

## **Studia Fizyki Stosowanej**

I stopnia w Uniwersytecie Jagiellońskim

### **Sylwetka absolwenta**

Absolwent zdobywa wiedzę ogólną z zakresu nauk matematyczno-fizycznych, zapewniającą umiejętność sprawnej interpretacji zjawisk i procesów naturalnych oraz ich opisu w języku nauki (w szczególności w języku matematyki). Umie zdobywać, systematyzować i przetwarzać informacje. Zna język angielski na poziomie sprawnej komunikacji oraz potrafi posługiwać się specjalistycznym językiem angielskim w zakresie nauk fizycznych. Absolwent posiada wiedzę w zakresie ilościowych pomiarów: potrafi zaplanować pomiar, przeprowadzić analizę statystyczną wyników oraz podać ich interpretację. Posługuje się metodami statystycznymi na poziomie, który umożliwia badanie korelacji pomiędzy zjawiskami i ich ilościowy opis. W procesach analizy i interpretacji danych potrafi wykorzystywać standardowe pakiety programistyczne, jak i tworzyć własne procedury, także w językach programowania wysokiego poziomu. Absolwent nabywa bazowe umiejętności obsługi prostej aparatury pomiarowej. Jest przygotowany do pracy w laboratoriach badawczych, a nabyte umiejętności wykorzystać może nie tylko w naukach ścisłych i technicznych, ale także ekonomicznych i społecznych. Absolwent ma możliwość uzyskania pogłębionej wiedzy z zakresu narzędzi informatycznych wykorzystywanych w pracy laboratoryjnej lub zdobycia umiejętności potrzebnych do uzyskania uprawnień w zakresie nauczania przyrody i/lub fizyki.

**Plan studiów****I rok****Semestr 1**

Nazwa kursu	O/K/F	Zaliczenie	W	Ćw.	ETCS
Podstawy matematyki – zajęcia wyrównawcze	O <sup>(*)</sup>	Zaliczenie		30	2
Podstawy fizyki – zajęcia wyrównawcze	O <sup>(*)</sup>	Zaliczenie		45	3
Wstęp do metod rachunkowych fizyki	O	Egzamin	60	30	8
I Pracownia Fizyczna A	O	Zaliczenie		60	5
Narzędzia obliczeniowe fizyki	O	Zaliczenie	15	45	5
Język C	O	Egzamin	30	30	5
Umiejętności praktyczne	K	Zaliczenie		30	3
WF	K	Zaliczenie		30	1
			105	300	32
			405		

Język C: Kurs realizowany wspólnie z kierunkiem Informatyka Stosowana. Kod przedmiotu: WFAIS.IF-C118.0

<sup>(\*)</sup> Patrz uwaga pod opisem obu przedmiotów.

**Semestr 2**

Nazwa kursu	O/K/F	Zaliczenie	W	Ćw.	ETCS
Matematyka I	O	Egzamin	60	45	8
Mechanika i ciepło	O	Egzamin	60	45	8
I Pracownia Fizyczna B	O	Zaliczenie		60	5
Przedmiot do wyboru <sup>(1)</sup>	O	Egzamin			
Wykład humanistyczny	K				
WF	K	Zaliczenie		30	1
			120	180	22
			300		

<sup>(1)</sup> Jeden lub dwa spośród przedmiotów z tabeli poniżej.

Nazwa kursu	Zaliczenie	W	Ćw.	ETCS
Język C <sup>++</sup>	Egzamin	30	30	5
Podstawy geografii dla przyrodników	Egzamin	30		3

Język C<sup>++</sup>: kurs realizowany wspólnie z kierunkiem Informatyka Stosowana (kod przedmiotu: WFAIS.IF-C119.0)

**II rok****Semestr 3**

Nazwa kursu	O/K/F	Zaliczenie	W	Ćw.	ETCS
Matematyka II	O	Egzamin	60	45	8
Elektryczność i magnetyzm	O	Egzamin	60	30	7
Mechanika klasyczna z elementami fizyki statystycznej	O	Egzamin	60	30	7
Przedmiot do wyboru <sup>(2)</sup>	O				
			180	105	22
			285		

<sup>(2)</sup> Nie mniej niż dwa spośród przedmiotów z tabeli poniżej.

