

<b>WYDZIAŁ PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW TECHNIKI</b>	
<b>KARTA PRZEDMIOTU</b>	
<b>Nazwa przedmiotu w języku polskim: Efekty topologiczne w układach kwantowych</b>	
<b>Nazwa przedmiotu w języku angielskim: Topological effects in quantum systems</b>	
<b>Kierunek studiów (jeśli dotyczy): fizyka techniczna</b>	
<b>Specjalność (jeśli dotyczy):</b>	
<b>Poziom i forma studiów:</b>	<b>II stopień, stacjonarna</b>
<b>Rodzaj przedmiotu:</b>	<b>wybieralny</b>
<b>Język wykładowy:</b>	<b>polski</b>
<b>Cykl kształcenia od:</b>	<b>2023/2024</b>
<b>Kod przedmiotu</b>	
<b>Grupa kursów</b>	<b>NIE</b>

	<b>Wykład</b>	<b>Ćwiczenia</b>	<b>Laboratorium</b>	<b>Projekt</b>	<b>Seminarium</b>
Liczba godzin zajęć zorganizowanych w Uczelni (ZZU)	30				
Liczba godzin całkowitego nakładu pracy studenta (CNPS)	50				
Forma zaliczenia	zaliczenie na ocenę				
Dla grupy kursów zaznaczyć kurs końcowy (X)					
<b>Liczba punktów ECTS</b>	<b>2</b>				
w tym liczba punktów odpowiadająca zajęciom o charakterze praktycznym (P)					
w tym liczba punktów ECTS odpowiadająca zajęciom wymagającym bezpośredniego udziału nauczycieli lub innych osób prowadzących zajęcia (BU)	1.28				

**WYMAGANIA WSTĘPNE W ZAKRESIE WIEDZY, UMIEJĘTNOŚCI I KOMPETENCJI SPOŁECZNYCH**

1. Wiedza z zakresu mechaniki kwantowej i fizyki statystycznej oraz elektrodynamiki

**CELE PRZEDMIOTU**

- C1 Zapoznanie studentów z obecnym stanem wiedzy z zakresu topologicznych metod w fizyce kwantowej
- C2 Osiągnięcie przez studentów klarownego poziomu wiedzy na temat kwantowego ułamkowego efektu Halla i całkowitego efektu Halla
- C3 Zapoznanie studentów z innymi obszarami topologicznych kwantowych efektów (w tym grawitacyjnych relatywistycznych)

## PRZEDMIOTOWE EFEKTY UCZENIA SIĘ

Z zakresu wiedzy:

PEU\_W01 - wiedza dotycząca kwantowych efektów topologicznych zwłaszcza w fizyce hallowskiej

Z zakresu umiejętności:

PEU\_U01 – nabył umiejętność stosowania metod kwantowych efektów topologicznych

PEU\_U02 – posiada możliwość dyskusowania i analizowania między-dziedzinowych fundamentalnych topologicznych aspektów kwantowych

Z zakresu kompetencji społecznych:

PEU\_K01 – umiejętność krytycznej oceny zakresu swojej wiedzy, rozumienia konieczności samokształcenia i podnoszenia kwalifikacji

PEU\_K02 – niezależnego, twórczego i racjonalnego myślenia

## TREŚCI PROGRAMOWE

Forma zajęć: wykład		Liczba godzin
Wy1	Topologiczne podejście do układów wielocząstkowych; Całka po trajektoriach w wielospójnych przestrzeniach konfiguracyjnych	2
Wy2	Topologiczne przejścia fazowe	2
Wy3	Zależność efektywnego kwantu strumienia pola magnetycznego od homotopii trajektorii cyklotronowych w płaskich układach skorelowanych	2
Wy4	Podstawowe idee topologicznego podejścia do FQHE; Cyklotronowe podgrupy warkoczowe	2
Wy5	Przykłady faz homotopii; Dwucząstkowa ilustracja klas homotopii w 2D	2
Wy6	Fazy homotopii odpowiadające hierarchii FQHE w LLL dla konwencjonalnych 2DES GaAs; Symetrie wielocząstkowych stanów kwantowych zgodnie z modelem cyklotronowych warkoczy, funkcje falowe oraz ich energie; wyprowadzenie i uogólnienie funkcji Lughlina	2
Wy7	Wyjaśnienie enigmatycznych hierarchii FQHE w LLL dla GaAs spoza konwencjonalnych hierarchii modelu złożonych fermionów; ograniczona stosowalność modelu złożonych fermionów; Struktura jednopętlowych stanów FQHE w wyższych poziomach Landaua, niedostępnych w modelu złożonych fermionów	2
Wy8	Zastosowanie modelu warkoczowego w jednowarstwowym grafenie; Wyjaśnienie anomalnego FQHE w dwuwarstwowym grafenie	2
Wy9	Eksperymentalna weryfikacja modelu warkoczowego w dwuwarstwowym grafenie	2
Wy10	Całkowanie po trajektoriach Feynmana dla kinetycznych niestacjonarnych stanów i teoretyczne odtworzenie krzywej rezystancji $R_{xx}$ względem czynnika zapełnienia LLL (dla GaAs)	2
Wy11	Dwuwarstwowe układy Halla z tunelowaniem elektronów pomiędzy warstwami; Dwuwarstwowe układy Halla z warstwą izolatora uniemożliwiającą międzywarstwowe tunelowanie elektronów	2
Wy12	Kontrola nad topologicznymi stopniami swobody w wielowarstwowym układach hallowskich	2
Wy13	Osobliwe stany topologiczne dla parzystych mianowników zapełnień w grafenie jednowarstwowym	2

Wy14	Topologiczna natura układów skorelowanych w 2D w polu magnetycznym i w polu Berry'ego; wyjaśnienie natury tzw. złożonych fermionów	2
Wy15	Topologiczne metody dla 3D relatywistycznej osobliwości grawitacyjnej	2
	Suma godzin	<b>30</b>

### STOSOWANE NARZĘDZIA DYDAKTYCZNE

- N1. Wykład – forma tradycyjna.  
 N2. Konsultacje.  
 N3. Praca własna – samodzielne studia i przygotowanie do egzaminu.

### OCENA OSIĄGNIĘCIA PRZEDMIOTOWYCH EFEKTÓW UCZENIA SIĘ

Oceny (F – formująca (w trakcie semestru), P – podsumowująca (na koniec semestru))	Numer efektu uczenia się	Sposób oceny osiągnięcia efektu uczenia się
F1	PEU_W01 PEU_U01 PEU_U03 PEU_K01 PEU_K02	Zaliczenie na podstawie kolokwium lub samodzielnego opracowania
P=F1		

### LITERATURA PODSTAWOWA I UZUPEŁNIAJĄCA

#### **LITERATURA PODSTAWOWA:**

[1] Janusz Jacak, Topologiczne efekty w układach kwantowych, Skrypt PWr, 2019

#### **LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA:**

[1] J. E. Jacak, Application of path-integral quantization to indistinguishable particle systems topologically confined by a magnetic field, Phys. Rev. A 97, 012108 (2018), <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.97.012108>

[2] J. E. Jacak, R. Gonczarek, L. Jacak, I. Józwiak, Application of Braid Groups in 2D Hall System Physics: Composite Fermion Structure, ISBN: 978-981-4412-02-5, World Scientific, Singapore 2012

[3] J. E. Jacak, Magnetic flux quantum in 2D correlated states of multiparticle charged system, New J. Phys. 22, 093027 (2020), <https://doi.org/10.1088/1367-2630/abae68>

[4] R. P. Feynman, A. R. Hibbs, Quantum Mechanics and Path Integrals, McGraw-Hill, New York 1964

[5] J. S. Birman, Braids, Links and Mapping Class Groups, Princeton UP, Princeton 1974

[6] J. E. Jacak, Forbidden trajectories for path integrals, Phys. Rev. A 107, 032207 (2023)

#### **OPIEKUN PRZEDMIOTU (IMIĘ, NAZWISKO, ADRES E-MAIL)**

Janusz E. Jacak, janusz.jacak@pwr.edu.pl

<b>WYDZIAŁ PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW TECHNIKI</b>	
<b>KARTA PRZEDMIOTU</b>	
<b>Nazwa przedmiotu w języku polskim: Elementy chemii kwantowej</b>	
<b>Nazwa przedmiotu w języku angielskim: Elements of quantum chemistry</b>	
<b>Kierunek studiów (jeśli dotyczy): fizyka techniczna</b>	
<b>Specjalność (jeśli dotyczy):</b>	
<b>Poziom i forma studiów:</b>	<b>II stopień, stacjonarna</b>
<b>Rodzaj przedmiotu:</b>	<b>wybieralny</b>
<b>Język wykładowy:</b>	<b>polski</b>
<b>Cykl kształcenia od:</b>	<b>2023/2024</b>
<b>Kod przedmiotu</b>	
<b>Grupa kursów</b>	<b>TAK</b>

	Wykład	Ćwiczenia	Laboratorium	Projekt	Seminarium
Liczba godzin zajęć zorganizowanych w Uczelni (ZZU)	15		15		
Liczba godzin całkowitego nakładu pracy studenta (CNPS)	25		25		
Forma zaliczenia	zaliczenie na ocenę		zaliczenie na ocenę		
Dla grupy kursów zaznaczyć kurs końcowy (X)	X				
<b>Liczba punktów ECTS</b>	<b>2</b>				
w tym liczba punktów odpowiadająca zajęciom o charakterze praktycznym (P)			1		
w tym liczba punktów ECTS odpowiadająca zajęciom wymagającym bezpośredniego udziału nauczycieli lub innych osób prowadzących zajęcia (BU)	0.68		0.68		

**WYMAGANIA WSTĘPNE W ZAKRESIE WIEDZY, UMIEJĘTNOŚCI I KOMPETENCJI SPOŁECZNYCH**

1. Znajomość Analizy matematycznej i Algebry liniowej.
2. Znajomość fizyki na poziomie kursu Fizyka 1.

**CELE PRZEDMIOTU**

- C1. Zapoznanie z wybranymi technikami chemii kwantowej i modelowania molekularnego.
- C2. Nauczenie posługiwania się przykładowym programem do obliczeń kwantowo-chemicznych.
- C3. Nabycie umiejętności poprawnego przewidywania właściwości materii na podstawie analizy otrzymanych danych kwantowo-chemicznych.



### PRZEDMIOTOWE EFEKTY UCZENIA SIĘ

Z zakresu wiedzy:

PEU\_W01 – posiada znajomość metod Hartree-Focka oraz DFT wraz ze stosowanymi założeniami i przybliżeniami

PEU\_W02 – posiada znajomość empirycznych metod stosowanych w chemii obliczeniowej

PEU\_W03 – posiada wiedzę na temat metody dynamiki molekularnej (klasycznej)

PEU\_W04 – posiada wiedzę na temat metody dynamiki molekularnej ab initio

...

PEU\_U01 – potrafi posługiwać się wybranym programem do obliczeń kwantowo-chemicznych

PEU\_U02 – potrafi posługiwać się wybranym programem do klasycznej dynamiki molekularnej

PEU\_U03 – potrafi posługiwać się wybranym programem do dynamiki molekularnej ab initio.

...

PEU\_K01 – rozumie własne ograniczenia i wie, kiedy zwrócić się do ekspertów

### TREŚCI PROGRAMOWE

Forma zajęć - wykład		Liczba godzin
Wy1	Wprowadzenie do przedmiotu – cele i zastosowania chemii obliczeniowej; organizacja zajęć.	2
Wy2	Podstawowy chemii kwantowej. Równanie Schroedingera niezależne od czasu, przybliżenie adiabatyczne i BO.	2
Wy3	Metoda Hartree-Focka: metoda LCAO, wyznacznik Slatera, bazy funkcyjne.	2
Wy4	Metody DFT.	2
Wy5	Potencjały empiryczne stosowane w chemii obliczeniowej; przybliżenia i algorytmy.	2
Wy6	Metoda dynamiki molekularnej; implementacja zespołów statystycznych, algorytmy.	2
Wy7	Zastosowania dynamiki molekularnej.	2
Wy8	Kolokwium zaliczeniowe.	1
	Suma godzin	<b>15</b>

Forma zajęć - laboratorium		Liczba godzin
La1	Sposób prowadzenia i zaliczenia laboratorium. Nauka poleceń systemu Linux.	2
La2 La3	Obliczenia kwantowo-chemiczne struktury i własności prostych cząsteczek.	4
La4 La5	Symulacje klasyczną metodą dynamiki molekularnej.	4
La6 La7	Symulacje metodą dynamiki molekularnej Car-Parrinello lub Born-Oppenheimer MD.	4
La8	Projekt zaliczeniowy	1
	Suma godzin	<b>15</b>

### STOSOWANE NARZĘDZIA DYDAKTYCZNE

- N1. wykład z prezentacją multimedialną  
N2. wykorzystanie gotowego oprogramowania do obliczeń kwantowo-chemicznych.  
N3. opracowanie projektu końcowego.

