

OPĆE INFORMACIJE		
Naziv kolegija	Astronomija i astrofizika 2	
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. Tomislav Jurkić	
Kontakt	tjurkic@phy.uniri.hr	
Vrijeme i mjesto konzultacija	Po dogovoru, elektronskom poštom, ured O-S05	
Suradnik na kolegiju	Karlo Mrakovčić	
Kontakt	karlo.mrakovic@uniri.hr	
Vrijeme i mjesto konzultacija	O-S10	
Jezik izvođenje nastave	hrvatski	
Web stranica kolegija	<u>Portal sustava Merlin (srce.hr)</u>	
Vrijeme i mjesto izvođenja nastave	Prema rasporedu sati objavljenom na mrežnoj stranici Fakulteta za fiziku.	
Izravna (učionička) nastava	30P+15V+15S, 80%	
Virtualna nastava	20%	
Ispitni rokovi	2.7.2026.	
	16.7.2026.	
	10.9.2026.	

OPIS KOLEGIJA	
1.1. Ciljevi kolegija	Upoznati studente sa suvremenim opažanjima i teorijskim spoznajama iz stelarne i galaktičke astrofizike koje će studentima omogućiti prihvati i razumijevanje najnovijih saznanja i rezultata istraživanja iz tog područja te ih upoznati s aktualnim temama istraživačkog rada.
1.2. Uvjeti za upis kolegija	Položen kolegij Astronomija i astrofizika 1. Znanje iz opće fizike se podrazumijeva.
1.3. Očekivani ishodi učenja za kolegij	Od studenta se očekuje ovladavanje naprednim znanjima astronomije i astrofizike, detaljnije razumijevanje i poznavanje dinamičkih i fizičkih svojstava različitih astrofizičkih objekata i komponenata svemira, te poticanje interesa za znanstveni istraživački rad u području astrofizike. Oni bi trebali moći: 1. primijeniti jednadžbu prijenosa zračenja na jednostavne modele atmosfere (crno tijelo, Eddingtonove aproksimacija, tamnjenje ruba), 2. opisati nuklearne procese i analizirati nuklearne udarne presjeke kao izvor energije u zvijezdama

3. analizirati konvektivni i radijativni prijenos energije u zvijezdama
4. opisati politropske modele te ih primijeniti na opis strukture astrofizičkih objekata (neutronske zvijezde, divovi)
5. opisati i analizirati nastanak zvijezda i njihov rani razvoj pomoću HR dijagrama, izvesti Jeansovu masu i polumjer te opisati gravitacijski kolaps molekularnog oblaka,
6. opisati međuzvjezdanu ekstinkciju i ulogu molekula i prašine u međuzvjezdanom mediju,
7. analizirati degenerirani elektronski i neutronske plin, izvesti pripadajuće relacije (Chandrasekharova granica) za opis svojstava ovakvih plinova, te ih primijeniti na opis svojstava bijelih patuljaka i neutronske zvijezde (polumjeri, hlađenje)
8. primjenom numeričkih računalnih metoda analize periodičnih signala praktično odrediti udaljenost do najbližih galaksija i zvjezdanih skupova pomoću promjenjivih zvijezda,
9. opisati pojavu i analizirati mehanizam pulsacija zvijezda
10. opisati bliske dvojne sustave i analizirati akrecijske diskove te ih primijeniti na pojavu supernova tipa Ia,
11. opisati kinematička i dinamička svojstva Mliječnog puta te svojstva njegovog središta pomoću suvremenih optičkih, radio i interferometrijskih opažanja,
12. klasificirati skupove zvijezda i njihova svojstva te ih primijeniti na određivanje starosti zvijezda i udaljenosti u svemiru,
13. opisati nastanak galaksija i analizirati formiranje krakova u spiralnoj strukturi,
14. rastumačiti interakciju galaksija i njihovo stapanje primjenom numeričkih simulacija sudara galaksija,
15. opisati galaktičke skupove i lokalnu grupu galaksija, superskupove i strukture na kozmološkim skalama te ih povezati s nehomogenostima pozadinskog mikrovalnog zračenja
16. opisati pojavu gravitacijske leće te je primijeniti za određivanje 2strukture svemira i raspodjele tamne materije