Nazwa kursu	Zaliczenie	W	Ćw.	ETCS
Język Java	Egzamin	30	30	5
Wstęp do metod numerycznych	Egzamin	30	30	6
Elektronika	Egzamin	30		3
Podstawy chemii	Zal. na ocenę	15	15	2

Dwa pierwsze przedmioty realizowane wspólnie z kierunkiem Informatyka Stosowana. Kody: WFAIS.IF-K215 (Język Java) oraz WFAIS.IF-K111.0 (Wstęp do metod numerycznych). Cztery z przedmiotów oferowany jest na Wydziale Chemii

**Semestr 4**

Nazwa kursu	O/K/F	Zaliczenie	W	Ćw.	ETCS
Optyka z elementami fizyki kwantowej	O	Egzamin	60	30	7
Mechanika kwantowa	O	Egzamin	45	45	7
Fizyka ośrodków ciągłych	O	Egzamin	30	15	4
Język angielski	O	Zaliczenie		60	2
Przedmiot do wyboru <sup>(3)</sup>	O				
			135	150	20
			285		

<sup>(3)</sup> Nie mniej niż dwa spośród przedmiotów z tabeli poniżej.

Systemy pomiarowo-kontrolne		Egzamin	30	30	6
Systemy czasu rzeczywistego		Egzamin	30	30	6
Rekonfigurowalne układy FPGA		Egzamin	30	30	6
Pracownia elektroniczna		Zaliczenie		60	4
Biologia dla przyrodników		Zal. na ocenę		30	2

Trzy pierwsze przedmioty realizowane wspólnie z kierunkiem Informatyka Stosowana.

**III rok****Semestr 5**

Nazwa kursu	O/K/F	Zaliczenie	W	Ćw.	ETCS
Praktyka (po drugim roku)	O	Zaliczenie			3
Fizyka materii skondensowanej	O	Egzamin	30	15	4
Fizyka subatomowa	O	Egzamin	45	30	6
Statystyczne metody opracowania danych	O	Egzamin	30	30	4
II Pracownia Fizyczna	O	Zaliczenie		90	6
Język angielski	O	Egzamin		60	3
Wykład z dziedziny pobocznej	K	Egzamin			
Wykład fakultatywny <sup>(*)</sup>	K	Egzamin			
			105	225	26
			330		

<sup>(\*)</sup> Z listy wykładów fakultatywnych oferowanych na WFAIS

**Semestr 6**

Nazwa kursu	O/K/F	Zaliczenie	W	Ćw.	ETCS
Fizyka atomowa	O	Egzamin	30	15	4
Komputerowe modelowanie układów złożonych	O	Egzamin	30	30	4
Seminarium	O	Zaliczenie		30	3
Wykład fakultatywny <sup>(*)</sup>	K	Egzamin			
Pracownia licencjacka	O	Zaliczenie		120	8
Egzamin dyplomowy	O	Egzamin			8
			60	195	27
			255		

<sup>(\*)</sup> Z listy wykładów fakultatywnych oferowanych na WFAIS

## Opis przedmiotów

### Podstawy matematyki – zajęcia wyrównawcze

1. Liczby wymierne i rzeczywiste, operacje algebraiczne, działania na ułamkach zwyczajnych.
2. Równania i nierówności liniowe, kwadratowe, rozwiązywanie układów równań liniowych metodą podstawienia.
3. Geometria planarna z elementami stereometrii
4. Geometria analityczna
5. Wektory na płaszczyźnie i w przestrzeni trójwymiarowej.
6. Funkcje: dziedzina, przeciwdziedzina, wykres, funkcja odwrotna.
7. Funkcje elementarne: liniowa, kwadratowa, wielomiany, funkcje wymierne, funkcja potęgowa, wykładnicza, funkcja logarytmiczna – definicje, wykresy, podstawowe własności.
8. Funkcje trygonometryczne
9. Kombinatoryka i prawdopodobieństwo.
10. Podstawowe pojęcia logiczne: zdanie, spójniki logiczne, tautologia, kwantyfikatory.
11. Dowody indukcyjne – pojęcie, przykłady.
12. Dowodzenie metodą „nie wprost”.

