

STUDIA I STOPNIA NA KIERUNKU ASTRONOMIA UW

Program został opracowany przez zespół w składzie:

Z. Ajduk, W. Bardyszewski, J. Dobaczewski, W. Dominik, K. Doroba, M. Jaroszyński, M. Kamińska, J. Kamiński, M. Kościelecki, P. Kowalczyk, J. Krolikowski, A. Majhofer, T. Matulewicz, T. Morek, K. Napiórkowski, M. Nawrocki, M. Olechowski, W. Pusz, G. Rohoziński, T. Rząca-Urban, Z. Szefliński, A. Szymacha, A. Witowski, R. Wysocki

I. CHARAKTERYSTYKA STUDIÓW

Studia pierwszego stopnia na kierunku astronomia UW trwają trzy lata i kończą się nadaniem tytułu licencjata (licencjat akademicki).

II. SYLWETKA ABSOLWENTA

Absolwent studiów pierwszego stopnia powinien:

- być dobrze przygotowany do kontynuowania studiów drugiego stopnia,
- posiadać obszerną wiedzę w dziedzinie astronomii, fizyki i matematyki oraz umiejętność twórczego jej wykorzystania,
- być przygotowany do ustawicznego samokształcenia,
- być przygotowany do pracy w zespole badawczym,
- potrafić zastosować ściśle metody obliczeniowe do opisu stanu układu,
- potrafić samodzielnie analizować i rozwiązywać złożone problemy również spoza dziedziny fizyki,
- posiadać umiejętność programowania, korzystania z komputerowych baz informatycznych, oraz umiejętność posługiwania się komputerami z różnymi systemami operacyjnymi,
- potrafić korzystać z literatury specjalistycznej, przygotować i wygłaszać referaty, również w języku angielskim.

III. RAMOWY PROGRAM KSZTAŁCENIA I PLAN STUDIÓW

Uwagi:

1. Punkty ECTS zostaną przypisane poszczególnym przedmiotom po wstępnym zaakceptowaniu zawartych w rozdziale V treści programowych.
2. Przypisane poszczególnym przedmiotom numery porządkowe ułatwią znalezienie odpowiadających im treści programowych w rozdziale IV. W końcowej wersji zostaną one zastąpione kodami USOSa.
3. W dalszej części stosowane są następujące oznaczenia:
W – wykład, Ć – ćwiczenia, L –laboratorium

1 semestr

Nazwa przedmiotu	Godziny zajęć w tygodniu	Forma zaliczenia	ECTS
11 - Matematyka I	4W + 8Ć	egzamin	
12 - Fizyka we współczesnym świecie	2W (pierwsze 8 tygodni)	zaliczenie na ocenę	
13 - Fizyka I	4Ć (pierwsze 8 tygodni) + 2Ć (pozostałe 7 tygodni)	egzamin	
14 - Szczególna teoria względności	2W+2Ć (przez ostatnie 7 tygodni)	egzamin	
16A -Astronomia I	2W+1Ć	Zaliczenie na ocenę	

2 semestr

Nazwa przedmiotu	Godziny zajęć w tygodniu	Forma zaliczenia	ECTS
21 - Matematyka II	6W + 6Ć	egzamin	
22 - Fizyka II a (Mechanika)	4W + 4Ć przez pół semestru	egzamin	
23 - Fizyka II b (Elektryczność i magnetyzm)	4W + 4Ć przez pół semestru	egzamin	
24 - Analiza niepewności pomiarowych i Pracownia wstępna	4(L + W)	zaliczenie na ocenę	
25A Astronomia II	1W+2Ć	egzamin	

3 semestr

Nazwa przedmiotu	Godziny zajęć w tygodniu	Forma zaliczenia	ECTS
31 - Matematyka III	4W +4Ć	egzamin	
32 - Fizyka III (Drgania i fale)	3W+3Ć	egzamin	
33 - Mechanika klasyczna	3W+3Ć	egzamin	
34 - I Pracownia fizyczna A*	3L	zaliczenie na ocenę	
35 - Pracownia elektroniczna*	3L	zaliczenie na ocenę	
36A Programowanie dla astronomów **	2W+2Ć	egzamin	
37A Pracownia komputerowa dla astronomów A**	3Ć	zaliczenie na ocenę	

* Student powinien zaliczyć jedną z wymienionych pracowni.

** Należy zaliczyć co najmniej 120h zajęć informatycznych spośród 36A,37A,46A,47A

4 semestr

Nazwa przedmiotu	Godziny zajęć w tygodniu	Forma zaliczenia	ECTS
41 - Fizyka IV (Podstawy fizyki kwantowej i budowy materii)	2W +2Ć	egzamin	
42 - Fizyka V (Termodynamika z elementami fizyki statystycznej)	3W+3Ć	egzamin	
43 - Matematyka IV	2W+2Ć	egzamin	
46A- I Pracownia komputerowa dla astronomów B **	3Ć	zaliczenie na ocenę	
47A – Metody numeryczne dla astronomów **	4 (W+Ć)	egzamin	

** Patrz uwaga wyżej

5 i 6 Semestr

Nazwa przedmiotu	Godziny zajęć w tygodniu	Forma zaliczenia	ECTS
51- Mechanika kwantowa (sem. 5)	4W +4Ć	egzamin	
52 - Wstęp do fizyki subatomowej I (sem. 5)	2W+1Ć	egzamin	
55A Astrofizyka obserwacyjna I	3W+5Ć	egzamin	
56A Statystyka astronomiczna	2W+3Ć	egzamin	
62 - Elektrodynamika (sem. 6)	3W +3Ć	E	
65A Astrofizyka ogólna	3W+3Ć	egzamin	
63 - Pracownia licencjacka (sem. 6)	6L	Z	
Zajęcia do wyboru ***	≥6	E lub Z	
64 - Proseminarium licencjackie (sem. 6)	2	Z	
Praca licencjacka + egzamin licencjacki			

*** Na drugim i trzecim roku student powinien wybrać co najmniej 90 godzin zajęć z poniższej listy przedmiotów. Lista ta będzie uzupełniana/modyfikowana w zależności od rozwoju badań naukowych.