### OCENA OSIĄGNIĘCIA PRZEDMIOTOWYCH EFEKTÓW UCZENIA SIĘ

Oceny (F – formująca (w trakcie semestru), P – podsumowująca (na koniec semestru))	Numer efektu uczenia się	Sposób oceny osiągnięcia efektu uczenia się
P (wykład)	PEU_W01- PEU_W04	Kolokwium zaliczeniowe
P (laboratorium)	PEU_U01- PEU_U03	Projekt
$P = F1*0.5 + F2*0.5$		

### LITERATURA PODSTAWOWA I UZUPEŁNIAJĄCA

#### **LITERATURA PODSTAWOWA:**

- [1] L. Pielą "Idee chemii kwantowej", wyd. PWN
- [2] A. Kaczmarek-Kędziera, M. Ziegler-Borowska, D. Kędziera "Chemia obliczeniowa w laboratorium organicznym" Wydawnictwo Naukowe Mikołaja Kopernika
- [3] D. Heermann "Podstawy symulacji komputerowych w fizyce", wyd. WNT
- [4] James B. Foresman and Æleen Frish "Exploring Chemistry with Electronic Structure Methods: A Guide to Using Gaussian" Gaussian, Inc

#### **LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA:**

- [1] I. N. Levine "Quantum chemistry", wyd. Prentice Hall
- [2] D. Frenkel, B. Smit "Understanding Molecular Simulation", wyd. Academic Press
- [3] C.J. Cramer "Essentials of Computational Chemistry", Willey

#### **OPIEKUN PRZEDMIOTU (IMIĘ, NAZWISKO, ADRES E-MAIL)**

Paweł Lipkowski, pawel.lipkowski@pwr.edu.pl

<b>WYDZIAŁ PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW TECHNIKI</b>	
<b>KARTA PRZEDMIOTU</b>	
<b>Nazwa przedmiotu w języku polskim:</b>	<b>Elementy dynamiki nieliniowej</b>
<b>Nazwa przedmiotu w języku angielskim:</b>	<b>Elements of nonlinear dynamics</b>
<b>Kierunek studiów (jeśli dotyczy):</b>	<b>fizyka techniczna</b>
<b>Specjalność (jeśli dotyczy):</b>	
<b>Poziom i forma studiów:</b>	<b>II stopień, stacjonarna</b>
<b>Rodzaj przedmiotu:</b>	<b>wybieralny</b>
<b>Język wykładowy:</b>	<b>polski</b>
<b>Cykl kształcenia od:</b>	<b>2023/2024</b>
<b>Kod przedmiotu</b>	
<b>Grupa kursów</b>	<b>TAK</b>

	Wykład	Ćwiczenia	Laboratorium	Projekt	Seminarium
Liczba godzin zajęć zorganizowanych w Uczelni (ZZU)	15		15		
Liczba godzin całkowitego nakładu pracy studenta (CNPS)	25		25		
Forma zaliczenia	zaliczenie na ocenę		zaliczenie na ocenę		
Dla grupy kursów zaznaczyć kurs końcowy (X)	X				
<b>Liczba punktów ECTS</b>	<b>2</b>				
w tym liczba punktów odpowiadająca zajęciom o charakterze praktycznym (P)			1		
w tym liczba punktów ECTS odpowiadająca zajęciom wymagającym bezpośredniego udziału nauczycieli lub innych osób prowadzących zajęcia (BU)	0.68		0.68		

**WYMAGANIA WSTĘPNE W ZAKRESIE WIEDZY, UMIEJĘTNOŚCI I KOMPETENCJI SPOŁECZNYCH**

Znajomość analizy matematycznej i fizyki ogólnej na poziomie studiów pierwszego stopnia

**CELE PRZEDMIOTU**

- C1. Zapoznanie się z podstawowymi pojęciami dynamiki nieliniowej..
- C2. Zapoznanie się z ważnymi równaniami prowadzącymi do nieliniowego zachowania.
- C3. Zapoznanie się z modelowaniem zjawisk nieliniowych za pomocą programu komputerowego *Maple*.

### PRZEDMIOTOWE EFEKTY UCZENIA SIĘ

Z zakresu wiedzy:

PEU\_W01 - zna wybrane zagadnienia z zakresu zaawansowanej wiedzy szczegółowej w obszarze dynamiki nieliniowej, a także jej zastosowań w nauce i inżynierii materiałów

Z zakresu umiejętności:

PEU\_U01 - potrafi formułować, analizować, rozwiązywać złożone i nietypowe problemy oraz innowacyjnie wykonywać zadania z zakresu dynamiki nieliniowej, w oparciu o (a) posiadaną wiedzę, dobór odpowiednich źródeł i informacji z nich pochodzących, dokonywać oceny i krytycznej analizy dotyczącej otrzymanych informacji oraz posiada możliwość twórczej interpretacji i prezentacji tych informacji; (b) dobór stosownych metod i narzędzi w tym zaawansowanych technik obliczeniowych; (c) przystosowaniem istniejących lub opracowaniem nowych metod i narzędzi

Z zakresu kompetencji społecznych:

PEU\_K01 - potrafi krytycznie oceniać posiadaną wiedzę i odbierane treści; ma świadomość znaczenia wiedzy w rozwiązywaniu problemów poznawczych i praktycznych, jest świadom własnych ograniczeń i wie, kiedy zwrócić się do ekspertów

### TREŚCI PROGRAMOWE

Forma zajęć - wykład		Liczba godzin
Wy1	Nonlinear systems – an overview (models and diagnostics tools)	1
Wy2	Phase plane portraits: autonomous system of first-order ODE's, examples of fixed points	2
Wy3	Phase plane analysis: Simple fixe points and their classification. Geometric interpretation. Higher order fixed points	4
Wy4	Lorenz's model	3
Wy5	The period-doubling route to chaos: Duffing's equation	1
Wy6	One-dimensional maps and Liapunov exponent	1
Wy7	Approximate analytic methods for nonlinear harmonic oscillators (Poisson's and Lindstedt's perturbation methods)	2
Wy8	Final test	1
	Suma godzin	<b>15</b>

### Forma zajęć - laboratorium

Forma zajęć - laboratorium		Liczba godzin
La1	First steps with <i>Maple</i> : equations, plotting, elements of linear algebra, basic mathematical analysis, ordinary differential equations	3
La2	Phase-plane portraits and analysis (stationary points, "famous phaseportraits)	3
La3	Linear and nonlinear oscillators	3
La4	Deterministic chaos and Poincare section	2
La5	Logistic map	2
La6	Reconstructing an attractor	2
	Suma godzin	<b>15</b>

### STOSOWANE NARZĘDZIA DYDAKTYCZNE

- N1. Wykład tradycyjny – prezentacja komputerowa
- N2. Laboratorium komputerowe – komputery PC z zainstalowanym programem komputerowym Maple
- N3. Zasoby cyfrowe
- N4. Konsultacje

### OCENA OSIĄGNIĘCIA PRZEDMIOTOWYCH EFEKTÓW UCZENIA SIĘ

Oceny (F – formująca (w trakcie semestru), P – podsumowująca (na koniec semestru))	Numer efektu uczenia się	Sposób oceny osiągnięcia efektu uczenia się
F1	PEU_W01, PEU_K01	testy ustne, dyskusje, sprawdzenie postępów w pracowni komputerowej
F2	PEU_U01, PEU_K01	zaliczenie na ocenę (wykład), zaliczenie na ocenę (laboratorium komputerowe)
P=(F1+F2)/2		

### LITERATURA PODSTAWOWA I UZUPEŁNIAJĄCA

#### **LITERATURA PODSTAWOWA:**

- [1] A.C. Mitus, Nonlinear Dynamics – Lecture Notes (teaching materials for BDA students).
- [2] A.C. Mitus, Nonlinear Dynamics - Computer Lab Projects (teaching materials for BDA students).
- [3] S.H. Strogatz, *Nonlinear Dynamics and Chaos*, Perseus Books, 1994.
- [4] R.H. Enns, G.C. McGuire, *Nonlinear Physics with Maple for Scientists and Engineers*, Birkhauser, 2000.
- [5] A.C. Mitus, R. Orlik, G. Pawlik, *Wstęp do pakietu algebry komputerowej Maple, Polkowice, 2010 (in polish)*

#### **LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA**

- [6] R.H. Enns, G.C. McGuire, *Computer Algebra Recipes. An Advanced Guide to Scientific Modeling*, Birkhauser, 2007.
- [7] R.H. Enns, *Computer Algebra Recipes for Mathematical Physics*, Birkhauser, 2005.

#### **OPIEKUN PRZEDMIOTU (IMIE, NAZWISKO, ADRES E-MAIL)**

Antoni C. Mituś, antoni.mitus@pwr.edu.pl

<b>WYDZIAŁ PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW TECHNIKI</b>	
<b>KARTA PRZEDMIOTU</b>	
Nazwa przedmiotu w języku polskim: <b>Elementy kinetyki fizycznej</b>	
Nazwa przedmiotu w języku angielskim: <b>Basics of Physical Kinetics</b>	
Kierunek studiów (jeśli dotyczy): <b>fizyka techniczna</b>	
Specjalność (jeśli dotyczy):	
Poziom i forma studiów:	<b>II stopień, stacjonarna</b>
Rodzaj przedmiotu:	<b>wybieralny</b>
Język wykładowy:	<b>polski</b>
Cykl kształcenia od:	<b>2023/2024</b>
Kod przedmiotu	
Grupa kursów	<b>NIE</b>

	Wykład	Ćwiczenia	Laboratorium	Projekt	Seminarium
Liczba godzin zajęć zorganizowanych w Uczelni (ZZU)	30				
Liczba godzin całkowitego nakładu pracy studenta (CNPS)	50				
Forma zaliczenia	zaliczenie na ocenę				
Dla grupy kursów zaznaczyć kurs końcowy (X)					
<b>Liczba punktów ECTS</b>	<b>2</b>				
w tym liczba punktów odpowiadająca zajęciom o charakterze praktycznym (P)					
w tym liczba punktów ECTS odpowiadająca zajęciom wymagającym bezpośredniego udziału nauczycieli lub innych osób prowadzących zajęcia (BU)	1.28				

**WYMAGANIA WSTĘPNE W ZAKRESIE WIEDZY, UMIEJĘTNOŚCI I KOMPETENCJI SPOŁECZNYCH**

Znajomość podstaw mechaniki kwantowej i kwantowej fizyki statystycznej

**CELE PRZEDMIOTU**

C1 Zapoznanie się z podstawami opisu zjawisk fluktuacyjnych w fizyce klasycznej i kwantowej  
 C2 Zapoznanie się z metodyką efektywnego opisu makroskopowego tunelowania kwantowego i makroskopowej koherencji kwantowej

### PRZEDMIOTOWE EFEKTY UCZENIA SIĘ

Z zakresu wiedzy:

PEU\_W01 zna wybrane zagadnienia z zakresu zaawansowanej wiedzy szczegółowej w obszarze dynamiki rozkładu stanu termodynamicznego m.in.: zna metodykę opisu klasycznej odpowiedzi liniowej, zna opis zjawisk rezonansu stochastycznego i pełznięcia, zna opis zjawisk makroskopowego tunelowania kwantowego i makroskopowej koherencji kwantowej

Z zakresu umiejętności:

PEU\_U01 potrafi formułować, analizować, rozwiązywać złożone i nietypowe problemy oraz innowacyjnie wykonywać efektywne modelowanie makroskopowych układów w fazie stałej, w oparciu o (a) posiadaną wiedzę, dobór odpowiednich źródeł i informacji z nich pochodzących, dokonywać oceny i krytycznej analizy otrzymanych informacji oraz posiada możliwość twórczej interpretacji i prezentacji tych informacji; (b) dobór stosownych metod i narzędzi w tym zaawansowanych technik obliczeniowych; (c) przystosowaniem istniejących lub opracowaniem nowych metod i narzędzi

Z zakresu kompetencji społecznych:

PEU\_K01 potrafi krytycznie oceniać posiadaną wiedzę i odbierane treści; ma świadomość znaczenia wiedzy w rozwiązywaniu problemów poznawczych i praktycznych, jest świadom własnych ograniczeń i wie, kiedy zwrócić się do ekspertów

### TREŚCI PROGRAMOWE

Forma zajęć - wykład		Liczba godzin
Wy1	<u>Dynamika rozkładu termodynamicznego</u> : ruch Browna i równanie Langevina, równanie Fokkera-Plancka i jego przypadki szczególne (równania Kramersa i Smoluchowskiego). Równanie kinetyczne Boltzmana i przybliżenie czasu relaksacji.	2
Wy2	<u>Równania mistrzowskie</u> dla procesów markowskich i nie-markowskich: związek z równaniem Fokkera-Plancka. Wyznaczanie współczynników przejścia: formuła Kramersa.	2
Wy3	<u>Rezonans stochastyczny i pełznięcie stochastyczne</u> : cząstka Browna-Smoluchowskiego w podwójnej studni potencjału i w potencjale zapadkowym, współczynniki przejścia zależące od czasu, liniowa odpowiedź układu stochastycznego.	3
Wy4	<u>Fluktuacje termiczne w cząstce magnetycznej</u> : przybliżenie makrospinu, reżimy niskiej i wysokiej bariery energetycznej, odpowiedź liniowa i rezonans stochastyczny.	3
Wy5	<u>Kwantowe równanie (Wignera-)Fokkera-Plancka i kwantowe równanie mistrzowskie.</u>	2
Wy6	<u>Makroskopowe tunelowanie kwantowe (MTK)</u> : granica stosowalności prawa Arrheniusa-Kramersa, przybliżenie WKB, obrót Wicka, działanie euklidesowe, makroskopowa koherencja kwantowa (MKK)	2
Wy7	<u>MTK i MKK w cząstce magnetycznej</u> : odbicia i instantony	2
Wy8	<u>Propagatory w opisie MTK</u> : zasada Huygensa-Fresnela, formalizm fałszywej próżni, częstości Matsubary	4

Wy9	<u>Modele przewodnictwa w 1D układach nieliniowych (uślizgi fazy i fronty fazowe):</u> układy dyslokacji typu Frenkel-Kontorova, układy z falami gęstości ładunku, poliacetylen - model Su-Schrieffer-Hegger, drut nadprzewodzący, aktywacja par soliton-antysoliton.	4
Wy10	<u>Uślizgi fazy i fronty fazowe w dynamice krytycznej:</u> równanie Ginzburga-Landaua w 1D, druty nadprzewodzące w zakresie krytycznym, aktywacja par soliton-antysoliton.	3
Wy11	<u>Dualizm ładunku i fazy w układach SQUID:</u> q-bity fazowe i ładunkowe, aktywacja termiczna	2
Wy12	<u>Test zaliczeniowy</u>	2
	Suma godzin	<b>30</b>

### STOSOWANE NARZĘDZIA DYDAKTYCZNE

N1. Wykład z użyciem prezentacji komputerowej i tablicy  
N2. Konsultacje

### OCENA OSIĄGNIĘCIA PRZEDMIOTOWYCH EFEKTÓW UCZENIA SIĘ

Oceny (F – formująca (w trakcie semestru), P – podsumowująca (na koniec semestru))	Numer efektu uczenia się	Sposób oceny osiągnięcia efektu uczenia się
F1	PEU_W01, PEU_U01, PEU_K01	Test końcowy
F2	PEU_W01, PEU_U01, PEU_K01	Test końcowy
P=0.5*(F1+F2)		