### Podstawy fizyki – zajęcia wyrównawcze

1. Układ odniesienia i ruch jednowymiarowy.
2. Ruch po okręgu.
3. Zasady dynamiki Newtona.
4. Środek masy, pęd, energia.
5. Kinematyka i dynamika ruchu harmonicznego.
6. Dynamika ruchu obrotowego.
7. Przepływ prądu elektrycznego.
8. Pojemność elektryczna, kondensatory, obwód RC.
9. Optyka geometryczna, soczewki, pryzmat.
10. Gaz doskonały.
11. Zasady termodynamiki, kalorymetr.

Zajęcia z Podstaw matematyki i Podstaw fizyki mają za zadanie powtórzenie i uzupełnienie wiedzy z zakresu szkoły średniej. Dodatkowo, rolą Podstaw fizyki jest pomóc w przygotowaniu się od strony merytorycznej do zajęć w I Pracowni Fizycznej.

Obydwa z wymienionych kursów rozpoczynają się testem, obowiązkowym dla wszystkich studentów specjalności.

Student, który zaliczył test z fizyki zyskuje możliwość realizowania **jednej z trzech** „ścieżek”:

- I. Podstawy fizyki – zajęcia wyrównawcze, Mechanika i ciepło (łącznie: 11 ETCS),
- II. Podstawy Fizyki: Mechanika MS i Podstawy Fizyki: Termodynamika MS (łącznie: 10 ETCS)
- III. Podstawy Fizyki: Mechanika MT i Podstawy Fizyki: Termodynamika MT (łącznie: 14 ETCS)

Student, który zaliczył test z matematyki zyskuje możliwość realizowania **jednej z trzech** „ścieżek”:

- I. Podstawy matematyki – zajęcia wyrównawcze, Wstęp do metod rachunkowych fizyki, Matematyka I, Matematyka II (łącznie 26 ETCS)
- II. Analiza matematyczna I MS, Wstęp do metod rachunkowych fizyki, Analiza Matematyczna II MS oraz Algebra z geometrią MS (łącznie: 25 ETCS)
- III. Analiza matematyczna I MT, Analiza matematyczna II MT, Analiza matematyczna III MT, Algebra z geometrią MT, części 1 i 2 (łącznie: 35 ETCS)

Student, który nie zaliczył testu wstępnego jest zobowiązany do realizacji pierwszej ze ścieżek.

**Wstęp do metod rachunkowych fizyki**

1. Elementy algebry wektorów, rachunek wektorowy.
2. Układy współrzędnych i ich transformacje.
3. Rachunek prawdopodobieństwa (rozkłady prawdopodobieństwa i ich własności).
4. Ciągi i szeregi, granica ciągu.
5. Macierze i ich wyznaczniki (rozwiązywanie układów równań liniowych).
6. Pojęcie i podstawowe operacje na liczbach zespolonych.
7. Podstawy rachunku różniczkowego (pochodna funkcji, pochodna cząstkowa).
8. Pojęcie całki, metody obliczania całek nieoznaczonych.
9. Proste równania różniczkowe i ich rozwiązania.
10. Szereg Taylora i jego zastosowania.

