

OPĆE INFORMACIJE		
Naziv kolegija	Kvantna mehanika	
Studijski program	Sveučilišni prijediplomski studij Fizika	
Status kolegija	obvezni	
Semestar	6.	
Bodovna vrijednost i način izvođenja nastave	ECTS bodovi	12
	Broj sati (P+V+S)	45 + 45 + 15
Nositelj kolegija	doc. dr. sc. Nenad Kralj	
Kontakt	nenad.kralj@phy.uniri.hr	
Vrijeme i mjesto konzultacija	po dogovoru, O-012	
Suradnik na kolegiju	Velimir Labinac, v. pred.	
Kontakt	vlabinac@phy.uniri.hr	
Vrijeme i mjesto konzultacija	po dogovoru, O-S05	
Jezik izvođenje nastave	hrvatski	
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	45P, 45V, 15S, 100%	
Virtualna nastava	0%	
Ispitni rokovi	24. 06. 2027.	
	08. 07. 2027.	
	02. 09. 2027.	
	16. 09. 2027.	

OPIS KOLEGIJA
1.1. Ciljevi kolegija
Upoznavanje s osnovama kvantne fizike i razumijevanje novih načela koje donosi kvantna fizika. Razvijanje spoznaje kako iz jednostavnih fundamentalnih jednadžbi proizlaze objašnjenja za složene fizikalne pojave koje onda mogu naći svoju primjenu. Razvijanje spoznaje o značenju i vezi eksperimenta i teorije u fizici i o načinu objašnjavanja procesa koje neposredno ne možemo mjeriti.
1.2. Uvjeti za upis kolegija
Položeni ispiti iz kolegija: Fizika I, Fizika II, Matematičke metode u fizici 1. Odslušani kolegiji: Matematičke metode u fizici 2, Klasična mehanika 1/ Klasična mehanika.
1.3. Očekivani ishodi učenja za kolegij
Studenti će nakon položenog ispita biti u stanju: - Opisati nastanak kvantne mehanike - Izreći i objasniti postulate kvantne teorije - Znati koristiti bra-ket notaciju

- Napraviti korespondenciju između nove notacije i matričnih veličina
- Primijeniti kontinuiranu bazu; definirati reprezentacije i veze među njima
- Računati s operatorima, svojstvenim vrijednostima; izvesti i objasniti relacije neodređenosti
- Izvesti Schrödingerovu jednadžbu (SJ); Izvesti vremenski neovisnu SJ; Objasniti osobine rješenja SJ
- Definirati i riješiti jednodimenzionalne probleme u kvantnoj mehanici
- Napraviti separaciju varijabli za sfernosimetričnu SJ; Riješiti i objasniti vodikov atom
- Objasniti razliku između bozona i fermiona; Objasniti periodni sustav elemenata
- Riješiti helijev atom
- Izvesti račun smetnje za nedegenerirane i degenerirane nivoe
- Izvesti i koristiti varijacijski račun
- Izvesti formulu za udarni presjek

1.4. Sadržaj kolegija

Ishodišta kvantne fizike: čestice i valovi. Fotoelektrični efekt, Comptonov efekt, Planckov zakon, stabilnost atoma. Neodređenost u mikroskopskom svijetu.

Postulati kvantne mehanike – postulati, stanje sustava, svojstva opservabli i operatora, mjerenje u kvantnoj mehanici.

Matematički alati kvantne mehanike: Hilbertov prostor i valne funkcije. Unitarne transformacije. Diracova (bra-ket) notacija. Matrična notacija. Reprezentacija u diskretnoj i kontinuiranoj bazi. Veza koordinatne i impulsne reprezentacije.

Schrödingerova jednadžba: vremenski ovisna i vremenski neovisna Schrödingerova jednadžba.

Osobine 1D gibanja. 1D problemi: skok potencijala, barijera, kvantno tuneliranje, pravokutna jama, slobodna čestica, valni paketi, harmonički oscilator.

3D Schrödingerova jednadžba: čestica u kutiji, centralni potencijal, vodikov atom. Angularni moment i spin.

Operatori podizanja i spuštanja. Zeemanov efekt, vezanje spina i orbite. Fina struktura vodika. Hiperfina struktura.