### LITERATURA PODSTAWOWA I UZUPEŁNIAJĄCA

#### LITERATURA PODSTAWOWA:

- [1] H. Risken, "The Fokker-Planck Equation: Methods of Solutions and Applications", Springer 1996
- [2] L. Gammaitoni, P. Hanggi, P. Jung, F. Marchesoni, "Stochastic Resonance", Rev. Mod. Phys. vol. 70 (1998) p. 223
- [3] S. Takagi, „Macroscopic Quantum Tunneling”, Cambridge Univ. Press 2002
- [4] E. M. Chudnowsky, J. Tejada, „Macroscopic Quantum Tunneling of the Magnetic Moment”, Cambridge Univ. Press 1998
- [5] P. Monceau (Ed.), „Electronic Properties of Inorganic Quasi-One-Dimensional Compounds. Part I: Theoretical”, Springer 1985
- [6] F. Altomare, A. M. Chang, „One-Dimensional Superconductivity in Nanowires”, Wiley 2013

#### LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA:

- [1] W. F. Brown, "Thermal Fluctuations of a Single-Domain Particle", Phys. Rev. vol. 130 (1963) p. 1677
- [2] P. Hanggi, "Escape from a Metastable State", J. Stat. Phys. vol. 42 (1986) p. 105

#### OPIEKUN PRZEDMIOTU (IMIE, NAZWISKO, ADRES E-MAIL)

Andrzej Janutka, andrzej.janutka@pwr.edu.pl



<b>WYDZIAŁ PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW TECHNIKI</b>	
<b>KARTA PRZEDMIOTU</b>	
Nazwa przedmiotu w języku polskim: <b>Elementy Rachunku Prawdopodobieństwa</b>	
Nazwa przedmiotu w języku angielskim: <b>Elements of Probability Theory</b>	
Kierunek studiów (jeśli dotyczy): <b>fizyka techniczna</b>	
Specjalność (jeśli dotyczy):	
Poziom i forma studiów:	<b>II stopień, stacjonarna</b>
Rodzaj przedmiotu:	<b>wybieralny</b>
Język wykładowy:	<b>polski</b>
Cykl kształcenia od:	<b>2023/2024</b>
Kod przedmiotu	
Grupa kursów	<b>TAK</b>

	Wykład	Ćwiczenia	Laboratorium	Projekt	Seminarium
Liczba godzin zajęć zorganizowanych w Uczelni (ZZU)	45	30			
Liczba godzin całkowitego nakładu pracy studenta (CNPS)	50	50			
Forma zaliczenia	zaliczenie na ocenę	zaliczenie na ocenę			
Dla grupy kursów zaznaczyć kurs końcowy (X)	X				
<b>Liczba punktów ECTS</b>	<b>4</b>				
w tym liczba punktów odpowiadająca zajęciom o charakterze praktycznym (P)		2			
w tym liczba punktów ECTS odpowiadająca zajęciom wymagającym bezpośredniego udziału nauczycieli lub innych osób prowadzących zajęcia (BU)	1.80	1.28			

**WYMAGANIA WSTĘPNE W ZAKRESIE WIEDZY, UMIEJĘTNOŚCI I KOMPETENCJI SPOŁECZNYCH**

1. Basic knowledge of mathematical analysis

**CELE PRZEDMIOTU**

- C1 Understanding the concept of probabilistic space and random variables
- C2 Understanding the fundamentals of Bayesian reasoning
- C3 Understanding the concept of Markov chains and probabilistic counters

### PRZEDMIOTOWE EFEKTY UCZENIA SIĘ

Z zakresu wiedzy:

PEU\_W01 zna wybrane zagadnienia z zakresu zaawansowanej wiedzy szczegółowej w obszarze rachunku prawdopodobieństwa, a także jej zastosowań w nauce i inżynierii materiałów

Z zakresu umiejętności:

PEU\_U01 potrafi formułować, analizować, rozwiązywać złożone i nietypowe problemy oraz innowacyjnie wykonywać zadania z zakresu rachunku prawdopodobieństwa, w oparciu o (a) posiadaną wiedzę, dobór odpowiednich źródeł i informacji z nich pochodzących, dokonywać oceny i krytycznej analizy dotyczącej otrzymanych informacji oraz posiada możliwość twórczej interpretacji i prezentacji tych informacji; (b) dobór stosownych metod i narzędzi w tym zaawansowanych technik obliczeniowych; (c) przystosowaniem istniejących lub opracowaniem nowych metod i narzędzi

Z zakresu kompetencji społecznych:

PEU\_K01 potrafi krytycznie oceniać posiadaną wiedzę i odbierane treści; ma świadomość znaczenia wiedzy w rozwiązywaniu problemów poznawczych i praktycznych, jest świadom własnych ograniczeń i wie, kiedy zwrócić się do ekspertów

### TREŚCI PROGRAMOWE

Forma zajęć - wykład		Liczba godzin
Wy1	Notion of probabilistic space	4
Wy2	Events, independence, Bayes' rules	6
Wy3	Random variables, expectation, variance, higher moments	6
Wy4	Bayes theorem and Bayesian networks [4h]	5
Wy5	Basic probabilistic counters	5
Wy6	HyperLogLog and other counters used in Big Data	4
Wy7	Entropy of discrete random variable	2
Wy8	Basic continuous distribution and basic limit theorems	5
Wy9	Markov chains	6
Wy10	Hidden Markov chains	2
	Suma godzin	<b>45</b>

Forma zajęć - ćwiczenia		Liczba godzin
Ćw1	Elementary discrete probabilistic spaces	6
Ćw2	Independence, Bayes' rule	4
Ćw3	Random variables and moments	4
Ćw4	Bayesian networks	4
Ćw5	Markov chains	6

Ćw6	Sums of random variables	6
	Suma godzin	<b>30</b>

### STOSOWANE NARZĘDZIA DYDAKTYCZNE

N1. Lecture using board and/or computer presentations

N2. Solving exercises with students

### OCENA OSIĄGNIĘCIA PRZEDMIOTOWYCH EFEKTÓW UCZENIA SIĘ

Oceny (F – formująca (w trakcie semestru), P – podsumowująca (na koniec semestru))	Numer efektu uczenia się	Sposób oceny osiągnięcia efektu uczenia się
F1	PEU_W01-W05	Exam
F2	PEU_U01-U02	Test
P = (F1 + F2)/2		

### LITERATURA PODSTAWOWA I UZUPEŁNIAJĄCA

#### **LITERATURA PODSTAWOWA:**

- [1] David F. Anderson, Timo Seppäläinen, Benedek Valkó, Introduction to Probability, Cambridge University Press, 2017
- [2] Sheldon Ross, A First Course in Probability, Pearson Education, 2019

#### **LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA:**

- [1] Billingsley, P. (1995), Probability and measure, Wiley Series in Probability and Mathematical Statistics. John Wiley & Sons Inc., New York, third edition
- [2] Timo Koski, John Noble, Bayesian Networks: An Introduction, Wiley, 2009, Wiley Series in Probability and Statistics

#### **OPIEKUN PRZEDMIOTU (IMIE, NAZWISKO, ADRES E-MAIL)**

Marek Klonowski, marek.klonowski@pwr.edu.pl

<b>WYDZIAŁ PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW TECHNIKI</b>	
<b>KARTA PRZEDMIOTU</b>	
<b>Nazwa przedmiotu w języku polskim: Elementy teorii materii skondensowanej</b>	
<b>Nazwa przedmiotu w języku angielskim: Elements of condensed matter theory</b>	
<b>Kierunek studiów (jeśli dotyczy): fizyka techniczna</b>	
<b>Specjalność (jeśli dotyczy):</b>	
<b>Poziom i forma studiów:</b>	<b>II stopień, stacjonarna</b>
<b>Rodzaj przedmiotu:</b>	<b>wybieralny</b>
<b>Język wykładowy:</b>	<b>polski</b>
<b>Cykl kształcenia od:</b>	<b>2023/2024</b>
<b>Kod przedmiotu</b>	
<b>Grupa kursów</b>	<b>NIE</b>

	<b>Wykład</b>	<b>Ćwiczenia</b>	<b>Laboratorium</b>	<b>Projekt</b>	<b>Seminarium</b>
Liczba godzin zajęć zorganizowanych w Uczelni (ZZU)	30				
Liczba godzin całkowitego nakładu pracy studenta (CNPS)	50				
Forma zaliczenia	zaliczenie na ocenę				
Dla grupy kursów zaznaczyć kurs końcowy (X)					
<b>Liczba punktów ECTS</b>	<b>2</b>				
w tym liczba punktów odpowiadająca zajęciom o charakterze praktycznym (P)					
w tym liczba punktów ECTS odpowiadająca zajęciom wymagającym bezpośredniego udziału nauczycieli lub innych osób prowadzących zajęcia (BU)	1.28				

**WYMAGANIA WSTĘPNE W ZAKRESIE WIEDZY, UMIEJĘTNOŚCI I KOMPETENCJI SPOŁECZNYCH**

Wiedza, umiejętności i kompetencje w zakresie:

1. mechaniki kwantowej 1 i 2
2. metod matematycznych fizyki
3. podstaw fizyki ciała stałego
4. fizyki statystycznej

**CELE PRZEDMIOTU**

C1 Uzyskanie wiedzy dotyczącej metod kwantowej teorii pola w opisie układów jednocząstkowych i dwucząstkowych w tym nadprzewodnictwa w układach nieuporządkowanych. Uzyskanie wiedzy dotyczącej opisu układów nierównowagowych metodą równania kinetycznego.

C2 Nabycie umiejętności formułowania i rozwiązywania podstawowych problemów dotyczących zjawisk transportu w metalach i nadprzewodnictwa w układach nieuporządkowanych.

C3 Nabywanie i utrwalanie kompetencji społecznych obejmujących potrzebę dalszego kształcenia oraz kreatywnego myślenia. Utrwalanie poczucia konieczności ciągłego rozwijania kompetencji zawodowych.

### PRZEDMIOTOWE EFEKTY UCZENIA SIĘ

Z zakresu wiedzy:

PEU\_W01- zna wybrane zagadnienia z zakresu zaawansowanej wiedzy szczegółowej w obszarze nadprzewodnictwa m.in: ma wiedzę dotyczącą: konstrukcji jednocząstkowego hamiltonianu ciasnego wiązania, hamiltonianu nadprzewodnika w przybliżeniu średniego pola, metod kwantowej teorii pola w opisie stanu nadprzewodzącego, nadprzewodnictwa w obecności nieporządku, opisu stanów nierównowagowych fermionów metodą równania kinetycznego, zjawisk transportu w metalach

Z zakresu umiejętności:

PEU\_U01 - potrafi formułować, analizować, rozwiązywać złożone i nietypowe problemy oraz innowacyjnie wykonywać zadania z zakresu nadprzewodnictwa m.in. dotyczy to konstrukcji jednocząstkowego hamiltonianu ciasnego wiązania, stosowania rachunku funkcji Greena w opisie nadprzewodnictwa w układach jednorodnych i układach nieuporządkowanych, stosowania metody równania kinetycznego w analizie zjawisk transportu w oparciu o (a) posiadaną wiedzę, dobór odpowiednich źródeł i informacji z nich pochodzących, dokonywać oceny i krytycznej analizy dotyczącej otrzymanych informacji oraz posiada możliwość twórczej interpretacji i prezentacji tych informacji; (b) dobór stosownych metod i narzędzi w tym zaawansowanych technik obliczeniowych; (c) przystosowaniem istniejących lub opracowaniem nowych metod i narzędzi;

Z zakresu kompetencji społecznych:

PEU\_K01 - potrafi krytycznie oceniać posiadaną wiedzę i odbierane treści; ma świadomość znaczenia wiedzy w rozwiązywaniu problemów poznawczych i praktycznych, jest świadom własnych ograniczeń i wie, kiedy zwrócić się do ekspertów

### TREŚCI PROGRAMOWE

Forma zajęć - wykład		Liczba godzin
Wy1	Zbiory zupełne na sieciach prostej i odwrotnej. Funkcje Wanniera.	2
Wy2	Energia ciasnego wiązania i hamiltonian ciasnego wiązania.	2
Wy3	Hamiltonian nadprzewodnika, przybliżenie średniego pola. Równania ruchu operatorów pola. Normalne i anomalne funkcje Greena, równania Gorkowa.	6
Wy4	Skończony czas życia – przybliżenie Borna, przybliżenie macierzy T.	4

Wy5	Nadprzewodnictwo w układach nieuporzdkowanych. Stany zlokalizowane.	2
Wy6	Dynamika elektronu w przyblizeniu kwaziklasycznym: paczki falowe elektronow Blocha, nierownowagowa funkcja rozkladu.	2
Wy7	Rownanie kinetyczne. Calka zderzen w przyblizeniu Borna. Sredni czas zycia, nierownowagowa funkcja rozkladu w przyblizeniu Borna.	4
Wy8	Przewodnictwo ukkladow izotropowych – przewodnictwo metali. Prawo Wiedemanna-Franza.	2
Wy9	Prady termodynamiczne i sily termodynamiczne. Twierdzenie Onsagera.	2
Wy10	Symetrie wspolczynnikow kinetycznych w zjawiskach termoelektrycznych. Zjawiska termoelektryczne w metalach.	2
Wy11	Zjawiska galwanomagnetyczne w metalach.	2
	Suma godzin	<b>30</b>

### STOSOWANE NARZĘDZIA DYDAKTYCZNE

- N1. Wykład – forma tradycyjna.  
 N2. Konsultacje.  
 N3. Praca własna – samodzielne studia i przygotowanie do kolokwium.