*Ćwiczenia z Podstaw matematyki odbywają się w pierwszej części semestru, dwa razy w tygodniu. W tych samych terminach kontynuowane są ćwiczenia Metod rachunkowych fizyki w drugiej połowie semestru. Wykład Wstęp do metod rachunkowych fizyki trwa od początku semestru.*

**I Pracownia Fizyczna A i B (I i II semestr)**

1. Dwa lub trzy proste eksperymenty połączone ze wstępem ze statystycznych metod opracowania pomiarów oraz nauką pisemnej prezentacji wyników.
2. Kilka standardowych eksperymentów z obecnie istniejących zestawów, zgranych z tematyką Podstaw Fizyki, na przykład:
  - *Badanie drgań wahadła anharmonicznego.*
  - *Sprawdzanie praw ruchu obrotowego.*
  - *Wyznaczanie ciepła topnienia lodu.*
  - *Równanie stanu gazu doskonałego.*
  - *Temperaturowa zależność oporu przewodników.*
  - *Wyznaczanie pojemności kondensatora i zgromadzonego na nim ładunku.*
  - *Wyznaczanie ogniskowej oraz badanie wad soczewek przy użyciu ławy optycznej.*
  - *Badanie widm emisyjnych przy pomocy spektroskopu przyrmatycznego.*
  - *Badanie zależności prędkości dźwięku w wodnych roztworach NaCl.*
3. Dwa proste eksperymenty mające na celu zapoznanie się z aparaturą używaną potem w projektach studenckich.
4. Dwa projekty studenckie wykonywane w grupach: zaproponowanie eksperymentu, zestawienie aparatury, wykonanie, analiza i prezentacja wyników (raport pisemny i referat).

*W części podstawowej studenci powinni zostać wprowadzeni do metodyki pomiarów, zapoznać się z bardziej zaawansowaną aparaturą, nauczyć się metod analizy danych. Tematyka fizyczna tych ćwiczeń powinna obejmować wiedzę ze szkoły średniej oraz wiedzę zdobytą w I semestrze studiów. Ta część powinna obejmować 7-9 elementarnych doświadczeń z wszystkich działów fizyki.*

*W części zaawansowanej wykonywane będą bardziej zaawansowane doświadczenia prowadzące do wyznaczenia konkretnych wielkości fizycznych. Ta część powinna zawierać 8 ćwiczeń, niektóre z nich powinny być wspomagane przez komputerowe zbieranie danych.*

*Projekt studencki będzie miał na celu samodzielne zaprojektowanie doświadczenia i przeprowadzenie go w przeciagu 4 pracowni. Studenci będą pracować w grupach czteroosobowych. Do ich dyspozycji będzie prosta aparatura pomiarowa. Konieczne będzie przygotowanie tematyki projektów, które mogą zostać zrealizowane. Ułatwi to mniej zdolnym studentom przygotowanie własnego projektu. Pewna część studentów będzie mogła wykonywać dotychczasowe bardziej zaawansowane ćwiczenia. W każdym przypadku student będzie musiał samodzielnie zaplanować i przeprowadzić eksperyment. Na zakończenie student będzie przygotowywał krótką prezentację swojego projektu. Studenci powinni być zachęceni do wykonania własnego projektu, np. poprzez umieszczanie najbardziej oryginalnych projektów na stronie internetowej.*

**Narzędzia obliczeniowe fizyki**

*Szkic programu:* Celem przedmiotu jest zapoznanie studentów z oprogramowaniem używanym podczas opracowywania danych pomiarowych oraz programami do obliczeń symbolicznych. 75% zajęć (45 godzin) odbywa się na pracowni komputerowej, 25 % w sali wykładowej. Wykład obejmuje w szczególności podstawowe elementy rachunku prawdopodobieństwa i statystyki. Część poświęcona pakietowi „Mathematica” może być oparta o kurs prowadzony obecnie na Wydziale. Omawiane zagadnienia obejmują w szczególności:

1. Podstawy przetwarzania danych liczbowych
  - a. Jednostki miary i stałe fizyczne
  - b. Listy, listy danych pomiarowych
  - c. Wizualizacja danych
  - d. Statystyczne opracowanie danych
2. Podstawy programowania symbolicznego
  - a. Arytmetyka
  - b. Funkcje elementarne
  - c. Równania i nierówności
  - d. Układy równań liniowych, wielomiany, równania algebraiczne stopnia  $<5$ .
  - e. Numeryczne rozwiązywanie równań, równania przestępne, nierówności.
  - f. Manipulacje wyrażeniami algebraicznymi (podstawy)
3. Podstawy prezentacji i publikacji
  - a. Prezentacje żywe w języku Mathematica
  - b. Prezentacja tradycyjna (niezdolna do wykonywania rachunku)
  - c. Podstawy języka LaTeX