Identične čestice: višestestični sustavi, sustavi identičnih čestica, Paulijev princip isključenja, bozoni i fermioni.

Helijev atom, periodni sustav elemenata.

Aproksimativne metode: vremenski neovisan račun smetnje, varijacijski račun, WKB aproksimacija, adijabatska aproksimacija, vremenski ovisan račun smetnje.

Teorija raspršenja: raspršenje i udarni presjek. Bornova aproksimacija. Analiza parcijalnih valova.

Druga kvantizacija, operatori stvaranja i poništenja.

Kvantna isprepletenost, EPR paradoks, operator gustoće.

1.5. Obvezna literatura

1. N. Zettili, Quantum mechanics, 2nd ed., Wiley, Jacksonville, 2009.
2. F. Schwabl, Quantum mechanics, 2nd rev. ed., Springer, Berlin, 1995.
3. Supek, Teorijska fizika i struktura materije, 1. i 2. dio, Školska knjiga, Zagreb, 1977.
4. J. J. Sakurai, Modern Quantum Mechanics, 2. izdanje, Addison-Wesley, Reading, 1994.
5. D. J. Griffiths, Introduction to Quantum Mechanics, 2nd ed., Prentice-Hall, New Jersey, 2005.
6. A. Messiah, Quantum Mechanics, North-Holland, Amsterdam, 1976.

1.6. Dopunska literatura

1. T. T. Taylor, Mechanics: classical and quantum, 1st ed., California, 1976.
2. W. Greiner, Quantum mechanics an introduction, 4th., Springer, Berlin, 1994.
3. L. I. Schiff, Quantum Mechanics, 3. izdanje, McGraw-Hill, New York, 1968.
4. J. Pade, Quantum mechanics for pedestrians 1, Springer, Switzerland, 2014.
5. F. J. Levi, Applied Quantum Mechanics, 2. izdanje, Cambridge University Press, Cambridge, 2006.
6. W. A. Harrison, Applied quantum mechanics, World Scientific, Singapore, 2001.
7. B. H. Bransden, C. J. Joachain, Quantum Mechanics, 2nd ed., Pearson, Education Limited, Harlow, 2000.

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	3,5	/
Seminarski rad	0,5	5
Domaće zadaće	1,0	10
Kolokviji	3,5	55
Završni ispit	3,5	30
UKUPNO	12,0	100

Opisi aktivnosti koje se ocjenjuju

Kolokviji (maksimalno 55 bodova)

Tijekom nastave kolegija, bit će održana tri kolokvija s numeričkim zadacima s vježbi (3 x 20 bodova).

Domaće zadaće (maksimalno 10 bodova)

Tijekom semestra, studenti pišu pet domaćih zadataka vezanih uz numeričke zadatke s vježbi, koje su dužni predati asistentu do roka utvrđenog pri zadavanju pojedine zadaće. Za domaće zadaće, studenti ukupno mogu zaraditi maksimalno 10 bodova.

Seminarski rad (maksimalno 5 bodova)

Tijekom semestra, svaki student je dužan razraditi jedan od ponuđenih složenijih problemskih zadataka vezanih uz gradivo kolegija, te rezultate prezentirati u vidu pisanog rada i usmenog izlaganja. Pritom dva studenta ne mogu odabrati isti problemski zadatak. Za ovaj seminarski rad, student može zaraditi maksimalno 5 bodova.

Završni ispit (maksimalno 30 bodova)

Uvjet za izlazak na završni ispit je minimalno 30 ostvarenih bodova (od mogućih 55) na kolokvijima s numeričkim zadacima te minimalno 5 ostvarenih bodova ostvarenih na seminarskom radu i domaćim zadaćama zajedno (od mogućih 15). Pritom na seminarskom radu mora biti ostvareno izričito više od nula bodova.