### OCENA OSIĄGNIĘCIA PRZEDMIOTOWYCH EFEKTÓW UCZENIA SIĘ

Oceny (F – formująca (w trakcie semestru), P – podsumowująca (na koniec semestru))	Numer efektu uczenia się	Sposób oceny osiągnięcia efektu uczenia się
F	PEU_W01, PEU_U01, PEU_K01	Kolokwium pisemne.
P=F (zaliczenie wykładu)		

### LITERATURA PODSTAWOWA I UZUPEŁNIAJĄCA

#### **LITERATURA PODSTAWOWA:**

- [1] A.L. Fetter, J.D. Walecka „Kwantowa teoria układów wielu cząstek”, PWN 1982  
 [2] G. Harań, „Teoria materii skondensowanej” – materiały dydaktyczne „ZPR Pwr – Zintegrowany Program Rozwoju Politechniki Wrocławskiej”  
 [3] A.A. Abrikosov, L.P. Gorkov, I.E. Dzyaloshinski „Methods of quantum field theory in statistical physics”, Dover 1975

#### **LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA:**

- [1] W. Nolting „Fundamentals of many-body physics”, Springer 2009  
 [2] G.D. Mahan „Many-particle physics”, Plenum Press 1981  
 [3] A.J. Leggett „Quantum Liquids”, Oxford University Press 2010  
 [4] J.R. Schrieffer „Theory of Superconductivity”, ABC 1999

#### **OPIEKUN PRZEDMIOTU (IMIĘ, NAZWISKO, ADRES E-MAIL)**

Grzegorz Harań, Grzegorz.Haran@pwr.edu.pl

<b>WYDZIAŁ PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW TECHNIKI</b>	
<b>KARTA PRZEDMIOTU</b>	
Nazwa przedmiotu w języku polskim: Ergodyczność kwantowa	
Nazwa przedmiotu w języku angielskim: Quantum ergodicity	
Kierunek studiów (jeśli dotyczy): fizyka techniczna	
Specjalność (jeśli dotyczy):	
Poziom i forma studiów:	II stopień, stacjonarna
Rodzaj przedmiotu:	wybieralny
Język wykładowy:	polski
Cykl kształcenia od:	2023/2024
Kod przedmiotu	
Grupa kursów	NIE

	Wykład	Ćwiczenia	Laboratorium	Projekt	Seminarium
Liczba godzin zajęć zorganizowanych w Uczelni (ZZU)	30				
Liczba godzin całkowitego nakładu pracy studenta (CNPS)	50				
Forma zaliczenia	zaliczenie na ocenę				
Dla grupy kursów zaznaczyć kurs końcowy (X)					
<b>Liczba punktów ECTS</b>	<b>2</b>				
w tym liczba punktów odpowiadająca zajęciom o charakterze praktycznym (P)					
w tym liczba punktów ECTS odpowiadająca zajęciom wymagającym bezpośredniego udziału nauczycieli lub innych osób prowadzących zajęcia (BU)	1.28				

**WYMAGANIA WSTĘPNE W ZAKRESIE WIEDZY, UMIEJĘTNOŚCI I KOMPETENCJI SPOŁECZNYCH**

1. Wiedza w zakresie analizy matematycznej i algebry
2. Wiedza w zakresie fizyki statystycznej i mechaniki kwantowej

**CELE PRZEDMIOTU**

- C1 Zapoznanie z wybranymi zagadnieniami dotyczącymi dynamiki układów kwantowych.  
 C2 Zaznajomienie z problem ergodyczności kwantowej i jego znaczenia w technice.  
 C3 Doskonalenie umiejętności w zakresie samodzielnego uczenia się i pozyskiwania informacji z literatury naukowej.

## PRZEDMIOTOWE EFEKTY UCZENIA SIĘ

Z zakresu wiedzy:

PEU\_W01 ma pogłębioną i zaawansowaną wiedzę w zakresie fizyki kwantowej oraz jej zastosowań w badaniach dotyczących dynamiki zachodzących w materii skondensowanej

PEU\_W02 ma pogłębioną wiedzę dotyczącą metod numerycznych stosowanych w opisie zjawisk kwantowych w materii skondensowanej, strukturach niskowymiarowych.

Z zakresu umiejętności:

PEU\_U01 potrafi formułować, analizować, rozwiązywać złożone i nietypowe problemy oraz innowacyjnie wykonywać zadania z zakresu zagadnień inżynierii kwantowej, fizyki teoretycznej i doświadczalnej ze szczególnym uwzględnieniem materii skondensowanej, w oparciu o (a) posiadaną wiedzę, dobór odpowiednich źródeł i informacji z nich pochodzących, dokonywać oceny i krytycznej analizy dotyczącej otrzymanych informacji oraz posiada możliwość twórczej interpretacji i prezentacji tych informacji; (b) dobór stosownych metod i narzędzi w tym zaawansowanych technik obliczeniowych; (c) przystosowaniem istniejących lub opracowaniem nowych metod i narzędzi

PEU\_K01 potrafi krytycznie oceniać posiadaną wiedzę i odbierane treści; ma świadomość znaczenia wiedzy w rozwiązywaniu problemów poznawczych i praktycznych, jest świadom własnych ograniczeń i wie, kiedy zwrócić się do ekspertów

## TREŚCI PROGRAMOWE

Forma zajęć - wykład		Liczba godzin
Wy1	Klasyczny chaos.	4
Wy2	Chaos w układach kwantowych.	4
Wy3	Dynamika kwantowa w reprezentacji przestrzeni fazowej. Ergodyczność w pobliżu granicy klasycznej.	6
Wy4	Ergodyczność kwantowa w układach wielu cząstek.	4
Wy5	Ergodyczność kwantowa i emergentne relacje termodynamiczne	4
Wy6	Relaksacja w układach całkowalnych i układach prawie całkowalnych. Pretermalizacja. Równania kinetyczne.	4
Wy7	Układy sterowane okresowo.	2
Wy8	Ergodyczność w obwodach kwantowych.	2
	Suma godzin	<b>30</b>

## STOSOWANE NARZĘDZIA DYDAKTYCZNE

- N1. Wykład wspomagany multimedialnie
- N2. Konsultacje
- N3. Praca własna
- N3. Prezentacje multimedialne



## OCENA OSIĄGNIĘCIA PRZEDMIOTOWYCH EFEKTÓW UCZENIA SIĘ

Oceny (F – formująca (w trakcie semestru), P – podsumowująca (na koniec semestru))	Numer efektu uczenia się	Sposób oceny osiągnięcia efektu uczenia się
F1	PEU_W01 PEU_W02 PEU_U01 PEU_K01	Prezentacja multimedialna wybranego zagadnienia
P = F1		

### LITERATURA PODSTAWOWA I UZUPEŁNIAJĄCA

#### **LITERATURA PODSTAWOWA:**

- [1] A. Polkovnikov, Quantum ergodicity: fundamentals and applications, [http://physics.bu.edu/~asp/teaching/PY\\_747.pdf](http://physics.bu.edu/~asp/teaching/PY_747.pdf)
- [2] F. Haake, S. Gnutzmann, M. Kuś, Quantum signatures of chaos (Springer, 2018)
- [3] L D'Alessio, Y Kafri, A Polkovnikov, M Rigol, From quantum chaos and eigenstate thermalization to statistical mechanics and thermodynamics, *Advances in Physics* 65, 3 (2016)

#### **LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA:**

- [1] M.C. Gutzwiller, *Chaos in Classical and Quantum Mechanics* (Springer-Verlag, 1990)
- [2] S.H. Strogatz, *Nonlinear dynamics and chaos* (Westview Press, 1994)

#### **OPIEKUN PRZEDMIOTU (IMIE, NAZWISKO, ADRES E-MAIL)**

Adam Sajna, adam.sajna@pwr.edu.pl

<b>WYDZIAŁ PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW TECHNIKI</b>	
<b>KARTA PRZEDMIOTU</b>	
<b>Nazwa przedmiotu w języku polskim: Fizyka nowych materiałów półprzewodnikowych</b>	
<b>Nazwa przedmiotu w języku angielskim: Physics of new semiconductor materials</b>	
<b>Kierunek studiów (jeśli dotyczy): fizyka techniczna</b>	
<b>Specjalność (jeśli dotyczy):</b>	
<b>Poziom i forma studiów:</b>	<b>II stopień, stacjonarna</b>
<b>Rodzaj przedmiotu:</b>	<b>wybieralny</b>
<b>Język wykładowy:</b>	<b>polski</b>
<b>Cykl kształcenia od:</b>	<b>2023/2024</b>
<b>Kod przedmiotu</b>	
<b>Grupa kursów</b>	<b>TAK</b>

	Wykład	Ćwiczenia	Laboratorium	Projekt	Seminarium
Liczba godzin zajęć zorganizowanych w Uczelni (ZZU)	45	15			15
Liczba godzin całkowitego nakładu pracy studenta (CNPS)	50	50			50
Forma zaliczenia	egzamin	zaliczenie na ocenę			zaliczenie na ocenę
Dla grupy kursów zaznaczyć kurs końcowy (X)	X				
<b>Liczba punktów ECTS</b>	<b>6</b>				
w tym liczba punktów odpowiadająca zajęciom o charakterze praktycznym (P)		2			2
w tym liczba punktów ECTS odpowiadająca zajęciom wymagającym bezpośredniego udziału nauczycieli lub innych osób prowadzących zajęcia (BU)	1.48	0.96			0.96

**WYMAGANIA WSTĘPNE W ZAKRESIE WIEDZY, UMIEJĘTNOŚCI I KOMPETENCJI SPOŁECZNYCH**

1. Mechanika kwantowa
2. Fizyka ciała stałego
2. Podstawy spektroskopii

**CELE PRZEDMIOTU**

- C1 Zrozumienie własności elektronicznych i optycznych nowych materiałów półprzewodnikowych  
 C2 Zapoznanie się z możliwymi aplikacjami nowych materiałów półprzewodnikowych

### PRZEDMIOTOWE EFEKTY UCZENIA SIĘ

Z zakresu wiedzy:

PEU\_W01 ma zaawansowaną wiedzę na temat własności elektronicznych nowych materiałów półprzewodnikowych

PEU\_W02 ma pogłębioną wiedzę dotyczącą metod wytwarzania, badania i zastosowań nowych materiałów półprzewodnikowych

Z zakresu umiejętności:

PEU\_U01 potrafi formułować, analizować, rozwiązywać złożone i nietypowe problemy oraz innowacyjnie wykonywać zadania dotyczące własności elektronicznych nowych materiałów półprzewodnikowych, w tym rozumie konsekwencje zmiany wymiarowości materiałów na zmianę własności elektronicznych tych materiałów

PEU\_U02 posiada umiejętność wyszukiwać informacji wykorzystując czasopisma naukowe

PEU\_U03 posiada umiejętność przygotowania tekstów oraz prezentacji (w tym multimedialnej) i wygłosić referat na zadany temat

Z zakresu kompetencji społecznych:

PEU\_K01 potrafi odpowiedzialnie pełnić role zawodowe z uwzględnieniem zmieniających się potrzeb społecznych: rozwija dorobek zawodu, przestrzega i rozwija zasady etyki zawodu oraz działa na rzecz przestrzegania tych zasad

### TREŚCI PROGRAMOWE

Forma zajęć - wykład		Liczba godzin
Wy1	Materiały dwu-wymiarowe, kryształy van der Waalesa i metody wytwarzania mono i wielowarstw	3
Wy2	Grafen – struktura pasmowa, model Diraca	3
Wy3	Kwantowy efekt Halla	3
Wy4	Dichalkogenki metali przejściowych I	3
Wy5	Dichalkogenki metali przejściowych II i inne dwuwymiarowe półprzewodniki	3
Wy6	Magnetyczne materiały warstwowe	3
Wy7	Półprzewodniki perowskitowe	3
Wy8	Nanokryształy Perowskitowe	3
Wy9	Dwu-wymiarowe perowskity	3
Wy10	Metody wytwarzania perowskitów	3
Wy11	Heterostruktur van der Waalsa I	3
Wy12	Heterostruktur van der Waalsa II	3
Wy13	Znaczenie nowych materiałów półprzewodnikowych w Technologiach Kwantowych	3
Wy14	Urządzenia i zastosowania materiałów warstwowych elektronice, optoelektronice i fotowoltaice	3
Wy15	Urządzenia i zastosowania materiałów perowskitowych w elektronice, optoelektronice i fotowoltaice	3
	Suma godzin	<b>45</b>

<b>Forma zajęć - ćwiczenia</b>		<b>Liczba godzin</b>
Ćw1	Wprowadzenie i organizacja zajęć	1
Ćw2	Model ciasnego wiązania i struktura pasmowa grafenu	2
Ćw3	Poziomy Landaua	2
Ćw4	Kawantowy efekt Halla	2
Ćw5	Ekscyton	2
Ćw6	Struktura Subtelna ekscytonu	2
Ćw7	Pole elektryczne i bramkowanie materiałów 2D	2
Ćw8	Zaliczenie	2
	Suma godzin	<b>15</b>

<b>Forma zajęć - seminarium</b>		<b>Liczba godzin</b>
Se1	Wprowadzenie i omówienie zasad seminarium	<b>1</b>
Se2-8	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tranzystory na ekscytonach międzywarstwowych</li> <li>- lasery perowskitowe</li> <li>- polarytony w materiałach 2D</li> <li>- inżynieria naprężeń w materiałach 2D</li> <li>- Dyfuzja w materiałach 2D</li> <li>- Kryształ Wignera w materiałach 2D</li> <li>- Pole magnetyczne w badaniach materiałów warstwowych</li> <li>- Czarny Fosfor</li> <li>- Domieszkowanie materiałów 2D</li> <li>- Spektroskopia Ramana dichalkogenków metali przejściowych</li> <li>- Fonony w perowskitach</li> <li>- heksagonalny azotek boru</li> <li>- Domieszkowanie jonami magnetycznymi perowskitów</li> <li>- Emitery światła</li> <li>- Magnony w FePS3</li> <li>- Defekty w materiałach 2D</li> <li>- Metody uczenia maszynowego w badaniach materiałów 2D</li> <li>- Optyka nieliniowa w materiałach 2D</li> <li>- Efekty piro-, ferro i piezoelektryczne w perowskitach</li> </ul>	<b>14</b>
	Suma godzin	<b>15</b>

<b>STOSOWANE NARZĘDZIA DYDAKTYCZNE</b>
N1. Wykład – prezentacja multimedialna N2. Ćwiczenia rachunków N3. Praca własna – przegląd literatury, przygotowanie prezentacji N4. Konsultacje z prowadzącym

### **OCENA OSIĄGNIĘCIA PRZEDMIOTOWYCH EFEKTÓW UCZENIA SIĘ**

<b>Oceny (F – formująca (w trakcie semestru), P – podsumowująca (na koniec semestru))</b>	<b>Numer efektu uczenia się</b>	<b>Sposób oceny osiągnięcia efektu uczenia się</b>
F1 (wykład)	PEU_W01, PEU_W02, PEU_U01	Egzamin

F2 (ćwiczenia)	PEU_U01	Zaliczenie
F3 (seminarium)	PEU_U02, PEU_U03	Wygłoszenie seminarium
Aby uzyskać ocenę pozytywną z bloku w każdej z części należy uzyskać ocenę pozytywną $P = F1 * 0.5 + F2 * 0.25 + F3 * 0.25$		

