

OPĆE INFORMACIJE		
Naziv kolegija	Fizika elementarnih čestica II	
Studijski program	Sveučilišni diplomski studij Fizika	
Status kolegija	Izborni	
Semestar	3.	
Bodovna vrijednost i način izvođenja nastave	ECTS bodovi	6
	Broj sati (P+V+S)	30+15+15
Nositelj kolegija	doc. dr. sc. Arash Ranjbar	
Kontakt	aranjbar@phy.uniri.hr	
Vrijeme i mjesto konzultacija	Po dogovoru	
Suradnik na kolegiju	/	
Kontakt	/	
Vrijeme i mjesto konzultacija	/	
Jezik izvođenje nastave	Engleski	
Web stranica kolegija	Portal sustava Merlin (srce.hr)	
Vrijeme i mjesto izvođenja nastave	Prema rasporedu sati objavljenom na mrežnoj stranici Fakulteta za fiziku.	
Izravna (učionička) nastava	30P+15V+15S, 100 %	
Virtualna nastava	0%	
Ispitni rokovi	04.02.2027.	
	18.02.2027.	
	01.07.2027.	
	02.09.2027.	

OPIS KOLEGIJA	
1.1. Ciljevi kolegija	
U ovom tečaju razvijaju se napredne metode kvantne teorije polja i, zajedno s načelom očuvanja mjerljivosti, koriste se za opisivanje neabelovskih teorija mjernih polja, posebno jakih i elektroslabih interakcija. Cilj nam je postići napredno i temeljito razumijevanje Standardnog modela fizike elementarnih čestica.	
1.2. Uvjeti za upis kolegija	
Napredna elektrodinamika, Napredna kvantna mehanika, Fizika elementarnih čestica I, Kvantna teorija polja	
1.3. Očekivani ishodi učenja za kolegij	
Postizanje visokog stupnja razumijevanja metoda, tehnika i matematičkog formalizma Standardnog modela elementarnih čestica, što omogućuje studentima aktivno sudjelovanje u znanstvenim istraživanjima odmah nakon završetka tečaja. Ishodi u velikoj mjeri uključuju razumijevanje:	
I1. Strukture neabelovskih teorija, posebno slabih i jakih interakcija	

12. Renormalizacije neabelovskih teorija		
13. Spontanog narušavanja simetrije, kako globalnih tako i mjernih simetrija		
14. Anomalija u teorijama mjernih polja		
1.4. Sadržaj kolegija		
Neabelovske teorije polja s mjerom – Očuvanje mjere neabelovskih teorija, Yang-Millsova teorija, Wilsonove petlje, kvantizacija, Faddeev-Popov metoda, duhovi. Metode vanjskog polja – Efektivna akcija, izračunavanje efektivnog potencijala, simetrije efektivne akcije. Renormalizacija – Mjerno polje pozadine, proračun s jednim petljom. Metode renormalizacijske grupe – Asimptotska ponašanja, kritični fenomeni. Kvantna kromodinamika – Beta funkcija, asimptotska sloboda, duboko neelastično raspršenje. Spontano narušene globalne simetrije – Goldstoneovi bozoni, efektivne teorije polja piona i $SU(3) \times SU(3)$, anomalni članovi. Operatorna produktna ekspanzija – Duboko neelastično raspršenje, Bjorkenovo skaliranje, funkcija distribucije partona. Spontano narušene mjerne simetrije – Mjerna jedinstvenost, Higgsov mehanizam, elektroslaba teorija, CP narušavanje u sustavima neutralnih mezona, unifikacija elektroslabe i jake sile. Anomalije – Kiralna anomalija, globalne i lokalne anomalije. Fizika izvan Standardnog modela – Nedostaci Standardnog modela, mase neutrina, unifikacija sila, supersimetrija.		
1.5. Obvezna literatura		
1. M. E. Peskin, D. V. Schroeder: An Introduction to Quantum Field Theory (Westview Press; 1995) 2. S. Weinberg: The Quantum Theory of Fields, volumes 1 and 2 (Cambridge University Press; 2005)		
1.6. Dopunska literatura		
1. Adel Bilal, Advanced Quantum Field Theory: Renormalization, Non-Abelian Gauge Theories and Anomalies, Lecture notes (http://www.solvayinstitutes.be/pdf/doctoral/2017/qft-M3_LECTURES.pdf) 2. Adel Bilal, Lectures on Anomalies (https://arxiv.org/pdf/0802.0634) 3. David Tong, Lectures on Gauge Theory (http://www.damtp.cam.ac.uk/user/tong/gaugetheory.html) 4. David Tong, Lectures on Standard Model (http://www.damtp.cam.ac.uk/user/tong/standardmodel.html)		
1.7. Obveze studenata, ocjenjivanje i vrednovanje rada studenata tijekom nastave i na završnom ispitu		
Sustav ocjenjivanja		
Aktivnost koja se ocjenjuje	Udio aktivnosti u ECTS bodovima	Maksimalan broj bodova
Pohađanje nastave	2,0	/
Kontinuirana provjera znanja (kolokviji)	2,0	50
Seminar	1,0	20
Završni ispit	1,0	30
UKUPNO	6	100
Opisi aktivnosti koje se ocjenjuju		
Kontinuirana provjera znanja (maksimalno 50 bodova)		
Tijekom predavanja studenti redovito dobivaju domaće zadatke, minimalno 6 zadataka (6 x 5 bodova). Osim toga, tijekom predavanja će se održati pisani ispit (1 x 20 bodova).		