Završni ispit je usmeni te student na njemu može ostvariti maksimalno 30 bodova. Na završnom 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 ne ostvare pravo izlaska na završni ispit, 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	3	Uvodno predavanje, upoznavanje s kolegijem i obvezama. Rekapitulacija temeljnih pojmova klasične mehanike, principi superpozicije i komplementarnosti. Od klasične prema kvantnoj mehanici. Kvant svjetlosti, fotoelektrični efekt, Comptonov efekt, Planckov zakon, stabilnost atoma.
1.	V1	3	Fotoelektrični efekt, Comptonov efekt, Planckov zakon, stabilnost atoma.
1.	S1	1	Fotoelektrični efekt, Comptonov efekt, Planckov zakon, stabilnost atoma.
2.	P2	3	Kvantne opservable i stanja. Hilbertov prostor. Diracova notacija, matrična notacija. Osnovna svojstva kvantnih opservabli. Valna funkcija i osnovne opservable. Relacije neodređenosti. Unitarne transformacije.
2.	V2	3	Hilbertov prostor. Diracova notacija, matrična notacija. Svojstva opservabli. Relacije neodređenosti.
2.	S2	1	Unitarne transformacije.
3.	P3	3	Reprezentacija u kontinuiranoj bazi; koordinatna i impulsna reprezentacija. Schrödingerova jednadžba. Separacija varijabli. Svojstva valne funkcije. Statistička interpretacija i normalizacija. Primjer: slobodna čestica u jednodimenzionalnoj neprobojnoj kutiji.
3.	V3	3	Vremenski neovisna Schrödingerova jednadžba u jednoj dimenziji. Pravokutna stepenica i pravokutna jama. Tuneliranje kroz pravokutnu barijeru. Vezana stanja u pravokutnoj jami.
3.	S3	1	Jednadžba kontinuiteta. Ehrenfestov teorem.
4.	P4	3	Jednodimenzionalni harmonički oscilator. Schrödingerova jednadžba za harmonički oscilator. Algebarsko rješenje. Rješenje u koordinatnoj reprezentaciji.
4.	V4	3	Jednodimenzionalni harmonički oscilator. Schrödingerova jednadžba za harmonički oscilator. Algebarsko rješenje. Rješenje u koordinatnoj reprezentaciji.
4.	S4	1	Jednodimenzionalni harmonički oscilator. Schrödingerova jednadžba za harmonički oscilator. Algebarsko rješenje. Rješenje u koordinatnoj reprezentaciji.
5.	P5	3	Vremenski neovisna Schrödingerova jednadžba u tri dimenzije. Schrödingerova jednadžba u sfernim koordinatama. Vodikov atom.
5.	V5	3	Vremenski neovisna Schrödingerova jednadžba u tri dimenzije. Schrödingerova jednadžba u sfernim koordinatama. Vodikov atom.
5.	S5	1	Vremenski neovisna Schrödingerova jednadžba u tri dimenzije. Schrödingerova jednadžba u sfernim koordinatama. Vodikov atom.