Nazwa przedmiotu	Liczba godzin w tygodniu	ECTS
Wstęp do optyki i fizyki ciała stałego	3	
Fizyczne metody w badaniach środowiska	2	
Termodynamika fenomenologiczna	4	
Podstawy hydrodynamiki	4	
Wstęp do kwantowej teorii układów wielu cząstek	4	
Mechanika ośrodków ciągłych	4	
Eksperyment fizyczny w warunkach ekstremalnych	2	
Wstęp do biofizyki	4	
Wstęp do geofizyki	2	
Elementy fizyki cząstek elementarnych	2	
Wstęp do teorii oddziaływań fundamentalnych	2	
Elementy fizyki jądrowej	2	
Nowe technologie	2	
Fizyka jądrowa w nowoczesnych technologiach i medycynie	2	
Wykłady monograficzne prowadzone na Wydziale Fizyki		

IV. Przedmioty ogólnouniwersyteckie, język angielski, wychowanie fizyczne

Oprócz przedstawionych powyżej przedmiotów podstawowych i kierunkowych do ukończenia studiów wymagane jest :

- zdanie egzaminu z języka angielskiego na poziomie B2 lub wyższym (2 ECTS)
- zaliczenie 120 godzin zajęć wychowania fizycznego
- zaliczenie przedmiotów ogólnouniwersyteckich (9 ECTS)

V. Treści kształcenia – Projekt

11 - Matematyka I ((4W+8Ć)/tydz. w pierwszym semestrze)

1. Wstęp

(Pierwsze dwa tygodnie ćwiczeń poświęcone powtórzeniu pewnych punktów programu szkolnego: własności trójmiany kwadratowego, wybranych funkcji elementarnych (funkcje trygonometryczne, wykładnicze i ich odwrotne).

- a) Elementy logiki i teorii zbiorów
- b) Indukcja matematyczna
- c) Relacje równoważności
- d) Funkcje i wykresy

2. Liczby rzeczywiste

- a) Ciągi i ich granice, przestrzenie metryczne
 - zupełność zbioru liczb rzeczywistych
- b) Funkcje ciągle.
 - granica funkcji w punkcie, własności funkcji ciągłych na przedziale.

3. Rachunek różniczkowy funkcji jednej zmiennej

- a) Pochodna
 - twierdzenia o wartości średniej, wzór Taylora.
- b) Funkcja pierwotna
- c) Badanie funkcji

4. Liczby zespolone

- wprowadzenie, działania, postać trygonometryczna.
- a) Funkcja wykładnicza
- b) Pierwiastki wielomianów

5. Szeregi liczbowe

- a) Zbieżność, kryteria zbieżności.
- b) Działania na szeregach

6. Szeregi potęgowe

- a) Promień zbieżności
- b) Rozwinięcia podstawowych funkcji elementarnych.
- c) Całka Riemanna funkcji jednej zmiennej
 - definicje; twierdzenie o związku całki Riemanna z funkcją pierwotną.

12 - Fizyka we współczesnym świecie (2W/tydz. przez pierwsze osiem tygodni pierwszego semestru)

Cykl wykładów (zrozumiałych dla absolwentów szkół średnich) prezentujących wyniki najciekawszych badań fizycznych.

13 - Fizyka I (4Ć/tydz. przez pierwsze osiem tygodni i 2Ć/tydz. przez następne 7 tygodni pierwszego semestru)

Nauka rozwiązywania zadań rachunkowych w oparciu o zagadnienia omawiane w programach szkolnych.

14 - Szczególna teoria względności ((2W + 2Ć)/tydz. przez ostatnie 7 tygodni pierwszego semestru)

1. Punkt materialny, zdarzenie, linia świata, czasoprzestrzeń. Iluzja (jednej) przestrzeni. Ciało swobodne. Linie świata ciał swobodnych (Zasada „bezwładności” Galileusza). Czasoprzestrzeń dwuwymiarowa. Równoległe linie świata. Parametryzacja linii świata ciał swobodnych (zegary). Uzgodnienie początków liczenia czasu na poszczególnych liniach świata. Numeracja linii świata. Współrzędne t i x . Inercjalny układ odniesienia.

2. Równouprawnienie różnych układów inercjalnych (zasada względności, też Galileusza). Implikacje tej zasady. Pojawienie się uniwersalnej stałej wymiarowej C . Trzy możliwe przypadki: $C < 0$, $C = 0$, $C > 0$. Trzy geometrie: Euklidesa, Galileusza, Minkowskiego (Einsteina). Relacje

$$x = \frac{x' + Vt'}{\sqrt{1 - Cv^2}}, \quad t = \frac{t' + CVx'}{\sqrt{1 - Cv^2}}$$
. Niezmienniczość $t^2 - Cx^2$ (Tw. Pitagorasa, bezwzględność czasu, względność czasu, dla $C < 0$, $C = 0$, $C > 0$.)

3. Składanie prędkości: $v = \frac{v' + V}{1 + CVv'}$. Doświadczenie Fizeau z płynącą wodą: $C = \frac{1}{c^2}$. Sens prędkości $c = 1/\sqrt{C}$. Jej niezmienniczość i charakter graniczny.

4. Konsekwencje kinematyczne geometrii Minkowskiego. Popularne paradoksy. Opis przewodnika z prądem w układzie spoczywających jonów i spoczywających (średnio) elektronów. Względność elektrycznej obojętności. Pojawienie się pola elektrycznego w układzie spoczywających elektronów. Siła Lorentza jako konsekwencja geometrii Minkowskiego. Doświadczenia Kohlrauscha – Webera.

5. Najprostsze oddziaływanie: sklejenie się dwóch punktów materialnych (i rozpad dwuciałowy). Czteroprędkość (w istocie zredukowana do „dwuprędkości”). Czysto geometryczne relacje między trzema dwuprędkościami sklejących się ciał. Masa. Pęd i energia.

6. Konsekwencje „relatywistycznych” praw zachowania w obszarze wysokich energii. Jak to wygląda w obszarze niskich energii. Nierelatywistyczne prawo zachowania energii. Energia wewnętrzna. Zderzenia sprężyste i niesprężyste.

7. Ciągłą wymiana pędu w obszarze nierelatywistycznym. Definicja siły. $F \equiv \frac{dp}{dt}$. Oczywistość tzw. prawa „akcji i reakcji”. Możliwości teoretyczne i fenomenologiczne wyznaczenia siły.

Przykłady teoretycznego wyznaczenia siły (opór w ośrodku rozrzedzonym, ciśnienie gazu doskonałego, siła w procesie adiabatycznym). Przewidywanie ruchu, gdy poznana formuła sił zawiera tylko czas, położenia i prędkości. Siły w ogólniejszych sytuacjach adiabatycznych (oddziaływanie wolno poruszających się ładunków, wolno oscylujących ciał sprężystych) .
Energia potencjalna.