1.4. Sadržaj kolegija

Modeli atmosfere zvijezda i jednadžba prijenosa zračenja – Nuklearni izvor energije – Konvekcija – Pulsacije zvijezda – Politropski modeli – Interstelarni medij – Nastanak i evolucija protozvijezda – Degenerirani plin u kompaktnim zvijezdama – Bliski dvojni sustavi i akrecijski diskovi – Skupovi zvijezda – Kinematika Mliječnog puta – Središte Mliječnog puta – Tamna materija – Nastanak, razvoj i međudjelovanje galaksija – Aktivne galaksije – Struktura svemira – Skupovi galaksija

1.5. Obvezna literatura

B.W.Carroll, D.A.Ostlie: An introduction to modern astrophysics, Pearson Addison-Wesley, 2007.
S. G. Ryan, A. J. Norton: Stellar evolution and nucleosynthesis, Cambridge University Press, 2010.
V. Vujnović: Astronomija I, Školska knjiga, Zagreb, 1989.
V. Vujnović: Astronomija II, Školska knjiga, Zagreb, 1990.

1.6. Dopunska literatura

Hoyle F.: Astronomija, Marjan tisak, Split, 2005.
J. Binney: Galactic astronomy, Princeton University Press, 1998.
D. Prialnik: An introduction to the theory of stellar structure and evolution, Cambridge University Press, 2009.
A.Unsold, B.Baschek: The new cosmos, Springer, 1991.
M. Harwit: Astrophysical concepts, Springer, 1988.
E. Boehm-Vitense: Introduction to stellar astrophysics, Cambridge University Press, 1989.
H. Scheffler, H. Elsasser: Physics of the galaxy and interstellar matter, Springer, 1987.
P. Lena: Observational astrophysics, Springer, 1988.
H. Karttunen, P. Kroger, M. Pontanen, K.J. Donner: Fundamental astronomy, Springer, 1994.

1.7. Obveze studenata, ocjenjivanje i vrednovanje rada studenata tijekom nastave i na završnom ispitu

Rad studenta na predmetu će se vrednovati i ocjenjivati tijekom nastave i na završnom ispitu. Ukupan broj bodova koje student može ostvariti tijekom nastave (ocjenjuju se kolokviji, projektni zadaci i seminari) iznosi 70 bodova:

1. kontinuirana provjera znanja – 25,
2. projektni zadaci – 30,
3. seminarski rad – 15,

Student samostalno rješava projektne zadatke. Tijekom nastave predviđena su 4-5 projektna zadatka. Nakon što je riješio projektni zadatak, student piše izvještaj (referat) te kratko usmeno izlaže projektni zadatak i dobivene rezultate. Izvještaj (referat) sadrži zadatke, rješenja do kojih je student samostalno stigao, opis postupka kojim su zadaci riješeni, odgovore na pitanje, grafičke prikaze rješenja, te interpretaciju i tumačenje dobivenih rezultata.

Seminarski rad sa temom po izboru iz područja kolegija student izlaže u trajanju od oko 20-30 minuta. Kontinuirana provjera znanja provodi se u obliku kolokvija na kojem student rješava 4-5 numerička zadatka. Student mora ostvariti najmanje 40% bodova na kolokviju.

Završni ispit:

Student može pristupiti završnom ispitu nakon što je održao pozitivno ocjenjen seminar, savladao kolokvij (minimalno 40%), završio sve projektne zadatke, te predao izvještaje sa svih projektnih zadataka koji su pozitivno ocjenjeni. Na svim aktivnostima tijekom predavanja i seminara studenti trebaju skupiti minimalno 50% ocjenskih bodova da bi pristupili završnom ispitu. Studenti koji skupe 34,9 ili manje ocjenskih bodova tijekom nastave, nisu zadovoljili, ocjenjuju se ocjenom F i moraju ponovno upisati kolegij.