### **LITERATURA PODSTAWOWA I UZUPEŁNIAJĄCA**

#### **LITERATURA PODSTAWOWA:**

- [1] Perovskites for Optoelectronics – collection in Nature journal  
(<https://www.nature.com/collections/fnnxcznnbb/content/reviews>)
- [2] Excitons in Metal-Halide Perovskites (<https://doi.org/10.1002/aenm.201903659>)
- [3] 2D Ruddlesden–Popper Perovskites for Optoelectronics  
(<https://doi.org/10.1002/adma.201703487>)
- [4] Materiały z wykładu wraz z referencjami w nich zawartymi
- [5] Colloquium: Excitons in atomically thin transition metal dichalcogenides - DOI:  
10.1103/RevModPhys.90.021001

#### **LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA:**

- [1] Electronic and Optoelectronic Properties of Semiconductor Structures Jasprit Singh  
Cambridge University Press

#### **OPIEKUN PRZEDMIOTU (IMIE, NAZWISKO, ADRES E-MAIL)**

Paulina Płochocka Maude, [paulina.plochocka@pwr.edu.pl](mailto:paulina.plochocka@pwr.edu.pl)

<b>WYDZIAŁ PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW TECHNIKI</b>	
<b>KARTA PRZEDMIOTU</b>	
Nazwa przedmiotu w języku polskim: <b>Fizyka powierzchni</b>	
Nazwa przedmiotu w języku angielskim: <b>Surface physics</b>	
Kierunek studiów (jeśli dotyczy): <b>fizyka techniczna</b>	
Specjalność (jeśli dotyczy):	
Poziom i forma studiów:	<b>II stopień, stacjonarna</b>
Rodzaj przedmiotu:	<b>wybieralny</b>
Język wykładowy:	<b>polski</b>
Cykl kształcenia od:	<b>2023/2024</b>
Kod przedmiotu	
Grupa kursów	<b>TAK</b>

	Wykład	Ćwiczenia	Laboratorium	Projekt	Seminarium
Liczba godzin zajęć zorganizowanych w Uczelni (ZZU)	15				15
Liczba godzin całkowitego nakładu pracy studenta (CNPS)	25				25
Forma zaliczenia	zaliczenie na ocenę				zaliczenie na ocenę
Dla grupy kursów zaznaczyć kurs końcowy (X)	X				
<b>Liczba punktów ECTS</b>	<b>2</b>				
w tym liczba punktów odpowiadająca zajęciom o charakterze praktycznym (P)					1
w tym liczba punktów ECTS odpowiadająca zajęciom wymagającym bezpośredniego udziału nauczycieli lub innych osób prowadzących zajęcia (BU)	0.68				0.68

**WYMAGANIA WSTĘPNE W ZAKRESIE WIEDZY, UMIEJĘTNOŚCI I KOMPETENCJI SPOŁECZNYCH**

1. Fizyka ciała stałego
2. Umiejętność przygotowania prezentacji na zadany temat i jej wygłoszenia.

**CELE PRZEDMIOTU**

- C1 Zaznajomienie się z podstawowymi zagadnieniami fizycznymi, technicznymi i technologicznymi dotyczącymi powierzchni idealnych i rzeczywistych metali oraz półprzewodników.
- C2 Zdobycie wiedzy o otrzymywaniu powierzchni idealnych i powstawaniu powierzchni rzeczywistych.
- C3 Zdobycie wiedzy o metodach eksperymentalnych do badania powierzchni i międzypowierzchni.

C4 Zdobyć wiedzę o zjawiskach fizykochemicznych występujących na powierzchni.  
 C5 Zdobyć wiedzę o wzbudzeniach na powierzchniach ciał stałych.

### PRZEDMIOTOWE EFEKTY UCZENIA SIĘ

Z zakresu wiedzy:

PEU\_W01 Zna metody otrzymywania powierzchni idealnych ciał stałych.

PEU\_W02 Posiada wiadomości o podstawowych metodach eksperymentalnych stosowanych do badania powierzchni i międzypowierzchni ciał stałych, w tym: mikroskopii elektronowej (SEM, TEM), skaningowej mikroskopii elektronowej (STM), mikroskopii sił atomowych (AFM), rozpraszaniu quasi-elastycznym (LEED, RHEED) i nieelastycznym (AES, UPS, SIMS), metodach optycznych (spektroskopia Ramana, RAS).

PEU\_W03 Wie o zjawiskach fizykochemicznych występujących na powierzchniach ciał stałych.

PEU\_W04 Ma wiedzę o wzbudzeniach obecnych na powierzchniach ciał stałych.

Z zakresu umiejętności:

PEU\_U01 Umie pracować z literaturą dotyczącą fizyki powierzchni (tak w języku polskim jak i angielskim).

PEU\_U02 Potrafi przygotować prezentację na wybrany temat na podstawie wybranej literatury.

Z zakresu kompetencji społecznych:

PEU\_K01 rozumie własne ograniczenia i wie, kiedy zwrócić się do ekspertów

### TREŚCI PROGRAMOWE

Forma zajęć - wykład		Liczba godzin
Wy1	<b>Wstęp</b> - struktura powierzchni ciał stałych - otrzymywanie i utrzymywanie próżni - krystalografia powierzchni - relaksacja powierzchni - rekonstrukcja powierzchni	2
Wy2	<b>Termodynamika równowagowa</b> - adsorpcyjne równanie Gibbsa - powierzchniowa energia swobodna - anizotropia energii swobodnej - kształt równowagowy kryształu - granica szorstkości	2
Wy3	<b>Termodynamika statystyczna</b> - przybliżenie gazu idealnego - model - Terrace Step Kink wzrostu powierzchni - model Isinga - równowagowy kształt kryształu - modele gazu sieciowego	2
Wy4	<b>Adsorpcja, nukleacja i wzrost</b> - adsorpcja fizyczna - adsorpcja chemiczna - desorpcja	2

Wy5	<b>Fonony powierzchniowe</b> - fale Rayleigh'a - dielektryczne fale powierzchniowe - plazmony powierzchniowe - polarytony	2
Wy6	<b>Własności elektronowe powierzchni</b> - stany powierzchniowe w półprzewodnikach - stany powierzchniowe w metalach - spektroskopia fotoemisyjna: UPS, XPS, ARUPS	2
Wy7	<b>Ładunek przestrzenny na powierzchni półprzewodnika</b>	2
	<b>Kolokwium zaliczeniowe</b>	1
	<b>Suma godzin</b>	<b>15</b>

<b>Forma zajęć - seminarium</b>		<b>Liczba godzin</b>
Se1 – Se8	1. Otrzymywanie powierzchni idealnych (łupanie, bombardowanie jonami, wygrzewanie, MBE, MOCVD) 2. Techniki badania powierzchni: - techniki desorpcyjne: Thermal Desorption Spectroscopy (TDS), Electron Stimulated Desorption (ESD) - metoda Kelvin Probe wyznaczania potencjału powierzchniowego 3. Techniki badania powierzchni - rozpraszanie elastyczne - teoria kinetyczna - dyfrakcja elektronów: Low Energy Electron Diffraction (LEED), Reflection High-Energy Electron Diffraction (RHEED) 4. Techniki badania powierzchni - rozpraszanie nieelastyczne - Auger Electron Spectroscopy (AES) - Secondary Ion Mass Spectroscopy (SIMS) 5. Defekty na powierzchni i ich badanie 6. Techniki badania powierzchni cd. - mikroskopia elektronowa - SEM, TEM - mikroskopia tunelowa - STM, AFM	15
	<b>Suma godzin</b>	<b>15</b>

<b>STOSOWANE NARZĘDZIA DYDAKTYCZNE</b>
N1. Prezentacja multimedialna N2. Prezentacja na seminarium N3. Strona internetowa z udostępnionymi materiałami dydaktycznymi N4. Konsultacje



## OCENA OSIĄGNIĘCIA PRZEDMIOTOWYCH EFEKTÓW UCZENIA SIĘ

Oceny (F – formująca (w trakcie semestru), P – podsumowująca (na koniec semestru))	Numer efektu uczenia się	Sposób oceny osiągnięcia efektu uczenia się
F1 (seminarium)	PEU_W01 - PEU_W04 PEU_U01 - PEU_U02	Wystąpienie na zadany temat
F2 (wykład)	PEU_W01 - PEU_W04	Kolokwium zaliczeniowe
<b>P = F1*0.3 + F2*0.7</b>		

### LITERATURA PODSTAWOWA I UZUPEŁNIAJĄCA

#### **LITERATURA PODSTAWOWA:**

- [1] Harald Ibach, *Physics of Surfaces and Interfaces*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006.
- [2] Hans Luth, *Solid Surfaces, Interfaces and Thin Films*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2001.
- [3] Anna Szaynok, Stanisław Kuźmiński, *Podstawy fizyki powierzchni półprzewodników*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2000.
- [4] Piotr Sitarek, *Surface physics (selected materials for seminar)* – script available via internet (Project co-financed by European Union within European Social Fund).

#### **LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA:**

- [1] Andrew Zangwill, *Physics at Surfaces*, Cambridge University Press, 1988.
- [2] John T. Yates, Jr., *Experimental innovations in surface science*, Springer-Verlag New York, Inc. 1998.
- [3] A. Kiejna and K.F. Wojciechowski, *Metal Surface Electron Physics*, Elsevier Science Ltd. 1996.

#### **OPIEKUN PRZEDMIOTU (IMIE, NAZWISKO, ADRES E-MAIL)**

Piotr Sitarek, Piotr.Sitarek@pwr.edu.pl

<b>WYDZIAŁ PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW TECHNIKI</b>	
<b>KARTA PRZEDMIOTU</b>	
<b>Nazwa przedmiotu w języku polskim: Fotowoltaika –teoria i praktyka</b>	
<b>Nazwa przedmiotu w języku angielskim: Photovoltaics – theory and applications</b>	
<b>Kierunek studiów (jeśli dotyczy): fizyka techniczna</b>	
<b>Specjalność (jeśli dotyczy):</b>	
<b>Poziom i forma studiów:</b>	<b>II stopień, stacjonarna</b>
<b>Rodzaj przedmiotu:</b>	<b>wiodący</b>
<b>Język wykładowy:</b>	<b>polski</b>
<b>Cykl kształcenia od:</b>	<b>2023/2024</b>
<b>Kod przedmiotu</b>	
<b>Grupa kursów</b>	<b>TAK</b>

	Wykład	Ćwiczenia	Laboratorium	Projekt	Seminarium
Liczba godzin zajęć zorganizowanych w Uczelni (ZZU)	30	15	30		
Liczba godzin całkowitego nakładu pracy studenta (CNPS)	75	25	50		
Forma zaliczenia	egzamin	zaliczenie na ocenę	zaliczenie na ocenę		
Dla grupy kursów zaznaczyć kurs końcowy (X)	X				
<b>Liczba punktów ECTS</b>	<b>6</b>				
w tym liczba punktów odpowiadająca zajęciom o charakterze praktycznym (P)		1	2		
w tym liczba punktów ECTS odpowiadająca zajęciom wymagającym bezpośredniego udziału nauczycieli lub innych osób prowadzących zajęcia (BU)	2.00	0.44	0.96		

**WYMAGANIA WSTĘPNE W ZAKRESIE WIEDZY, UMIEJĘTNOŚCI I KOMPETENCJI SPOŁECZNYCH**

Podstawowa wiedza z zakresu oddziaływania światła z ciałem stałym oraz z fizyki półprzewodników.

**CELE PRZEDMIOTU**

- C1 Zaznajomienie studentów z aktualnym stanem wiedzy w dziedzinie fotowoltaiki i perspektywami jej rozwoju
- C2 Zapoznanie studentów z metodami wytwarzania i diagnostyki ogniw fotowoltaicznych
- C3 Nabycie umiejętności w zakresie projektowania systemów fotowoltaicznych
- C4 Nabycie umiejętności w zakresie montażu i diagnostyki systemów fotowoltaicznych
- C5 Nabycie umiejętności z zakresu analizy rozwiązań zasilania w energię elektryczną różnych urządzeń, w tym systemów mobilnych z wykorzystaniem fotowoltaiki

### PRZEDMIOTOWE EFEKTY UCZENIA SIĘ

Z zakresu wiedzy:

PEU\_W01 zna fizyczne działania fotoogniw standardowych i zaawansowanych

PEU\_W02 zna działania systemów fotowoltaicznych

PEU\_W03 zna zasady działania układów pomiarowych służących do charakteryzacji ogniw słonecznych

PEU\_W04 ma uporządkowaną i pogłębioną wiedzę w zakresie działania systemów fotowoltaicznych oraz ma wiedzę niezbędną do projektowania i oceny jakości systemów fotowoltaicznych

Z zakresu umiejętności:

PEU\_U01 potrafi wyjaśnić podstawy fizyczne działania fotoogniw standardowych i zaawansowanych

PEU\_U02 potrafi opisać podstawowe parametry fotoogniw w zadanych warunkach pracy

PEU\_U03 potrafi wyjaśnić zasadę działania prostego systemu fotowoltaicznego

PEU\_U04 potrafi opracować założenia i wykonać projekt prostego systemu fotowoltaicznego, ocenić jakość pracy systemu oraz oszacować poprawnie spodziewany uzysk energetyczny

PEU\_U05 potrafi korzystać z literatury naukowej, w tym docierać do materiałów źródłowych oraz dokonywać ich przeglądu

Z zakresu kompetencji społecznych:

PEU\_K01 potrafi odpowiedzialnie pełnić role zawodowe z uwzględnieniem zmieniających się potrzeb społecznych: rozwija dorobek zawodu, przestrzega i rozwija zasady etyki zawodu oraz działa na rzecz przestrzegania tych zasad

### TREŚCI PROGRAMOWE

Forma zajęć - wykład		Liczba godzin
Wy 1	Kopalne źródła energii – perspektywy eksploatacji. Odnawialne źródła energii – perspektywy rozwoju.	2
Wy 2	Optymalne właściwości fotoelektryczne materiałów i urządzeń półprzewodnikowych dla zastosowań w fotowoltaice.	2
Wy3	Podstawy fizyczne zjawiska fotowoltaicznego. Struktury fotowoltaiczne homo - i heterozłączone.	4
Wy 4	Struktury fotowoltaiczne standardowe i zaawansowane: nieorganiczne, organiczne i hybrydowe.	4
Wy 5	Podstawy fizyczne ograniczenia konwersji słonecznej w standardowych i zaawansowanych strukturach ogniw słonecznych.	2
Wy 6	Ogniwa słoneczne III generacji -rozwiązania prowadzące do poprawy wydajności konwersji słonecznej.	2
Wy 7.	Od ogniwa do systemu paneli fotowoltaicznych. Charakterystyki I-V paneli PV, idealne i rzeczywiste. Systemy zabezpieczeń.	2
Wy 7	Pozycja Słońca (układ wsp. geograficznych i niebieskich, optymalne nachylenie panelu, system śledzący Słońce.	2