6.	P6	3	Angularni moment i spin. Opća svojstva orbitalnog angularnog momenta. Stern-Gerlachov eksperiment. Svojstvene vrijednosti i svojstvene funkcije angularnog momenta. Operatori podizanja i spuštanja. Pojam spina kao intrinzičnog kvantnomehaničkog stupnja slobode. Paulijeve matrice. Spin i magnetsko polje. Vezanje angularnih momenata i Clebsh-Gordan koeficijenti.
6.	V6	3	Angularni moment i spin. Opća svojstva orbitalnog angularnog momenta. Stern-Gerlachov eksperiment. Svojstvene vrijednosti i svojstvene funkcije angularnog momenta. Operatori podizanja i spuštanja. Pojam spina kao intrinzičnog kvantnomehaničkog stupnja slobode. Paulijeve matrice. Spin i magnetsko polje. Vezanje angularnih momenata i Clebsh-Gordan koeficijenti.
6.	S6	1	Angularni moment i spin. Opća svojstva orbitalnog angularnog momenta. Stern-Gerlachov eksperiment. Svojstvene vrijednosti i svojstvene funkcije angularnog momenta. Operatori podizanja i spuštanja. Pojam spina kao intrinzičnog kvantnomehaničkog stupnja slobode. Paulijeve matrice. Spin i magnetsko polje. Vezanje angularnih momenata i Clebsh-Gordan koeficijenti.
7.	P7	3	Identične čestice. Bozoni i fermioni. Paulijev princip isključenja. Atom helija. Periodni sustav elemenata.
7.	V7	3	Identične čestice. Bozoni i fermioni. Paulijev princip isključenja. Atom helija. Periodni sustav elemenata.
7.	S7	1	Identične čestice. Bozoni i fermioni. Paulijev princip isključenja. Atom helija. Periodni sustav elemenata.
8.	P8	3	Aproksimativne metode. Vremenski neovisan račun smetnje. Nedegenerirani nivoi. Degenerirani nivoi. Vremenski ovisan račun smetnje.
8.	V8	3	Aproksimativne metode. Vremenski neovisan račun smetnje. Nedegenerirani nivoi. Degenerirani nivoi. Vremenski ovisan račun smetnje.
8.	S8	1	Aproksimativne metode. Vremenski neovisan račun smetnje. Nedegenerirani nivoi. Degenerirani nivoi. Vremenski ovisan račun smetnje.
9.	P9	3	Vremenski neovisan račun smetnje. Fina struktura vodika. Vezanje spina i orbite. Zeemanov efekt. Hiperfina struktura.
9.	V9	3	Vremenski neovisan račun smetnje. Fina struktura vodika. Vezanje spina i orbite. Zeemanov efekt. Hiperfina struktura.
9.	S9	1	Vremenski neovisan račun smetnje. Fina struktura vodika. Vezanje spina i orbite. Zeemanov efekt. Hiperfina struktura.
10.	P10	3	Aproksimativne metode. Varijacijski princip. Osnovno stanje helija. Ion molekule vodika.
10.	V10	3	Aproksimativne metode. Varijacijski princip. Osnovno stanje helija. Ion molekule vodika.
10.	S10	1	Aproksimativne metode. Varijacijski princip. Osnovno stanje helija. Ion molekule vodika.
11.	P11	3	WKB aproksimacija. Tuneliranje. Gamowljeva teorija alfa raspada.
11.	V11	3	WKB aproksimacija. Tuneliranje. Gamowljeva teorija alfa raspada.
11.	S11	1	WKB aproksimacija. Tuneliranje. Gamowljeva teorija alfa raspada.
12.	P12	3	Adijabatski teorem. Adijabatska (Born-Oppenheimerova) aproksimacija. Berryjeva faza.
12.	V12	3	Adijabatski teorem. Adijabatska (Born-Oppenheimerova) aproksimacija. Berryjeva faza.
12.	S12	1	Adijabatski teorem. Adijabatska (Born-Oppenheimerova) aproksimacija. Berryjeva faza.
13.	P13	3	Raspršenje na centralnim potencijalima. Amplituda raspršenja i udarni presjek. Metoda parcijalnih valova. Bornova aproksimacija.

13.	V13	3	Raspršenje na centralnim potencijalima. Amplituda raspršenja i udarni presjek. Metoda parcijalnih valova. Bornova aproksimacija.
13.	S13	1	Studentski seminari.
14.	P14	3	Druga kvantizacija. Operatori stvaranja i poništenja. Operator broja. Harmonički oscilator u drugoj kvantizaciji.
14.	V14	3	Druga kvantizacija. Operatori stvaranja i poništenja. Operator broja. Harmonički oscilator u drugoj kvantizaciji.
14.	S14	1	Studentski seminari.
15.	P15	3	Kvantna isprepletenost. EPR paradoks. Čista i miješana stanja. Operator gustoće.
15.	V15	3	Kvantna isprepletenost. EPR paradoks. Čista i miješana stanja. Operator gustoće.
15.	S15	1	Kvantna isprepletenost. EPR paradoks. Čista i miješana stanja. Operator gustoće.