Završni ispit je usmeni ispit na kojem student može ostvariti maksimalno 30 bodova na osnovu 3 postavljena pitanja (svaki odgovor nosi po 10 bodova). Ako student ne odgovori pozitivno na završnom ispitu, nije položio ispit, bez obzira na ranije skupljene bodove.

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)
- 0 - 49,9 bodova F Nedovoljan (1)

Pohađanje nastave:

Student je obavezan sudjelovati na seminarima kada se izvode projektni zadaci te na izlaganju seminarskih radova studenata, što je unaprijed najavljeno.

Pridržavanje dogovorenih rokova:

Student je dužan pridržavati se rokova za pripremu i izlaganje seminarskog rada te za dovršetak projektnih zadataka. U slučaju prekoračenja rokova do 15 dana, student može ostvariti najviše 50% mogućih bodova, a za prekoračenje veće od 15 dana ne ostvaruje bodove za taj projektni zadatak.

1.8. Dodatne informacije

POPIS TEMA PO TJEDNIMA NASTAVE			
Tjedan	Oblik nastave*	Sati	Tema
1.	P	2	Atmosfere zvijezda i jednadžba prijenosa zračenja: crno tijelo, Eddingtonova aproksimacija, tamnjenje ruba
1.	V	2	Atmosfere zvijezda i jednadžba prijenosa zračenja
2.	P	2	Nuklearni procesi i brzina nuklearnih procesa u zvijezdama
2.	V	2	Nuklearni procesi
3.	P	2	Politropski modeli strukture zvijezda
3.	S	2	Projektni zadatak: Lane-Emdanova jednadžba i politropski modeli
4.	P	2	Konvektivni i radijativni prijenos energije
4.	V	2	Prijenos energije u zvijezdama
5.	P	2	Konvektivni i radijativni prijenos energije (nastavak)
5.	S	2	Projektni zadatak
6.	P	2	Međuzvjezdani medij, međuzvjezdana ekstinkcija, molekulski oblaci i kolaps molekulskog oblaka
6.	V	2	Međuzvjezdani medij
7.	P	2	Nastanak protozvijezda i razvoj mladih zvijezda
7.	V	2	Nastanak i rana evolucija zvijezda.
8.	P	2	Degenerirani elektronski plin. Bijeli patuljci
8.	V	2	Bijeli patuljci i degenerirani plin,
9.	P	2	Degenerirani neutronske plin. Neutronske zvijezde i pulsari.
9.	V	2	Neutronske zvijezde i pulsari.
10.	P	2	Pulsacije zvijezda. Toplinski stroj. Radijalni i neradijalni modovi.
10.	S	2	Projektni zadatak: Pulsacije zvijezda i određivanje udaljenosti
11.	P	2	Bliski dvojni sustavi. Akrecijski diskovi.
11.	V, S	1, 1	Pulsacije zvijezda i bliski dvojni sustavi.
12.	P	2	Kataklizmike promjenjive: patuljaste i klasične nove. Supernove Ia. Dvojni sustavi sa neutronske zvijezde i crnim rupama.
12.	S	2	Projektni zadatak: Akrecijski diskovi; Seminar: Bliski dvojni sustavi i akrecijski diskovi
13.	P	2	Skupovi zvijezda. Kinematička i dinamička svojstva Mliječnog puta.
13.	S	2	Kinematička i dinamička svojstva Mliječnog puta
14.	P	2	Nastanak, evolucija i interakcija galaksija.
14.	S	2	Projektni zadatak: Pulsari i neutronske zvijezde; Seminar: Nastanak i evolucija galaksija
15.	P	2	Galaktički skupovi, superskupovi i strukture na kozmološkoj skali. Gravitacijska leća.
15.	S	2	Galaktički skupovi i strukture na kozmološkoj skali, gravitacijska leća.

