

# STUDIA I STOPNIA NA MAKROKIERUNKU INŻYNIERIA NANOSTRUKTUR UW

## 1. CHARAKTERYSTYKA STUDIÓW

Studia stacjonarne pierwszego stopnia na makrokierunku *Inżynieria nanostruktur* na Wydziale Fizyki i Wydziale Chemii UW trwają trzy lata i kończą się nadaniem tytułu licencjata (licencjat akademicki).  
Jednostka prowadząca – Wydział Fizyki UW

## 2. SYLWETKA ABSOLWENTA

Po 3 latach studiów licencjackich absolwent makrokierunku "Inżynieria Nanostruktur" będzie przygotowany do kontynuowania nauki na studiach magisterskich II stopnia makrokierunku "Inżynieria Nanostruktur" na specjalnościach *Fizykochemia materii miękkiej, Fotonika, Modelowanie nanostruktur i nowych materiałów, Nanotechnologie i charakteryzacja nowych materiałów*; na kierunku fizyka (specjalności: fizyka ciała stałego, optyka kwantowa, rentgenowskie badania strukturalne, metody jądrowe fizyki ciała stałego, modelowanie matematyczne i komputerowe procesów fizycznych itp.) oraz na kierunku chemia (specjalności: chemia fizyczna i chemia teoretyczna, krystalografia, spektroskopia itp).

Absolwent studiów I stopnia powinien móc znaleźć pracę w przemyśle chemicznym, farmaceutycznym, elektronicznym i optoelektronicznym, związanym z inżynierią materiałową (motoryzacja, maszyny, metalurgia, biomateriały, tworzywa sztuczne itp.) itp.. Firmy zainteresowane absolwentami (możliwe staże): firmy sektora *hi-tech*: ToPGaN, Ammono, Vigo System; instytuty naukowe ITME, ITE, Instytut Wysokich Ciśnień PAN, Instytut Fizyki PAN i inne.

Absolwent studiów pierwszego stopnia powinien:

- być dobrze przygotowany do kontynuowania studiów drugiego stopnia, posiadać obszerną wiedzę w dziedzinie fizyki, chemii i matematyki oraz technologii i inżynierii nanomateriałów, jak również umiejętność twórczego jej wykorzystania,
- być przygotowany do ustawicznego samokształcenia,
- być przygotowany do pracy w zespole badawczym,
- potrafić zastosować ścisłe metody obliczeniowe do opisu stanu układu,
- posiadać umiejętność sprawnego posługiwania się przyrządami pomiarowymi: mechanicznymi, optycznymi, elektrycznymi i elektronicznymi,
- umieć zaprojektować, zestawić i zastosować układ pomiarowy,
- potrafić samodzielnie analizować i rozwiązywać złożone problemy, również spoza dziedziny fizyki i chemii
- 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.
- umieć przewidzieć podstawowe właściwości substancji na podstawie ich budowy chemicznej oraz struktury (kryształy, struktury niskowymiarowe, substancje amorficzne, polimery),
- potrafić zaproponować metodę otrzymywania substancji chemicznej w oparciu o wiedzę chemiczną i przy wykorzystaniu dostępnej literatury oraz baz danych literaturowych, jak również posiadać wiedzę na temat podstawowych metod rozdzielania substancji chemicznych,
- umieć uzyskać informację na temat budowy związku chemicznego na podstawie danych analitycznych (spektroskopowych, spektrometrycznych, mikroskopowych).

### 3. PLAN STUDIÓW

Oznaczenia stosowane w tabelach: W – wykład, Ć – ćwiczenia, L – laboratorium, USOS – Uniwersytecki System Obsługi Studiów, ECTS - Europejski System Transferu Punktów (ang. European Credit Transfer System).

#### WAKACYJNE ZAJĘCIA PRZYGOTOWAWCZE Sesja wyjazdowa sierpień-wrzesień

Nazwa przedmiotu	kod w USOS	Godziny zajęć w tygodniu	Forma zaliczenia	ECTS
Matematyka (30 h)				
Fizyka (25 h)				
Chemia (30 h)				

#### 1 SEMESTR

Nazwa przedmiotu	kod w USOS	Godziny zajęć w tygodniu	Forma zaliczenia	ECTS
Rachunek różniczkowy i całkowity (180 h)	1100-1INZ02	6W+6Ć	egzamin	12
Algebra z geometrią (60 h)	1100-1INZ04	2W+2Ć	egzamin	5
Wstęp do fizyki IN1 (15 h)	1100-1INZ13	1W	zaliczenie na ocenę	1
Chemia organiczna z elementami biochemii, wykład (30 h)	1200-1INZ11w	2W	egzamin	2,5
Chemia organiczna z elementami biochemii, laboratorium (90 h)	1200-1INZ11l	6L	zaliczenie na ocenę	7,5
Język obcy (60 h)		4	zaliczenie na ocenę	2
BHP w laboratorium oraz ergonomia	1100-1#BHP 0000-BHP-OG		zaliczenie na ocenę	0,5
Podstawy ochrony własności intelektualnej	1100-1#POWI		zaliczenie na ocenę	0,5
Wychowanie fizyczne (30 h)		2Ć		

Warunkiem zachowania praw studenckich po I semestrze jest:

- a) uzyskanie w I semestrze minimum 13 punktów ECTS  
oraz
- b) zaliczenie zajęć z zakresu ochrony własności intelektualnej, bezpieczeństwa i higieny pracy oraz ergonomii.

## 2 SEMESTR

Nazwa przedmiotu	kod w USOS	Godziny zajęć w tygodniu	Forma zaliczenia	ECTS
Analiza (135 h)	1100-1INZ21	5W+4Ć	egzamin	10
Mechanika i szczególna teoria względności (105 h)	1100-1INZ22	4W(w tym pokazy)+3Ć	egzamin	8
Pracownia analizy danych (15 h)	1100-1INZ23	6W+9L w semestrze	zaliczenie na ocenę	1
Chemia nieorganiczna z elementami syntezy nieorganicznej, wykład (30 h)	1200-1INZ24W	30W	egzamin	3
Chemia nieorganiczna z elementami syntezy nieorganicznej, laboratorium (60 h)	1200-1INZ24L	60L	egzamin	5
Wstęp do fizyki IN2 (15 h)		1W	zaliczenie na ocenę	1
Język obcy (60 h)		4	zaliczenie na ocenę	2
Zajęcia ogólnouniwersyteckie (30 h)		2	zaliczenie na ocenę	1
Wychowanie fizyczne (30 h)		2Ć		

Warunkowe zaliczenie I roku jest możliwe w przypadku uzyskania ze wszystkich zaliczonych w ciągu całego roku przedmiotów co najmniej 40 ECTS

## 3 SEMESTR

Nazwa przedmiotu	kod w USOS	Godziny zajęć w tygodniu	Forma zaliczenia	ECTS
Elektrodynamika (120 h)	1100-2INZ12	4W(w tym pokazy)+4Ć	egzamin	10
Chemia fizyczna, wykład (30 h)	1200-2INZ03w	2W	egzamin	2
Chemia fizyczna, ćwiczenia (30 h)	1200-2INZ03c	2Ć	zaliczenie na ocenę	2
Chemia fizyczna, laboratorium (60 h)	1200-2INZ03l	4L	zaliczenie na ocenę	5
Wstęp do fizyki IN3 (15 h)		1W	zaliczenie na ocenę	1
Programowanie i metody numeryczne (90 h)	1100-2INZ03	2W+4Ć	zaliczenie na ocenę	6
Pracownia fizyczna i elektroniczna IN (45 h)	1100-2INZ04	3L	zaliczenie na ocenę	5
Wychowanie fizyczne (30 h)		2Ć		

#### 4 SEMESTR

Nazwa przedmiotu	kod w USOS	Godziny zajęć w tygodniu	Forma zaliczenia	ECTS
Mechanika i chemia kwantowa z elementami spektroskopii molekularnej (120 h)	1200-2INZ21	4W+4Ć	egzamin	11
Techniki pomiarowe w nanotechnologii (30 h)	1100-2INZ23	2W	egzamin	2
Pracownia technik pomiarowych w nanotechnologii (90 h)	1200-2INZ22	6L	zaliczenie na ocenę	7
Krystalografia z elementami teorii grup (45 h)	1200-2INZ24	1W+2Ć	egzamin	3
Analiza instrumentalna (45 h)	1200-2INZ25	1W+2L	egzamin	3
Wychowanie fizyczne (30 h)		2Ć		
Egzamin certyfikacyjny z języka obcego			egzamin	2
Zajęcia ogólnouniwersyteckie (30 h)		2	zaliczenie na ocenę	2

#### 5 SEMESTR

Nazwa przedmiotu	kod w USOS	Godziny zajęć w tygodniu	Forma zaliczenia	ECTS
Elementy termodynamiki i fizyki statystycznej (60 h)	1100-3INZ11	2W+2Ć	egzamin	5
Modelowanie nanostruktur (75 h)	1100-3INZ12	2W+3Ć	zaliczenie na ocenę	6
Fizyka materii skondensowanej (75 h)	1100-3INZ13	3W+2Ć	egzamin	6
Fotonika (75 h)	1100-3INZ14	3W+2Ć	egzamin	6
Technologie i projektowanie nowych materiałów (90 h)	1100-3INZ15	2W+4L	zaliczenie na ocenę	6

## 6 SEMESTR

<b>Nazwa przedmiotu</b>	<b>kod w USOS</b>	<b>Godziny zajęć w tygodniu</b>	<b>Forma zaliczenia</b>	<b>ECTS</b>
Praktyki studenckie (po 2 roku studiów)	1100-3INZ21			2
Pracownia licencjacka + wykonanie pracy (170 h)	1100-3INZ22	170L w semestrze	zaliczenie na ocenę	17
Seminarium licencjackie (30 h)	1100-3INZ24	2Ć	zaliczenie na ocenę	2
Zajęcia do wyboru – zajęcia ogólnouniwersyteckie (60 h)		4		5
Zajęcia do wyboru (z załączonej listy) 2 x 30 h (60 h)		4		4

LISTA PRZEDMIOTÓW DO WYBORU

Nazwa przedmiotu	kod w USOS	Godziny zajęć w tygodniu	Forma zaliczenia	ECTS
Samorganizacja Molekularna (15 h)		1W	egzamin	2
Ultraszybkie procesy w nanostrukturach w spektroskopii femtosekundowej. (30 h)		2W	egzamin	2
Fizyka półprzewodników (30 h)		2W	egzamin	2
Metody badania powierzchni ciał stałych oparte na analizie widm oscylacyjnych (30 h)		2W	egzamin	2
Plazmonika (30 h)		2W	egzamin	2
Magnetyczne właściwości materii (30 h)		2W	egzamin	2
Metody badawcze magnetyzmu (30 h)		2W	egzamin	2
Teoria struktury elektronowej układów o 1- i 2-wymiarowej periodyczności (30 h)		2W	egzamin	2
Ciekłe kryształy i polimery (30 h)		2W	egzamin	2
Polimery przewodzące – synteza, właściwości i zastosowania (30 h)		2W	egzamin	2
Trendy, Innowacje i własność intelektualna (30 h)		2W	zaliczenie na ocenę	2
Pracownia wykorzystania zasobów internetowych (30 h)		2W	zaliczenie na ocenę	2
Nanostruktury węglowe (30 h)		2W	egzamin	2
Chemia strukturalna (30 h)		2W	egzamin	2
Physical Foundations of Nanotechnology - Nanospintronics (30 h)		2W	egzamin	2
Technologia chemiczna nanomateriałów (60 h)		2W+2L	egzamin	4
Symulacje komputerowe w fizyce (75 h)	1100-3`SKwF	2W+3Ć	egzamin	6

**UWAGA:** liczba godzin podana dla przedmiotów podstawowych i kierunkowych. Orientacyjne godziny przedmiotów dodatkowych podano w nawiasach.

Na studiach licencjackich praktyki powinny trwać nie krócej niż 3 tygodnie. Szczegółowy plan praktyk będzie zgodny z zasadami praktyk studenckich na Wydziale Fizyki lub Wydziale Chemii.

## SYLABUSY

### Wakacyjne zajęcia przygotowawcze: Fizyka (60 h)

*Treści kształcenia:* Odległość. Przesunięcie. Droga. Układ odniesienia. Czas. Szybkość procesu. Prędkość średnia, chwilowa. Ruch jednostajny prostoliniowy. Przyspieszenie. Ruch niejednostajny prostoliniowy. Ruch płaski. Ruch po okręgu. Względność ruchu. Złożenie ruchu postępowego i obrotowego. Siła. I i III zasada dynamiki. Siła ciężkości. Siły reakcji. Siła wypadkowa, równoważąca. Moment siły. Siły równoważne. Środek ciężkości, masy. II zasada dynamiki. Pęd. Tarcie kinetyczne. Siła grawitacji, ruch po orbicie kołowej. Siły pozorne. Bryła sztywne. Moment pędu. Energia

mechaniczna, potencjalna, kinetyczna. Praca. Zderzenia. Ciśnienie. Temperatura. Energia wewnętrzna. Równanie Clapeyrona. Mikroskopowa interpretacja ciśnienia i temperatury. Prawo Archimedesza. Prawo Coulomba. Prawo Gaussa. Przewodniki. Potencjał. Kondensatory próżniowe. Stały prąd elektryczny. Prawo Ohma. Prawa Kirchhoffa. Definicja ampera. Siła Lorentza. Ruch przewodnika w polu magnetycznym. Prądnicą. Prawo Hook'a. Energia potencjalna sprężyny. Ruch harmoniczny. Fale. Przenoszenie energii. Odbicie. Efekt Dopplera dla fal dźwiękowych. Optyka geometryczna. Zwierciadło płaskie, sferyczne. Załamanie, soczewki, przyrządy optyczne. Interferencja. Prawo rozpadu..