*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
1. Opisati nastanak kvantne mehanike	Ishodišta kvantne fizike: čestice i valovi. Fotoelektrični efekt, Comptonov efekt, Planckov zakon, stabilnost atoma. Neodređenost u mikroskopskom svijetu. Kvantna isprepletenost. EPR paradoks. Čista i miješana stanja. Operator gustoće.	Izlaganje Rasprava Rješavanje numeričkih zadataka Rješavanje problemskih zadataka Samostalni rad (seminar, domaća zadaća)	Analiza pisanih provjera znanja i vještina (kolokvij, domaća zadaća) Usmena provjera znanja i vještina (završni ispit) Analiza studentskih izvješća (seminarski rad i usmena prezentacija istog)
2. Izreći i objasniti postulate kvantne teorije	Postulati kvantne mehanike – postulati, stanje sustava, opservable i operatori, mjerenje u kvantnoj mehanici.	Izlaganje Rasprava Rješavanje numeričkih zadataka Rješavanje problemskih zadataka Samostalni rad (seminar, domaća zadaća)	Analiza pisanih provjera znanja i vještina (kolokvij, domaća zadaća) Usmena provjera znanja i vještina (završni ispit) Analiza studentskih izvješća (seminarski rad i usmena prezentacija istog)
3. Znati koristiti bra-ket notaciju	Matematički alati kvantne mehanike: Hilbertov prostor i valne funkcije. Unitarne transformacije. Diracova (bra-ket) notacija. Matrična notacija.	Izlaganje Rasprava Rješavanje numeričkih zadataka Rješavanje problemskih zadataka Samostalni rad (seminar, domaća zadaća)	Analiza pisanih provjera znanja i vještina (kolokvij, domaća zadaća) Usmena provjera znanja i vještina (završni ispit) Analiza studentskih izvješća (seminarski rad i usmena prezentacija istog)

4. Napraviti korespondenciju između nove notacije i matričnih veličina	Matematički alati kvantne mehanike: Hilbertov prostor i valne funkcije. Unitarne transformacije. Diracova (bra-ket) notacija. Matrična notacija.	Izlaganje Rasprava Rješavanje numeričkih zadataka Rješavanje problemskih zadataka Samostalni rad (seminar, domaća zadaća)	Analiza pisanih provjera znanja i vještina (kolokvij, domaća zadaća) Usmena provjera znanja i vještina (završni ispit) Analiza studentskih izvješća (seminarski rad i usmena prezentacija istog)
5. Primijeniti kontinuiranu bazu; definirati reprezentacije i veze među njima	Reprezentacija u diskretnoj i kontinuiranoj bazi. Veza koordinatne i impulsne reprezentacije.	Izlaganje Rasprava Rješavanje numeričkih zadataka Rješavanje problemskih zadataka Samostalni rad (seminar, domaća zadaća)	Analiza pisanih provjera znanja i vještina (kolokvij, domaća zadaća) Usmena provjera znanja i vještina (završni ispit) Analiza studentskih izvješća (seminarski rad i usmena prezentacija istog)
6. Računati s operatorima, svojstvenim vrijednostima; izvesti i objasniti relacije neodređenosti	Postulati kvantne mehanike – svojstva opservabli i operatora. Unitarne transformacije. Operatori podizanja i spužtanja. Druga kvantizacija, operatori stvaranja i poništenja. Operator gustoće.	Izlaganje Rasprava Rješavanje numeričkih zadataka Rješavanje problemskih zadataka Samostalni rad (seminar, domaća zadaća)	Analiza pisanih provjera znanja i vještina (kolokvij, domaća zadaća) Usmena provjera znanja i vještina (završni ispit) Analiza studentskih izvješća (seminarski rad i usmena prezentacija istog)
7. Izvesti Schrödingerovu jednadžbu (SJ); Izvesti vremenski neovisnu SJ; Objasniti osobine rješenja SJ	Schrödingerova jednadžba: vremenski ovisna i vremenski neovisna Schrödingerova jednadžba. Osobine 1D gibanja.	Izlaganje Rasprava Rješavanje numeričkih zadataka Rješavanje problemskih zadataka Samostalni rad (seminar, domaća zadaća)	Analiza pisanih provjera znanja i vještina (kolokvij, domaća zadaća) Usmena provjera znanja i vještina (završni ispit) Analiza studentskih izvješća (seminarski rad i usmena prezentacija istog)
8. Definirati i riješiti jednodimenzionalne probleme u kvantnoj mehanici	1D problemi: skok potencijala, barijera, kvantno tuneliranje, pravokutna jama, slobodna čestica, valni paketi, harmonički oscilator.	Izlaganje Rasprava Rješavanje numeričkih zadataka Rješavanje problemskih zadataka Samostalni rad (seminar, domaća zadaća)	Analiza pisanih provjera znanja i vještina (kolokvij, domaća zadaća) Usmena provjera znanja i vještina (završni ispit) Analiza studentskih izvješća (seminarski rad i usmena prezentacija istog)
9. Napraviti separaciju varijabli za sfernosimetričnu SJ; Riješiti i objasniti vodikov atom	3D Schrödingerova jednadžba: čestica u kutiji, centralni potencijal, vodikov atom. Angularni moment i spin. Operatori podizanja i spužtanja. Zeemanov efekt, vezanje spina i orbite. Fina struktura vodika. Hiperfina struktura.	Izlaganje Rasprava Rješavanje numeričkih zadataka Rješavanje problemskih zadataka Samostalni rad (seminar, domaća zadaća)	Analiza pisanih provjera znanja i vještina (kolokvij, domaća zadaća) Usmena provjera znanja i vještina (završni ispit) Analiza studentskih izvješća (seminarski rad i usmena prezentacija istog)