*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
Primijeniti jednadžbu prijenosa zračenja na jednostavne modele atmosfere (crno tijelo, Eddingtonova aproksimacija, tamnjenje ruba),	Jednadžba prijenosa zračenja u atmosferama zvijezda. Model zvjezdane atmosfere: planparalelna siva atmosfera. Lokalna termodinamička ravnoteža. Funkcija izvora i prijenos zračenja u modelu crnog tijela. Eddingtonova aproksimacija i temperaturna struktura atmosfere. Optička dubina. Tamnjenje ruba.	Izlaganje. Diskusija. Analiza i rješavanje numeričkih zadataka. Analiza i rješavanje problemskih zadataka Samostalni rad.	Usmeni ispit (usmena provjera znanja – završni ispit). Pisana provjera znanja i vještina - numerički zadaci (kolokvij). Aktivnost studenta tijekom nastave (sudjelovanje u diskusijama).
Opisati nuklearne procese i analizirati nuklearne udarne presjeke kao izvor energije u zvijezdama	Nuklearni udarni presjeci i brzina nuklearnih reakcija u zvijezdama. Kvantno tuneliranje. Klasična i kvantna temperatura za nuklearne reakcije. Broj i brzina nuklearnih reakcija. Gamow vrh. Gradijent luminoziteta.	Izlaganje. Diskusija. Analiza i rješavanje numeričkih zadataka. Analiza i rješavanje problemskih zadataka Samostalni rad. Izrada i izlaganje seminarskog rada.	Usmeni ispit (usmena provjera znanja – završni ispit). Pisana provjera znanja i vještina - numerički zadaci (kolokvij). Aktivnost studenta tijekom nastave (sudjelovanje u diskusijama). Seminarska izlaganja studenata.
Analizirati konvektivni i radijativni prijenos energije u zvijezdama	Temperaturni gradijent. Adijabatski plin. Adijabatski temperaturni gradijent. Konvekcija u zvijezdama. Dužina miješanja i superadijabatska konvekcija. Temperaturni gradijent za prijenos energije zračenjem i konvekcijom. Zvezdani modeli, numeričko modeliranje i konstitutivne relacije. Vogt-Russellov teorem.	Izlaganje. Diskusija. Analiza i rješavanje numeričkih zadataka. Analiza i rješavanje problemskih zadataka Samostalni rad. Izrada i izlaganje seminarskog rada.	Usmeni ispit (usmena provjera znanja – završni ispit). Pisana provjera znanja i vještina - numerički zadaci (kolokvij). Aktivnost studenta tijekom nastave (sudjelovanje u diskusijama). Seminarska izlaganja studenata.

