodni sustavi, geometrija snimanja, projektiranje

terenskih mjerenja, dvodimenzionalna (2D) i trodimenzionalna (3D) istraživanja, obrada i interpretacija podataka, mogućnosti primjene. Dvojno gradijentno kartiranje i TUBEL-metoda. Interpretacija podataka mjerenja magnetotelurskom i elektromagnetnim metodama. Georadarska istraživanja. Mogućnosti električnih metoda u istraživanjima na krškim terenima.

Daljinska gravimetrijska istraživanja. Mikrogravimetrijska istraživanja. Gravimetrijska istraživanja podzemnih šupljina. Aeromagnetometrijska istraživanja. Kompleksna geofizička istraživanja.

#### **POPIS LITERATURE**

- Parasnis, D.S. (1997): Principles of Applied Geophysics, Chapman and Hall, New York.
- Šumanovac, F. (2008): Geofizička istraživanja podzemnih voda, Rudarsko-geološko-naftni fakultet i Tiskara Pauk, Zagreb.
- Ward, S.H. (1990): Geotechnical and Environmental Geophysics, Investigations in Geophysics No. 5, Society of Exploration Geophysicists, Tulsa, Oklahoma, 1990.

#### **OPIS METODA PROVOĐENJA NASTAVE**

Nastava će se provoditi kroz predavanja, konzultacije i auditorne vježbe, te uz rješavanje samostalnih zadataka, pripremanje seminarskih radova, te terensku nastavu.

#### **OPIS NAČINA IZVRŠAVANJA OBVEZA**

Obveze studenata su izvršavanje seminarskih radova i polaganje završnog ispita.

#### **OPIS NAČINA PRAĆENJA KVALITETE NASTAVE**

Kvaliteta nastave pratit će se mehanizmima propisanim u Sveučilišnom pravilniku o doktorskim studijima (tj. putem Sveučilišnih obrazaca DR.SC.-04 i DR.SC.-09).

**BROJ ECTS BODOVA:** ne primjenjuje se ECTS-bodovni sustav.