16A - Astronomia I ((2W + 1Ć)/tydz. w pierwszym semestrze)

1. Wstęp historyczny (do pocz. XX w.)

-układ Ptolemeusza; układ Kopernika; prawa Keplera; aberracja i paralaksa gwiazd; natura mgławic spiralnych; ucieczka galaktyk

2. Nośniki informacji o Wszechświecie

-promieniowanie elektromagnetyczne i wpływ atmosfery na jego obserwacje; pył, meteoryty i sondy kosmiczne; neutrina; fale grawitacyjne (?)

3. Kosmografia (typy obiektów, odległości, rozmiary, rozmieszczenie)

-Układ Słoneczny; gwiazdy; Galaktyka; galaktyki, ich układy, rozmieszczenie; przybliżona jednorodność i izotropia rozkładu galaktyk; kwazary; mikrofalowe promieniowanie tła

4. Obiekty Układu Słonecznego

-planety i ich budowa; księżyce; drobne ciała (planetoidy, komety, meteoroidy, pył)

5. Gwiazdy

-masy, rozmiary, temperatury, jasności, skład chemiczny; jakościowy opis budowy wewnętrznej i zachodzących tam procesów; jakościowy opis ewolucji; białe karły, gwiazdy neutronowe, czarne dziury

6. Układy gwiazd

-układy podwójne – podstawowe typy; gromady gwiazd

7. Materia międzygwiazdowa

-gaz i jego fazy; pył; pola magnetyczne

8. Budowa Galaktyki

-podsystemy gwiazdowe; ruchy gwiazd; rozkład materii międzygwiazdowej

9. Typy galaktyk

-morfologiczne (E,S0,S,Irr); typy aktywności (radiogalaktyki, gal Seyferta, kwazary)

10. Układy galaktyk

-grupy, Grupa Lokalna; gromady; supergromady i pustki

11. Wszechświat

-prawo Hubble'a; jakościowy opis termicznej ewolucji Wszechświata; związek z fizyką wysokich energii, pierwotna nukleosynteza, mikrofalowe promieniowanie tła

21 - Matematyka II ((6W + 6Ć)/tydz. w drugim semestrze)

1. Podstawowe struktury algebraiczne

- działanie, element neutralny, element odwrotny, grupa (przykłady: grupa permutacji); wielomiany jako przykład pierścienia z jedyneką, stopień wielomianu, NWD; ciała liczb rzeczywistych i zespolonych.

2. Przestrzenie wektorowe rzeczywiste i zespolone

- a) Liniowa zależność i niezależność wektorów
- b) Baza, współrzędne wektora
- c) Układy równań liniowych
- d) Odwzorowania liniowe, macierze i wyznacznik
- e) Wartości i wektory własne
 - funkcje od macierzy
- f) Formy biliniowe i hermitowskie
 - dodatnia lub ujemna określoność formy kwadratowej, kryteria.
- g) Przestrzenie unitarne
 - norma, metryka

3. Równania różniczkowe zwyczajne

- warunek Lipschitza, zasada Banacha

- a) Twierdzenie o istnieniu rozwiązania
 - twierdzenie o istnieniu i jednoznaczność rozwiązania zagadnienia Cauchy,
 - różne sposoby zadawania warunków brzegowych (przykład: struna nieskończona w jednym wymiarze).
- b) Elementarne metody rozwiązywania.
 - metoda iteracyjna
- c) Równania różniczkowe liniowe i układy równań liniowych
 - twierdzenie o istnieniu rozwiązania, baza w przestrzeni rozwiązań, problem niejednorodny, równania wyższych rzędów, uzmiennianie stałej
 - równania o stałych współczynnikach, rozwiązania postaci $x(t) = e^{\lambda t} \{A(t-t_0)\} x_0$ Wronskian; wzór Liouville'a.

4. Rachunek różniczkowy i całkowy funkcji rzeczywistych wielu zmiennych

- ciągłość funkcji wielu zmiennych; pochodne: mocna, kierunkowa, cząstkowa; pochodna funkcji złożonej, poziomica, gradient, wzór Taylora dla funkcji wielu zmiennych.

- a) Lokalna odwracalność odwzorowań
- b) Funkcje uwikłane
 - twierdzenie o funkcji uwikłanej
- c) Ekstrema funkcji wielu zmiennych
 - ekstrema zwykłe, uwikłane, opis krzywej i powierzchni, zamiana zmiennych, przestrzeń styczna, jacobian,
- d) ekstrema związane, norma operatora.
- e) Całki wielokrotne
 - zbiór miary Lebesgue'a zero, całka Riemanna na R^n ; funkcja charakterystyczna zbioru; twierdzenie o zamianie zmiennych, twierdzenie Fubinięgo.
- f) Całki niewłaściwe i całki z parametrem.

22 - Fizyka II a (Mechanika) ((4W+4Ć)/tydz. w pierwszej połowie drugiego semstru)

1. Kinematyka ruchu postępowego i obrotowego

- Pojęcie punktu materialnego i bryły sztywnej.
- Opis ruchu. Układy odniesienia, wektor wodzący punktu, tor ruchu, droga, prędkość, przyspieszenie.
- Przykłady ruchów: ruch prostoliniowy, rzut w polu grawitacyjnym, ruch po okręgu.
- Ruch harmoniczny prosty, wahadło matematyczne.
- Ruch bryły sztywnej. Prędkość i przyspieszenie kątowe.

2. Dynamika punktu materialnego

- Siła, masa, przyspieszenie. Bezwładność, masa a ciężar.
- Zasady dynamiki Newtona, zasada zachowania pędu.
- Własności sprężyste ciał, wahadło sprężynowe.
- Opory ruchu, tarcie.
- Ruch ciał ze zmienną masą (rakiety).
- Siły działające w ruchu krzywoliniowym.
- Moment pędu i moment siły. Moment pary sił.
- Siły centralne. Ruch w nieinercjalnych układach odniesienia.

3. Praca i energia

- Praca.
- Energia kinetyczna, energia potencjalna (grawitacyjna w pobliżu powierzchni Ziemi, sprężystości).
- Zasada zachowania energii, siły zachowawcze.

4. Dynamika układu ciał

- Środek masy.
- Pęd i moment pędu układu ciał.
- Zagadnienie dwu ciał, masa zredukowana.
- Zderzenia.