*Efekty kształcenia – umiejętności i kompetencje:* Celem zajęć jest przypomnienie i usystematyzowanie wiedzy studentów wyniesionej ze szkoły średniej (fizyka - poziom rozszerzony), a także nauczenie metodologii rozwiązywania prostych problemów fizycznych. Opanowanie prezentowanych zagadnień ułatwi studentowi efektywne korzystanie z kolejnych wykładów cyklu 'Fizyka'. Na ćwiczeniach będą dyskutowane i rozwiązywane zadania dotyczące prostych problemów fizycznych (usystematyzowanie wiedzy na poziomie szkoły średniej), których treść - razem z odnośnikami do polecanych podręczników - zostanie wcześniej udostępniona studentom. Proponowane będą również eksperymenty do samodzielnego wykonania. Warsztaty zapewnią możliwość dodatkowej dyskusji o fizyce.

### **Wakacyjne zajęcia przygotowawcze: Matematyka (78 h)**

*Treści kształcenia:* Elementy logiki, indukcja matematyczna, liczby wymierne i niewymierne, liczby rzeczywiste, dwumian Newtona. Funkcje liniowe i kwadratowe, wartość bezwzględna. Wielomiany, przekształcanie wyrażeń wymiernych. Funkcje potęgowe, wykładnicze i logarytmiczne, przekształcanie wyrażeń niewymiernych. Funkcje trygonometryczne. Zbiory, relacje, odwzorowania, równoliczność zbiorów. Kresy zbiorów. Ciągi, granice ciągów. Twierdzenie o trzech ciągach. Rekurencja, dwumian Newtona. Przykłady granic. Pochodne funkcji, ekstrema, badanie funkcji. Planimetria, figury podobne, twierdzenie Talesa, twierdzenie Pitagorasa, pola figur płaskich, długość okręgu i łuku. Stereometria. Wielościany, bryły obrotowe. Wektory, iloczyn skalarny, długość wektora, rzutowanie. Iloczyn wektorowy. Geometria analityczna. Parametryczny opis prostej, okrąg, elipsa, hiperbola, parabola. Ciągi liczbowe, podstawowe ciągi elementarne. Liczby zespolone.

*Efekty kształcenia – umiejętności i kompetencje:* Celem zajęć jest przypomnienie i usystematyzowanie wiedzy studentów wyniesionej ze szkoły średniej (matematyka - poziom rozszerzony), a także nauczenie metodologii rozwiązywania prostych problemów matematycznych. Na zajęciach będą dyskutowane i rozwiązywane zadania dotyczące prostych problemów matematycznych (usystematyzowanie wiedzy na poziomie szkoły średniej), których treść - razem z odnośnikami do polecanych podręczników - zostanie wcześniej udostępniona studentom.

### **Wakacyjne zajęcia przygotowawcze: Chemia (60 h)**

*Treści kształcenia:* Właściwości pierwiastków a układ okresowy. Właściwości fizykochemiczne cząsteczek związków chemicznych na podstawie ich budowy, trwałości wiązań chemicznych i rozmieszczenia przestrzennego atomów. Równowaga chemiczna. Termochemia. Właściwości roztworów. Równowagi kwasowo-zasadowe. Reakcje strącaniowe. Reakcje utleniania i redukcji. Potencjał elektrochemiczny.

*Efekty kształcenia – umiejętności i kompetencje:* Podstawowe obliczenia chemiczne na podstawie stechiometrii reakcji. Sposoby wyrażania stężeń. Zdobycie wiadomości na temat właściwości związków chemicznych i rodzajów przebiegających reakcji chemicznych oraz podstawowych obliczeń chemicznych.

## SEMESTR 1

### **Rachunek Różniczkowy i Całkowy (180 h) (90 h W+ 90 h Ć)**

*Treści kształcenia:* Zbiory, relacje. Liczby rzeczywiste. Ciągi i ich granice. Kryteria zbieżności. Zupełność zbioru liczb rzeczywistych. Szeregi liczbowe. Zbieżność, kryteria zbieżności. Działania na szeregach. Szeregi potęgowe. Promień zbieżności. Rozwinięcia podstawowych funkcji elementarnych. Funkcje ciągłe. Pojęcie funkcji, wielomiany, funkcje wymierne. Granica funkcji w punkcie. Właściwości funkcji ciągłych na przedziale. Rachunek różniczkowy funkcji jednej zmiennej. Pochodna. Definicja. Warunki istnienia. Twierdzenia o wartości średniej, wzór Taylora. Badanie funkcji. Całka Riemanna funkcji jednej zmiennej: Definicja całki Riemanna. Funkcja pierwotna. Podstawowe twierdzenie rach. całkowego i różniczkowego o związku całki Riemanna z funkcją pierwotną. Równania różniczkowe zwyczajne: Warunek Lipschitza, zasada Banacha Twierdzenie o istnieniu i jednoznaczność warunku Cauchy. Sposoby zadawania warunków brzegowych (przykład: struna nieskończona w jednym wymiarze). Elementarne metody

rozwiązywania. Równania różniczkowe liniowe i układy równań liniowych. Problem jednorodny i niejednorodny. Rezolwenta. Uzmiennianie stałej. Równania wyższych rzędów, Równania o stałych współczynnikach, rozwiązania postaci  $x(t)=\exp[A(t-t_0)]x_0$  Wrońskian. Baza w przestrzeni rozwiązań. Rachunek różniczkowy i całkowy funkcji rzeczywistych wielu zmiennych: Ciągłość funkcji wielu zmiennych. Pochodna cząstkowa, kierunkowa różniczkowalność. Różniczkowanie funkcji złożonej, poziomica, gradient, wzór Taylora dla funkcji wielu zmiennych. Lokalna odwracalność Funkcje uwikłane, pochodna funkcji uwikłanej. Ekstrema funkcji wielu zmiennych. Ekstrema lokalne i globalne Opis krzywej i powierzchni. Ekstrema związane, Całki wielokrotne Zbiór miary Lebesgue zero. Zbiór Cantora (jako przykład). Całka Riemanna w  $R^n$ , Tw. o zamianie zmiennych. Tw. Fubinięgo. Całki niewłaściwe i całki z parametrem. Krzywe i powierzchnie w  $R^n$  Opis krzywej i powierzchni Krzywa w trójwymiarowej przestrzeni, opis parametryczny, wektory styczny, normalny i binormalny, równania Sarreta-Freneta. Parametryczny opis powierzchni w trójwymiarowej przestrzeni. Pola skalarne i wektorowe. Gradient, dywergencja, rotacja i laplasjan. Całki niezorientowane i zorientowane po krzywych i powierzchniach. Analiza wektorowa w  $R^n$  Twierdzenia Greena (na płaszczyźnie), Gaussa i Stokesa.

### **Algebra z geometrią (60 h) (30 h W+ 30 h Ć)**

*Treści kształcenia:* Pojęcie grupy, grupa permutacji. Ciała, ciało liczb zespolonych. Definicja przestrzeni wektorowej. Liniowa niezależność, baza. Podprzestrzenie wektorowe, sumy, iloczyny i przestrzeń ilorazowa. Przestrzeń wektorowa macierzy, rząd i wyznacznik macierzy. Odwzorowania liniowe, macierz odwzorowania liniowego w bazach uporządkowanych, przekształcenia odwrotne, wartości i wektory własne, wielomian charakterystyczny. Układy równań liniowych .Formy liniowe, przestrzeń sprzężona, odwzorowania sprzężone, dwoistość. Odwzorowania i formy wieloliniowe. Pojęcie formy kwadratowej. Przestrzenie unitarne, iloczyn skalarny, odwzorowania unitarne, baza ortogonalna. Pojęcie normy, metryka wyznaczona przez normę. Nierówność Schwarz, ortonormalizacja Gramma-Schmidta. Przekształcenia hermitowskie, twierdzenie spektralne, sprzężenie hermitowskie odwzorowania liniowego. Iloczyn tensorowy przestrzeni wektorowych. Pojęcie przestrzeni afinicznej i euklidesowej, układy współrzędnych. Podrozmaitości stopnia 2 w przestrzeni  $E^n$ , punkt, prosta, para prostych, stożek. elipsa, hiperbola, parabola, płaszczyzna, para płaszczyzn przecinających się, elipsoida, hiperboloida, paraboloida, walec.

### **Podstawy fizyki współczesnej (30 h) (30 h W)**

*Treści kształcenia:* Tematy popularnonaukowych wykładów będą obejmowały najważniejsze kierunki w fizyce ostatnich lat. Nanotechnologie: strukturyzacja i samoorganizacja. Zastosowania nanocząstek. Fullereny i nanorurki. Biofizyka. Fotonika. Optyka kwantowa. Kryptografia kwantowa, komputery kwantowe. Oddziaływania fundamentalne. Spintronika, Lasery nano- femto- i atto- sekundowe.

*Efekty kształcenia – umiejętności i kompetencje:* Cykl wykładów popularnonaukowych (zrozumiałych dla absolwentów szkół średnich) prezentujących wyniki najciekawszych badań fizycznych (biofizyka, nanotechnologie, oddziaływania fundamentalne, astronomia, optyka, astronomia itd. ).



## **Chemia nieorganiczna z elementami syntezy nieorganicznej (90 h) (30 h W+60 h Lab)**

### **Chemia nieorganiczna z elementami syntezy nieorganicznej: wykład**

*Treści kształcenia:* Budowa cząsteczek nieorganicznych, rodzaje wiązań chemicznych. Oddziaływania międzycząsteczkowe. Rodzaje i struktura stałych substancji nieorganicznych: substancje krystaliczne i amorficzne, związki interkalowane. Budowa i właściwości metali i półprzewodników. Ogólna charakterystyka najważniejszych związków nieorganicznych: tlenków, wodorotlenków, kwasów, wodoroków, wybranych soli oraz powiązanie ich właściwości z położeniem pierwiastka w układzie okresowym. Podstawowe rodzaje reakcji w chemii nieorganicznej: reakcje kwasowo-zasadowe, wytrącania osadów, kompleksowania, utleniania i redukcji. Metody syntezy stałych związków nieorganicznych i związków kompleksowych. Rola rozpuszczalnika w procesach chemicznych.

*Efekty kształcenia – umiejętności i kompetencje:* Nabycie wiedzy dotyczącej struktury związków nieorganicznych, rodzaju wiązań i ich powiązania z budową atomu. Zapoznanie się z podstawowymi typami reakcji chemicznych i ich właściwościami oraz metodami syntezy związków nieorganicznych. Uzyskanie wstępnych informacji o nanostrukturach nieorganicznych.

Wybrane przykłady z chemii nieorganicznej nanomateriałów, m.in. otrzymywanie i właściwości nanocząstek metali, nanorurek węglowych, nanokryształów półprzewodnikowych.

### **Chemia nieorganiczna z elementami syntezy nieorganicznej: laboratorium**

*Treści kształcenia:* Podstawowe czynności i sprzęt laboratoryjny, zasady BHP w laboratorium chemicznym. Wstępne ćwiczenia ilustrujące przebieg podstawowych reakcji chemicznych oraz właściwości pierwiastków. Synteza wybranych preparatów nieorganicznych: soli prostych i złożonych (w tym kompleksowych). Synteza i badanie właściwości wybranych związków ważnych dla współczesnej chemii materiałowej, w tym nanokryształów.

*Ćwiczenia:* (1) Zapoznanie się ze sprzętem laboratoryjnym. (2) Reakcje kwasowo-zasadowe. (3) Reakcje wytrącania / rozpuszczania osadów soli i wodorotlenków. (4) Reakcje kompleksowania. (5) Reakcje utleniania i redukcji. (6) Wybrane reakcje pierwiastków grup głównych (do wyboru). (7) Wybrane reakcje pierwiastków bloku d (do wyboru) (8) Synteza preparatu 1: prostej soli nieorganicznej. (9) Synteza preparatu 2: soli złożonej (kompleksowej). (10) Synteza i badanie właściwości nieorganicznych polimerów typu redoks na przykładzie heksacyjanożelazianów metali. (11) Synteza i badanie właściwości elektrycznych tlenków wolframu i wanadu interkalowanych wodorem i litem. (12) Synteza nanokryształów półprzewodnikowych (CdS lub CdSe).

*Efekty kształcenia – umiejętności i kompetencje:* Nabycie podstawowych umiejętności dotyczących pracy w laboratorium chemicznym. Zapoznanie się z podstawowymi rodzajami reakcji w chemii nieorganicznej oraz głównymi metodami syntezy związków nieorganicznych oraz ich właściwościami

## SEMESTR 2

### **Analiza (135 h) (75 h W+ 60 h Ć)**

*Treści kształcenia:* Lokalna i globalna aproksymacja funkcji. Przybliżenie przez wielomiany Taylora. Liczby i wielomiany Bernoulliego. Procedura Newtona. Równomierna zbieżność ciągów funkcji, kryteria Cauchy i Abela. Funkcje jednej zmiennej zespolonej: Odwzorowania konforemne, funkcje wieloznaczne i powierzchnia Riemanna, punkty rozgałęzienia i cięcia. Różniczkowalność w sensie zespolonym, analityczność. Pochodna funkcji zespolonej i wzory Cauchy-Riemanna, funkcje harmoniczne. Całki konturowe na płaszczyźnie zespolonej Twierdzenia Cauchy i Morery, wzory Cauchy, lemat Jordana. Szeregi Taylora i Laurenta. Przedłużenie analityczne. Klasyfikacja punktów osobliwych. Twierdzenie o residuach i jego zastosowania Zastosowanie do obliczania całek z funkcji jednoznacznych i wieloznacznych residuum logarytmiczne i w nieskończoności, dowód podstawowego twierdzenia algebry. Wartość główna całki, związki dyspersyjne i transformata Hilberta. Funkcje Eulera gamma i beta, wzór Stirlinga. Szeregi Fouriera Szeregi funkcyjne i ich zbieżność: punktowa, jednostajna i w sensie wartości średniej. Szeregi Fouriera Lemat Riemanna, warunki i twierdzenie Dirichleta, twierdzenie Parsewala. Transformata Fouriera Prosta i odwrotna transformata Fouriera, twierdzenie Parsewala. Właściwości transformaty Zastosowanie do liniowych równań różniczkowych cząstkowych (np. równania dyfuzji), Elementy teorii dystrybucji, delta Diraca Dystrybucje jako granice ciągów funkcji, delta Diraca i podstawowe właściwości laplasjan potencjału kulombowskiego i model ładunku punktowego. Elementy teorii przestrzeni Hilberta Iloczyn skalarny, odległość i norma. Operatory normalne, hermitowskie, unitarne i rzutowe. Rozkład jedynek. Twierdzenie spektralne i funkcja od operatora. Zagadnienie Sturma -- Liouville'a Zagadnienie własne dla równań różniczkowych. Wielomiany ortogonalne

Wielomiany ortogonalne jako wynik ortogonalizacji Grama-Schmidta w przestrzeni Hilberta. Definicja wielomianów ortogonalnych poprzez funkcję tworzącą i ich powiązanie z wielomianami otrzymanymi w wyniku ortogonalizacji Grama-Schmidta, Wzory Rodriguesa.