**Umiejętności praktyczne**

1. Techniki uczenia się i pozyskiwania informacji.
2. Prezentacja wyników, retoryka.
3. Dokumentowanie obserwacji i pomiarów.
4. Piśmiennictwo naukowe.
5. Ochrona własności intelektualnej.
6. Bezpieczeństwo, higiena pracy i ergonomia.
7. Organizacja pracy, planowanie.
8. Praca grupowa, współdziałanie.

**Matematyka I i II**

1. Liczby zespolone, pojęcie ciała liczbowego.
2. Wielomiany, grupy i pierścienie.
3. Przestrzenie wektorowe.
4. Macierze i działania na macierzach, wyznacznik, macierz odwrotna.
5. Układy równań liniowych.
6. Przestrzenie liniowe, odwzorowania liniowe.
7. Wektory i wartości własne macierzy, diagonalizacja macierzy.
8. Formy biliniowe i kwadratowe.
9. Przestrzenie z iloczynem skalarnym.
10. Sprzężenie hermitowskie, twierdzenia spektralne, formy kwadratowe na przestrzeni euklidesowej.
11. Tensory.
12. Ciągi i szeregi liczbowe.
13. Funkcje, funkcje ciągłe.
14. Rachunek różniczkowy funkcji jednej zmiennej.
15. Rachunek całkowy funkcji jednej zmiennej.
16. Ciągi i szeregi funkcyjne.
17. Równania różniczkowe o zmiennych rozdzielonych.

18. Równania różniczkowe liniowe.
19. Funkcje wielu zmiennych, pochodne cząstkowe, gradient, różniczka.
20. Całka Riemanna funkcji wielu zmiennych.
21. Całka krzywoliniowa i powierzchniowa.

### **Mechanika i ciepło**

1. Struktura materii, podstawowe oddziaływania.
2. Układ jednostek SI.
3. Opis ruchu (prostoliniowy, krzywoliniowy, po okręgu, harmoniczny).
4. Siła i masa bezwładna.
5. Zasady dynamiki Newtona.
6. Ruch pod wpływem różnych sił (stałej, sprężystości, tarcia).
7. Grawitacja, natężenie pola, potencjał.
8. Ruch w polu sił centralnych.
9. Praca i energia, prawo zachowania energii.
10. Prawo zachowania pędu, zderzenia, układ środka masy.
11. Moment siły, moment pędu i moment bezwładności.
12. Kinematyka i dynamika ruchu obrotowego.
13. Precesja swobodna i wymuszona, żyroskop.
14. Ruch harmoniczny, oscylator tłumiony i wymuszony, rezonans.
15. Ruch falowy, superpozycja fal, efekt Dopplera.
16. Mechanika płynów.
17. Ruch w układach nieinercjalnych.
18. Relatywistyczna zasada względności, transformacja Lorentza, dylatacja czasu, kontrakcja długości.
19. Dynamika relatywistyczna, pęd, siła, energia kinetyczna, równoważność masy i energii.
20. Układ termodynamiczny, stan termodynamiczny, parametry stanu, funkcja stanu, procesy termodynamiczne.
21. Równowaga termiczna, zerowa zasada termodynamiki, termometr gazowy.
22. Równanie stanu.
23. Gazy rzeczywiste.
24. Praca, energia wewnętrzna, ciepło, pierwsza zasada termodynamiki.
25. Pojemność cieplna, proces adiabatyczny.
26. Entropia, druga zasada termodynamiki, temperatura termodynamiczna.
27. Silniki cieplne.
28. Zmiana entropii w procesie nieodwracalnym.
29. Ciśnienie termodynamiczne, potencjał chemiczny.
30. Energia wewnętrzna i entropia jako różniczka zupełna, równanie Eulera.
31. Trzecia zasada termodynamiki.
32. Energia swobodna Helmholtza i Gibbsa.
33. Swobodne rozprężanie, proces Joule'a-Thomsona.
34. Warunki równowagi faz, równanie Clausiusa-Clapeyrona.
35. Skraplanie gazu van der Waalsa.
36. Układy wieloskładnikowe, reguła faz Gibbsa, ciśnienie osmotyczne.