Opisati politropske modele te ih primijeniti na opis strukture astrofizičkih objekata (neutronske zvijezde, divovi)	Politropski zvjezdani modeli. Lane-Emdenova jednadžba. Analitička rješenja Lane-Emdenova jednadžbe i njihova interpretacija. Eddingtonov standardni model.	Izlaganje. Diskusija. Analiza i rješavanje numeričkih zadataka. Analiza i rješavanje problemskih zadataka. Samostalni rad. Projektni zadatak.	Usmeni ispit (usmena provjera znanja – završni ispit). Pisana provjera znanja i vještina - numerički zadaci (kolokvij). Aktivnost studenta tijekom nastave (sudjelovanje u diskusijama). Projektni zadatak (analiza i tumačenje rezultata studentskog izvješća).
Opisati i analizirati nastanak zvijezda i njihov rani razvoj pomoću HR dijagrama, izvesti Jeansovu masu i polumjer te opisati gravitacijski kolaps molekularnog oblaka,	Nastanak protozvijezda. Jeansova masa i Jeansov kriterij. Gravitacijski kolaps međuzvjezdanog oblaka. Homologni kolaps. Fragmentacija kolapsirajućeg oblaka. Ambipolarna difuzija i utjecaj magnetskog polja. Evolucijske faze nastanka protozvijezde i evolucija prije glavnog niza. Hayashijeve staze. Nastanak smeđih patuljaka i masivnih zvijezda. HII područje i utjecaj masivnih zvijezda. Svojstva i vrste mladih zvijezda (T Tau, Herbig Ae/Be, Fu Ori, Herbig-Haro). Nastanak i evolucija cirkumstelarnih diskova.	Izlaganje. Diskusija. Analiza i rješavanje numeričkih zadataka. Analiza i rješavanje problemskih zadataka. Izrada i izlaganje seminarskog rada.	Usmeni ispit (usmena provjera znanja – završni ispit). Pisana provjera znanja i vještina - numerički zadaci (kolokvij). Aktivnost studenta tijekom nastave (sudjelovanje u diskusijama). Seminarska izlaganja studenata.
Opisati međuzvjezdanu ekstinkciju i ulogu molekula i prašine u međuzvjezdanom mediju,	Svojstva i sastav međuzvjezdane tvari. Oblaci plina i prašine u svemiru. Međuzvjezdana ekstinkcija i utjecaj na određivanje udaljenosti i astronomska opažanja. Molekule i prašina u međuzvjezdanom mediju.	Izlaganje. Diskusija. Analiza i rješavanje numeričkih zadataka. Analiza i rješavanje problemskih zadataka. Izrada i izlaganje seminarskog rada.	Usmeni ispit (usmena provjera znanja – završni ispit). Pisana provjera znanja i vještina - numerički zadaci (kolokvij). Aktivnost studenta tijekom nastave (sudjelovanje u diskusijama). Seminarska izlaganja studenata.

Analizirati degenerirani elektronski i neutronske plin, izvesti pripadajuće relacije (Chandrasekharova granica) za opis svojstava ovakvih plinova, te ih primijeniti na opis svojstava bijelih patuljaka i neutronske zvijezde (polumjeri, hlađenje)	Fizika degenerirane tvari. Uvjet za degeneraciju. Svojstva i vrste bijelih patuljaka. Tlak elektronske degeneracije. Chandrasekharova granica. Prijenos energije i hlađenje bijelih patuljaka. Svojstva neutronske zvijezde i pulsara. Neutronska degeneracija i jednadžba stanja. Model neutronske zvijezde. Chandrasekharova granica za neutronske zvijezde. Modeli pulsara. Sinkrotronsko zračenje i energija pulsara. Struktura pulseva. Model emisije pulsara i njihova starost.	Izlaganje. Diskusija. Analiza i rješavanje numeričkih zadataka. Analiza i rješavanje problemskih zadataka. Samostalni rad. Izrada i izlaganje seminarškog rada. Projektni zadatak.	Usmeni ispit (usmena provjera znanja – završni ispit). Pisana provjera znanja i vještina - numerički zadaci (kolokvij). Aktivnost studenta tijekom nastave (sudjelovanje u diskusijama). Seminarška izlaganja studenata. Projektni zadatak (analiza i tumačenje rezultata studentskog izvješća).
Primjenom numeričkih računalnih metoda analize periodičnih signala praktično odrediti udaljenost do najbližih galaksija i zvjezdanih skupova pomoću promjenjivih zvijezda,	Metode mjerenja udaljenosti. Promjenjive zvijezde kao standardne svijeće. Cefeide – osnovna svojstva i model pulsacije. Relacija perioda – luminozitet. Utjecaj međuzvjezdane ekstinkcije.	Diskusija. Samostalni rad. Projektni zadatak.	Aktivnost studenta tijekom nastave (sudjelovanje u diskusijama). Projektni zadatak (analiza i tumačenje rezultata studentskog izvješća).
Opisati pojavu i analizirati mehanizam pulsacije zvijezda	Osnovna svojstva i vrste promjenjivih zvijezda. Promjenjive zvijezde kao standardne svijeće za određivanje udaljenosti. Relacija perioda-luminozitet. Mehanizam promjena sjaja i pulsacijska hipoteza. Traka nestabilnosti u HR dijagramu. Fizika zvjezdanih pulsacija: radijalni i neradijalni modovi. Eddingtonov toplinski stroj. Zone parcijalne ionizacije. Nelinearni hidrodinamički modeli. Neradijalni pulsacijski modovi. Asteroseizmologija.	Izlaganje. Diskusija. Analiza i rješavanje numeričkih zadataka. Analiza i rješavanje problemskih zadataka. Izrada i izlaganje seminarškog rada.	Usmeni ispit (usmena provjera znanja – završni ispit). Pisana provjera znanja i vještina - numerički zadaci (kolokvij). Aktivnost studenta tijekom nastave (sudjelovanje u diskusijama). Seminarška izlaganja studenata.