Wy 8	Wpływ warunków meteorologicznych na pracę paneli fotowoltaicznych (temperatura, wiatr). System śledzenia punktu mocy maksymalnej.	2
Wy 9	Komponenty systemu fotowoltaicznego - elementy systemu równowagi energetycznej (konwerter DC-DC, inwerter DC-AC, baterie).	2
Wy 10	Projektowanie topologii systemu PV, parametrów i ilości baterii oraz innych elementów systemu.	2
Wy 11 Wy 12	Prosty projekt systemu fotowoltaicznego on-grid i off-grid.	4
	<b>Suma godzin</b>	<b>30</b>

<b>Forma zajęć - ćwiczenia</b>		<b>Liczba godzin</b>
Ćw. 1	Wyznaczanie parametrów ogniw słonecznych na podstawie właściwości materiałowych.	3
Ćw. 2	Wyznaczanie parametrów ogniw słonecznych na podstawie charakterystyki I-V.	3
Ćw. 3	Wyznaczanie parametrów ogniw słonecznych połączonych szeregowo i równoległe w panelach, rola diod bypass.	2
Ćw. 4	Wyznaczanie optymalnych parametrów materiałowych ogniw monokrystalicznych i cienkowarstwowych.	2
Ćw. 5	Projektowanie parametrów ogniw tandemowych i wielozłączowych	2
Ćw. 6	Klasyfikacja symulatorów Słońca	1
Ćw. 7	Wyznaczanie pozycji Słońca.	1
Ćw. 8	Kolokwium zaliczeniowe	1
	<b>Suma godzin</b>	<b>15</b>

<b>Forma zajęć - laboratorium</b>		<b>Liczba godzin</b>
La 1	Zasady organizacji i zaliczenia zajęć. Zajęcia wprowadzające z zakresu rodzaju i technologii ogniw fotowoltaicznych	3
La 2	Badanie i analiza rozkładu widmowego promieniowania słonecznego i wpływu warunków pogodowych na sprawność instalacji fotowoltaicznej	3
La 3	Metody diagnostyki ogniw fotowoltaicznych – obrazowanie w podczerwieni	3
La 4	Analiza defektów ogniw fotowoltaicznych na podstawie map rozkładu fotoprądu	3
La 5	Podstawy projektowania systemów fotowoltaicznych z wykorzystaniem dedykowanego oprogramowania	3
La 6	Montaż i analiza parametrów elektrycznych instalacji fotowoltaicznych – instalacje stacjonarne	3
La 7	Analiza parametrów elektrycznych instalacji fotowoltaicznych – instalacje nadążne	3
La 8	Analiza parametrów elektrycznych i wydajności ładowarki solarnej	3
La 9	Badanie właściwości układów magazynowania energii przeznaczonych do współpracy z elektrownią solarną	3
La 10	Zajęcia odrębne	3
	<b>Suma godzin</b>	<b>30</b>

## STOSOWANE NARZĘDZIA DYDAKTYCZNE

- N1 Wykład tradycyjny z prezentacjami multimedialnymi uzupełniony demonstracjami zjawisk fizycznych.  
 N2 E-materiały do wykładu i ćwiczeń umieszczone w Internecie.  
 N3 Instrukcje – wstęp teoretyczny do ćwiczeń laboratoryjnych  
 N4 Instrukcje robocze do ćwiczeń laboratoryjnych  
 N5 Konsultacje i kontakt pocztą elektroniczną.  
 N6 Praca własna – przygotowanie do egzaminu, testu zaliczeniowego z ćwiczeń oraz laboratorium.  
 N7 Redakcja raportu z wykonanych zajęć laboratoryjnych.

## OCENA OSIĄGNIĘCIA PRZEDMIOTOWYCH EFEKTÓW UCZENIA SIĘ

Oceny (F – formująca (w trakcie semestru), P – podsumowująca (na koniec semestru))	Numer efektu uczenia się	Sposób oceny osiągnięcia efektu uczenia się
F1	PEU_W01, PEU_W02, PEU_W03, PEU_W04 PEU_K02, PEU_K03	Egzamin
F2	PEU_W01, PEU_W02, PEU_W03, PEU_W04 PEU_K02, PEU_K03	Aktywność podczas wykładu
F3	PEU_U01, PEU_U02, PEU_U03, PEU_U05, PEU_K02	Kolokwium
F4	PEU_U01, PEU_U02, PEU_U03, PEU_U05, PEU_K02	Kartkówki
F5	PEU_U01, PEU_U02, PEU_U03, PEU_U04 PEU_K01, PEU_K02, PEU_K03,	Odpowiedź ustna
F6	PEU_U01, PEU_U02, PEU_U03, PEU_U04 PEU_K01, PEU_K02, PEU_K03,	Raport z ćwiczenia lab.
(wykład) $P1 = F1 \cdot 0.8 + F2 \cdot 0.2$		
(ćwiczenia) $P2 = F3 \cdot 0.7 + F4 \cdot 0.3$		
(laboratorium) $P3 = F5 \cdot 0.3 + F6 \cdot 0.7$		
Ocena końcowa: $P = \frac{3 \cdot P1 + P2 + 2 \cdot P3}{6}$		

## LITERATURA PODSTAWOWA I UZUPEŁNIAJĄCA

### LITERATURA PODSTAWOWA

- [1] Materiały do wykładu i do ćwiczeń rachunkowych dostępne poprzez internet :  
<https://popko.wppt.pwr.edu.pl>
- [2] <https://pveducation.org/>
- [3] K.Jager i in. „Solar Energy Fundamentals, Technology, and Systems”  
[https://courses.edx.org/c4x/DelftX/ET.3034TU/asset/solar\\_energy\\_v1.1.pdf](https://courses.edx.org/c4x/DelftX/ET.3034TU/asset/solar_energy_v1.1.pdf),
- [4] D.A.Neamen „Semiconductor Physics and Devices”, ed. McGraw-Hill, 2012
- [5] E.Jarzębski „Energia słoneczna” 1990.
- [6] J. I. Pankove, „Zjawiska optyczne w półprzewodnikach”, WNT, 1984
- [7] M. Waclawek, T. Rodziewicz, „Ogniwa słoneczne, wpływ środowiska na ich pracę”, WNT, 2011

### LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA:

- [1] P.Wurfel „Physics of Solar Cells”, ed. Wiley-Vch, Weinham 2009.
- [2] J.Nelson “ The Physics of Solar Cells” ed. Imperial College Press, London, 2009.
- [3] Luque, S.Hegedus, “Handbook of Photovoltaic Science and Engineering”, John Wiley & Sons Ltd., Chichester, England, 2003
- [4] J. Poortmans, V. Arkhipov, “Thin Film Solar Cells, Fabrication, Characterization and Applications”, Wiley Series in Materials for Electronic & Optoelectronic Applications, John Wiley & Sons, 2006
- [5] Lasnier, T.G. Ang, “Photovoltaic Engineering Handbook” Adam Hilger, 1990
- [6] M.A. Green, “Third Generation Photovoltaics.”Advanced Solar Energy Conversion, in: Springer Series in Photonics , Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, 2003
- [7] M.A.Green , “Solar cells - Operating principles, Technology and System Applications”, Univ. of New South Wales, Australia, 1992
- [8] S.R. Wenham, M.A. Green, M.E. Watt, R. Corkish, “Applied Photovoltaics”, ARC Centre for Advanced Silicon Photovoltaics and Photonics, Earthscan in the UK and USA, 2007
- [9] T. Markvart, Solar Electricity, UNESCO ENERGY ENGINEERING SERIES, John Wiley & Sons, 2000
- [10] Zbiory Polskich Norm, PKN

### OPIEKUN PRZEDMIOTU (IMIE, NAZWISKO, ADRES E-MAIL)

Ewa Popko, [ewa.popko@pwr.edu.pl](mailto:ewa.popko@pwr.edu.pl)

<b>WYDZIAŁ PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW TECHNIKI</b>	
<b>KARTA PRZEDMIOTU</b>	
<b>Nazwa przedmiotu w języku polskim: Inicjalizacja i kontrola spinu</b>	
<b>Nazwa przedmiotu w języku angielskim: Initialization and control of a spin</b>	
<b>Kierunek studiów (jeśli dotyczy): fizyka techniczna</b>	
<b>Specjalność (jeśli dotyczy):</b>	
<b>Poziom i forma studiów:</b>	<b>II stopień, stacjonarna</b>
<b>Rodzaj przedmiotu:</b>	<b>wybieralny</b>
<b>Język wykładowy:</b>	<b>polski</b>
<b>Cykl kształcenia od:</b>	<b>2023/2024</b>
<b>Kod przedmiotu</b>	
<b>Grupa kursów</b>	<b>TAK</b>

	<b>Wykład</b>	<b>Ćwiczenia</b>	<b>Laboratorium</b>	<b>Projekt</b>	<b>Seminarium</b>
Liczba godzin zajęć zorganizowanych w Uczelni (ZZU)	30				30
Liczba godzin całkowitego nakładu pracy studenta (CNPS)	50				50
Forma zaliczenia	zaliczenie na ocenę				zaliczenie na ocenę
Dla grupy kursów zaznaczyć kurs końcowy (X)	X				
<b>Liczba punktów ECTS</b>	<b>4</b>				
w tym liczba punktów odpowiadająca zajęciom o charakterze praktycznym (P)					2
w tym liczba punktów ECTS odpowiadająca zajęciom wymagającym bezpośredniego udziału nauczycieli lub innych osób prowadzących zajęcia (BU)	1.28				1.28

**WYMAGANIA WSTĘPNE W ZAKRESIE WIEDZY, UMIEJĘTNOŚCI I KOMPETENCJI SPOŁECZNYCH**

1. Wiedza z zakresu mechaniki i elektrodynamiki klasycznej;
2. Podstawy półklasycznej i kwantowej fizyki atomu;
3. Podstawy mechaniki kwantowej;
4. Podstawy fizyki ciała stałego, magnetyków, metali i półprzewodników;
5. Podstawy optyki i przewodnictwa elektronowego w ciele stałym;

**CELE PRZEDMIOTU**

- C1. Zaznajomienie się z pojęciem spinu jako wielkości kwantowo-mechanicznej;
- C2. Zapoznanie się z metodami inicjalizacji stanu spinowego, jego kontroli i odczytu w ciele stałym;
- C3. Zapoznanie się z materiałami u urządzeniach wykorzystujących spinowy stopień swobody u podstawy działania

## PRZEDMIOTOWE EFEKTY UCZENIA SIĘ

Z zakresu wiedzy:

PEU\_W01 zna wybrane zagadnienia z zakresu zaawansowanej wiedzy szczegółowej w obszarze zagadnień związanych z inicjalizacją i kontrolą spinu, a także jej zastosowań w nauce i inżynierii materiałów

...

Z zakresu umiejętności:

PEU\_U01 potrafi formułować, analizować, rozwiązywać złożone i nietypowe problemy oraz innowacyjnie wykonywać zadania z zakresu inicjalizacji i kontroli spinu, w oparciu o (a) posiadaną wiedzę, dobór odpowiednich źródeł i informacji z nich pochodzących, dokonywać oceny i krytycznej analizy dotyczącej otrzymanych informacji oraz posiada możliwość twórczej interpretacji i prezentacji tych informacji; (b) dobór stosownych metod i narzędzi w tym zaawansowanych technik obliczeniowych; (c) przystosowaniem istniejących lub opracowaniem nowych metod i narzędzi

...

Z zakresu kompetencji społecznych:

PEU\_K01 potrafi krytycznie oceniać posiadaną wiedzę i odbierane treści; ma świadomość znaczenia wiedzy w rozwiązywaniu problemów poznawczych i praktycznych, jest świadom własnych ograniczeń i wie, kiedy zwrócić się do ekspertów

## TREŚCI PROGRAMOWE

TREŚCI PROGRAMOWE		
Forma zajęć - wykład		Liczba godzin
Wy1	Zasady organizacyjne kursu, zasady zaliczenia, terminy. Wprowadzenie w tematykę kursu. Wprowadzenie do pojęcia spintronika.	2
Wy2	Liczby kwantowe i ich znaczenie. Orbitalny moment pędu: półklasyczny model atomu Bohra vs. reprezentacja operatorowa momentu pędu w mechanice kwantowej. Moment magnetyczny związany z ruchem orbitalnym elektronu wokół dodatnio naładowanego jądra w atomie. Moment orbitalny elektronu w atomie w polu magnetycznym. Normalny Efekt Zeemana. Magneton Bohra.	2
Wy3	Historia postulatów dotyczących istnienia wewnętrznego momentu krętu elektronu (spinu elektronu) wraz z ideą pierwszych eksperymentów fizycznych w tym zakresie. Oddziaływanie spin-orbita w atomie wodoru – podejście półklasyczne.	2
Wy4	Normalny efekt Zeemana. Opis eksperymentu Stern-Gerlacha. Dowód na istnienie spinu elektronu.	2
Wy5	Sprzężenie spin-orbita w atomie. g-czynnik Landego. Ogólne wyrażenie na energię rozszczepienie poziomów w atomie w Efekte Zeemana w zewnętrznym polu magnetycznym. Anomalny Efekt Zeemana. Efekt Paschena-Backa w wysokich polach magnetycznych.	2
Wy6	Właściwości fotonu. Całkowity moment pędu fotonu w podejściu klasycznym. Optyczne reguły wyboru w atomie z uwzględnieniem sprzężenia spin-orbita.	2