### **Mechanika i szczególna teoria względności (105 h) (60 h + pokazy, 45 h Ć)**

*Treści kształcenia:* Mechanika Newtonowska, aksjomaty Newtona, prawa zachowania, układ wielu punktów materialnych, zagadnienie dwóch ciał, dynamika układów o zmiennej masie. Opis ruchu w układach nie inercjalnych. Więzy i siły reakcji, równania Lagrange'a I rodzaju, zasada d'Alemberta. Równania Lagrange'a II rodzaju, zmienne cykliczne i stałe ruchu. Funkcja Hamiltona i równania Hamiltona. Zasada Hamiltona i Jacobiego. Kinematyka i dynamika ciała sztywnego, równania Eulera. Małe drgania, drgania wymuszone. Dynamika nie liniowa, pojęcie chaosu, metody opisu systemów chaotycznych, kroki Poicarégo, analiza spektralna. Charakterystyki i wymiary chaotycznych atraktorów. Przykłady zastosowań dynamiki nieliniowej. Podstawy hydrodynamiki. Podstawy teorii elastyczności, tensor odkształceń i naprężeń, stałe elastyczne w mediach anizotropowych, fale dźwiękowe. Wprowadzenie do szczególnej teorii względności, transformacja Galileusza i Lorentza, Kinematyka relatywistyczna, równania dynamiki w przypadku relatywistycznym. Podstawy dynamiki molekularnej.

*Efekty kształcenia - umiejętności i kompetencje:* Zaznajomienie studentów z podstawowymi pojęciami mechaniki klasycznej i możliwości samodzielnego rozwiązywania prostych problemów. Po wysłuchaniu wykładu student będzie zaznajomiony z najważniejszymi pojęciami mechaniki klasycznej, będzie zdolny do dalszego samodzielnego kształcenia w tej dziedzinie oraz będzie posiadał umiejętność samodzielnego rozwiązywania podstawowych problemów mechaniki klasycznej

### **Chemia Fizyczna (105 h), (W 30 h, Ć 15 h, Lab 60 h)**

#### **Chemia Fizyczna: Wykład**

*Treści kształcenia:* Funkcje stanu. Zasady termodynamiki. Termochemia - entalpia, molowa pojemność cieplna; prawo Hessa. Energia swobodna, entalpia swobodna. Zależność entalpii swobodnej od temperatury i ciśnienia. Potencjał chemiczny czystej substancji i substancji w mieszaninie. Potencjał chemiczny w układzie rzeczywistym -lotność, aktywność, współczynniki aktywności. Mieszaniny cieczy - opis termodynamiczny. Termodynamika przemian fazowych. Warunki równowagi w układach wielofazowych i wieloskładnikowych. Diagramy fazowe w układach jedno i wieloskładnikowych. Entalpia swobodna reakcji. Równowaga chemiczna. Wpływ ciśnienia i temperatury na stan równowagi. Zjawiska transportu w roztworach i w gazach (dyfuzja, migracja, przepływ lepki). Podstawy elektrochemii roztworów elektrolitów, przewodnictwo, potencjał membranowy. Przyczyny powstawania różnicy potencjałów na granicy faz. Półogniwa, rodzaje i zachodzące w nich reakcje, równanie Nernsta. Ogniwa galwaniczne w stanie równowagi i w czasie pracy. Elektroliza. Termodynamika fazy powierzchniowej. Zjawiska na granicy różnych faz, energia powierzchniowa, napięcie powierzchniowe, zjawiska kapilarne, adsorpcja, dyfuzja powierzchniowa, aktywność katalityczna powierzchni. Mechanizmy tworzenia i rozwijania powierzchni. Koloidy i surfaktanty – właściwości, zastosowania, procesy agregacji. Podstawy kinetyki chemicznej: Szybkość i rząd reakcji. Równania kinetyczne i wykresy charakterystyczne dla reakcji o różnej rzędowości. Wyznaczanie stałych szybkości i rzędu reakcji. Reakcje złożone. Przybliżenie stanu stacjonarnego. Teoria zderzeń aktywnych. Teoria stanu przejściowego. Podstawy kinetyki elektrochemicznej.

*Efekty kształcenia – umiejętności i kompetencje:* Student powinien wykazać się umiejętnością opisu matematycznego procesów fizykochemicznych za pomocą praw termodynamiki, termochemii i elektrochemii oraz interpretacji fenomenologicznej i molekularnej tych procesów.

#### **Chemia Fizyczna: Ćwiczenia rachunkowe:**

*Treści kształcenia:* Wyznaczanie wartości funkcji termodynamicznych oraz ich zmian związanych ze zmianami parametrów fizycznych układu lub zachodzenia w nim przemian fizycznych lub reakcji chemicznych. Równowagi chemiczne w układach wieloskładnikowych. Analiza rachunkowa procesów zachodzących na granicach faz. Obliczanie kinetycznych parametrów reakcji chemicznych. Obliczanie wielkości opisujących właściwości elektrochemiczne roztworów elektrolitów i układów elektrodowych (aktywność jonów, przewodnictwo, potencjał elektrod w stanie równowagi, siła elektromotoryczna ogniów, wykorzystanie danych z pomiarów elektrochemicznych do określenia parametrów układu w stanie równowagi). Analiza rachunkowa kinetyki procesów elektrodowych przebiegających w różnych warunkach fizykochemicznych.

*Efekty kształcenia – umiejętności i kompetencje:* Nabycie umiejętności rozwiązywania obliczeniowych problemów fizykochemicznych oraz rachunkowego opracowywania wyników pomiarów

### **Chemia Fizyczna: Laboratorium** – spis ćwiczeń do wyboru:

Równowaga ciecz-para w układzie jednoskładnikowym

Równowaga ciecz-para w układzie dwuskładnikowym

Badanie funkcji termodynamicznych dwuskładnikowych układów nieelektrolitów w oparciu o metodę udziałów grupowych UNIFAC

Badanie równowagi między fazą stałą i ciekłą

Wyznaczanie objętości molowej roztworu

Pomiary kalorymetryczne efektów cieplnych w roztworach

Wyznaczanie ciepła i temperatury przemiany fazowej przy pomocy różnicowego kalorymetru dynamicznego (DSC)

Diagramy fazowe w układach trójskładnikowych - krzywa binoidalna

Badanie właściwości elektrochemicznych ogniw za pomocą współczesnego miernika mikroprocesorowego

Wyznaczanie termodynamicznych parametrów reakcji chemicznych

Wyznaczanie współczynników aktywności elektrolitów

Pomiar przewodnictwa roztworów elektrolitów

Wyznaczanie charakterystyki prądowo-napięciowej ogniw na przykładzie ogniwa Daniella i Leclanche'ego

Wyznaczanie parametrów kinetycznych reakcji elektrodowej za pomocą metod elektrochemicznych

Potencjał membranowy- badanie właściwości jonowymiennych membrany nafionowej

Wyznaczanie parametrów równania Arrheniusa oraz entalpii i entropii tworzenia kompleksu aktywnego z pomiarów stałej szybkości reakcji.

Wpływ stężenia katalizatora na stałą szybkości reakcji

Wpływ siły jonowej roztworu na stałą szybkości reakcji

Badanie kinetyki termicznego rozkładu soli

Komputerowa symulacja kinetyki reakcji chemicznych

Wyznaczanie momentów dipolowych

Wyznaczanie izotermy adsorpcji Gibbsa dla granicy faz ciecz-powietrze przez pomiar napięcia powierzchniowego

Badanie adsorpcji i właściwości katalitycznych anionu fosforanomolibdenowego metodami elektrochemicznymi.

Pomiar lepkości cieczy

Pomiary nefelometryczne koloidów

Wyznaczanie stężenia krytycznego micelizacji

Wyznaczanie izotermy adsorpcji błękitu metylenowego na węglu aktywnym metodą spektrofotometryczną

*Efekty kształcenia – umiejętności i kompetencje:* Nabycie umiejętności posługiwania się aparaturą do badań zjawisk fizykochemicznych, planowania i wykonywania eksperymentu oraz opracowywania i przedstawiania wyników doświadczalnych

### **Pracownia analizy danych** (15 h) (6 h W+ 9h Ć)

*Treści kształcenia:* Graficzna analiza i prezentacja wyników pomiarów: histogramy, wykresy, w tym z wykorzystaniem skal funkcyjnych (liniowo-logarytmicznej, logarytmiczno-logarytmicznej itp.). Pomiar, dokumentacja przebiegu pomiarów, rodzaje błędów pomiarowych, niepewność pomiaru. Przykłady rozkładów prawdopodobieństwa, rozkład normalny (Gausa) jako model rozkładu prawdopodobieństwa błędów przypadkowych. Bezpośredni pomiar pojedynczej wielkości fizycznej: seria równoważnych pomiarów, wyznaczanie wyniku końcowego i jego niepewności, uwzględnienie dokładności przyrządów, poprawki związane ze znanymi źródłami błędów systematycznych. Zagadnienia estymacji parametrów: metoda najmniejszych kwadratów, pomiary o różnej dokładności (średnia ważona i jej niepewność), „dopasowanie prostej” do danych doświadczalnych, proste przykłady testowania hipotez (test zgodności „ $3\sigma$ ”). Przykładowe testy parametryczne i nieparametryczne.

*Efekty kształcenia – umiejętności i kompetencje:* Posługiwanie się podstawowymi przyrządami pomiarowymi: wagą, suwmiarką, amperomierzem, woltomierzem; określanie wpływu dokładności przyrządu na niepewność wyniku końcowego. Wyznaczanie wyniku pomiaru i jego niepewności na podstawie wykonanej serii pomiarów oraz znajomości dokładności użytych przyrządów. Wykonanie jakościowej, graficznej analizy i prezentacji uzyskanych danych (histogram, wykres) i przybliżonej oceny wartości parametrów zależności funkcyjnej na podstawie wykresu. Stosowanie metody najmniejszych kwadratów do wyznaczania wartości parametrów zależności funkcyjnej oraz ich niepewności.

### SEMESTR 3

#### **Elektrodynamika (120 h) (60 h W + pokazy, 60 h Ć)**

*Treści kształcenia:* Elementy analizy wektorowej: gradient, rotacja, dywergencja, tw. Stokesa i Gaussa. Przegląd równań Maxwella potencjały i cechowanie – sformułowanie mikroskopowe postaci kowariantna równań Maxwella w próżni i w ośrodku materialnym. Stacjonarne pola elektryczne i magnetyczne w ośrodkach materialnych. Elektrostatyka: prawo Coulomba, zagadnienie brzegowe, równanie Poissona i Laplace'a Multipole. Zasada wzajemności. Pole elektryczne w obecności przewodników i dielektryków. Wektor polaryzacji. Pojemność i energia. Prąd stały: równanie ciągłości, prawo Ohma, prawa Kirchoffa, siła elektromotoryczna, ciepło Joule'a, zjawiska termoelektryczne. Magnetostatyka: wzór Ampere'a, Prawo Biota i Savarta, siła działająca na przewodnik z prądem, wzór Lorentza, Silnik prądu stałego. Pole magnetyczne w magnetykach, wektor namagnesowania. Energia pola magnetycznego. Pole zmienne w czasie. Prawo indukcji elektromagnetycznej. Prądy przemienne. Współczynniki indukcji własnej i wzajemnej. Transformator. Mikroskopowe uzasadnienie równań materiałowych. Elementy teorii elektronowej budowy materii: przewodniki, dielektryki i magnetyki. Fale elektromagnetyczne w próżni i ośrodkach materialnych: polaryzacja, prawo odbicia i załamania, dyfrakcja (Fresnela i Fraunhofera) Zdolność rozdzielcza. Spójność przestrzenna i czasowa. Prędkość fal w ośrodkach, dyspersja. Optyka ośrodków niejednorodnych. Linie transmisyjne Wnęki rezonansowe i falowody w szczególności dielektryczne Energia i pęd fali. Promieniowanie elektromagnetyczne. Potencjały Liénarda i Wiecherta. Pole promieniowania dipola elektrycznego i magnetycznego.

