

OPĆE INFORMACIJE		
Naziv kolegija	Kvantna teorija polja	
Studijski program	Sveučilišni DIPLOMSKI STUDIJ FIZIKA	
Status kolegija	Izborni	
Semestar	2.	
Bodovna vrijednost i način izvođenja nastave	ECTS bodovi	6
	Broj sati (P+V+S)	30+15+15
Nositelj kolegija	<b>doc. dr. sc. Arash Ranjbar</b>	
Kontakt	aranjbar@phy.uniri.hr	
Vrijeme i mjesto konzultacija	Po dogovoru	
Suradnik na kolegiju	Filip Reščić	
Kontakt	filip.rescic@phy.uniri.hr	
Vrijeme i mjesto konzultacija	Po dogovoru	
Jezik izvođenja nastave	Engleski	
Web stranica kolegija	<a href="#">Portal sustava Merlin (srce.hr)</a>	
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	30.06.2025.	
	10.07.2025.	
	14.07.2025.	
	18.09.2025.	

OPIS KOLEGIJA
1.1. Ciljevi kolegija
Ovo je tečaj iz kvantne teorije polja na uvodnoj/srednjoj razini. Cilj je opisati formalizam na općenit način kako bi se mogao koristiti u različitim disciplinama u kojima je kvantna teorija polja važan alat. Student će biti pripremljen za napredne teme poput kozmologije, kvantne teorije polja u zakrivljenom prostoru, fizike čestica II i teorije kondenzirane materije.
1.2. Uvjeti za upis kolegija
Ne.
1.3. Očekivani ishodi učenja za kolegij
Studenti trebaju postići razumijevanje kvantne teorije polja na razini koja će im omogućiti primjenu formalizma na pojave i procese u širokim kontekstima, od teorije kondenzirane materije do fizike elementarnih čestica. Studenti će steći znanje i kompetencije potrebne za razumijevanje naprednih primjena kvantne teorije polja, poput onih

razvijenih u tečajevima Fizika elementarnih čestica II i Fizička kozmologija, ili kasnije tijekom doktorskih studija i znanstvenih istraživanja. Ovaj tečaj također potiče i razvija opće kompetencije povezane s analitičkim razmišljanjem i rješavanjem složenih problema koristeći napredne matematičke tehnike.

#### 1.4. Sadržaj kolegija

1. **Bozonska polja** – klasična polja, Noetherov teorem, kanonska kvantizacija, slobodno Klein-Gordonovo polje, čestice kao pobude polja, antičestice, kvantizacija elektromagnetskog polja i kvantne fluktuacije.
2. **Fermionska polja** – Diracova jednadžba, problemi s interpretacijom pojedinačnih čestica, kvantizacija slobodnog Diracovog polja, diskretne simetrije, teorem o spinu i statistici.
3. **Interakcijska polja** – procesi, S-matrica, presjeci, Feynmanovi dijagrami, neki osnovni procesi u kvantnoj elektrodinamici.
4. **Funkcionalne metode** – putanje integrala, povezanost sa statističkom mehanikom, simetrije.
5. **Spontano narušavanje simetrije (SSB)** – globalno SSB i Goldstoneovi bozoni, lokalno SSB i Higgsov mehanizam, supravodljivost.
6. **Kratki uvod u teoriju renormalizacije** – petlje i beskonačnosti, renormalizacija polja i konstanti spregnutosti, kritični eksponenti i fazni prijelazi.