### **Elektryczność i magnetyzm**

1. Elektrostatyka
2. Magnetostatyka
3. Elektrodynamika
4. Równania Maxwella.
5. Obwody.

*Powyżej podano jedynie grupy zagadnień. Szczegóły zgodne z aktualnym sylabusem tego przedmiotu, oferowanego obecnie na Wydziale.*



**Mechanika klasyczna z elementami fizyki statystycznej**

1. Równania Lagrange'a pierwszego i drugiego rodzaju, zasada najmniejszego działania.
2. Rachunek wariacyjny.
3. Symetrie i prawa zachowania.
4. Pędy kanonicznie sprzężone, hamiltonian, równania Hamiltona, nawiasy Poissona.
5. Małe drgania.
6. Dynamika bryły sztywnej
7. Podstawy nieliniowej dynamiki i pojęcie chaosu.
8. Podstawy fizyki statystycznej na przykładzie gazu doskonałego.
9. Zespoły statystyczne.
10. Statystyczna definicja wielkości termodynamicznych.
11. Statystyka Boltzmannna.
12. Wielki rozkład kanoniczny.
13. Fluktuacje.

**Optyka z elementami fizyki kwantowej**

1. Równanie falowe.
2. Nakładanie się fal.
3. Fotometria.
4. Propagacja.
5. Optyka geometryczna.
6. Interferencja.
7. Dyfrakcja.
8. Obrazowanie.
9. Polaryzacja.
10. Źródła światła.
11. Optyka nieliniowa.
12. Podstawy doświadczalne fizyki kwantowej.
13. Prawa promieniowania, zjawisko fotoelektryczne, efekt Comptona,
14. Dualizm korpuskularno-falowy,
15. Kwantowanie przestrzenne (Stern-Gerlach),
16. Dowody eksperymentalne na istnienie spinu.

**Mechanika kwantowa**

1. Postulaty mechaniki kwantowej.
2. Przestrzeń Hilberta, stany, operatory.
3. Zasady nieoznaczoności.
4. Równanie Schroedingera.
5. Oscylator harmoniczny.
6. Ruch w polu centralnym, moment pędu.
7. Spin.
8. Atom wodoru.
9. Metody przybliżone w mechanice kwantowej.
10. Rachunek zaburzeń dla stanów związanych.
11. Rachunek zaburzeń zależny od czasu, złota reguła Fermiego.
12. Teoria rozpraszania, przybliżenie Borna i metoda fal parcjalnych.

**Fizyka ośrodków ciągłych**

1. Gęstości i przepływy: ogólne podejście z przykładami
2. Równania materiałowe: ciecze, ciała stałe, przewodnictwo ciepła, dyfuzja, transport ładunku, efekty termoelektryczne
3. Teoria liniowej odpowiedzi: relacje dyspersji, fluktuacje i dyssypacja, relacje Onsagera

4. Przykłady: fale akustyczne, optyka kryształów, falowody, moduły sprężystości, analiza fourierska przewodnictwa cieplnego, metamateriały, efekt Halla, szum termiczny rezystorów, drgania

## II Pracownia fizyczna

Celem Pracowni jest zapoznanie studentów ze współczesnymi, zaawansowanymi metodami eksperymentalnymi stosowanymi w fizyce, metodami analizy wyników doświadczalnych oraz prowadzenia dokumentacji naukowej. Eksperymenty pozwalają na weryfikację praw fizyki w skomplikowanych doświadczeniach i zapoznają z metodami naukowymi.

Ćwiczenia wykonywane są indywidualnie lub w grupach dwuosobowych, co daje możliwość aktywnego uczestnictwa w kolejnych etapach eksperymentu: planowaniu, pomiarach i analizie danych.