5. Grawitacja

- Prawa Keplera.
- Siła grawitacji, pole grawitacyjne.
- Grawitacyjna energia potencjalna (przypadek ogólny).
- Ruchy planet i satelitów.
- Prędkości kosmiczne.

6. Statyka i dynamika bryły sztywnej

- Stany równowagi bryły sztywnej.
- Moment pędu bryły sztywnej, moment bezwładności, osie główne bezwładności.
- Równanie ruchu obrotowego bryły sztywnej.
- Energia kinetyczna w ruchu obrotowym.
- Ruch postępowo-obrotowy ciała sztywnego.
- Wahadło fizyczne.

23 - Fizyka II b (Elektryczność i magnetyzm) ((4W+4Ć)/tydz. w drugiej połowie drugiego semstru)

- Wstęp matematyczny. Definicje: operator nabla, rotacja, strumień, twierdzenie Gaussa.
- Elektrostatyka. Prawo Coulomba, prawo Gaussa, praca w polu sił, potencjał, pojemność przewodnika.
- Pole elektryczne w obecności przewodników. $E=0$ wewnątrz przewodnika, ładunki na powierzchni, pole prostopadłe do powierzchni przewodnika, ostrza.
- Pole elektryczne w obecności dielektryków. Dielektryk w kondensatorze płaskim, wektory E , P , D , wnątki, pojemność kondensatora wypełnionego dielektrykiem.
- Prąd stały. Równanie ciągłości, prawo Ohma, ciepło Joule'a, łączenie oporów, siła elektromotoryczna, prawa Kirchhoffa, zjawiska termoelektryczne.
- Siły działające na przewodnik w polu magnetycznym. Siła Lorentza, siła Ampera, silnik prądu stałego, prawo Biota-Savarta, prawo Gaussa, prawo Ampera.

7. Prąd przemienny, indukcja elektromagnetyczna. Obwody prądu przemiennego, indukcyjność, indukcja wzajemna, transformator.
8. Podsumowanie – równania Maxwella.
9. Pole magnetyczne w materii.

24 - Analiza niepewności pomiarowych i Pracownia wstępna (4(L+W)/tydz. w drugim semestrze)

A. Analiza niepewności pomiarowych

1. Wprowadzenie: pomiar, rodzaje i źródła błędów pomiarowych, niepewność pomiaru.
2. Charakterystyki zbiorów danych liczbowych: mediana, średnia, średnie odchylenie standardowe. Graficzna prezentacja i analiza danych: wykresy z użyciem funkcyjnych skal na osiach, histogramy.
3. Przypomnienie podstaw rachunku prawdopodobieństwa. Składowa przypadkowa niepewności pomiaru (błąd przypadkowy). Rozkład Gaussa.
4. Wpływ efektów systematycznych na dokładność pomiaru: wprowadzanie poprawek i uwzględnianie ograniczonej dokładności przyrządów pomiarowych.
5. Metoda najmniejszych kwadratów i przykłady jej zastosowań: wyznaczanie średniej ważonej i współczynników zależności liniowej na podstawie danych pomiarowych).
6. Wprowadzenie do zagadnień statystycznego testowania hipotez: test 3σ i test χ^2 .

B. Pracownia wstępna

Program tej pracowni zostanie przesłany w późniejszym terminie.

25A - Astronomia II ((1W+2Ć)/tydz. W drugim semestrze)

1. Układy współrzędnych na sferze niebieskiej

-horyzontalny; równikowy I; -równikowy równonocny; ekliptyczny, galaktyczny i inne

2. Ruch dzienny i roczny sfery niebieskiej

-opis zjawisk w różnych współrzędnych

3. Trygonometria na sferze

-wzory trygonometrii sferycznej: -trójkąt paralaktyczny i zamiana współrzędnych; -zastosowania

4. Czas i kalendarz

-czas gwiazdowy; ruch dzienny i roczny Słońca; czas słoneczny prawdziwy; -czas średni, czas strefowy; rok zwrotnikowy, rok gwiazdowy; ruch Księżyca, miesiąc synodyczny i syderyczny

5. Zaćmienia Słońca i Księżyca

-warunki

5. Promieniowanie gwiazd

-wielkości gwiazdowe; natężenie, strumień energii i moc promieniowania; zależności dla ciała doskonale czarnego

6. Mechanika układów planetarnych: zagadnienie 2 ciał

-prawa dynamiki w zastosowaniu do układu 2 ciał; redukcja do zagadnienia w układzie środka masy; prawa Keplera; -orbity eliptyczne, paraboliczne, hiperboliczne

7. Metody wykrywania planet odległych gwiazd

31 - Matematyka III((4W + 4C)/tydz. w trzecim semestrze)

1. Krzywe i powierzchnie w \mathbb{R}^n

- g) Opis krzywej i powierzchni, przestrzeń styczna
- h) Ekstrema związane
- i) Pola skalarne i wektorowe
- j) Całkowanie po krzywych i powierzchniach, formy różniczkowe
- k) Analiza wektorowa w \mathbb{R}^3 , potencjały

2. Funkcje jednej zmiennej zespolonej

- a) Różniczkowalność w sensie zespolonym, równania Cauchy-Riemanna, analityczność
- b) Całki konturowe
- c) Szeregi Taylora i Laurenta, klasyfikacja punktów osobliwych
- d) Przedłużenie analityczne
- e) Twierdzenie o residuach i jego zastosowania

3. Szeregi Fouriera i transformata Fouriera

- a) Szeregi Fouriera
- b) Transformata Fouriera i jej własności
- c) Elementy teorii dystrybucji, delta Diraca

32 - Fizyka III (Drgania i fale) ((3W + 3C)/tydz. trzeci semestr)

1. Drgania harmoniczne swobodne, tłumione, wymuszone, rezonans – opis, przykłady fizyczne.
2. Drgania złożone, zasada superpozycji, dudnienia, polaryzacja.
3. Drgania nieliniowe, drgania samowzbudne, rezonans parametryczny.
4. Drgania sprzężone.
5. Ruch chaotyczny wahadła.
6. Ruch falowy, równanie falowe, fala harmoniczna, fala płaska, fala .biegnąca i stojąca (1D,2D, 3D), propagacja energii.
7. Fale sprężyste, tłumienie, odbicie, zmiana ośrodka.
8. Fale w gazie, efekt Dopplera, elementy akustyki.
9. Elementy analizy fourierowskiej.
10. Dyspersja, fala w ośrodku nieciągłym.
11. Fale elektromagnetyczne, równanie falowe, fala biegnąca i stojąca,, polaryzacja, energia fali, wektor Poyntinga, efekt Dopplera.
12. Optyka falowa, interferencja, dyfrakcja, Fraunhofer i Fresnela, holografia.
13. Optyka geometryczna, prawa optyki geometrycznej, odbicie i załamanie światła, zwierciadła i soczewki, aberracja sferyczna, pryzmat, aberracja chromatyczna.
14. Polaryzacja światła, wzory Fresnela, dwójłomność naturalna i wymuszona, aktywność optyczna.