*Efekty kształcenia – umiejętności i kompetencje:* wprowadzenie do elementarnej analizy wektorowej stosowanej do rozwiązywania problemów z dziedziny teorii pola zaznajomienie z równaniami Maxwella i ich zastosowaniem do opisu zjawisk związanych z występowaniem pól elektrycznych i magnetycznych w próżni i ośrodkach materialnych, wyjaśnienie związku między polami mikroskopowymi i makroskopowymi wprowadzenie metod rozwiązywania równań Maxwella

#### **Chemia organiczna z elementami biochemii (120 h) (W. 30 h, Lab. 90 h)**

*Treści kształcenia:* Hybrydyzacja atomu węgla ( $sp$ ,  $sp^2$ ,  $sp^3$ ) i rodzaje izomerii determinowane przez określony typ hybrydyzacji; izomeria szkieletowa, geometryczna, optyczna. Oznaczenia konfiguracji E/Z i R/S; konformacje związków alifatycznych (etan, butan) i cyklicznych (cykloheksan i jego 1,2 i 1,3 dipodstawione pochodne); efekty elektronowe (indukcyjny i mezomeryczny) oraz steryczne w chemii organicznej; elektroujemność, wiązanie spolaryzowane, moment dipolowy cząsteczki; pojęcie kwasów i zasad w chemii organicznej – definicje podstawowe. ALKANY. Nomenklatura i stereochemia alkanów. Otrzymywanie alkanów (reakcje Wurtza, Careya, Kolbego, reakcje uwodornienia otrzymywanych pochodnych deuterowanych). Reakcje alkanów (selektywne utlenianie, halogenowanie); pojęcie homolizy i heterolizy; podział na reakcję rodnikowe i jonowe; struktura i stabilność rodników. ALKENY. Nomenklatura i otrzymywanie alkenów; reakcje cis i trans eliminacji; stereochemia; mechanizm i wymogi stereoelektronowe dla reakcji E-2 i E-1; reakcje alkenów; pojęcie karbokationu i względna stabilność karbokationów; reguła Markownikowa i efekty powodujące niezgodne z regułą Markownikowa kierunek addycji; reakcje addycji do podwójnego wiązania tj. addycja halogenu, halogeno-wodoru, wody, kwasu siarkowego, borowodoru; reakcja epoksydowania, oksyrtęciowania, synteza cis i trans dioli; przebieg stereochemiczny wyżej wymienionych addycji; ozonoliza; alkanany i alkeny występujące w przyrodzie (feromony). Alkiny - otrzymywanie i reakcja. WĘGLOWODORY AROMATYCZNE (areny); pojęcie aromatyczności i antyaromatyczności. Podstawienie elektro- i nukleofilowe w pierścieniu aromatycznym. Mechanizm podstawienia elektrofilowego; wpływ kierujący podstawników, sterowanie kierunkiem reakcji podstawienia (blokowanie, aktywacja); tworzenie odczynnika elektrofilowego; reaktywność łańcucha bocznego (utlenianie, halogenowanie). CHLOROWCOPOCHODNE: nomenklatura, otrzymywanie halogenków alkilowych (halogenowanie węglowodorów alifatycznych, halogenowanie pozycji allilowej); wymiana grupy hydroksylowej na halogen (reakcja z kwasami halogenowodorowymi, reakcja z tetrahalogenkami węgla wobec trifenylofosfiny, wymiana na halogen estrów kwasów sulfonowych). Reakcje halogenopochodnych; związki metalo organiczne (Grignarda, Gilmana); substytucja nukleofilowa  $S_N1$  i  $S_N2$ . Chlorowcopolochodne występujące w naturze. ALKOHOLE i ich analogi siarkowe: nomenklatura, otrzymywanie alkoholi (cis addycja do alkenów, redukcja ketonów, aldehydów, estrów i kwasów karboksylowych); eliminacja cząsteczki wody; estryfikacja – mechanizmy; utlenianie alkoholi. AMINY; nomenklatura; względna zasadowość amin; wpływ budowy na zasadowość; otrzymywanie amin: redukcja nitryli, amidów, nitrozwiązków, oksymów; reakcje substytucji Gabrielowa i Mitsunobu, synteza azydkowa, reduktywne aminowanie; przegrupowanie Hoffmanna. Reakcje amin: alkilowanie, acylowanie, reakcje amin z kwasem azotawym; zastosowanie w syntezie organicznej soli diazoniowych; próba Hinsberga. Aminy występujące w naturze – alkaloidy. ALDEHYDY I KETONY; nomenklatura, otrzymywanie aldehydów i ketonów: utlenianie alkoholi; wykorzystanie chlorków kwasowych (reakcja Rosenmunda) oraz addycja związków kadmoorganicznych i

miedziorganicznych; addycja wody do alkinów; reakcje aldehydów i ketonów: addycja nukleofilowa do aldehydów i ketonów (addycja związków Grignarda, wody, cyjanowodoru, alkoholi, kwaśnego siarczanu sodu, amin); redukcja do alkoholi oraz redukcja Wolffa-Kiżnera; reakcja kondensacji aldolowej oraz reakcja Cannizarro; addycja do  $\alpha,\beta$ -nienasyconych aldehydów i ketonów. Reakcja haloformowa. KWASY KARBOKSYLOWE i ich pochodne; nomenklatura, otrzymywanie kwasów karboksylowych (utlenianie alkoholi i aldehydów oraz węglowodorów aryloalkilowych); hydroliza trihalogenopochodnych; wykorzystanie związków metaloorganicznych do syntezy kwasów; hydroliza nitryli; reakcje kwasów karboksylowych: redukcja grupy karboksylowej; synteza chlorków, bezwodników i estrów kwasów karboksylowych; zdolność acylowania pochodnych kwasów; wpływ budowy związku na moc kwasu;  $\alpha$ -halogenowanie kwasów karboksylowych; kondensacja Claisena i acyloinowa.

KARBOANIONY w chemii organicznej; pojęcie karboanionu i anionu enolanowego; syntezy oparte o malonian dietylu, acetylooctan etylu, ditian; otrzymywanie aldehydów, ketonów oraz podstawionych kwasów karboksylowych. Asymetryczne alkilowanie ketonów STEROWANIE PRZEBIEGIEM REAKCJI CHEMICZNYCH; aktywacja lub blokowanie wybranej pozycji w cząsteczce; grupy ochronne; wykorzystanie kontroli kinetycznej i termodynamicznej reakcji; wykorzystanie wymogów stereoelektronowych reakcji; selektywność determinowana doбором odczynnika; selektywność determinowana innymi czynnikami (zawada sterycznawiązania wodorowe) STRATEGIA SYNTEZY: analiza retrosyntetyczna, zasada kolejnych uproszczeń struktury; zasada minimalnej ilości etapów; synteza liniowa i zbieżna; reguły dyskonekcji; reakcje Umpolung. ZWIĄZKI HETEROCYKLICZNE trój-, cztero-, pięcio- i sześcioczłonowe z jednym heteroatomem; nomenklatura, otrzymywanie i reakcje WĘGLOWODANY; przedstawienie konfiguracji monosacharydów; homochiralność; anomeryzacja; efekt anomeryczny; mutarotacja; reakcje monosacharydów; disacharydy; substancje grupowe krwi. AMINIKWASY I BIAŁKA; budowa aminokwasów, punkt izoelektryczny; syntezy aminokwasów; enancjoselektywna synteza aminokwasów; peptydy i białka; synteza wiązania peptydowego; konformacje białek; enzymy; związki supramolekularne i metaloorganiczne.

*Efekty kształcenia – umiejętności i kompetencje:* Po wysłuchaniu cyklu wykładów student powinien posiadać podstawową wiedzę o reaktywności związków organicznych, powinien rozumieć zależności pomiędzy budową a reaktywnością molekuł organicznych. Powinien też zaprojektować syntezę prostych związków organicznych.

### **Chemia organiczna z elementami biochemii - Pracownia z chemii organicznej (90 h)**

*Treści kształcenia:* Podstawowe informacje o BHP, ćwiczenia wstępne z podstawowych operacji chemicznych (krystalizacja, destylacja, destylacja pod zmniejszonym ciśnieniem, ekstrakcja, chromatografia – pokazy i ćwiczenia). Preparaty proste, jednoetapowe, w celu nabycia indywidualnych, podstawowych umiejętności na pracowni z chemii organicznej (budowa aparatury, użycie mieszanicy magnetycznej lub mechanicznej itp.). Preparaty wieloetapowe (literaturowe) wykorzystujące współczesne metody syntezy organicznej (reakcje Dielsa – Aldera, Wittiga i Hornera – Emmonsa, Hecka, Suzuki, metatezy, reakcja Sharplessa). Próba samodzielnego (oczywiście pod kontrolą asystenta) zaplanowania syntezy dla związku wykazującego interesujące właściwości fizykochemiczne lub biologiczne.

*Efekty kształcenia – umiejętności i kompetencje:* Student powinien posiadać podstawową wiedzę o planowaniu, syntezie i izolacji związków organicznych.

### **Programowanie i metody numeryczne (90 h) (30 h W, 60 h Ć)**

*Treści kształcenia:* Zapoznanie z podstawami języków programowania Fortran 95 i C++. Zapoznanie się z pakietami do obliczeń symbolicznych MATLAB i MATHEMATICA. Dyskretna i szybka transformacja Fouriera (FFT). Interpolacja, aproksymacja i ekstrapolacja funkcji, metoda SPLINE. Znajdywanie minimum funkcji. Rozwiązywanie równań różniczkowych (metoda Runge-Kutta). Metody całkowania, kwadratury, metoda Monte Carlo. Diagonalizacja macierzy korzystając z bibliotek numerycznych. Macierze trójkątne. Metody znajdowania wartości własnych dużych i rzadkich macierzy oparte o przestrzeń Kryłowa (metoda Lanczosa, Arnoldi, Davidsona, gradientu sprzężonego)

*Efekty kształcenia – umiejętności i kompetencje:* Zaznajomienie studentów z podstawowymi narzędziami obliczeń numerycznych, językami programowania FORTRAN 95 i C++

### **Krystalografia z elementami teorii grup (45 h) (15 h W, 30 h Ć)**

*Treści kształcenia:* Definicje kryształu. Omówienie podstawowych pojęć: sieć przestrzenna, komórka elementarna proste i płaszczyzny sieciowe, wskaźniki płaszczyzn. Symetria i grupy punktowe, układy krystalograficzne. Projekcje: sferyczna pośrednia, sferyczna bezpośrednia, cyklograficzna i stereograficzna. Elementy i operacje symetrii - definicja oraz klasyfikacja Schoenfliesa i Hermannia – Maugina. Współistnienie elementów symetrii, złożone elementy symetrii. Tabele działania grupowego, reprezentacja macierzowa, charakterzy reprezentacji, rozkład reprezentacji przywiedlonej na reprezentacje nieprzywiedlone. Sieci Bravais. Grupy przestrzenne: Współistnienie elementów symetrii w grupach przestrzennych. Praktyczna ilustracja symetrii kryształów. Interpretacja symetrii w Międzynarodowych Tablicach

Krystalograficznych. Grupy kolorowe. Struktury najgęstszego upakowania: najgęstsze upakowanie w warstwie i w trzech wymiarach, luki, fullereny, struktury jonowe. Sieć odwrotna: Definicja i właściwości. Otrzymywanie i właściwości promieniowania rentgenowskiego. Dyfrakcja promieni rentgenowskich na elektronie, atomie, molekuły i sieci krystalicznej; konstrukcja Ewalda, transformacja fourierowska, czynniki wpływające na intensywność wiązki ugiętej; czynniki struktury; metody proszkowe; problem fazowy, metody bezpośrednie i nierównościami wyznacznikowe. Podstawowe zależności dla struktur centro- i niecentrosymetrycznych; udokładnieniu struktury – mapy gęstości elektronowej. Tok rentgenowskiej analizy strukturalnej. Interpretacja oraz prezentacja wyników; chiralność i struktura absolutna; metody neutronograficzne. Interpretacja danych strukturalnych: Definicja parametrów strukturalnych. Eksperymentalnym badaniom gęstości elektronowej: udokładnienie multipolowe i topologiczna analiza gęstości elektronowej.

*Efekty kształcenia – umiejętności i kompetencje:* praktyczne poznanie krystalografii geometrycznej, różnych odmian symetrii, zastosowanie symetrii do opisu struktury kryształów oraz wprowadzenie dyfrakcyjnych metod badania struktury ciała stałego. Poznanie różnych odmian symetrii, i ich zastosowanie do opisu struktury kryształów, praktyczne poznanie grup punktowych, przestrzennych oraz krystalografii geometrycznej, dyfrakcji promieni X, poznanie toku analizy strukturalnej.

#### SEMESTR 4

##### **Mechanika i chemia kwantowa z elementami spektroskopii molekularnej (135 h) (60 h W, 60 h Ć. 15 h Lab)**

*Treści kształcenia:* Narodziny teorii kwantów. Fizyczne podstawy mechaniki kwantowej. Postulaty. Równanie Schrödingera. Eksperyment Sterna-Gerlacha. Postulat Borna: probabilistyczna interpretacja funkcji falowej. Obserwable. Analiza pomiaru w mechanice kwantowej. Zasada nieoznaczoności. Klasyfikacja rozwiązań równania Schrödingera. Stany związane i poziomy energetyczne. Prostokątna jama potencjału. Widmo dyskretne i ciągłe. Ewolucja czasowa. Oscylator harmoniczny. Rotator sztywny. Częstka w polu centralnym. Atom wodoru. Ruch cząstki w potencjale periodycznym. Spin i równanie Pauliego. Metody przybliżone mechaniki kwantowej. Metoda wariacyjna. Rachunek zaburzeń niezależny od czasu. Efekt Zeemana. Efekt Starka. Rachunek zaburzeń zależny od czasu. Złota reguła Fermiego. Emisja i absorpcja promieniowania. Podstawy teoretyczne spektroskopii optycznych. Efekt Ramana. Podstawy teorii grup punktowych. Reprezentacje grup. Teoria grup a mechanika kwantowa. Związek spinu ze statystyką. Symetria permutacyjna funkcji falowej dla układu wielu ciał. Metoda pola średniego, przybliżenie jednoelektronowe. Wyznacznik Slatera. Równania Hartree-Focka. Metoda pola samouzgodnionego. Przybliżenie Roothaana. Korelacja elektronowa. Konfiguracje elektronowe atomów. Terminy atomowe. Podstawy spektroskopii atomowej. Przybliżenie Borna-Oppenheimera. Teoria orbitali molekularnych. Istota wiązania chemicznego Kwantowy opis rotacji i drgań cząsteczek. Spektroskopia rotacyjna, oscylacyjna i elektronowa. Spektroskopia ramanowska. Hamiltonian spinowy. Stany energetyczne momentów magnetycznych jąder w zewnętrznym polu magnetycznym. Jądrowy rezonans magnetyczny (NMR). Atomy i cząsteczki paramagnetyczne w zewnętrznym polu magnetycznym. Elektronowy rezonans paramagnetyczny (EPR). Kwantowa teoria rozpraszania. Macierz rozpraszania. Przekrój czynny. Rozpraszanie w polu sił centralnych. Rozwinięcie fal parcjalnych. Przybliżenie Borna.