Opisati bliske dvojne sustave i analizirati akrecijske diskove te ih primijeniti na pojavu supernova tipa Ia,	Gravitacija u bliskom dvojnem sustavu: Lagrangeove plohe i Rocheovi režnjevi. Prijenos mase. Svojstva i vrste dvojnih sustava. Akrecijski diskovi: svojstva, temperaturni profil, veličina, luminozitet. Pomrčinski poluodvojeni sustavi. Međudjelujući dvojni sustavi: prijenos mase i evolucija. Vrste bliskih dvojnih sustava. Katakliksički promjenjive i bijeli patuljci u dvojnim sustavima. Svojstva i nastanak patuljastih i klasičnih nova. Erupcija nova. Supernove Ia: svojstva, modeli nastanka i standardne svijeće. Simbiotske zvijezde. Neutronske zvijezde i crne rupe u dvojnim sustavima. Milisekundni pulsari i dvojni sustav neutronske zvijezde u općoj teoriji gravitacije.	Izlaganje. Diskusija. Analiza i rješavanje numeričkih zadataka. Analiza i rješavanje problemskih zadataka Izrada i izlaganje seminarskog rada.	Usmeni ispit (usmena provjera znanja – završni ispit). Pisana provjera znanja i vještina - numerički zadaci (kolokvij). Aktivnost studenta tijekom nastave (sudjelovanje u diskusijama). Seminarska izlaganja studenata.
Opisati kinematička i dinamička svojstva Mliječnog puta te svojstva njegovog središta pomoću suvremenih optičkih, radio i interferometrijskih opažanja,	Svojstva, struktura i morfologija Mliječnog puta. Svojstva tankog i debelog diska, spiralna struktura, međuzvjezdani medij, zvjezdani halo i halo tamne materije. Kinematika Mliječnog puta. Lokalni standard mirovanja i gibanje zvijezda. Diferencijalna galaktička rotacija. Radio opažanja galaktičke strukture i tamne materije. Rotacijske krivulje kao dokaz tamne materije. Svojstva, struktura i opažanja središta Mliječnog puta. Radio izvor	Izlaganje. Diskusija. Analiza i rješavanje numeričkih zadataka. Analiza i rješavanje problemskih zadataka Izrada i izlaganje seminarskog rada.	Usmeni ispit (usmena provjera znanja – završni ispit). Pisana provjera znanja i vještina - numerički zadaci (kolokvij). Aktivnost studenta tijekom nastave (sudjelovanje u diskusijama). Seminarska izlaganja studenata.