Seminar (maksimalno 20 bodova)

Svaki student dobiva temu koju treba pripremiti za seminar i prezentirati tijekom vježbi.

Završni ispit (maksimalno 30 bodova)

Uvjet za izlazak na završni ispit je minimalno 25 ostvarenih bodova (od mogućih 50) na kolokvijima s numeričkim zadacima i minimalno 35 ostvarenih bodova (od mogućih 70) tijekom nastave.

Student može ostvariti maksimalno 30 bodova. Na završnom (usmenom) ispitu student može dobiti bodove prema sljedećim kriterijima:

- 1 – 7 bodova - zadovoljava minimalne kriterije,
- 8 – 18 bodova - dobar, ali s primjetnim nedostacima,
- 19 – 27 bodova - prosječan, s ponekom greškom,
- 28 – 30 bodova - iznadprosječan, izuzetan odgovor.

Studenti koji skupe 34,9 ili manje ocjenskih bodova tijekom nastave, nisu zadovoljili, ocjenjuju se ocjenom F i moraju ponovo upisati kolegij.

Ukoliko je završni ispit pozitivan, konačna ocjena određuje se zbrajanjem bodova prikupljenih na svim elementima koji su se procjenjivali i donosi se prema sljedećim kriterijima:

- 90 – 100 bodova A Izvrstan (5)
- 75 – 89,9 bodova B Vrlo dobar (4)
- 60 – 74,9 bodova C Dobar (3)
- 50 – 59,9 bodova D Dovoljan (2)

1.8. Dodatne informacije

POPIS TEMA PO TJEDNIMA NASTAVE			
Tjedan	Oblik nastave*	Sati	Tema
1.	P1	2	Uvod, Neabelovske Liejeve grupe, očuvanja mjere, Yang-Millsova teorija.
1.	P2	2	Wilsonove petlje, kvantizacija, Faddeev-Popov metoda, duhovi.
2.	P3	2	Efektivna akcija.
2.	V1,V2	2	Izračunavanje efektivnog potencijala, Simetrije efektivne akcije. Vježbe: primjeri i zadaci.
3.	P4	2	Mjerno polje pozadine, Renormalizacija mjernih teorija.
3.	V3,V4	2	Proračun s jednom petljom u mjernom polju pozadine. Vježbe: primjeri i zadaci.
4.	P5	2	Uvod u metode renormalizacijske grupe, Klizna skala.
4.	P6	2	Callan-Symanzikova jednadžba, beta funkcija, varijacija konstanti spregnutosti.
5.	S1,S2	2	Različite vrste asimptotskog ponašanja, Kritični fenomeni.
5.	P7	2	Kvantna kromodinamika, Poboljšana perturbacijska teorija.