*Efekty kształcenia – umiejętności i kompetencje:* Zdobycie umiejętności do posługiwania się elementarnym aparatem mechaniki kwantowej, poznanie metod mechaniki kwantowej stosowanych do opisu budowy atomów i molekuł oraz ich zastosowań w spektroskopii molekularnej.

##### **Pracownia fizyczna i elektroniczna (45Lab + 15W) USOS: 1100-2008**

Przedmiot składa się z dwóch części tematycznych (A i B) wykonywanych w czasie jednego semestru w ramach jednolitej struktury organizacyjnej

##### **A. Pracownia fizyczna**

Pracownia fizyczna obejmuje wykonanie wybranych zadań spośród wymienionych niżej:

- Wyznaczanie grubości cienkiej warstwy krzemu metodami optycznymi.
- Wyznaczanie przewodnictwa właściwego i stałej Halla dla półprzewodników.
- Wyznaczanie przerwy energetycznej InSb.
- Badanie skrócenia płaszczyzny polaryzacji mikrofal o długości 3 cm pod wpływem pola magnetycznego (efekt Faradaya).
- Badanie polaryzacji fal elektromagnetycznych (światła i mikrofal o długości 3 cm).
- Mikrofalowe doświadczenie Younga

- Statystyka zliczeń promieniowania jądowego przy pomocy licznika Geigera-Müllera.
- Wyznaczanie stężenia radonu w powietrzu

## **B. Pracownia Elektroniczna**

Zadania praktyczne związane są z cyfrowymi układami scalonymi, wzmacniaczami operacyjnymi, stabilizatorami napięcia oraz detektorem fazowym. Kurs jest nastawiony przede wszystkim na problemy elektroniki stosowanej w laboratoriach fizycznych (techniki poprawy stosunku sygnału do szumu, detekcja selektywna pod względem częstości, detekcja fazowa, analiza kształtu sygnału, metody elektroniki jądowej).

Program wykładu obejmuje: podstawy cyfrowych układów scalonych, analogowe układy scalone (wzmacniacze operacyjne, stabilizatory), problemy szumów i zakłóceń. Zajęcia praktyczne w części związanej z badaniami charakterystyk wzmacniacza operacyjnego wykonywane są przez studentów z użyciem systemów pomiarowych kontrolowanych przez komputer (oscylloskopy cyfrowe, cyfrowe syntezery sygnału). Ćwiczenie z komputerowym systemem kontrolno-pomiarowym pozwala zapoznać się ze standardowymi pakietami numerycznego sterowania pomiarami specjalistycznymi. W trakcie zajęć poruszane są także problemy interpretacji wyników doświadczalnych i porównania ich z przewidywaniami modelowymi.

*Efekty kształcenia – umiejętności i kompetencje:* Celem Pracowni Elektronicznej jest zapoznanie studentów z podstawowymi zasadami budowy prostych układów elektronicznych skonstruowanych ze zintegrowanych elementów cyfrowych i analogowych. Omawiany jest wpływ zakłóceń pomiarowych na precyzję pomiaru wielkości elektrycznych oraz metody eliminacji zakłóceń

### **Analiza instrumentalna (45 h) (15 W + 30 Lab)**

#### **Wykład Analiza Instrumentalna**

*Teści kształcenia:* Analiza chemiczna: analiza ilościowa i jakościowa. Klasyczne i instrumentalne metody analizy. Analit, matryca, interferent. Sygnał analityczny. Analiza głównych składników, analiza śladowa. Specjacja. Metody absolutne i porównawcze. Granica wykrywalności i granica oznaczalności. Czulość metody analitycznej. Wzorce i materiały z certyfikowaną zawartością analitów. Pobieranie i przygotowanie próbek do analizy. Błędy w oznaczeniach analitycznych. Kryteria wyboru metody analizy instrumentalnej. Metody spektroskopowe: spektroskopia UV-Vis, spektrometria atomowa absorbcyjna i emisyjna, analiza fluorescencyjna, spektrometria mas. Metody elektroanalityczne: potencjometria, techniki prądowe: chronoamperometria, chronokulometria, woltamperometria, zateżanie elektrochemiczne. Metody chromatograficzne i elektromigracyjne. Metody złożone. Miniaturowe układy do analizy instrumentalnej.

*Efekty kształcenia – umiejętności i kompetencje:* Student powinien wykazać się znajomością podstawowych technik analitycznych i umiejętnością wyboru techniki analitycznej biorąc pod uwagę rodzaj analitu, jego zawartość w próbce i skład matrycy.

### **Laboratorium Analiza Instrumentalna (7 spotkań po 4 h + 2 h pracownia organizacyjna, w sumie 30 godzin)**

1. Spektrometria UV-Vis
2. Analiza fluorescencyjna
3. Spektrometria atomowa i spektrometria mas
4. Metody elektroanalityczne I
5. Metody elektroanalityczne II
6. Metody chromatograficzne I
7. Metody chromatograficzne II

*Efekty kształcenia – umiejętności i kompetencje:* Nabycie podstawowej znajomości potencjalnych możliwości i zastosowań technik instrumentalnych.

## PRZEDMIOTY KIERUNKOWE

### SEMESTR 4:

#### **Techniki pomiarowe w nanotechnologii (105 h) (W 30 h, Lab 75 h)**

*Treści kształcenia:* W przypadku każdej techniki badawczej zilustrowanej ćwiczeniami na Pracowni zostaną zaprezentowane na wykładach: podstawy teoretyczne metody, typowe jej zastosowania oraz związane z nimi zestawy aparaturowe, zastosowania danej techniki badawczej w inżynierii krystalicznej i nanotechnologii. Program Pracowni umożliwi zapoznanie się z możliwościami następujących technik: NMR, proszkowych i monokrystalicznych metod oparte na dyfrakcji promieni rentgenowskich z uwzględnieniem rozpraszania niskokątowego, wysokosprawnej chromatografii cieczowej, spektrometrii mas, spektroskopii IR, Ramana, UV/VIS, Skaningowej Mikroskopii Optycznej Bliskiego Pola (NSOM) oraz Mikroskopii Sił Atomowych (AFM), STM, EPR, magnetometru działającego na zasadzie interferencji kwantowych typu SQUID (Superconducting Quantum Interference Device), dichroizmu kołowego i fluorescencji, femtosekundowe i pikosekundowe techniki pomiarowe w nanotechnologii, spektroskopia dielektryczna.

*Efekty kształcenia – umiejętności i kompetencje:* Praktyczne poznanie możliwości nowoczesnych technik badawczych stosowanych we współczesnej fizykochemii, badaniach fizykochemicznych ciał stałych i powierzchni, inżynierii krystalicznej i nanotechnologii. Zastosowanie wybranych technik w celu rozwiązania przykładowych problemów naukowych. Poznanie metodologii pomiarów oraz specyfiki pracy związanej z wybranymi technikami.

#### **Niektóre ćwiczenia do wyboru**

Wykorzystanie chromatografii cieczowej ze spektrometrią mas (HPLC/MS) do identyfikacji związków fenolowych w wybranych produktach spożywczych

Wyznaczanie stężenia krytycznego micelizacji metodą spektroskopii emisyjnej

Wyznaczanie anizotropii fluorescencyjnej oraz swobody rotacji białek globularnych w roztworach wodnych

Wizualizacja nanosfer polistyrenowych przy użyciu Skaningowej Mikroskopii Optycznej Bliskiego Pola (NSOM) oraz Mikroskopii Sił Atomowych (AFM)

Badanie struktury krystalicznej substancji metodą dyfrakcji rentgenowskiej dla próbek proszkowych

Badanie struktury ciekłokrystalicznej fazy kolumnowej (2D) metodą niskokątowej dyfrakcji rentgenowskiej

Badania stanu MG (Molten Globule)  $\alpha$ -Laktoalbuminy za pomocą spektroskopii dichroizmu kołowego i fluorescencji

Badania denaturacji, misfoldingu i agregacji Insuliny za pomocą dichroizmu kołowego i fluorescencji tioflawiny T

Ćwiczenia studenckie wykonywane przy użyciu spektrometru NMR 700 MHz: Analiza prostych widm NMR., Widma korelacyjne NMR.. Jądrowy efekt Overhausera (NOE). Widma NMR w fazach anizotropowych. Badanie współczynników dyfuzji metodą spektroskopii NMR. Widma NMR próbek proszkowych

Badanie fizykochemicznych właściwości półprzewodnikowych kropek kwantowych PbS i CdS

Ćwiczenia studenckie wykonywane przy użyciu dyfraktometru monokrystalicznego Wyznaczenie i analiza struktury modelowego kryształu organicznego lub nieorganicznego. Wyznaczenie i analiza eksperymentalnej gęstości elektronowej w modelowym kryształku organicznym lub nieorganicznym. Wpływ ekstynkcji na eksperymentalną gęstość elektronową karbonylku rutenu  $\text{Ru}_3(\text{CO})_{12}$ . Rola lokalnego układu odniesienia: wpływ więzów wynikających z symetrii i charakteru chemicznego na wyniki udokładnienia struktury i eksperymentalnej gęstości elektronowej. Udokładnienie X-N. Analiza topologii rozkładu gęstości ładunku oraz laplasjanu tego rozkładu w prostych związkach metaloorganicznych

femtosekundowe i pikosekundowe techniki pomiarowe „pump-probe”, przedstawienie technik wykorzystywanych w ultraszybkiej spektroskopii w zastosowaniu do nanomateriałów.

spektroskopia podczerwieni z uwzględnieniem technik odbiciowych (całkowite wewnętrzne odbicie, metoda ATR i odbicie zewnętrzne, metoda IRRAS),

zwykły, rezonansowy i powierzchniowo wzmocniony efekt Ramana; konfokalna mikroskopia ramanowska

metoda SPR (powierzchniowy rezonans plazmonowy),

magnetyczny rezonans jądrowy z uwzględnieniem NMR ciała stałego

zagadnienia związane z oddziaływaniem cząstek z materią i podstawy krystalografii powierzchni,

spektroskopia fotoelektronów (XPS) i spektroskopia Auger'a,

dyfrakcja niskoenergetycznych elektronów,

spektroskopia jonów rozproszonych,

spektrometria masowa jonów wtórnych, mikroskopia elektronów wtórnych,

spektroskopia tunelowania, skaningowa mikroskopia tunelowania (STM) i sił atomowych (AFM).

Skaningowa mikroskopia optyczna w bliskim polu (SNOM).



Badanie właściwości magnetycznych materii przy użyciu magnetometru działającego na zasadzie interferencji kwantowych typu SQUID (Superconducting Quantum Interference Device)  
Spektroskopia dielektryczna

## SEMESTR 5:

### **Elementy termodynamiki i fizyki statystycznej (60 h) (30 h W, 30 Ć)**

*Treści kształcenia:* Wiadomości wstępne. Definicja i podstawowe informacje na temat zmiennych losowych oraz fenomenologiczne definicje wielkości termodynamicznych, zerowa i pierwsza zasada termodynamiki. Opis statystyczny układów makroskopowych. Kwantowa definicja mikrostanu, liczba mikrostanów, rozkład mikrokanoniczny, warunek równowagi układów oddziałujących termicznie, statystyczna definicja temperatury. Statystyczna definicja entropii. Własności entropii oraz statystyczna interpretacja II zasady termodynamiki, funkcje termodynamiczne gazu doskonałego jednoatomowego. Rozkład kanoniczny. Wyprowadzenie rozkładu kanonicznego. Fluktuacje energii w rozkładzie kanonicznym. Suma statystyczna i jej związek z funkcjami termodynamicznymi układu. Funkcje termodynamiczne gazów I. Wpływ translacji, rotacji, oscylacji, wzbudzeń elektronowych, oraz spinu jąder na funkcje termodynamiczne gazów dwuatomowych. Funkcje termodynamiczne gazów II. Wpływ oscylacji i rotacji cząsteczek wieloatomowych na ich własności termodynamiczne. Rotacja wewnętrzna. Termodynamika statystyczna kryształów atomowych. Teoria Einsteina i Debye'a, entropia resztkowa, termodynamika defektów w kryształach. III zasada termodynamiki. Równowagi chemiczne. Warunek równowagi w układzie, w którym zachodzi reakcja chemiczna. Zastosowanie metody statystycznej do obliczania stałych równowag chemicznych oraz do oceny szybkości reakcji chemicznych. Wielki rozkład kanoniczny. Warunek równowagi dla układów otwartych, wielki rozkład kanoniczny, fluktuacja liczby cząstek. Reguła faz Gibbsa. Statystyki kwantowe I. Wyprowadzenie statystyki Bosego-Einsteina i Fermiego-Diraca. Granica klasyczna. Statystyka Boltzmanna i granice jej stosowalności. Statystyki kwantowe II. Zastosowanie statystyk kwantowych do gazu elektronowego i fotonowego. Kondensacja Bosego-Einsteina. Przybliżenie kwaziklasyczne. Suma statystyczna w granicy klasycznej i jej obliczenie dla gazu niedoskonałego, rozwinięcie wirałne równania stanu, równanie van der Waalsa.

*Efekty kształcenia- umiejętności i kompetencje:* Zdobycie umiejętności posługiwania się modelem statystycznym do obliczania funkcji termodynamicznych dla konkretnych układów chemicznych, do badania równowag chemicznych oraz do oceny szybkości reakcji chemicznych. Drugim równie ważnym celem wykładu jest pokazanie studentom, w jaki sposób model statystyczny pozwala zrozumieć prawa termodynamiki oraz związki pomiędzy własnościami indywidualnych atomów i molekuł a własnościami układów makroskopowych.