Wy7	Wprowadzenie do optycznej inicjalizacji spinu w układach efektywnie oddziałujących ze światłem (materiały półprzewodnikowe). Struktura pasmowa materiałów półprzewodnikowych z uwzględnieniem efektów spinowych w tym oddziaływanie spin-orbita i jego konsekwencji na wygląd struktury pasmowej w klasycznych i nowych materiałach półprzewodnikowych objętościowych. Transfer spinu fotonu do półprzewodnika i optyczne reguły dla przejść optycznych ze względu na spin.	2
Wy8	Prawdopodobieństwo generacji stanu spinowego w materiale objętościowym. Sieciowa polaryzacja spinowa w półprzewodnikowym materiale objętościowym. Sieciowa polaryzacja spinowa w niskowymiarowych strukturach półprzewodnikowych. Optyczna inicjalizacja spinu w kropkach kwantowych. Oddziaływanie wymiany ze względu na spin w układach niskowymiarowych. Efekt Zeemana w układach niskowymiarowych. Spin ekscytonu i trionu.	2
Wy9	Parametry określające relaksację spinową: stopień polaryzacji spinowej, czas życia spinu, efektywny czas relaksacji spinowej, czas relaksacji spinowej T1, czas nieodwracalnego defazowania spinu T1, czas odwracalnego defazowania spinu T2*;	2
Wy10	Eksperymentalna realizacja inicjalizacji i odczytu spinu w materiale półprzewodnikowym i jego strukturach niskowymiarowych. Rozdzielona w czasie i rozdzielona polaryzacyjnie fotoluminescencja. Podstawowe elementy polaryzacyjne w układzie optycznym. Wyniki eksperymentów. Efekt Hanle. Pomiar krzywej Hanle. Wyniki eksperymentów.	2
Wy11	Superpozycja kwantowa stanów spinowych. Ewolucja czasowa stanów spinowych w polu magnetycznym. Koherencja stanu spinowego. Efekt rotacji Kerra i Faradaya. Eksperyment rotacji Kerra/Faradaya. Interpretacja krzywych eksperymentalnych.	2
Wy12	Skoncentrowane półprzewodniki magnetyczne i rozrzedzone półprzewodniki magnetyczne.	2
Wy13	Wstęp do wstrzykiwania spiny metodą elektryczną. Złącze Silsbee-Johnsona dla detekcji spinu metodą elektryczną. Długość drogi dyfuzji spinu. Filtr spinowy. Koncepcja tranzystora spinowego Datta-Das. Kontrola spinu w kanale przewodzącym tranzystora spinowego.	2
Wy14	Gigantyczny magnetoopór. Dysk twardy komputera wykorzystujący efekt gigantycznego megnetooporu. Magneto-rezystancja tunelowa.	2
Wy15	Podstawowe mechanizmy relaksacji spinowej: mechanizm Elliot-Yafet, D'yakonow-Perel', Bir-Aronov-Pikus, oddziaływanie nadsubtelne.	2
	Suma godzin	<b>30</b>

Forma zajęć - seminarium		Liczba godzin
Se1	Materiał spintroniczne dzisiaj – materiały magnetyczne dla spintroniki	2
Se1	Materiały spintronicznej dzisiaj – materiały półprzewodnikowe dla spintroniki	2
Se2	Spin w materiałach topologicznych	2

Se2	Spin fotonu w układach optycznych	2
Se3	Kwantowy spinowy efekt Halla	2
Se3	Stopy Heusler'a dla spintroniki	2
Se4	Jądrowy Rezonans Magnetyczny (MRI)	2
Se4	Qubit spinowy – jak działa komputer kwantowy	2
Se5	Czym jest ferromagnetyzm: podstawy fizyczne, przykłady materiałów i urządzeń	2
Se5	Czym są ferroelektryki: podstawy fizyczne, przykłady materiałów i urządzeń	2
Se6	Materiały i informacje o spintronice organicznej/półprzewodniki organiczne	2
Se6	Centra barwne w diamencie i ich własności spinowe	2
Se7	Spintronika bazująca na krzemie	2
Se7	Pamięć MRAM – jak to działa	2
Se8	Podsumowanie seminarium	2
	Suma godzin	<b>30</b>

### STOSOWANE NARZĘDZIA DYDAKTYCZNE

N1. Prezentacja multimedialna

### OCENA OSIĄGNIĘCIA PRZEDMIOTOWYCH EFEKTÓW UCZENIA SIĘ

Oceny (F – formująca (w trakcie semestru), P – podsumowująca (na koniec semestru))	Numer efektu uczenia się	Sposób oceny osiągnięcia efektu uczenia się
F1 (wykład)	PEU_W01 PEU_U01, PEU_K01	kolokwium zaliczeniowe
F2 (seminarium)	PEU_U01	kolokwium, dyskusja
$P = F1*0.5 + F2*0.5$		

### LITERATURA PODSTAWOWA I UZUPEŁNIAJĄCA

#### **LITERATURA PODSTAWOWA:**

- [1] Semiconductor spintronics and quantum computation. Awschalom D, Loss. D, Samarth. N.
- [2] Spintronics. From materials to devices. Felser, Claudia, Fecher, Gerhard H (Eds.)
- [3] Semiconductor Spintronics Thomas Schäpers
- [4] Semiconductor spintronics, Xia, Ge, Chang

#### **OPIEKUN PRZEDMIOTU (IMIE, NAZWISKO, ADRES E-MAIL)**

Marcin Syperek, marcin.syperek@pwr.edu.pl

<b>WYDZIAŁ PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW TECHNIKI</b>	
<b>KARTA PRZEDMIOTU</b>	
Nazwa przedmiotu w języku polskim: <b>Klasyczna teoria pola</b>	
Nazwa przedmiotu w języku angielskim: <b>Classical field theory</b>	
Kierunek studiów (jeśli dotyczy): <b>fizyka techniczna</b>	
Specjalność (jeśli dotyczy):	
Poziom i forma studiów:	<b>II stopień, stacjonarna</b>
Rodzaj przedmiotu:	<b>wybieralny</b>
Język wykładowy:	<b>polski</b>
Cykl kształcenia od:	<b>2023/2024</b>
Kod przedmiotu	
Grupa kursów	<b>TAK</b>

	<b>Wykład</b>	<b>Ćwiczenia</b>	<b>Laboratorium</b>	<b>Projekt</b>	<b>Seminarium</b>
Liczba godzin zajęć zorganizowanych w Uczelni (ZZU)	30	30			
Liczba godzin całkowitego nakładu pracy studenta (CNPS)	50	50			
Forma zaliczenia	zaliczenie na ocenę	zaliczenie na ocenę			
Dla grupy kursów zaznaczyć kurs końcowy (X)	X				
<b>Liczba punktów ECTS</b>	<b>4</b>				
w tym liczba punktów odpowiadająca zajęciom o charakterze praktycznym (P)		2			
w tym liczba punktów ECTS odpowiadająca zajęciom wymagającym bezpośredniego udziału nauczycieli lub innych osób prowadzących zajęcia (BU)	1.28	1.28			

**WYMAGANIA WSTĘPNE W ZAKRESIE WIEDZY, UMIEJĘTNOŚCI I KOMPETENCJI SPOŁECZNYCH**

Wiedza, umiejętności i kompetencje w zakresie analizy matematycznej, mechaniki klasycznej i elektrodynamiki klasycznej

**CELE PRZEDMIOTU**

- C1 Nabycie podstawowej wiedzy w zakresie klasycznej teorii pola: pola cechowania i pole grawitacyjne
- C2. Zdobycie umiejętności jakościowego rozumienia, interpretacji oraz ilościowej analizy zjawisk i procesów fizycznych zachodzących w układach teorio-polowych (czyli z nieskończoną liczbą stopni swobody).

## PRZEDMIOTOWE EFEKTY UCZENIA SIĘ

Z zakresu wiedzy:

PEU\_W01 zna wybrane zagadnienia z zakresu zaawansowanej wiedzy szczegółowej w obszarze klasycznej teorii pola i jej zastosowań.

Z zakresu umiejętności:

PEU\_U01 potrafi formułować, analizować, rozwiązywać złożone i nietypowe problemy oraz innowacyjnie wykonywać zadania w nieprzewidywalnych warunkach z zakresu klasycznej teorii pola, w oparciu o (a) posiadaną wiedzę, dobór odpowiednich źródeł i informacji z nich pochodzących, dokonywać oceny i krytycznej analizy dotyczącej otrzymanych informacji oraz posiada możliwość twórczej interpretacji i prezentacji tych informacji; (b) dobór stosownych metod i narzędzi w tym zaawansowanych technik informacyjno-komunikacyjnych; (c) przystosowaniem istniejących lub opracowaniem nowych metod i narzędzi.

Z zakresu kompetencji społecznych:

PEU\_K01 potrafi krytycznie oceniać posiadaną wiedzę i odbierane treści; ma świadomość znaczenia wiedzy w rozwiązywaniu problemów poznawczych i praktycznych i jest świadom własnych ograniczeń i wie, kiedy zwrócić się do ekspertów.

## TREŚCI PROGRAMOWE

Forma zajęć - wykład		Liczba godzin
Wy1	Czasoprzestrzeń Minkowskiego, grupa Poincare, pole	2
Wy2	Równanie Kleina-Gordona	3
Wy3	Funkcja Lagrange'a dla nieskończenie wielu stopni swobody	2
Wy4	Całka działania i równania ewolucji	2
Wy5	Symetrie i twierdzenie E. Noether	2
Wy6	Wielkości zachowane, prądy i ładunki	2
Wy7	Tensor energii-pędu pola	2
Wy8	Elektrodynamika	2
Wy9	Nieabelowe pola cechowania	3
Wy10	Ogólna teoria względności, równania Einsteina	4
Wy11	Szczególne rozwiązania równań Einsteina	2
Wy12	Cząstka swobodna w czasoprzestrzeni Schwarzschilda	2
Wy13	Sprawdzian końcowy	2
	Suma godzin	<b>30</b>

Forma zajęć - ćwiczenia		Liczba godzin
Ćw1	Transformacje Lorentza i równanie Kleina-Gordona	6
Ćw2	Lagrange'owski opis pól	6
Ćw3	Symetrie i zasady zachowania	6
Ćw4	Elektrodynamika i pola cechowania	6
Ćw5	Grawitacja	4
Ćw6	Sprawdzian	2
	Suma godzin	<b>30</b>

## STOSOWANE NARZĘDZIA DYDAKTYCZNE

- N1. Wykład - metoda tradycyjna z wykorzystaniem multimedialnych  
N2. Ćwiczenia rachunkowe

## OCENA OSIĄGNIĘCIA PRZEDMIOTOWYCH EFEKTÓW UCZENIA SIĘ

Oceny (F – formująca (w trakcie semestru), P – podsumowująca (na koniec semestru))	Numer efektu uczenia się	Sposób oceny osiągnięcia efektu uczenia się
F1	PEU_W01, PEU_U01, PEU_K01	Ocena zadań na ćwiczeniach
P1	PEU_W01, PEU_U01, PEU_K01	Sprawdzian końcowy z ćwiczeń
P2	PEU_W01, PEU_U01, PEU_K01	Sprawdzian końcowy z wykładu
P = 0,5*P1 + 0,5*P2 o ile P1 i P2 pozytywne		

### LITERATURA PODSTAWOWA I UZUPEŁNIAJĄCA

#### **LITERATURA PODSTAWOWA:**

K. Meissner, *Klasyczna teoria pola*, PWN  
 F. Scheck, *Classical Field Theory*, Springer

#### **LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA:**

- [1] P. Gusin, *Klasyczna teoria pola* [materiały dydaktyczne „ZPR Pwr - Zintegrowany Program Rozwoju Politechniki Wrocławskiej”, Wrocław 2020  
 [2] L. D. Landau, E. M. Lifszyc; *Klasyczna teoria pola*, Warszawa 2009.

#### **OPIEKUN PRZEDMIOTU (IMIE, NAZWISKO, ADRES E-MAIL)**

Paweł Machnikowski, pawel.machnikowski@pwr.edu.pl  
 Paweł Gusin, pawel.gusin@pwr.edu.pl

<b>WYDZIAŁ PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW TECHNIKI</b>	
<b>KARTA PRZEDMIOTU</b>	
Nazwa przedmiotu w języku polskim: Kosmologia współczesna	
Nazwa przedmiotu w języku angielskim: Modern cosmology	
Kierunek studiów (jeśli dotyczy): fizyka techniczna	
Specjalność (jeśli dotyczy):	
Poziom i forma studiów:	II stopień, stacjonarna
Rodzaj przedmiotu:	wybieralny
Język wykładowy:	polski
Cykl kształcenia od:	2023/2024
Kod przedmiotu	
Grupa kursów	TAK

	Wykład	Ćwiczenia	Laboratorium	Projekt	Seminarium
Liczba godzin zajęć zorganizowanych w Uczelni (ZZU)	30	30			
Liczba godzin całkowitego nakładu pracy studenta (CNPS)	50	50			
Forma zaliczenia	zaliczenie na ocenę	zaliczenie na ocenę			
Dla grupy kursów zaznaczyć kurs końcowy (X)	X				
<b>Liczba punktów ECTS</b>	<b>4</b>				
w tym liczba punktów odpowiadająca zajęciom o charakterze praktycznym (P)		2			
w tym liczba punktów ECTS odpowiadająca zajęciom wymagającym bezpośredniego udziału nauczycieli lub innych osób prowadzących zajęcia (BU)	1.28	1.28			

**WYMAGANIA WSTĘPNE W ZAKRESIE WIEDZY, UMIEJĘTNOŚCI I INNYCH KOMPETENCJI**

1. Wiedza z zakresu mechaniki klasycznej i podstaw fizyki kwantowej

**CELE PRZEDMIOTU**

- C1 Nabywanie podstawowej wiedzy z zakresu kosmologii
- C2 Utrwalanie kompetencji społecznych, takich jak: odpowiedzialność, uczciwość i rzetelność w postępowaniu; przestrzeganie obyczajów panujących w środowisku akademickim i społeczeństwie

## PRZEDMIOTOWE EFEKTY UCZENIA SIĘ

Z zakresu wiedzy:

PEU\_W01 – posiada ogólną wiedzę w zakresie podstawowych koncepcji i zasad dotyczących rozszerzającego się Wszechświata: zna i rozumie sens metryki jednorodnego oraz izotropowego wszechświata; zna pojęcie gęstości krytycznej oraz stowarzyszone z nim scenariusze ekspansji;

PEU\_W02 – posiada ogólną wiedzę w zakresie podstawowych wielkości charakteryzujących rozszerzający się Wszechświat: zna wielkość i rozumie sens stałej Hubble’a, ma wiedzę na temat genezy oraz właściwości Promieniowania Reliktowego, na temat wieku wszechświata, obecności jasnej i ciemnej materii oraz energii, na temat pochodzenia pierwiastków oraz ich obecnej i przeszłej obfitości