6.	P8	2	Spontano narušavanje globalnih simetrija, degenerirana vakuumska stanja, Goldstoneov bozon.
6.	P9	2	Spontano narušene približne simetrije. Vježbe: primjeri i zadaci.
7.	V5,V6	2	Pioni kao Goldstoneovi bozoni, Efektivna teorija piona.
7.	V7,V8	2	Efektivna teorija polja narušene $SU(3) \times SU(3)$ simetrije QCD-a. Vježbe: primjeri i zadaci.
8.	P10	2	Anomalni član u efektivnim teorijama polja, Wess-Zumino član.
8.	S1,S2	2	Uvod u operatornu produktnu ekspanziju, Tok impulsa.
9.	V9,V10	2	Ispit
9.	P11	2	Spektralni tok, Duboko neelastično raspršenje, Bjorkenovo skaliranje, Funkcija distribucije partona.
10.	P12	2	Spontano narušene mjerne simetrije, Mjerna jedinstvenost, Higgsov mehanizam.
10.	S5,S6	2	t'Hooftova renormalizacija integralnog puta.
11.	P13	2	Glashow-Weinberg-Salamova elektroslaba teorija.
11.	V11,V12	2	CP narušavanje, Unifikacija elektroslabe i jake sile. Vježbe: primjeri i zadaci.
12.	S7,S8	2	Uvod u anomalije, nekonzervacija struja.
12.	V13,V14	2	Izračunavanje trokutnih dijagrama. Vježbe: primjeri i zadaci.
13.	P14	2	Mjerne anomalije, kiralne teorije i kiralne anomalije, Teorije bez anomalija.
13.	P15	2	Globalne simetrije i t'Hooftove anomalije.
14.	S9,S10	2	Seminar studenata.
14.	S11,S12	2	Seminar studenata.
15.	V15,S13	2	Fizika izvan Standardnog modela, mase neutrina, unifikacija sila.
15.	S14,S15	2	Uvod u supersimetriju.

*Napomena: navesti ukoliko se određeni sat/tema izvodi online

KONSTRUKTIVNO POVEZIVANJE			
ISHODI UČENJA	SADRŽAJ	AKTIVNOSTI ZA NASTAVNIKE I STUDENTE (metode poučavanja i učenja)	METODE VREDNOVANJA
I1. Neabelovske teorije mjernih polja	Razumijevanje osnovnih pojmova neabelovskih Liejevih grupa i generalizacije elektrodinamike	Izlaganje Rasprava Rješavanje problemskih zadataka	Analiza pisanih provjera znanja i vještina (domaća zadaća, kolokvij, ispit) Sposobnost razumijevanja, pripreme i prezentiranja seminara (seminar) Usmene provjere znanja i vještina (završni ispit)
I2. Renormalizacija neabelovskih teorija	Učenje kako se nositi s ponašanjem neabelovskih teorija pri	Izlaganje Rasprava Rješavanje problemskih zadataka	Analiza pisanih provjera znanja i vještina (domaća zadaća, kolokvij, ispit) Sposobnost razumijevanja,

	visokim energijama		pripreme i prezentiranja seminara (seminar) Usmene provjere znanja i vještina (završni ispit)
13. Kvantna kromodinamika	Razumijevanje teorije interakcije kvarkova i gluona kao Yang-Millsove teorije, te srodnih pojava kao što su asimptotska sloboda i duboko neelastično raspršenje	Izlaganje Rasprava Rješavanje problemskih zadataka	Analiza pisanih provjera znanja i vještina (domaća zadaća, kolokvij, ispit) Sposobnost razumijevanja, pripreme i prezentiranja seminara (seminar) Usmene provjere znanja i vještina (završni ispit)
14. Metoda renormalizacijske grupe	Učenje moćne metode za razumijevanje renormalizabilnosti mjernih teorija	Izlaganje Rasprava Rješavanje problemskih zadataka	Analiza pisanih provjera znanja i vještina (domaća zadaća, kolokvij, ispit) Sposobnost razumijevanja, pripreme i prezentiranja seminara (seminar) Usmene provjere znanja i vještina (završni ispit)
15. Spontano narušavanje simetrije, globalne i mjerne	Razumijevanje važnosti narušavanja simetrije u davanju mase česticama u Standardnom modelu, Higgsov mehanizam	Izlaganje Rasprava Rješavanje problemskih zadataka	Analiza pisanih provjera znanja i vještina (domaća zadaća, kolokvij, ispit) Sposobnost razumijevanja, pripreme i prezentiranja seminara (seminar) Usmene provjere znanja i vještina (završni ispit)
16. Anomalije u mjernim teorijama	Učenje o nekonzervaciji struja i njenim posljedicama u obliku anomalija	Izlaganje Rasprava Rješavanje problemskih zadataka	Analiza pisanih provjera znanja i vještina (domaća zadaća, kolokvij, ispit) Sposobnost razumijevanja, pripreme i prezentiranja seminara (seminar) Usmene provjere znanja i vještina (završni ispit)