### **Modelowanie nanostruktur (75 h) (30 h W, 45 h Ć)**

*Treści kształcenia:* **Metody ciągłe** (kontinuum) dla modelowania nanostruktur Modelowanie studni kwantowych, drutów kwantowych oraz kropek kwantowych przy pomocy równania Schrödingera z masą efektywną. Dyskretyzacja przestrzeni i metody diagonalizacji dużych układów

**Metody atomistyczne:** Model Keatinga dla energii elastycznej, wyznaczania konfiguracji równowagowych w nanostrukturach. Metoda ciasnego wiązania dla obliczeń struktury elektronowej makromolekuł i prostych nanostruktur. Metoda empirycznego pseudopotencjału dla obliczeń struktury elektronowej nanostruktur

Obliczanie struktury równowagowej prostych klasterów atomowych przy pomocy istniejących kodów *ab initio*  
Symulacje Monte Carlo Modelu Isinga

*Efekty kształcenia – umiejętności i kompetencje:* Zaznajomienie się z podstawowymi technikami modelowania nanostruktur i nabycie umiejętności przeprowadzenia samodzielnych symulacji przy pomocy istniejących programów numerycznych. Po wysłuchaniu wykładu student będzie zaznajomiony z najważniejszymi metodami modelowania struktury elektronowej nanostruktur oraz będzie zdolny do dalszego samodzielnego kształcenia się w tej dziedzinie. Ćwiczenia pozwolą na nabycie umiejętności posługiwania się istniejącymi pakietami numerycznymi.

### **Fizyka materii skondensowanej (75 h) (45 h W, 30 h Ć)**

*Treści kształcenia:* Funkcja korelacji par jako miara uporządkowania układu atomów, gazy, ciecze, ciała stałe, i kwazikryształy. Współistnienie faz, warunki równowagi faz, diagramy fazowe, przejścia fazowe, wykładniki krytyczne, fenomenologiczna teoria Landaua przejść fazowych. Rodzaje wiązań chemicznych w materii skondensowanej. Różne formy materii skondensowanej, nanostruktury (klastry, koloidy, niskowymiarowe struktury półprzewodnikowe i metaliczne) struktury mezoskopowe i objętościowe oraz ich struktura elektronowa. Elektrony w kryształach, metalach, izolatorach i półprzewodnikach, polimerach. Domieszkowanie półprzewodników, złącze p-n,

dwuwymiarowy gaz elektronowy. Właściwości elektronowego gazu Fermiego, stała dielektryczna. Przejścia optyczne w kryształach i nanostrukturach. Dynamika elektronów w kryształach i transport ładunku i spinu w nanostrukturach i strukturach mezoskopowych. Powierzchnie i międzywierzchnie różnych substancji. Defekty strukturalne. Dynamika atomów w sieci krystalicznej, fonony, oddziaływanie elektron-fonon.

*Efekty kształcenia - umiejętności i kompetencje:* Zaznajomienie studentów z podstawowymi pojęciami w fizyce materii skondensowanej i bogactwem struktur materii. Po wysłuchaniu wykładu student będzie zaznajomiony z najważniejszymi koncepcjami fizyki materii skondensowanej oraz będzie zdolny do dalszego samodzielnego kształcenia się w tej dziedzinie

### **Fotonika (75 h) (45 h W, 30 h Ć)**

*Treści kształcenia:* Podstawy optyki ośrodków izotropowych i anizotropowych. Reprezentacja informacji w układzie optycznym - natężenie światła, amplituda zespolona, polaryzacja, koherencja, reprezentacja modowa, widmo czasowe i przestrzenne światła. Podstawy fizyczne: przegląd przybliżeń i równań optyki, opis propagacji w ośrodku jednorodnym, periodycznym i w mikrostrukturach opisywanych przybliżeniem ośrodka efektywnego; struktura pasmowa kryształów fotonicznych, odbicie Bragga, fotoniczna przerwa wzbroniona, modyfikacje prawa Snella, sprężanie fali do fal Blocha, propagacja wsteczna, przezroczyste metale, metaliczne soczewki płaskie, superpryzmat. Działanie elementów fotonicznych: falowody, światłowody, światłowody fotoniczne z przerwą wzbronioną, sprzęgacze, dzielniki, rezonatory, elementy dyfrakcyjne, hologramy, czujniki światłowodowe, modulatory światła, wyświetlacze LCD, siatki i zwierciadła Bragga, filtry interferencyjne, powłoki, czujniki plazmonowe. Podstawy optyki nieliniowej.

*Efekty kształcenia – umiejętności i kompetencje:* Poznanie fizycznych podstaw działania najważniejszych elementów wykorzystywanych w fotonice, oraz formułowania dostosowanego do potrzeb matematycznego opisu działania układu optycznego.

### **Technologie i projektowanie nowych materiałów (90 h) (30 h W, 60 h Lab)**

*Treści kształcenia:* Wybrane zagadnienia dotyczące procesów technologicznych związane z przejściem od skali laboratoryjnej do przemysłowej. Technologia nieorganiczna (wytwarzanie półprzewodników, technologia szkła). Chemia supramolekularna, szkło i materiały ceramiczne, materiały metaliczne. Technologia organiczna (zagadnienia dotyczące technologii polimerów). Zagadnienia dotyczące fizyki i chemii nowych materiałów: struktury nano-węglowe (fullereny, nonorurki, grafeny); kropki kwantowe oraz cienkie warstwy nieorganiczne (tlenkowe, półprzewodnikowe, metaliczne, ceramiczne); ustrukturuwane eutektyki nieorganiczne; materiały dla elektroniki molekularnej (nanodruty); układy molekularne naśladujące układy biologiczne (helisy, sensory, motory, rotory, przełączniki etc); nano-magnetyki (magnetyczne nanocząstki, magnesy molekularne, magnesy kolumnowe); materiały dla fotoniki (materiały dla optyki nieliniowej, kryształy fotoniczne); metamateriały (materiały o ujemnym współczynniku załamania, gigantycznej stałej dielektrycznej, materiały typu maskującego do ukrywania obiektów i o innych nietypowych właściwościach elektromagnetycznych); materiały hybrydowe tj. materiały łączące kilka funkcji a zatem umożliwiające przestrajanie parametrów materiałowych (np. multiferromateriały, przestrajalne kryształy fotoniczne i metamateriały etc), przezroczysta ceramika; nanociecze, ciekłe kryształy, ciecze i ciekłe kryształy jonowe.

*Efekty kształcenia – umiejętności i kompetencje:* W ramach wykładu omówione będą zagadnienia dotyczące ogólnej strategii projektowania i wytwarzania nowych materiałów, w tym nano-materiałów oraz pewne zagadnienia szczegółowe dotyczące właściwość i metod tworzenia takich materiałów.

### **Technologie i projektowanie nowych materiałów: laboratorium:**

- Zbadanie metodami elektrochemicznymi właściwości elektroakceptujących fullerenów C60 i C70 oraz wybranej pochodnej fullerenowej.
- Efekt fotowoltaiczny dla wybranej pochodnych fullerenowej, wyznaczenie mobilności nośników ładunku metoda 'time of fly'
- Nanoklastry złota - wytworzenie i wyznaczenie wielkości z poszerzenia sygnałów rentgenowskich pochodzących od sieci krystalicznej.
- Korelacja właściwości absorpcyjno - fluorescencyjnych nanoklastrów (zbudowanych z materiału półprzewodnikowych) z ich wielkością.
- Wyznaczenie struktury przestrzennej wybranego polimeru metodami rentgenowskimi i mikroskopii AFM.
- Magnetyczne nanocząstki kobaltu - wyznaczenie ich wielkości metodami nisko-kątowej dyfrakcji rentgenowskiej, wyznaczenie wielkości momentu magnetycznego nanoklastra metodą SQUID, korelacja wielkości nanocząstki z jego właściwościami ferromagnetycznymi.

- synteza i charakteryzacja paramagnetycznego kompleksu metalu tworzącego fazy kolumnowa, charakterystyka oddziaływań spinowych w takim materiale metodami SQUID i EPR.
- Wyznaczenie wydajności kwantowej fluorescencji oraz czasu życia fluorescencji dla wybranego barwnika organicznego oraz pochodnej fullerenowej.
- Generacja drugiej harmonicznej (SHG) w kryształach ferroelektrycznych -Wytworzenie monowarstwy nanocząstek metalicznych na podłożu stałym i jej charakteryzacja metodami reflektometrii rentgenowskiej oraz elektrochemicznymi
- wytwarzanie ustrukturuwanego eutektyka metodą mikro-wyciągania, charakteryzacja mikro/nanostruktury za pomocą skaningowego mikroskopu elektronowego, ilościowa analiza trójwymiarowej mikrostruktury na podstawie dwuwymiarowego obrazu, analiza struktury eutektyka w trzech wymiarach za pomocą nanotomografu rentgenowskiego
- Zaprojektowanie struktury włókna fotonicznego, pomiar parametrów geometrycznych wytworzonych struktur fotonicznych, charakteryzacja właściwości optycznych włókna
- wytwarzanie struktur metalo-dielektrycznych poprzez trawienia lub nanoszenia metalu, otrzymywanie samoorganizujących się struktur metalo-dielektrycznych metodą mikro-wyciągania z grzaniem oporowym, analiza geometrii struktur za pomocą mikroskopu AFM -Konstrukcja prostej komórki wyświetlacza LCD działającej na efekcie ?twist nematic? i jej charakteryzacja elektrooptyczna.
- Określenie struktury przezroczystej ceramiki (dla przemysłu laserowego):  
porównanie wymiarów drobin w otrzymanej ceramice przezroczystej z wymiarami drobin materiału wyjściowego

## SEMESTR 6:

### **Chemia stosowana, nano-odpady i zarządzanie chemikaliami (10 h W)**

*Treści kształcenia:* Wstęp do pracowni licencjackiej: zasady BHP pracowni licencjackiej. Nanotechnologia, a środowisko. Elementy chemii stosowanej i zarządzania chemikaliami, "zielona chemia", zanieczyszczenia chemiczne, zabezpieczenia, ochrona i oczyszczanie, wpływ nanocząstek na organizmy żywe. Odpady chemiczne, nano-odpady – zasady postępowania i ich utylizacja. Przepisy dotyczące odpadów chemicznych w Polsce i Unii Europejskiej.

*Efekty kształcenia – umiejętności i kompetencje:* Stosowania zasad zrównoważonego rozwoju w życiu codziennym i posługiwania się przepisami prawa w zakresie zarządzania chemikaliami i nowymi nano-materiałami.

### **Pracownia licencjacka (170 h)**

*Treści kształcenia:* W zależności od wybranej pracy licencjackiej będą to wybrane ćwiczenia numeryczne lub doświadczalne wykonywane w grupach naukowych pod opieką promotora pracy licencjackiej.

*Efekty kształcenia – umiejętności i kompetencje:* Pracownia licencjacka będzie poświęcona badaniom naukowym związanym bezpośrednio z pracą licencjacką. Na początku 6 semestru studentom zostaną zaproponowane prace licencjackie w różnych zespołach naukowych. Student będzie miał możliwość wyboru spośród wielu zaproponowanych tematów. Następnie pod opieką promotora będzie pracował w grupie badawczej nad zadaniem naukowym, będącym tematem pracy licencjackiej. W trakcie trwania pracowni student pozna także metody opracowywania wyników i ich prezentacji. Na zakończenie pracowni student będzie musiał złożyć gotową pracę licencjacką.

Uzupełnieniem pracowni będzie *Seminarium licencjackie*, w czasie którego studenci będą przedstawiali wyniki swoich badań, wykorzystywane narzędzia badawcze i będą mogli dyskutować na temat postępów prac.

## PRZEDMIOTY DODATKOWE

### WYKŁADY DO WYBORU:

Lista wykładów do wyboru nie jest zamknięta. W przyszłości planowane jest uruchomienie także innych wykładów (oprócz wymienionych niżej) związanych z inżynierią nanostruktur, chemią i fizyką.

### **Metody badawcze magnetyzmu (30 h)**

*Treści kształcenia:* - magnetometria, kalorymetria, EPR, FMR, NMR, obrazowanie rezonansu magnetycznego (MRI), neutronografia, spektroskopia optyczna i rentgenowska

*Efekty kształcenia – umiejętności i kompetencje:* Wykład przedstawia podstawowe metody badawcze stosowane w badaniach właściwości magnetycznych. Omówione będą metody wraz z praktycznymi aspektami analizy wyników

eksperymentalnych. Wykład pomyślany jest jako uzupełnienie wykładu „Magnetyczne właściwości materii” i ma przygotować słuchaczy do analizy danych doświadczalnych pochodzących z poszczególnych eksperymentów.

### **Magnetyczne właściwości materii (30 h)**

*Treści kształcenia:* fizyczne podstawy magnetyzmu, kwantowa teoria magnetyzmu, magnetyzm izolowanych momentów zlokalizowanych (w tym momenty swobodne, momenty w polu ligandów), oddziaływanie momentów magnetycznych (w tym różne rodzaje oddziaływania wymiennego), zjawiska kolektywne zespołu momentów magnetycznych (w tym ferromagnetyzm, antyferromagnetyzm), zjawiska związane z ferromagnetyzmem (w tym histereza, struktura domenowa, ferromagnetyzm nanocząstek), magnetyzm pasmowy, nadprzewodnictwo, nanostruktury magnetyczne (w tym magnetyzm materiałów 2D, 1D i 0D), rodzaje zachowań magnetycznych (w tym ferrimagnetyzm, metamagnetyzm, superparamagnetyzm, asperomagnetyzm, szkła spinowe, sperrimagnetyzm.)