#### 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, Volume 1 (Cambridge University Press; 2005)

#### 1.6. Dopunska literatura

1. David Tong, Lectures on Quantum Field Theory (<http://www.damtp.cam.ac.uk/user/tong/qft.html>)
2. Anthony Zee, Quantum Field Theory in a Nutshell, Princeton University Press (2010)

#### 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	0,5	20
Završni ispit	1,5	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	Uvodne napomene: Polja i zašto ih kvantizirati. Problemi s jednočestičnom kvantnom mehanikom. Klasična teorija polja: Lokalnost. Relativističke teorije polja. Lagrangeov formalizam.
1.	V1,V2	2	Simetrije i Noetherin teorem. Kanonski formalizam. Vježbe: primjeri i zadaci.
2.	P2	2	Vakuum. Simetrije i njihov lom. Greenove funkcije.
2.	P3	2	Feynmanovi dijagrami u klasičnoj teoriji polja.
3.	P4	2	Osnove kvantne teorije polja: Kanonska kvantizacija. Klein-Gordonovo polje. Fockov prostor stanja.
3.	P5	2	Kompleksno Klein-Gordonovo polje. Antičestice.
4.	V3,V4	2	Međudjelovanje s klasičnim vanjskim izvorom. Prosesi. Udarni presjeci i širine raspada.
4.	P6	2	S-matrica i vremensko uređenje. LSZ redukcijska formula.
5.	V5,V6	2	Feynmanov propagator skalarnog polja. Feynmanova pravila. Vježbe: primjeri i zadaci.
5.	V7,V8	2	Primjena na procesima. Vježbe: primjeri i zadaci.

6.	S1,S2	2	Simetrije i spin: Simetrije i reprezentacije. Ireducibilne unitarne reprezentacije Poincareove grupe. Masivno spin-1 polje.
6.	P7	2	Bezmaseno spin-1 polje. Baždarna invarijantnost. Maxwellova teorija.
7.	P8	2	Skalarna kvantna elektrodinamika. Primjeri procesa. Wardovi identiteti. Higgsov mehanizam.
7.	S3,S4	2	Primjena na supravodljivost.
8.	P9	2	Spin-1/2. Spinori i spinorna rješenja. Weylova, Diracovo i Majorana polja. Spinorna rješenja. Kiralnost, helicitet i spin.
8.	V9,V10	2	Vježbe: primjeri i zadaci.
9.	P10	2	Kvantizacija slobodnih spin-1/2 polja. Spin-statistika teorem
9.	S5,S6	2	Yukawa teorija.
10.	P11	2	Spinorna kvantna elektrodinamika.
10.	V11,V12	2	Ispit
11.	P12	2	Osnove renormalizacije: Opća razmatranja vezana uz regularizaciju i beskonačnosti. Casimirov efekt. Primjer renormalizacije konstante vezanja.
11.	S7,S8	2	Kontračlanovi.
12.	P13	2	Regulariziranje i računanje integrala u dijagramima s petljama. Dimenzijska regularizacija.
12.	V13,S9	2	Polarizacija vakuuma.
13.	P14	2	Renormalizacija električnog naboja.
13.	S10,S11	2	Osnove renormalizacijske grupe.
14.	P15	2	Anomalni magnetni moment. g-faktor elektrona na jednoj petlji.
14.	V14,V15	2	Vježbe: primjeri i zadaci.
15.	S12,S13	2	Seminar studenata.
15.	S14,S15	2	Seminar studenata.

\*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
11. Klasična teorija polja:	Razumijevanje osnovnih pojmova polja i druge kvantizacije, lokalnosti i Lagrangijanskog formalizma.	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)

12. Osnove kvantne teorije polja	Razumijevanje pojmova kanonske kvantizacije, Fockovog prostora stanja, S-matrice, vremenskog uređenja, Feynmanovih propagatora.	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)
13. Simetrije i spin	Učenje pojmova simetrija i reprezentacija, nereducibilne unitarne reprezentacije Poincaréove grupe, očuvanje mjere, kvantna elektrodinamika, Wardovi identiteti, Higgsov mehanizam, spinori, teorem o spinu i statistici, Yukawina 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)
14. Osnove renormalizacije	Uče se tehnike regularizacije i renormalizacije te se koriste za izračunavanje fizičkih veličina kao što su magnetski moment miona i masa elektrona.	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)