10. Objasniti razliku između bozona i fermiona; Objasniti periodni sustav elemenata	Identične čestice: višečestični sustavi, sustavi identičnih čestica, Paulijev princip isključenja, bozoni i fermioni. Periodni sustav elemenata.	Izlaganje Rasprava Rješavanje numeričkih zadataka Rješavanje problemskih zadataka Samostalni rad (seminar, domaća zadaća)	Analiza pisanih provjera znanja i vještina (kolokvij, domaća zadaća) Usmena provjera znanja i vještina (završni ispit) Analiza studentskih izvješća (seminarski rad i usmena prezentacija istog)
11. Riješiti helijev atom	Helijev atom. Aproksimativne metode: varijacijski račun.	Izlaganje Rasprava Rješavanje numeričkih zadataka Rješavanje problemskih zadataka Samostalni rad (seminar, domaća zadaća)	Analiza pisanih provjera znanja i vještina (kolokvij, domaća zadaća) Usmena provjera znanja i vještina (završni ispit) Analiza studentskih izvješća (seminarski rad i usmena prezentacija istog)
12. Izvesti račun smetnje za nedegenerirane i degenerirane nivoe	Aproksimativne metode: vremenski neovisan račun smetnje, varijacijski račun, WKB aproksimacija, adijabatska aproksimacija, vremenski ovisan račun smetnje. Helijev atom. Zeemanov efekt, vezanje spina i orbite. Fina struktura vodika. Hiperfina struktura.	Izlaganje Rasprava Rješavanje numeričkih zadataka Rješavanje problemskih zadataka Samostalni rad (seminar, domaća zadaća)	Analiza pisanih provjera znanja i vještina (kolokvij, domaća zadaća) Usmena provjera znanja i vještina (završni ispit) Analiza studentskih izvješća (seminarski rad i usmena prezentacija istog)
13. Izvesti i koristiti varijacijski račun	Aproksimativne metode: vremenski neovisan račun smetnje, varijacijski račun, WKB aproksimacija, adijabatska aproksimacija, vremenski ovisan račun smetnje. Helijev atom. Zeemanov efekt, vezanje spina i orbite. Fina struktura vodika. Hiperfina struktura.	Izlaganje Rasprava Rješavanje numeričkih zadataka Rješavanje problemskih zadataka Samostalni rad (seminar, domaća zadaća)	Analiza pisanih provjera znanja i vještina (kolokvij, domaća zadaća) Usmena provjera znanja i vještina (završni ispit) Analiza studentskih izvješća (seminarski rad i usmena prezentacija istog)
14. Izvesti formulu za udarni presjek	Teorija raspršenja: raspršenje i udarni presjek. Bornova aproksimacija. Analiza parcijalnih valova.	Izlaganje Rasprava Rješavanje numeričkih zadataka Rješavanje problemskih zadataka Samostalni rad (seminar, domaća zadaća)	Analiza pisanih provjera znanja i vještina (kolokvij, domaća zadaća) Usmena provjera znanja i vještina (završni ispit) Analiza studentskih izvješća (seminarski rad i usmena prezentacija istog)