*Efekty kształcenia – umiejętności i kompetencje:* Ideą wykładu jest zaznajomienie studentów z możliwymi sytuacjami magnetycznymi (różnymi rodzajami magnetyzmu), z jakimi można spotkać się przy badaniu nowych materiałów (kryształów, nanokryształów, materiałów biologicznych, polimerów, nanokompozytów, struktur nanometrycznych...) oraz jak na podstawie właściwości magnetycznych można wnioskować o strukturze wewnętrznej materiałów.

### **Plazmonika (30 h)**

*Treści kształcenia:* Fale ewanescentne – wzbudzenie, widmo kątowe i energia pola zanikającego. Właściwości optyczne metali szlachetnych. Powierzchniowe fale plazmonowo-polarytonowe – wzbudzenie, propagacja, długość fal. Metaliczno-dielektryczne warstwy wielokrotne. Wzmacnianie sprzężenia foton-plazmon – struktury karbowane. Obrazowanie propagacji plazmonów-polarytonów. Skanujący mikroskop optyczny bliskiego pola – rozdzielczość. Zlokalizowane plazmony powierzchniowe. Imitacja plazmonów w zakresie THz. Światłowodów plazmonowe – transport energii, mody, różne konfiguracje. Transmisja światła przez pojedyncze i wielokrotne otwory podfalowe w ekranach metalowych. Plazmonika i nanoptyka. Urządzenia nanooptyczne

*Efekty kształcenia – umiejętności i kompetencje:* poznanie właściwości fal plazmonowych. Zrozumienie podstaw fizycznych nanoptyki. Poznanie urządzeń nanooptycznych działających z wykorzystaniem powierzchniowych fal plazmonowo-polarytonowych.

### **Ciekłe kryształy i polimery: (30 h)**

*Treści kształcenia:* chemia ciekłych kryształów, chemia polimerów i dendrymery i polimerów supramolekularnych, typy faz mezogenicznych (nematyczna, smektyczna, kubiczna, kolumnowa etc), zastosowanie metod rentgenowskich do badania struktury materii miękkiej (parametrów struktury, zakresów korelacji pozycyjnej i orientacyjnej molekuł), optyka ośrodków anizotropowych, defekty (dysklinacje i dyslokacje, focal-coniksy, efekty powierzchniowe), efekty elektrooptyczne, ciekłe kryształy i polimery ferroelektryczne i antyferroelektryczne, przejścia fazowe w materii miękkiej, właściwości mechaniczne polimerów, zastosowania ciekłych kryształów, wybrane zastosowania polimerów.

*Efekty kształcenia - umiejętności i kompetencje:* Celem tego wykładu jest zapoznanie studentów z wybranymi zagadnieniami dotyczącymi „materii miękkiej”.

### **Fizyka półprzewodników (30 h)**

*Treści kształcenia:* Struktura krystaliczna „typowych” półprzewodników. Metody wzrostu półprzewodnikowych materiałów objętościowych oraz struktur niskowymiarowych. Fotolitografia i elektronografia. Doświadczalne metody badania struktury krystalicznej półprzewodników: dyfrakcja promieni X, dyfrakcja elektronów i neutronów. Metody badania powierzchni: STM, AFM, MFM. Struktura pasmowa półprzewodników, model elektronów prawie swobodnych, metoda ciasnego wiązania. Półprzewodnik samoistny, rozkład Fermiego-Diraca, koncentracja elektronów i dziur. Domieszki wodoropodobne i głębokie. Równanie neutralności. Równanie Boltzmanna. Przewodnictwo elektryczne. Półprzewodnikowe struktury niskowymiarowe, studnie kwantowe, druty kwantowe, kropki kwantowe. Oscylacje Shubnikova-de Haasa. Kwantowy Efekt Halla. Własności optyczne. Własności elastyczne. Ciepło właściwe półprzewodników. Półprzewodniki półmagnetyczne. Wysokotemperaturowy ferromagnetyzm. Quasi-cząstki w półprzewodnikach. Rurki węglowe. Urządzenia półprzewodnikowe, prawo Moore’a.

*Efekty kształcenia – umiejętności i kompetencje:* poznanie podstawowych własności materiałów półprzewodnikowych. Poznanie zasady działania podstawowych urządzeń elektronicznych. Po wysłuchaniu wykładu student będzie zdolny do dalszego samodzielnego kształcenia się w tej dziedzinie.

### **Ultraszybkie procesy w nanostrukturach w spektroskopii femtosekundowej. (30 h)**

*Treść przedmiotu:* Liniowe i nieliniowe zjawiska optyczne towarzyszące oddziaływaniu pola elektromagnetycznego z materią; ich wartość poznawcza w badaniu nanomateriałów. Ultraszybkie procesy w nanostrukturach: -koherentna i niekoherentna dynamika nośników w nanomateriałach półprzewodnikowych (np. wychwyt, relaksacja i rekombinacja), redystrybucja energii wzbudzeń; dynamika stanów przejściowych; dynamika struktur chwilowych w nanocieczkach i cieczach „ściśniętych” w nanoobjętościach; dynamika przeniesienia ładunku na powierzchni nanocząstek w nanocieczkach. Pojęcie koherentnej odpowiedzi ośrodka. Podstawy fizyczne oraz metody koherentnej spektroskopii laserowej w nanomateriałach. Spektroskopia “pump-probe”: absorpcja przejściowa, femtosekundowy optyczny efekt Kerra, wymuszony efekt Ramana, ultraszybkie selektywne wzbudzenie wybranych stanów energetycznych, echo fotonowe, techniki mieszania czterech fal.

*Efekty kształcenia - umiejętności i kompetencje:* Poznanie optycznych właściwości oraz wzajemnych oddziaływań nanostruktur, cech decydujących o ich znaczeniu w badaniach podstawowych i aplikacyjnych. Nanomateriały, jako obiekt badań a równocześnie zastosowań w optyce liniowej, nieliniowej oraz w femtosekundowej spektroskopii laserowej....

### **Metody badania powierzchni ciał stałych oparte na analizie widm oscylacyjnych (30 h)**

*Treść przedmiotu:* Specyfika fazy powierzchniowej. Polaryzacja promieniowania elektromagnetycznego. Odbicie promieniowania spolaryzowanego. Całkowite wewnętrzne odbicie. Absorpcyjna spektroskopia w podczerwieni: reguły wyboru w absorpcyjnym widmie w podczerwieni, odbiciowa spektroskopia w podczerwieni, konfiguracja ATR, mechanizmy powierzchniowego wzmocnienia widma absorpcyjnego. Spektroskopia ramanowska: podstawy spektroskopii ramanowskiej, rezonansowy efekt ramanowski. Plazmony powierzchniowe. Powierzchniowo wzmocnione rozproszenie ramanowskie (SERS), elektromagnetyczny i „chemiczny” mechanizm wzmocnienia widma SERS. SFG (Sum Frequency Generation): podstawowe informacje o nieliniowych efektach optycznych, reguły wyboru w spektroskopii SFG. Podstawowe informacje o pracy z wysoką próżnią (UHV). HREELS (High Resolution Electron Energy-Loss Spectroscopy), mechanizmy rozproszenia elektronów. Mikroskopia tunelowa – tunelowa spektroskopia: efekty tunelowe, budowa skaningowego mikroskopu tunelowego (STM), „nieelastyczne tunelowanie” i „tunelowa spektroskopia”. Wszystkie wymienione powyżej techniki spektroskopowe będą ilustrowane przykładami praktycznych zastosowań

*Efekty kształcenia - umiejętności i kompetencje:* Celem wykładu jest pokazanie studentom w jaki sposób można uzyskać widma oscylacyjne zaadsorbowanych molekuł oraz określić zmiany struktury elektronowej molekuł powstałe na skutek adsorpcji.

### **Samoorganizacja Molekularna ( wykład dostępny po polsku i angielsku, 15 godzin)**

*Treści kształcenia:* Podział warstw molekularnych (warstwy Langmuira, Langmuira-Blodgett, monowarstwy samorzutnie organizujące się na podłożach (self-assembled monolayers, SAM's). Technika otrzymywania monowarstwy na powierzchni międzyfazowej woda-powietrze (warstwy Langmuira). Badania właściwości warstw molekularnych Langmuira. Modyfikacja substratów warstwami Langmuira-Blodgett I Langmuira-Schaefera. Samoorganizacja cząsteczek na stałych podłożach. Właściwości układów mono i multiwarstwowych (badania grubości i właściwości warstw; analiza powierzchni pokrytych monowarstwami). Warstwy organotiolowe. Elektryczne i elektrooptyczne właściwości . Zagadnienia transportu przez warstwy - warstwy jako membrany . Złącza tunelowe: konstrukcja i właściwości przewodzące. Przegląd zastosowań układów monowarstwowych. Dekorowanie podłoży funkcjonalnymi molekułami. Rozpoznanie molekularne przy pomocy monowarstwowo modyfikowanych podłoży – modyfikacje molekułami receptorów. Samoorganizacja mechanomolekuł. Metody syntezy nanocząstek metalicznych i półprzewodnikowych ograniczonych warstwami molekularnymi (monolayer protected clusters, MPC's). Struktura elektronowa nanocząstek i materiałów objętościowych - porównanie. Porównanie właściwości fizycznych nanocząstek i materiałów objętościowych, ( schody kulomba, zmiany barwa i przewodnictwa w funkcji wielkości itp). Porównanie właściwości chemicznych nanocząstek i materiałów objętościowych,. Metody unieruchamiania nanocząstek Au na powierzchniach stałych. oddziaływanie elektrostatyczne klastrów złota ze zmodyfikowanymi powierzchniami,. wiązanie klastrów złota z podłożami za pomocą łącznika molekularnego (np. ditiolu). Zastosowania nanocząstek metalicznych i półprzewodnikowych w roztworze oraz zorganizowanych na stałych podłożach

*Efekty kształcenia – umiejętności i kompetencje:* Zaznajomienie studentów z procesami samoorganizacji na poziomie molekularnym. Zapoznanie z metodami wytwarzania, właściwościami i zastosowaniem uporządkowanych molekularnie materiałów.

### **Polimery przewodzące – synteza, właściwości i zastosowania (30 h)**

*Treści kształcenia:* Rodzaje polimerów, mechanizmy przewodzenia i sposoby domieszkowania polimerów. Metody i mechanizmy polimeryzacji. Zastosowanie metod chemicznych i elektrochemicznych do syntezy polimerów. Badanie domieszkowania polimerów przewodzących metodami elektrochemicznymi i spektroskopowymi. Określanie struktury i morfologii polimerów metodami spektroskopowymi (FTIR, Raman) i mikroskopowymi (SEM, STM, AFM). Badanie przewodnictwa polimerów (in-situ i ex-situ). Nanostruktury z polimerów przewodzących (nanorurki i nanodruty, zawiesziny, nanokapsułki i nanostruktury 3D osadzone na powierzchniach), metody syntezy i właściwości. Układy hybrydowe (polimery przewodzące + nanocząstki metaliczne, półprzewodnikowe, nanostruktury węglowe, układy biologiczne) – otrzymywanie i właściwości. Zastosowania praktyczne polimerów przewodzących.

*Efekty kształcenia – umiejętności i kompetencje:* Student powinien wykazać się znajomością metod wytwarzania, właściwości oraz możliwościami praktycznego zastosowania polimerów przewodzących.

### **Trendy, Innowacje i własność intelektualna. (30 h)**

*Treści kształcenia:* Czym jest trend w gospodarce. Trendy w technologii: miniaturyzacja, scalanie, synergia. Opis ilościowy. Trendy w świecie (demografia, energia, żywność). Disruptive technologies, przykłady. Futurystyka i science-fiction. Jak skorzystać na trendach. Innowacyjność, wynalazki, wzory przemysłowe a ochrona własności intelektualnej. Prawo patentowe w Polsce i na świecie. Zgłoszenie patentowe (polskie i światowe)

*Efekty kształcenia – umiejętności i kompetencje:* Wykład ma na celu zademonstrowanie w jaki sposób można starać się przewidzieć trendy w technologii i w jaki sposób te informacje wykorzystać. Wykład ma zwrócić uwagę na ochronę własności intelektualnej i nauczyć studentów jak tę ochronę zdobyć.