	u središtu. Raspodjela mase u blizini središta i interferometrijska opažanja. Supermasivna crna rupa.		
Klasificirati skupove zvijezda i njihova svojstva te ih primijeniti na određivanje starosti zvijezda i udaljenosti u svemiru,	Svojstva i vrste zvjezdanih skupova. Populacija I, II i III. Kuglasti i galaktički skupovi. Spetroskopska paralaksa kao metoda određivanja udaljenosti. Izokrone. Određivanje starosti skupova. Turn-off točka. Hertzsprungova praznina.	Izlaganje. Diskusija. Analiza i rješavanje numeričkih zadataka. Analiza i rješavanje problemskih zadataka Samostalni rad. Izrada i izlaganje seminarskog rada.	Usmeni ispit (usmena provjera znanja – završni ispit). Pisana provjera znanja i vještina - numerički zadaci (kolokvij). Aktivnost studenta tijekom nastave (sudjelovanje u diskusijama). Seminarska izlaganja studenata. Projektni zadatak (analiza i tumačenje rezultata studentskog izvješća).
Opisati nastanak galaksija i analizirati formiranje krakova u spiralnoj strukturi,	Nastanak galaksija: ELS model kolapsa. Funkcija nastanka zvijezda. Modeli nastanka galaksija: disipativni kolapsirajući model i hijerarhijski model stapanja. Nastanak debelog i tankog diska. Nastanak eliptičkih galaksija.	Izlaganje. Diskusija. Analiza i rješavanje numeričkih zadataka. Analiza i rješavanje problemskih zadataka Izrada i izlaganje seminarskog rada.	Usmeni ispit (usmena provjera znanja – završni ispit). Pisana provjera znanja i vještina - numerički zadaci (kolokvij). Aktivnost studenta tijekom nastave (sudjelovanje u diskusijama). Seminarska izlaganja studenata.
Rastumačiti interakciju galaksija i njihovo stapanje primjenom numeričkih simulacija sudara galaksija,	Opažanja međudjelovanja. Dinamičko trenje. Modeliranje međudjelovanja u simulacijama N-tijela. Starburst galaksije. Vrste interakcija.	Izlaganje. Diskusija. Analiza i rješavanje numeričkih zadataka. Analiza i rješavanje problemskih zadataka Samostalni rad. Izrada i izlaganje seminarskog rada.	Usmeni ispit (usmena provjera znanja – završni ispit). Pisana provjera znanja i vještina - numerički zadaci (kolokvij). Aktivnost studenta tijekom nastave (sudjelovanje u diskusijama). Seminarska izlaganja studenata. Projektni zadatak (analiza i tumačenje rezultata studentskog izvješća).

Opisati galaktičke skupove i lokalnu grupu galaksija, superskupove i strukture na kozmološkim skalama te ih povezati s nehomogenostima pozadinskog mikrovalnog zračenja	Klasifikacija galaktičkih skupova. Lokalna grupa i Virgo grupa. Međugalaktička tvar i vrući plin unutar skupova. Superskupovi i gibanja na velikoj skali. Struktura na najvećoj skali: zidovi i mjehuri galaksija. Nastanak struktura u svemiru. Barionske akustičke oscilacije i harmonici kao dokaz nastanka struktura na velikoj skali.	Izlaganje. Diskusija. Analiza i rješavanje numeričkih zadataka. Analiza i rješavanje problemskih zadataka Izrada i izlaganje seminarskog rada.	Usmeni ispit (usmena provjera znanja – završni ispit). Pisana provjera znanja i vještina - numerički zadaci (kolokvij). Aktivnost studenta tijekom nastave (sudjelovanje u diskusijama). Seminarska izlaganja studenata.
Opisati pojavu gravitacijske leće te je primijeniti za određivanje 10strukture svemira I raspodjele tamne materije	Svojstva i geometrija gravitacijske leće. Einsteinovi prstenovi. Lyman-alfa šuma. Kvazari. Raspodjela kvazara u svemiru i određivanje strukture svemira na najvećoj skali. Tomografija tamne materije pomoću gravitacijske leće. Slaba i jaka gravitacijska leća. Veliki pregledi neba.	Izlaganje. Diskusija. Analiza i rješavanje numeričkih zadataka. Analiza i rješavanje problemskih zadataka Izrada i izlaganje seminarskog rada.	Usmeni ispit (usmena provjera znanja – završni ispit). Pisana provjera znanja i vještina - numerički zadaci (kolokvij). Aktivnost studenta tijekom nastave (sudjelovanje u diskusijama). Seminarska izlaganja studenata.