Doświadczenia wykonywane przez studentów w IIPF w większości należą do następujących głównych grup tematycznych:

- fizyka atomowa
- fizyka materii skondensowanej
- fizyka miękkich faz
- fizyka jądrowa

### Fizyka materii skondensowanej

1. Struktura kryształu
2. Dyfrakcja na kryształach.
3. Wiązanie chemiczne w cząsteczkach i ciele stałym
4. Dynamika sieci krystalicznej.
5. Własności termiczne sieci krystalicznej.
6. Gaz swobodny elektronów.
7. Elektronowa struktura pasmowa kryształu
8. Dynamika elektronów w kryształach.
9. Kryształy półprzewodników.
10. Własności magnetyczne kryształów.
11. Nadprzewodnictwo.
12. Dielektryki.
13. Własności miękkiej materii.
14. Kryształy molekularne.
15. Nanostruktury.

### Fizyka subatomowa

1. Oddziaływanie silne i globalne własności jąder atomowych.
2. Rozpady promieniotwórcze i reakcje jądrowe.
3. Skutki biologiczne promieniowania jądrowego i podstawy ochrony radiologicznej.
4. Akceleratory i detekcja cząstek.
5. Medyczne zastosowania fizyki jądrowej:
  - wytwarzanie radioizotopów i radiofarmaceutyków,
  - terapia nowotworów promieniowaniem jądrowym,
  - tomografia magnetycznego rezonansu jądrowego,
  - radiacyjna sterylizacja przeszczepów.
6. Energetyka jądrowa i termojądrowa.
7. Promieniowanie kosmiczne. Synteza pierwiastków.
8. Własności cząstek elementarnych.
9. Symetrie ciągłe i dyskretne. Multiplety barionowe i mezonowe.
10. Kwarkowa struktura mezonów i barionów.
11. Kwarki, gluony i oddziaływanie silne.
12. Rodziny leptonowe i kwarkowe.
13. Fenomenologia oddziaływania słabego.
14. Model Standardowy.

**Statystyczne metody opracowania danych:**

1. Elementy rachunku prawdopodobieństwa:
  - a. rzeczywiste zmienne losowe;
  - b. podstawowe pojęcia: gęstość prawdopodobieństwa,
  - c. dystrybuanta, kwantyle, funkcja charakterystyczna;
  - d. podstawowe wielkości opisujące zmienną losową;
  - e. mediana, moda, średnia, wariancja, skośność, kurtoza, itd
2. Centralne twierdzenie graniczne;
  - a. rozkład normalny;
  - b. rozkłady ciężko-ogonowe;
  - c. statystyki ekstremalne;
3. Generowanie liczb losowych:
  - a. metoda odwrotnej dystrybuanty;
  - b. metoda von Neumana;
  - c. generowanie liczb gaussowskich metodą Boxa-Mullera;
4. Próbkę statystyczne:
  - a. wprowadzenie do teorii estymatorów;
  - b. estymatory średniej, wariancji, skośności, kurtozy
  - c. szacowanie błędów estymacji;
  - d. metoda największej wiarygodności;
5. Uniwersalne metody szacowania błędów estymacji:
  - a. metoda bootstrap;
  - b. metoda jack-knife;
6. Rozkłady wielowymiarowe:
  - a. wielowymiarowy rozkład normalny;
  - b. generowanie liczb pseudolosowych z wielowymiarowego rozkładu normalnego;
  - c. macierz kowariancji i macierz współczynników Pearsona;
  - d. analiza głównych składowych;
  - e. wprowadzenie do kopuł;
7. Autokorelacje:
  - a. funkcja autokorelacji;
  - b. czas autokorelacji;
  - c. modele regresji liniowej ARMA;
  - d. analiza fourierowska - widmo mocy;
  - e. wykładnik Hursta;
8. Fitowanie funkcji:
  - a. metoda najmniejszych kwadratów;
  - b. chi-kwadrat;
9. Test Kolmogorowa-Smirnowa
10. Analiza bayesowska:
  - a. wnioskowanie bayesowskie;
  - b. bayesowska teoria estymacji;
  - c. wybór prawdopodobieństwa zaczątkowego;
  - d. przykłady zastosowań.