### **Nanostruktury węglowe (30 h)**

*Treści kształcenia:* Nanostruktury jedno- i wielowymiarowe – klasyfikacja. Historia odkrycia nanostruktur węglowych. Otrzymywanie i charakterystyka i nanostruktur węglowych typu 1-D (nanorurki, nanowłókna). Otrzymywanie i charakterystyka nanostruktur węglowych typu 3-D (fulereny, nanokapsułki). Perspektywiczne zastosowania nanostruktur węglowych: farmakologia i medycyna, inżynieria materiałowa, fotooptyka, kataliza, trybologia, nanoelektronika, mikroskopia i inne. Nieorganiczne nanostruktury jednowymiarowe (nanodruty, nanowłókna) – otrzymywanie, charakterystyka i potencjalne zastosowania

*Efekty kształcenia – umiejętności i kompetencje:* Student powinien wykazać się znajomością metod wytwarzania, właściwości oraz możliwościami praktycznego zastosowania nanostruktur węglowych – fulerenów i nanorurek

### **Physical Foundations of Nanotechnology – Nanospintronics (30 h)**

Wykład USOS 1102-679

### **Teoria struktury elektronowej układów o 1- i 2-wymiarowej periodyczności (30 h)**

*Treści kształcenia:* Wstęp z chemii kwantowej: Atomy i molekuly jako układy wielu elektronów. Model jednoelektronowy, definicja orbitalu. Interpretacja fizyczna orbitalu. Całki jednoelektronowe. Atomy: orbitale atomowe, konfiguracja elektronowa atomu, rozkład gęstości elektronowej w atomie, orbitale atomowe zhybrydowane. Molekuly: orbitale molekularne, konfiguracja elektronowa molekuly, rozkład gęstości elektronowej w molekule, wiązanie chemiczne. Konstrukcja LCAO MO, orbitale molekularne zdelokalizowane i zlokalizowane, podstawowe typy orbitali zlokalizowanych w molekule. Rozszerzona teoria Hückla (EHT) struktury elektronowej molekulek, parametry empiryczne modelu. Wyznaczanie orbitali molekularnych: rozwiązywanie macierzowych równań własnych. Molekuly  $\pi$ -elektronowe: Definicja molekuly  $\pi$ -elektronowej, orbitale  $\pi$  i  $\pi^*$ . Przybliżenie  $\pi$ -elektronowe. Model orbitali molekularnych Hückla (HMO): macierz topologiczna molekuly, baza orbitali atomowych ortogonalizowanych, parametry  $\alpha$  i  $\beta$ . Wyznaczanie orbitali molekularnych (typu  $\pi$ ). Energie orbitalne,  $\pi$ -elektronowe ładunki atomowe i rzędy wiązań. Uwzględnienie sprężystości  $\pi$ -elektronowego szkieletu molekularnego: model Hückla -Su-Schrieffer-Heegera (SSH). Zastosowanie modelu HMO do molekulek: Struktura elektronowa etylenu, butadienu i benzenu. Wyznaczenie parametrów modelu SSH dla węglowodorów  $\pi$ -elektronowych. Symetria alternacyjna węglowodorów  $\pi$ -elektronowych. Polien cykliczny (CH)<sub>M</sub> na powierzchni walca: Wyznaczenie struktury elektronowej w ramach modelu HMO z wykorzystaniem symetrii cyklicznej (grupa punktowa C<sub>M</sub>), orbitale molekularne polienu jako orbitale symetrii, Przejście do granicy M→∞ (poliacetylen o wyrównanych długościach wiązań): symetria translacyjna, parametr k, przedział Brillouina, pasma energii elektronowych e(k). Modelowy metal o 1-wymiarowej periodyczności: domieszkowanie, wypełnienie pasma, poziom Fermiego, punkty Fermiego w przedziale Brillouina. Niestabilność Peierlsa i solitony w poliacetylenie: Mechanizm dimeryzacji łańcucha węglowego poliacetyleny. Dalsza deformacja łańcucha w stanach zjonizowanych ( $\pm 1$ ). Mobilne deformacje łańcucha:

solitony. Mechanizm przewodnictwa elektrycznego poliacetyleny. Polimery  $\pi$ -elektronowe: Opis struktury elektronowej w ramach modelu HMO. Orbitale Blocha i orbitale krystaliczne. Diagonalizacja blokowa macierzowych równań własnych. Pasma energetyczne. Grupy symetrii bordiurów. Przykłady: poliacen i polifenacen. Stereoregularne polimery ogólnego typu: Opis struktury elektronowej w ramach EHT. Grupy symetrii polimerów. Polimery helikalne, przykład: polialanina. Układy o n-wymiarowej periodyczności ( $n = 1,2,3$ ): Symetria translacyjna w n wymiarach. Sieć odwrotna. Warunki dyfrakcji. Wektor falowy k, pierwsza strefa Brillouina. Reprezentacje nieprzywiedlne grupy translacji. Orbitale Blocha i orbitale krystaliczne w n wymiarach, twierdzenie Blocha. Grupy płaskie ( $n = 2$ ) i grupy przestrzenne ( $n = 3$ ). Opis struktury elektronowej układów periodycznych w ramach EHT: Wykorzystanie symetrii translacyjnej: diagonalizacja blokowa macierzowych równań własnych. Pasma energetyczne. Przykład: diament. Grafen (C) i borazen (BN) jako układy periodyczne w 2 wymiarach: Opis struktury elektronowej w ramach modelu HMO. Orbitale Blocha i orbitale krystaliczne. Diagonalizacja blokowa macierzowych równań własnych. Pasma energetyczne. Grafen (C) i borazen (BN), przegląd własności. Nanorurki węglowe: Konstrukcja z płaszczyzny grafenowej. Opis struktury elektronowej w ramach modelu HMO. Nanorurki jako układy periodyczne w 1 wymiarze. Nanorurki węglowe: przegląd własności. Fulereny: Opis struktury elektronowej molekuly  $C_{60}$  w ramach modelu HMO. Trwałość układów  $\pi$ -elektronowych: Od polienów liniowych do poliacetyleny. Od acenów do poliacenu. Od fenacenów do polifenacenu. Od policyklicznych węglowodorów aromatycznych (PAH) i fulerenów, do nanorurek i grafenu.

*Efekty kształcenia – umiejętności i kompetencje:* Student powinien znać metody wyznaczania struktury elektronowej w układach o 1- i 2-wymiarowej periodyczności i umieć zastosować te metody w przypadku molekuł, polimerów, nanorurek węglowych i grafenu.

### **Technologia chemiczna nanomateriałów (60 h) (30 h W , 30 h Lab)**

#### **Technologia chemiczna nanomateriałów – wykład (30 h)**

*Treści kształcenia:* Zasady technologiczne: zasada najlepszego wykorzystania różnic potencjałów, zasada najlepszego wykorzystania surowców, zasada najlepszego wykorzystania energii. Bilansowanie masy, bilansowanie energii w procesie technologicznym. Zasada najlepszego wykorzystania aparatury. Udział różnych dyscyplin w rozwoju procesu technologicznego. Surowce odnawialne i nieodnawialne. Kinetyka reakcji w skali przemysłowej. Równania kinetyczne (przypomnienie). Obszar kinetyczny i dyfuzyjny procesu chemicznego na przykładzie reakcji w układzie dwufazowym ciecz-ciało stałe. Wpływ temperatury, ciśnienia i składu na szybkość procesu. Przemysłowe reakcje katalityczne. Elementy Inżynierii Chemicznej. Z laboratorium do przemysłu - rozwój procesu technologicznego-powiększanie skali. Kontrola procesu przemysłowego - aparatura pomiarowa i regulacyjna, systemy nadzoru procesów przemysłowych. Operacje jednostkowe w przemyśle chemicznym. Transfer masy i ciepła w przemyśle chemicznym. Ruch ciepła - ogólne wiadomości. Mechanizmy ruchu ciepła: promieniowanie, przewodzenie, konwekcja, przenikanie. Zastępcza różnica temperatur. Liczby kryterialne. Wymienniki ciepła. Podział wymienników, główne typy wymienników, ich wady i zalety. Sposoby ogrzewania w przemyśle chemicznym. Techniki separacji i oczyszczania. Adsorpcja i adsorpcja. Flokulacja, sedymentacja, filtracja (rodzaje filtracji), wirowanie - wirówki sedymentacyjne i filtracyjne. Techniki zagęszczania. Zagęszczanie termiczne, wyparki. Ekstrakcja. Metody membranowe. Ultrafiltracja. Odwrócona osmoza. Precypitacja. Krystalizacja. Chromatografia preparatywna. Suszenie. Technologie wytwarzania nowych materiałów i nanomateriałów. Pierwotne surowce energetyczne i chemiczne. Nowoczesne źródła energii. Charakterystyka technologii czystych. Obróbka cieplna materiałów w przemyśle: wyżarzanie, hartowanie, utwardzanie, grafityzacja, spiekanie. Rafinacja strefowa: topnienie i krzepnięcie, ciągła rafinacja strefowa. Termodyfuzja. Wirowanie – rozdział izotopów. Oczyszczanie gazów: odpylanie grawitacyjne, filtracyjne, elektrofiltry, odpylanie mokre. Kontrola czystości powietrza. Technologia nieorganiczna. Technologia krzemu i krzemianów. Ceramika. Przemysł półprzewodników. Technologia szkła. Metale i metalurgia. Przemysł elektrochemiczny (otrzymywanie czystych metali i gazów). Technologia pierwiastków rzadkich. Pozyskiwanie metali rzadkich, wzbogacanie rud i minerałów na drodze mechanicznej i chemicznej (flotacja, hydrometalurgia amalgamacyjna, zastosowanie chloru i czynników chlorujących, wydzielanie metali z roztworów: techniki ekstrakcyjne, adsorpcyjne, cementacja, redukcja wodorem). Przegląd metod otrzymywania i oczyszczania wybranych pierwiastków: Cu, Ag, Au, Cd, Sc, lantanowce, tytanowce, Zr, V, Mo, W, platynowce, Ga, In. Nanokataliza – własności katalityczne wolnych i naniesionych klasterów metali, preparatyka i badanie ich własności, zastosowanie nanosrebrowych katalizatorów w technologii, zastosowanie złota i platyny jako nanokatalizatorów. Technologia organiczna. Elementy chemii i technologii polimerów (m. in. procesy polimeryzacji, masa cząsteczkowa polimerów, przemiany termiczne, polimery włóknotwórcze, utwardzanie tworzyw, elastomery). Zastosowanie dendrymerów, ciekłych kryształów i nanorurek węglowych. Organiczne materiały przewodzące i magnetyczne. Włókna, pigmenty, farby, lakiery, tusze i farby drukarskie.

*Efekty kształcenia - umiejętności i kompetencje:* Wykład wprowadza podstawowe pojęcia technologii i inżynierii chemicznej - na tej podstawie studenci zostaną zapoznani z przemysłowymi metodami otrzymywania, oczyszczania

i przeróbki substancji chemicznych wykorzystywanych w nowoczesnej inżynierii materiałowej. Jednym z głównych celów jest zapoznanie studentów z prawami wiążącymi naukę z zastosowaniami komercyjnymi i możliwościami optymalizacji takiego połączenia.

### **Technologia chemiczna nanomateriałów – pracownia (30 h)**

Spis ćwiczeń do wyboru:

1. Symulacja komputerowa procesów technologicznych programem Chem-Cad: symulacje układów w stanie równowagi, wyznaczania własności fizycznych, skalowania urządzeń, obliczania kosztorysów i innych obliczeń inżynierskich dla destylacji i ekstrakcji w trybie ciągłym i nieciągłym, reakcji chemicznych, procesów elektrolitycznych, obliczenia własności termicznych i fizycznych, skalowanie aparatury, analiza ryzyka (bezpieczeństwa), sporządzanie kosztorysów.
2. Kontrola procesu technologicznego na linii produkcyjnej w mikroskali: kontrola parametrów i ich wpływu na dynamikę procesu, kontrola optymalnego zużycia i odzyskiwania energii, kontrola temperatury, przepływów, efekt czasu martwego, kontrola sekwencji operacyjnych (rozruch procesu, operacja ciągła, zakończenie procesu), recykling surowców i energii, symulacja awarii i diagnoza problemu, komputerowe sterowanie procesem technologicznym.
3. Transfer masy w procesach przemysłowych - otrzymywanie czystych i ultraczystych substancji: przemysłowe metody zateżania i oczyszczania substancji (możliwe warianty - rektyfikacja, metody membranowe, zateżanie, krystalizacja).
4. Transfer ciepła w procesach przemysłowych w makro- i mikroskali – pomiary przepływu ciepła w kierunku zgodnym z gradientem temperatur i przeciwnym do niego (bilanse energetyczne, odzyskiwanie energii, termoelektryczna pompa ciepła jako urządzenie transportujące ciepło przeciw gradientowi temperatur, punktowe chłodzenie półprzewodników, chłodzenie objętościowe. Pomiary transferu ciepła w warunkach niestacjonarnych (szybkie ogrzewanie-chłodzenie).
5. Transfer ciepła w procesach przemysłowych w makro- i mikroskali: pomiary w warunkach stacjonarnych - liniowe i radiacyjne przewodzenie ciepła (ilustracja prawa Fouriera), przewodzenie ciepła przez promieniowanie (pomiary wydajności ogrzewania, prawo Stefana-Boltzmana, prawo Kirchoffa), wyznaczanie optymalnych parametrów wymiany ciepła kombinowaną metodą konwekcyjno-radiacyjną. Pomiary błędów wyznaczania temperatury spowodowanych promieniowaniem.
6. Otrzymywanie, charakterystyka i funkcjonalizacja polimerów: otrzymywanie kopolimeru styren-bezwodnik maleinowy i badanie składu kopolimeru oraz wolnorodnikowa kopolimeryzacja styrenu z akrylonitrylem – kontrola kinetyki procesu.
8. Analiza termiczna jako metoda charakteryzacji polimerów: badania własności termicznych (różnicowa analiza termiczna (DSC), analiza termogravimetryczna (TGA), oznaczanie temperatury topnienia i zeszklenia, badanie stopnia krystaliczności polimerów. Wyznaczanie masy cząsteczkowej makromolekuł.
7. Adsorpcja i jej zastosowanie w przemyśle chemicznym: adsorpcyjne oczyszczanie gazów zanieczyszczonych związkami organicznymi (adsorpcja na złożu zeolitowym, adsorpcja na węglu aktywnym). Sposoby prowadzenia procesu przemysłowego w warunkach superczystych (kontrola czystości wody i powietrza w procesach przemysłowych, odpylanie)
9. Katalizatory i reakcje katalityczne w przemyśle chemicznym: prowadzenie procesu utleniania tlenków azotu, katalityczne spalanie węglowodorów. Wpływ struktury, rozdrobnienia i formy katalizatora na szybkość, wydajność i selektywność katalizowanego procesu.
10. Nanokataliza – preparatyka nanokatalizatorów: klastery palladu na powierzchni  $\text{SiO}_2$ , klastery srebra na  $\text{SiO}_2$ . Wpływ rozdrobnienia metalu na własności katalityczne: aktywność, selektywność, odporność na trucizny.
11. Bilanse procesów technologicznych.

*Efekty kształcenia - umiejętności i kompetencje:* Nabycie umiejętności posługiwania się aparaturą kontrolującą przebieg procesu technologicznego w mikroskali, umiejętności bilansowania energii i masy oraz kosztów w procesie technologicznym, umiejętności planowania, wykonywania i nadzorowania operacji jednostkowych w różnych skalach technologicznych. Zapoznanie się z możliwościami wykorzystania nowych materiałów w procesach technologicznych. Wykonanie jakościowej i ilościowej oceny procesu przemysłowego lub operacji jednostkowej oraz prezentacja danych i analiza przebiegu procesu technologicznego.