33 - Mechanika klasyczna ((3W +3C) trzeci semestr)

1. Mechanika nierelatywistyczna układu punktów materialnych: opis ruchu w różnych układach współrzędnych, względność ruchu – zależność wektora położenia, prędkości i przyspieszenia punktu materialnego od układu odniesienia; zasady dynamiki, układy inercjalne, przekształcenia Galileusza, zasada względności Galileusza, zasada przyczynowości; układy nieinercjalne i siły bezwładności; więzy, siły reakcji więzów, zasada d'Alemberta, równania Lagrange'a I rodzaju; przestrzeń konfiguracyjna, równania Lagrange'a II rodzaju, lagranżjan, zasady zachowania; położenia równowagi, małe drgania wokół położenia równowagi trwałej.
2. Mechanika nierelatywistyczna bryły sztywnej: ruch bryły sztywnej; pęd, moment pędu i energia kinetyczna bryły sztywnej, tensor momentu bezwładności; równania ruchu, lagranżjan, przykłady ruchu bryły sztywnej.
3. Mechanika analityczna i mechanika relatywistyczna: elementy rachunku wariacyjnego, działanie, zasada Hamiltona i równania ruchu jako równania Eulera-Lagrange'a, zasada Jacobiego; twierdzenie Noether, przekształcenia Galileusza jako przekształcenia symetrii i zasady zachowania dla układu n punktów materialnych; przekształcenie Legendre'a, przestrzeń fazowa, hamiltonian, równania kanoniczne Hamiltona; nawiasy Poissona, ogólne równanie mechaniki, twierdzenie Poissona-Jacobiego; równanie Hamiltona-Jacobiego i metoda rozdzielania zmiennych; chaos deterministyczny; czasoprzestrzeń, przekształcenia Poincarégo; zasada względności Einsteina, zasady dynamiki relatywistycznej; lagranżjan i hamiltonian cząstki relatywistycznej w polu elektromagnetycznym, przykłady ruchu takiej cząstki.
4. Elementy mechaniki ośrodków ciągłych: ośrodek ciągły, opis Lagrange'a i Eulera; pola przemieszczenia, prędkości, przyspieszenia, tensora odkształceń i tensora prędkości odkształceń; zasada zachowania masy; równanie ruchu i tensor naprężeń, symetria tensora naprężeń, zasada zachowania energii; równania materiałowe dla ciał sprężystych i płynów – prawa Hooke'a, Pascala, Naviera-Stokesa; przykłady: odkształcenia ciał sprężystych, statyka płynów, przepływy płynów doskonałych i płynów lepkich, fale w ciałach sprężystych i płynach doskonałych.

34 - I Pracownia Fizyczna A (3L/tydz.)

I Pracownia fizyczna A obejmuje wykonanie 6 zadań, z których każde wykonuje się podczas dwu kolejnych 3-godzinnych sesji. Student wykonuje każde z sześciu zadań indywidualnie w dwu kolejnych tygodniach. Pierwszy termin jest przeznaczony na wykonanie części pomiarów, po czym student opracowuje uzyskane wyniki eksperymentu i z gotowym fragmentem raportu uzupełnia pomiary i raport. W drugim terminie student kończy zadanie.

W tej części Pracowni studenci wykonują proste eksperymenty z zakresu mechaniki, ciepła, elektryczności i optyki. Zadania tej części Pracowni to:

- Mechanika
 - Wyznaczanie gęstości ciał stałych i cieczy
 - Badanie rzutu ukośnego.
 - Sprawdzanie II zasady dynamiki
 - Badanie rzutu ukośnego
 - Badanie drgań harmoniczných

- Ciepło
 - Wyznaczanie ciepła topnienia lodu
 - Wyznaczanie ciepła właściwego ciał stałych
 -

- Elektryczność
 - Badanie obwodu RLC
 - Prawo Joule'a

- Optyka
 - Wyznaczanie ogniskowych soczewek i układów soczewek
 - Doświadczenie Younga
 - Badanie widm próbek gazowych przy pomocy spektrometru

36A Programowanie dla astronomów ((2W+2Ć)/tydz. w sem. zimowym)

Programowanie w języku Fortran

37A- Pracownia komputerowa dla astronomów A (3Ć/tydz. W sem. Zimowym)

- Obsługa komputera w systemie UNIX (Linux)
- Edycja plików tekstowych (microemacs, emacs)
- Tworzenie, kompilacja i uruchamianie programów w językach C i Fortran
- Użytkowanie środowiska X-Windows
- Programy „sieciowe”: mail, ftp, ssh, przeglądarki WWW
- Przegląd i przykładowe zastosowania aplikacji numerycznych z książki „Numerical recipes”
-

41 - Fizyka IV (Podstawy fizyki kwantowej i budowy materii) ((2W + 2Ć)/tydz. w czwartym semestrze)

1. Dualizm falowo-korpuskularny.

- Promieniowanie ciała czarnego, teoria Rayleigha-Jeansa, wzór Plancka.
- Zjawisko fotoelektryczne, zjawisko Comptona.
- Dyfrakcja i interferencja fotonów i mikrocząstek - omówienie eksperymentów. Mikroskop elektronowy.
Fale materii - hipoteza de Broglie'a, prędkość fazowa i prędkość grupowa fal de Broglie'a, paczka falowa.
- Interpretacja Borna funkcji falowej. Zasada nieoznaczoności Heisenberga, zasada odpowiedniości.

2. Równanie Schrödingera w zastosowaniach do problemów jednowymiarowych.

- Cząstka swobodna.
- Próg potencjału, bariera, efekt tunelowy, rozpad α . Mikroskop tunelowy.
- Stany związane: cząstka w jednowymiarowej jamie potencjalnej, skończonej i nieskończonej. Deuteron.
- Poziomy energetyczne kwantowego oscylatora harmonicznego.