**Fizyka atomowa**

1. Przypomnienie: model Bohra, liczby kwantowe.
2. Poziome energetyczne atomów wieloelektronowych, układ okresowy pierwiastków.
3. Struktura subtelna.
4. Podstawy modelu wektorowego.
5. Magnetyzm atomowy.
6. Struktura nadsubtelna, efekt izotopowy, efekt Starka
7. Struktura poziomów energetycznych i widma cząsteczek.

8. Oddziaływanie atomów z polem elektromagnetycznym.
9. Klasyczne metody spektroskopii. Pompowanie optyczne.
10. Spektroskopia laserowa.
11. Chłodzenie i pułapkowanie atomów i jonów.

#### **Komputerowe modelowanie układów złożonych**

1. Rozkłady prawdopodobieństw oraz pojęcie entropii prawdopodobieństwa; zasada maksimum entropii.
2. Wybrane zagadnienia z fizyki statystycznej.
3. Błądzenie przypadkowe; równanie Laplace'a jako zagadnienie błędzenia przypadkowego; zastosowanie do polimerów; realizacja dowolnego rozkładu prawdopodobieństwa jako procesu Markowa.
4. Całkowanie numeryczne i metody Monte Carlo: Centralne Twierdzenie Graniczne i jego konsekwencje; całkowanie w jednym i wielu wymiarach; analiza błędów, metoda Metropolisa.
5. Symulacje Monte Carlo w rozkładzie kanonicznym, weryfikacja rozkładu Boltzmanna; symulacje modelu Isinga; symulacje cieczy prostych; sprzężone oscylatory; analiza danych; symulacje z więzami; metoda powolnego chłodzenia w zagadnieniu szukania globalnego minimum funkcji bardzo wielu zmiennych.
6. Ruch chaotyczny układów dynamicznych: proste jednowymiarowe mapy; uniwersalność i samo-podobieństwo; „pomiar” i kontrola chaosu; modele wielowymiarowe; chaos w układach hamiltonowskich.
7. Algorytm Eulera: dokładność i stabilność; przykłady: ruch harmoniczny i anharmoniczny; numeryczne całkowanie równań Newtona.
8. Dynamika w układzie wielu cząstek; potencjał oddziaływania, stabilne algorytmy numeryczne; warunki brzegowe.
9. Dynamika molekularna w układzie mikrokanonicznym – kompletny program; radialna funkcja rozkładu; sztywne dyski i potencjał Lenarda-Jonesa; bardziej złożone algorytmy w przypadku symulacji z więzami.
10. Problem perkolacji: próg perkolacji, numeracja klastrów; wykładniki krytyczne; problem skończonego wymiaru układu; numeryczna grupa renormalizacji.
11. Fraktale: wymiar fraktalny, proces agregacji; fraktale i chaos.
12. Złożoność: automaty komórkowe; sieci neuronowe; algorytmy genetyczne.
13. Układy kwantowe: równanie Schrödingera; kwantowe Monte Carlo jako błędzenie przypadkowe (dyfuzja).

#### **Pracownia licencjacka**

Indywidualna lub grupowa praca studentów pod kierunkiem nauczyciela akademickiego w VI semestrze studiów. Przyznane za przedmiot 8 pkt. ECTS oznacza 120 godzin pracy w laboratorium lub pracowni IFUJ (średnio 8 godzin tygodniowo) oraz, dodatkowo, 120 godzin pracy domowej.

#### **Egzamin licencjacki**

Lista 45 pytań obejmująca zagadnienia z sześciu umieszczonych w programie, obowiązkowych kursów fizyki doświadczalnej i trzech kursów fizyki teoretycznej (po pięć pytań z każdego kursu). Lista pytań przygotowana i ogłoszona w podobnym trybie jak opisy poszczególnych kursów.