3. Wartości własne dla kwadratu momentu pędu i jego rzutu.

4. Atom wodoru.

- Poziomy energetyczne atomu wodoru.
- Widma emisyjne i absorpcyjne, serie widmowe, energia jonizacji, doświadczenie Francka-Hertza.
- Porównanie modelu Bohra z modelem kwantowym.

5. Spin cząstek.

- Doświadczenie Sterna-Gerlacha, spin.
- Zakaz Pauliego.
- Atom helu (omówienie jakościowe).

6. Struktura energetyczna jąder atomowych, cząsteczek, ciał stałych.

7.

42 - Fizyka V (Termodynamika z elementami fizyki statystycznej) ((3W + 3Ć)/tydz. w czwartym semestrze)

1. Opis układu termodynamicznego: Sposób opisu właściwości układów makroskopowych przez termodynamikę fenomenologiczną oraz przez fizykę statystyczną; pojęcie układu termodynamicznego, parametry i funkcje stanu; równowaga termodynamiczna i termiczna; dochodzenie do stanu równowagi (czas relaksacji), zerowa zasada termodynamiki.

2. Równowaga termodynamiczna w opisie statystycznym: Zależność liczby stanów od energii – model drabinkowy, zależność liczby stanów od energii dla gazu doskonałego, postulat równego prawdopodobieństwa, cząstka w równowadze z bardzo dużym termostatem – rozkład kanoniczny Gibbisa, obliczanie średniej energii, rozkład Maxwella, rozkład Boltzmanna, paramagnetyzm ciał.

3. Statystyki kwantowe: Statystyka Bosego-Einsteina, gaz fotonowy, statystyka Fermiego-Diraca, gaz elektronowy.

4. Temperatura empiryczna i własności ciał fizycznych zależne od temperatury: Pojęcie temperatury empirycznej i jej pomiar, skala Celsjusza i Fahrenheita, termometry zbudowane na podstawie różnych parametrów termometrycznych ciał (rozszerzalność objętościowa ciał i termometry cieczowe, rozszerzalność ciał stałych i model tej rozszerzalności oraz termometry bimetaliczne, zależności temperaturowe oporu elektrycznego metali i półprzewodników oraz termometry oporowe, termopary, promieniowanie cieplne ciał i pirometry, ciekłe kryształy i wskaźniki barwne, temperaturowe zmiany parametrów gazów i termometr gazowy), skala Kelvina; ekstremalne temperatury we Wszechświecie i w laboratoriach.

5. Międzynarodowa skala temperatur: Obowiązująca jednostka, stosowane właściwości temperaturowe ciał oraz punkty temperaturowe.

6. Równanie stanu układu: Pojęcie równania stanu, parametry stanu, pojęcie ciśnienia, prawo Pascala, ciśnienie w obszarze działania siła grawitacyjnych, prawo Archimedes, ciśnienie w zbiornikach z cieczą, wzór barometryczny; hydrodynamika, równanie Bernoulliego, równanie stanu gazu doskonałego, równania stanu gazów rzeczywistych, parametry krytyczne, pojęcie fazy i przejścia fazowego, powierzchnie p-V-T dla

substancji rzeczywistych, powierzchnie stanów i właściwości wybranych substancji (woda, hel, węgiel, siarka).

7. Pierwsza zasada termodynamiki: Pojęcie energii wewnętrznej, wyznaczenie energii wewnętrznej jednoatomowego gazu doskonałego według teorii kinetycznej, pojęcie pracy w termodynamice, pojęcie ciepła w układzie wielocząstkowym, przenoszenie ciepła, I zasada termodynamiki.

8. Ciepło molowe i ciepło przemian fazowych: Definicja ciepła molowego, pomiary ciepła molowego, ciepła molowe gazu doskonałego i przemiana adiabatyczna, ciepła molowe gazów rzeczywistych jednoatomowych, gazów i cieczy wieloatomowych, ciał stałych – zależności temperaturowe. Ciepło przemian fazowych.

8. Maszyny cieplne: Procesy kwazistatyczne i odwracalne. Silniki cieplne (czterosuwowy silnik benzynowy, cykl Carnota, silnik Sterlinga). Pompy cieplne (lodówka Carnota, pompa cieplna w zastosowaniu domowym, lodówka domowa).

9. Entropia: Entropia jako funkcja stanu – definicja entropii w termodynamice fenomenologicznej. Entropia w ujęciu fizyki statystycznej. Przemiany gazu doskonałego we współrzędnych T-S. Maksymalna sprawność silników cieplnych. Entropia w procesach odwracalnych i nieodwracalnych.

10. Druga zasada termodynamiki: Różne sformułowania II zasady termodynamiki, temperatura termodynamiczna.

11. Zagadnienia transportu: Różne zjawiska transportu i prawa nimi rządzące (przewodnictwo elektryczne, cieplne, dyfuzja, lepkość). Przewodnictwo ciepłe – mechanizmy fizyczne transportu cieplnego.

Przewodnictwo cieplne ciał. Stany nieustalone i stan ustalony przewodnictwa cieplnego.

12. Niskie temperatury: Możliwości osiągania niskich temperatur. Pojęcie entalpii. Efekt Joule’a-Thomsona. Skraplarka.

13. Trzecia zasada termodynamiki: Postulat Nernsta i Plancka.

14. Termodynamiczne parametry układu: Ścisłe definicje temperatury i innych parametrów intensywnych charakteryzujących układ

43 - Matematyka IV ((2W + 2Ć)/tydz. w czwartym semestrze)

1. Elementy teorii przestrzeni Hilberta

- a) Zagadnienie Sturm—Liouville’a
- b) Wielomiany ortogonalne

2. Równania fizyki matematycznej

- a) Wybrane funkcje specjalne

46A Metody numeryczne dla astronomów ((2W+2Ć)/tydz. w sem. letnim)

- Metody rozwiązywania równań; aproksymacja; interpolacja; równania różniczkowe I rzędu (metody iteracyjne, Rungego-Kutty); całkowanie numeryczne (kwadratury Gaussa, Newtona-Cotesa); rozwiązywanie układów równań liniowych; metody Monte Carlo.

47A- Pracownia komputerowa dla astronomów B (3Ć/tydz. W sem. Letnim)

Programowanie w języku C

51 - Mechanika kwantowa ((4W +4Ć)/tydz. w piątym semestrze)

1. Postulaty i aparat matematyczny mechaniki kwantowej:

przestrzenie Hilberta; wektory stanu; bazy; notacja Diraca; funkcja falowa; operator gęstości; probabilistyczna interpretacja funkcji falowej; wielkości mierzalne – operatory; zagadnienie własne dla operatorów; wartości własne ciągłe i dyskretne; układy zupełne stanów własnych; pomiar – redukcja stanu układu; stany czyste i mieszane; zasada nieoznaczoności; nierówności Bella; paradoks EPR.

2. Ewolucja czasowa układu kwantowego:

równanie falowe Schrödingera; stany stacjonarne; obrazy: Schrödingera i Heisenberga; równanie ciągłości; symetrie i zasady zachowania; ewolucja czasowa paczki falowej; twierdzenie Ehrenfesta; tunelowanie

3. Moment pędu:

Operator momentu pędu; związki komutacyjne; widmo; dodawanie momentów pędu; orbitalny moment pędu i spin; przykład: ruch w polu sił centralnych.

4. Rozwiązywanie zagadnień własnych – widmo dyskretne:

jednowymiarowe studnie potencjału; metoda wielomianów; oscylator harmoniczny (także metodą operatorową); funkcje kuliste; problemy dwuciałowe; atom wodoropodobny.

5. Rozwiązywanie zagadnień własnych – widmo ciągłe:

jednowymiarowe studnie i bariery potencjału; współczynniki przejścia i odbicia; rozpraszanie w trzech wymiarach; metoda fal parcjalnych; rozpraszanie kulombowskie

6. Układy wielu cząstek:

układy identycznych cząstek; bozony i fermiony; symetrie funkcji falowej; zakaz Pauliego

7. Metody przybliżone:

stacjonarny rachunek zaburzeń; przypadek z degeneracją; zjawisko Starka; zjawisko Zeemana; metoda wariacyjna - atom helopodobny; metoda WKB; rachunek zaburzeń z czasem; przybliżenie Borna

52 - Wstęp do fizyki subatomowej I ((2W + 1Ć)/tydz. w piątym semestrze)

1. Świat zjawisk subatomowych: skale wielkości i metody obserwacji, podstawowe składniki materii i ich oddziaływania.
2. Oddziaływanie cząstek naładowanych i fotonów z materią.
3. Kwarki i gluony, oddziaływania silne, podstawy budowy mezonów i barionów.
4. Leptony, oddziaływania słabe, łamanie parzystości.
5. Siły jądrowe: oddziaływanie nukleon-nukleon, deuteron.
6. Jądro atomowe jako układ protonów i neutronów:
Energia wiązania jąder atomowych, model kroplowy.
Jądra stabilne i radioaktywne: typy promieniotwórczości.
Wzbudzenia jąder atomowych: model powłokowy, rotacyjny, superdeformacja.
7. Reakcje jądrowe
8. Narzędzia badań subatomowych: akceleratory i detektory (wykład w ŚLCJ).
9. Nukleosynteza podczas Wielkiego Wybuchu i w gwiazdach.
10. Energetyka jądrowa, medycyna jądrowa i inne zastosowania.

55A - Astrofizyka obserwacyjna ((3W + 5Ć/tydz. w piątym semestrze)

Źródła informacji o Wszechświecie, widmo fal elektromagnetycznych (zakresy, jednostki)

Teleskopy

Optyka: zasada Fermata, równanie zwierciadła, zastosowanie równań stożkowych, aberracje monochromatyczne. Teleskopy soczewkowe i zwierciadlane: układy soczewkowe, układy zwierciadlane i mieszane, rozwiązania nowoczesne (MMT, Keck, NTT, optyka adaptująca), systemy pozaoptyczne (rentgenowskie, radiowe, gamma), montaż, przegląd ciekawszych realizacji. Własności lunety i teleskopu: powiększenie, ilość światła, zdolność rozdzielcza, straty optyczne. Lokalizacja teleskopów: seeing, klimat, rozwiązania techniczne przy budowie obserwatoriów. Radioteleskopy: dipol Hertza (rozkład czułości, rozdzielczość), układy anten (interferometry, krzyż Millsa, VLA, VLBI), podstawowe własności radioteleskopów.

Odbiorniki promieniowania

Jednostki używane w astronomii, podstawowe własności oka, klisza fotograficzna, fotomnożnik (budowa, działanie, wzmocnienie, szumy), CCD, inne detektory optyczne (przetworniki elektronowo-optyczne, kamery TV, Reticon). Detektory podczerwieni, rentgenowskie i gamma. Detektory innych rodzajów promieniowania: promieni kosmicznych, neutronów, fal grawitacyjnych.

Fotometria

Filtry: szklane, interferencyjne i interferencyjno-polaryzacyjne, inne (Christiansena itp.), pozaoptyczne (UV, IR, X, radiowe). System UBV: definicja, absorpcja w atmosferze, metoda redukcji. Inne systemy fotometryczne: Stromgrena, Johnsona, genewski, wileński, DDO, DAO. Spektrofotometria (zastosowanie). Zastosowanie systemu UBV: analiza absorpcji międzygwiazdowej, poznawanie własności gwiazd, diagram HR, diagram dwukolorowy. Porównanie systemu Stromgrena z UBV. Poprawka bolometryczna.

Katalogi gwiazd

Klasyczne: pozycyjne, fotometryczne, specjalistyczne, gwiazd zmiennych. Nowoczesne: zastosowania, dystrybucja, sposoby uzyskania dostępu.

Spektroskopia

Spektrografy: pryzmat, pryzmat obiektywowy, siatki dyfrakcyjne (odbiciowe, przepuszczające, echelle), własności elementów dyspersyjnych, elementy pozaoptyczne. Budowa spektrografu: warunki działania spektrografu optymalnego, instrumenty pomocnicze (kalibracja, image slicer). Klasyfikacja widmowa gwiazd: system harwardzki, klasyfikacja Morgana i Keenana, klasyfikacja białych karłów Greensteina, obecność linii w widmach różnych gwiazd.

56A - Statystyka astronomiczna ((2W + 3Ć)/tydz. w piątym semestrze)

Doświadczenie losowe, zdarzenie elementarne, zdarzenie.
Zdarzenie pewne, niemożliwe, przeciwne. Zdarzenia wykluczające się.
Definicja aksjomatyczna prawdopodobieństwa.
Prawdopodobieństwo warunkowe, zdarzenia niezależne.
Prawdopodobieństwo całkowite, wzór Bayesa.
Definicja zmiennej losowej, dystrybuanta zmiennej losowej.
Zmienna losowa ciągła a zmienna losowa dyskretna.
Gęstość prawdopodobieństwa zmiennej losowej, związek z prawdopodobieństwem i dystrybuantą.
Zmienne losowe wielowymiarowe, zmienne losowe niezależne, brzegowa i warunkowa gęstość prawdopodobieństwa.
Funkcje zmiennych losowych, nadzieja matematyczna.
Wartość średnia, dyspersja, macierz kowariancji, momenty.
Współczynnik korelacji. Zmienne losowe nieskorelowane a niezależne.
Zamiana zmiennych. Transformacja gęstości prawdopodobieństwa i macierzy kowariancji.
Funkcja charakterystyczna i tworząca. Ich związek z momentami. Funkcja charakterystyczna i tworząca sumy zmiennych losowych.
Nierówność Czebyszewa, nierówność Bienayme-Czebyszewa.
Rozkład dwumianowy. Twierdzenie o związku prawdopodobieństwa z częstością obserwowaną.
Rozkład Poissona.
Rozkład wielomianowy.
Wielowymiarowy rozkład normalny.
Rozkład chi-kwadrat.
Próba losowa, statystyki. Statystyki dostateczne.
Estymatory (nieobciążone, zgodne, dostateczne).
Metoda konstrukcji estymatorów: metoda momentów, metoda maksymalnej wiarygodności.
Nierówność Cramera-Rao. Estymatory o minimalnej dyspersji.
Metoda najmniejszych kwadratów.
Testowanie hipotez. Hipoteza prosta, złożona. Poziom ufności. Obszar krytyczny i obszar akceptacji. Błąd pierwszego i drugiego rodzaju.
Hipoteza zerowa i alternatywna. Krzywa mocy testu. Testy nieobciążone, najmocniejsze, zgodne. Twierdzenie Neymana-Pearsona.
Testy dobroci dopasowania: test ilorazu wiarygodności, test chi-kwadrat, test Kołmogorowa-Smirnowa.
Procesy stochastyczne. Procesy Markowa.
Statystyka w niektórych zagadnieniach astronomicznych.

62 - Elektrodynamika (3W +3Ć/tydz. w szóstym semestrze)

1. **Podstawy elektrodynamiki klasycznej:** Ładunek elektryczny, gęstość ładunku i gęstość prądu. Równanie ciągłości (zasada zachowania ładunku elektrycznego). Siła Lorentza, pole elektryczne \mathbf{E} i pole magnetyczne \mathbf{B} . Równania Maxwella. Energia pola elektromagnetycznego, wektor Poyntinga, zasada zachowania energii. Potencjały skalarny i wektorowy pola elektromagnetycznego. Cechowanie potencjałów. Równania Poissona i d'Alemberta.
2. **Elektrostatyka mikroskopowa:** Prawo Coulomba, całka Poissona. Rozwinięcie multipolowe potencjału elektrostatycznego. Twierdzenie Earnshowa. Zagadnienia brzegowe Dirichleta i Neumanna. Wzory Greena i funkcje Greena. Metoda obrazów. Metody rozwiązywania równania Poissona.
3. **Elektrodynamika mikroskopowa (ładunków w ruchu):** Zagadnienie początkowe Cauchy'ego. Ogólne rozwiązanie niejednorodnego równania falowego przy zadanych warunkach początkowych i brzegowych. Efekty włączeniowe. Potencjały opóźnione. Potencjały Liénarda-Wiecherta. Uogólnione prawa Coulomba i Biota-Savarta. Potencjały i pola kwazistatyczne i promieniowania. Rozwinięcie multipolowe dla potencjałów. Zjawisko promieniowania.
4. **Podstawy elektrodynamiki makroskopowej:** Makroskopowe pole elektromagnetyczne. Makroskopowa gęstość ładunku. Polaryzacja elektryczna ośrodka materialnego, pole \mathbf{D} . Makroskopowa gęstość prądu. Magnetyzacja ośrodka, pole \mathbf{H} . Makroskopowe równania Maxwella. Warunki graniczne na powierzchniach nieciągłości. Równania materiałowe ośrodka. Przewodniki i dielektryki. Diamagnetyki i paramagnetyki. Makroskopowe równanie energii.
5. **Fale elektromagnetyczne:** Monochromatyczna fala płaska. Polaryzacja fali. Transport energii w fali. Fale w dielektrykach. Odbicie i załamanie na granicy ośrodków. Zjawisko dyspersji i tłumienia fali. Fale w ośrodkach przewodzących. Fale w skończonej przestrzeni. Dyfrakcja. Falowody i rezonatory.
6. **Formalizm relatywistyczny:** Czterosiła Lorentza. Czterotensor pola elektromagnetycznego. Czteropotencjały. Transformacje Lorentza pól i potencjałów. Niezmienniki pola elektromagnetycznego. Związek z formalizmem trójwymiarowym.

65A – Astrofizyka ogólna (3W +3Ć/tydz. w szóstym semestrze)

Pole promieniowania. Natężenie, strumień, ciśnienie, gęstość. Ciało doskonale czarne i promieniowanie wnekowe. Prawo Kirchhoffa. Jasność Eddingtona.

Gaz atomowy. Równanie stanu, pierwsza zasada termodynamiki, przemiany gazowe. Gaz fotonowy. Rozkłady Boltzmanna i Maxwella. Formuła Sahy, równowaga jonizacyjna. Mieszanina gazów, zależność między ciśnieniem całkowitym i elektronowym. Równowaga termodynamiczna. Temperatura. Gaz zdegenerowany. Gaz częściowo zjonizowany.

Oddziaływanie promieniowania z materią. Przekrój czynny. Makroskopowe współczynniki absorpcji i emisji. Równanie transportu (transferu) promieniowania. Procesy atomowe absorpcji i emisji. Linie widmowe: profil naturalny linii, profil dopplerowski, profil Voigta. Współczynniki Einsteina. Siła oscylatora i jej wyznaczenie. Absorpcja ciągła.

Transport energii w gwiazdach. Równowaga promienista i konwektywna. Przybliżenie dyfuzyjne. Warunek równowagi konwektywnej.

Pulsacje gwiazd. Równanie pulsacyjne. Stała pulsacji. Mechanizm pulsacji. Pasy niestabilności pulsacyjnej na diagramie Hertzsprunga-Russela. Typy gwiazd pulsujących.

63A – Pracownia licencjacka

Indywidualna praca z opiekunem pracy licencjackiej.

64 A– Proseminarium licencjackie

Celem proseminarium jest przygotowanie studentów do samodzielnego prezentowania wyników naukowych.