Z zakresu umiejętności:

PEU\_U01 – potrafi formułować, analizować, rozwiązywać nieskomplikowane zagadnienia z zakresu rozszerzającego się wszechświata: grawitacyjne przesunięcie ku czerwieni, ocena wieku wszechświata

PEU\_U02 – potrafi przeprowadzić analizę jakościową dotyczącą dynamicznych i termodynamicznych właściwości Wielkiego Wybuchu

Z zakresu kompetencji społecznych:

PEU\_K01 – potrafi krytycznie oceniać posiadaną wiedzę i odbierane treści; ma świadomość znaczenia wiedzy w rozwiązywaniu problemów poznawczych i praktycznych, jest świadom własnych ograniczeń i wie, kiedy zwrócić się do ekspertów

## TREŚCI PROGRAMOWE

Forma zajęć - wykład		Liczba godzin
Wy1	Paradoks nocnego nieba	2
Wy2	Izotropowy i jednorodny wszechświat	2
Wy3	Formalizm	2
Wy4/5	Metryka Robertsona - Walkera	4
Wy6/7	Równania Friedmanna	4
Wy8/9	Gęstość krytyczna; Dominacja materii; Dominacja promieniowania; Separacja promieniowania i materii	4
Wy10/1	Kosmologiczne przesunięcie ku czerwieni; Odległości we wszechświecie; Wiek wszechświata	4
Wy12/3	Kosmiczne Promieniowanie Tła	4
Wy14	Termodynamiczna ewolucja	2
Wy15/6	Scenariusz Wielkiego Wybuchu; Hipoteza inflacyjna	4
Wy17/8	Materia ciemna	4
Wy19/0	Energia ciemna – przyspieszenie ekspansji	4
Wy21/2	Entropia wszechświata – M87	4
Wy23	Czy Wszechświat może być nieskończony?	1
	Suma godzin	<b>30</b>

<b>Forma zajęć - ćwiczenia</b>		<b>Liczba godzin</b>
Cw1	Wektory i tensory	2
Cw2	Obserwator i pomiar	2
Cw3	Metryka Robertsona-Walkera – przesunięcie ku czerwieni	2
Cw4	Dynamiczna ewolucja: czas i temperatura	2
Cw5-8	Projekt	7
	Suma godzin	<b>15</b>

<b>STOSOWANE NARZĘDZIA DYDAKTYCZNE</b>
N1. Wykład tradycyjny N2. Zasoby cyfrowe N4. Konsultacje N5. Praca własna

#### **OCENA OSIĄGNIĘCIA PRZEDMIOTOWYCH EFEKTÓW UCZENIA SIĘ**

<b>Oceny</b> (F – formująca (w trakcie semestru), P – podsumowująca (na koniec semestru))	Numer efektu uczenia się	Sposób oceny osiągnięcia efektu uczenia się
F1	PEU_U01-U02	Projekt
F2	PEU_W01-W02	Egzamin na ocenę
$P = 07 \cdot F2 + 0.3 \cdot F1$		

<b>LITERATURA PODSTAWOWA I UZUPEŁNIAJĄCA</b>
<p>LITERATURA PODSTAWOWA:</p> <p>[1] S.Weinberg, <i>Cosmology</i>, Oxford University Press, 2008  [2] M. Roos, <i>Introduction to Cosmology</i></p> <p>LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA:</p> <p>[1] K.A. BRONNIKOV AND S.G. RUBIN, <i>BLACK HOLES, COSMOLOGY AND EXTRA DIMENSIONS</i>, WORLD SCIENTIFIC, 2015  [2] Ł. Radośniński, A. Radosz, <i>Introduction to Relativity and Cosmology</i>, Wrocław 2011  [3] P. Gusin, A.T. Augousti and A. Radosz, <i>BH M87: Beyond the Gates of Hell</i>, 2020  DOI: 10.5772/intechopen.90482 In book: Progress in Relativity</p>
<b>OPIEKUN PRZEDMIOTU (IMIE, NAZWISKO, ADRES E-MAIL)</b>
<p>Andrzej Radosz, Andrzej.Radosz@pwr.edu.pl  Paweł Gusin, Pawel.Gusin@pwr.edu.pl</p>



<b>WYDZIAŁ PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW TECHNIKI</b>	
<b>KARTA PRZEDMIOTU</b>	
<b>Nazwa przedmiotu w języku polskim: Kwantowa teoria pola</b>	
<b>Nazwa przedmiotu w języku angielskim: Quantum field theory</b>	
<b>Kierunek studiów (jeśli dotyczy): fizyka techniczna</b>	
<b>Specjalność (jeśli dotyczy):</b>	
<b>Poziom i forma studiów:</b>	<b>II stopień, stacjonarna</b>
<b>Rodzaj przedmiotu:</b>	<b>wybieralny</b>
<b>Język wykładowy:</b>	<b>polski</b>
<b>Cykl kształcenia od:</b>	<b>2023/2024</b>
<b>Kod przedmiotu</b>	
<b>Grupa kursów</b>	<b>TAK</b>

	<b>Wykład</b>	<b>Ćwiczenia</b>	<b>Laboratorium</b>	<b>Projekt</b>	<b>Seminarium</b>
Liczba godzin zajęć zorganizowanych w Uczelni (ZZU)	30	30			
Liczba godzin całkowitego nakładu pracy studenta (CNPS)	50	50			
Forma zaliczenia	zaliczenie na ocenę	zaliczenie na ocenę			
Dla grupy kursów zaznaczyć kurs końcowy (X)	X				
<b>Liczba punktów ECTS</b>	<b>4</b>				
w tym liczba punktów odpowiadająca zajęciom o charakterze praktycznym (P)		2			
w tym liczba punktów ECTS odpowiadająca zajęciom wymagającym bezpośredniego udziału nauczycieli lub innych osób prowadzących zajęcia (BU)	1.28	1.28			

**WYMAGANIA WSTĘPNE W ZAKRESIE WIEDZY, UMIEJĘTNOŚCI I KOMPETENCJI SPOŁECZNYCH**

1. Mechanika kwantowa

**CELE PRZEDMIOTU**

- C1 . Nabycie podstawowej wiedzy z kwantowej teorii pola w czasoprzestrzeni Minkowskiego.  
 C2. Zdobycie umiejętności jakościowego rozumienia, interpretacji oraz ilościowej analizy zjawisk i procesów fizycznych zachodzących w układach kwantowych, potrafi obliczać całki funkcjonalne w kwantowej teorii pola z nieskończoną liczbą stopni swobody.

## PRZEDMIOTOWE EFEKTY UCZENIA SIĘ

### Z zakresu wiedzy:

PEU\_W01 – zna wybrane zagadnienia z zakresu zaawansowanej wiedzy szczegółowej w obszarze kwantowej teorii pola m.in. zna i potrafi wyjaśnić podstawowe pojęcia czasoprzestrzeni Minkowskiego, potrafi sformułować przestrzeń Foka dla pól bozonowych i fermionowych, zna i potrafi kanonicznie kwantować pola swobodne o różnych spinach oraz zna funkcje Greena dla pola skalarnego i pola Diraca, zna i potrafi posługiwać się całką funkcjonalną oraz zna i potrafi uwzględnić oddziaływania pól kwantowych

### Z zakresu umiejętności:

PEU\_U01 – potrafi formułować, analizować, rozwiązywać złożone i nietypowe problemy oraz innowacyjnie wykonywać zadania z zakresu kwantowej teorii pola, w oparciu o (a) posiadaną wiedzę, dobór odpowiednich źródeł i informacji z nich pochodzących, dokonywać oceny i krytycznej analizy dotyczącej otrzymanych informacji oraz posiada możliwość twórczej interpretacji i prezentacji tych informacji, w tym: potrafi znajdować reprezentacje grupy Poincare, potrafi obliczać całki funkcjonalne w kwantowej teorii pola, potrafi opisać ilościowo i jakościowo oddziaływania pola kwantowego z zewnętrznym polem klasycznym; (b) dobór stosownych metod i narzędzi w tym zaawansowanych technik obliczeniowych; (c) przystosowaniem istniejących lub opracowaniem nowych metod i narzędzi

### Z zakresu kompetencji społecznych:

PEU\_K01 – potrafi krytycznie oceniać posiadaną wiedzę i odbierane treści, ma świadomość znaczenia wiedzy w rozwiązywaniu problemów poznawczych i praktycznych i jest świadom własnych ograniczeń i wie, kiedy zwrócić się do ekspertów

## TREŚCI PROGRAMOWE

Forma zajęć: wykład		Liczba godzin
Wy 1	Pole skalarne i równanie Kleina-Gordona	2
Wy 2	Grupa Poincare	2
Wy3	Reprezentacje grupy Poincare	2
Wy4	Stany N - cząstkowe, spin i statystyka oraz przestrzeń Foka	2
Wy5	Kwantowanie kanoniczne swobodnego pola skalarnego	2
Wy6	Przyczynowość i funkcje Greena dla pola skalarnego	2
Wy7	Naładowane pole skalarne	2
Wy8	Swobodne pole Diraca	2
Wy9	Swobodne pole elektromagnetyczne	2
Wy10 , Wy11	Oddziaływania i kwantowanie	4
Wy12	Całka funkcjonalna w kwantowej teorii pola	2
Wy13	Zasada działania Schwingera i działanie efektywne	2
Wy14	Regularyzacja	2
Wy15	Oddziaływanie pola kwantowego z klasycznym polem zewnętrznym	2
<b>Suma godzin</b>		<b>30</b>

Forma zajęć - ćwiczenia		Liczba godzin
Ćw1, Ćw2	Rozwiązania rów. Kleina-Gordona, tensor energii-pędu pola skalarnego, jednostki naturalne ( $c=h/(2\pi)=1$ )	4
Ćw3, Ćw4	Unitarne reprezentacje grupy Poincare, operatory Casimira, mała grupa, miara niezmiennicza	4
Ćw5	Działanie operatorów w przestrzeni Foka	2
Ćw6	Operatory pola i pędu, reguły komutacji, iloczyn skalarny Kleina-Gordona, rozkład pola kwantowego na operatory kreacji i anihilacji	2
Ćw7	Znajdowanie dwupunktowych funkcji korelacji (funkcje Greena) dla operatora pola skalarnego	2
Ćw8	Kwantowe pole w równowadze termodynamicznej	2
Ćw9	Operatory prądu i ładunku dla naładowanego pola	2
Ćw10	Rozwiązanie równania Diraca i propagator	2
Ćw11	Lokalne symetrie cechowania i ich Lagrangiany	2
Ćw12	Obliczanie funkcji korelacji za pomocą całki funkcjonalnej	2
Ćw13 Ćw14	Oddziaływanie pola kwantowego z polem klasycznym, zjawisko Schwingera	4
Ćw15	Kolokwium zaliczeniowe	2
	Suma godzin	<b>30</b>

STOSOWANE NARZĘDZIA DYDAKTYCZNE
N1. Wykład – metoda tradycyjna N2. Konsultacje

#### OCENA OSIĄGNIĘCIA PRZEDMIOTOWYCH EFEKTÓW UCZENIA SIĘ

Oceny (F – formująca (w trakcie semestru), P – podsumowująca (na koniec semestru))	Numer efektu uczenia się	Sposób oceny osiągnięcia efektu uczenia się
F1	PEU_W01, PEU_U01, PEU_K01	kolokwium
F2	PEU_W01, PEU_U01, PEU_K01	kolokwium
P = F2		

## LITERATURA PODSTAWOWA I UZUPEŁNIAJĄCA

### **LITERATURA PODSTAWOWA:**

- [1] S. S. Schweber, *An introduction to relativistic quantum field theory*, Row, Peterson and Company, (1961)
- [2] I. Biański-Birula, *Wstęp do teorii pól kwantowych*, PWN 1971
- [3] S. Weinberg, *Teoria pól kwantowych*, tom 1-3 Warszawa PWN (2012).
- [4] M. E. Peskin, D. V. Schroeder, *An introduction to quantum field theory*, Addison-Wesley (1995).
- [5] C. Itzykson, J. B. Zuber, *Quantum field theory*, Dover Publications (2006).
- [6] J. D. Bjorken, S. D. Drell, *Relatywistyczna teoria kwantów*, Warszawa PWN (1985).
- [7] L. H. Ryder, *Quantum field theory*, Cambridge University Press (1996).
- [8] R. Haag, *Local quantum physics*, Springer-Verlag 1996.
- [9] J. Schwinger, *On Gauge Invariance and Vacuum Polarization*, Phys. Rev.,82 (1951).
- [10] L. E. Parker, D. J. Toms: *Quantum Field Theory In Curved Spacetime*, Cambridge (2009).
- [11] R. F. Streater, A. S. Wightman, *PCT, spin and statistics, and all that*, Princeton, (2000).
- [12] R. M. Wald, *Quantum fields in curved spacetime*, [arXiv:1401.2026].

### **LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA**

- [1] P. Gusin, *Kwantowa teoria pola* [skrypt] Wrocław 2021

### **OPIEKUN PRZEDMIOTU (IMIE, NAZWISKO, ADRES E-MAIL)**

Paweł Gusin, pawel.gusin@pwr.wroc.pl

<b>WYDZIAŁ PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW TECHNIKI</b>	
<b>KARTA PRZEDMIOTU</b>	
<b>Nazwa przedmiotu w języku polskim: Kwantowe ciecze światła i materii</b>	
<b>Nazwa przedmiotu w języku angielskim: Quantum fluids of light and matter</b>	
<b>Kierunek studiów (jeśli dotyczy): fizyka techniczna</b>	
<b>Specjalność (jeśli dotyczy):</b>	
<b>Poziom i forma studiów:</b>	<b>II stopień, stacjonarna</b>
<b>Rodzaj przedmiotu:</b>	<b>wybieralny</b>
<b>Język wykładowy:</b>	<b>polski</b>
<b>Cykl kształcenia od:</b>	<b>2023/2024</b>
<b>Kod przedmiotu</b>	
<b>Grupa kursów</b>	<b>NIE</b>

	Wykład	Ćwiczenia	Laboratorium	Projekt	Seminarium
Liczba godzin zajęć zorganizowanych w Uczelni (ZZU)	30				
Liczba godzin całkowitego nakładu pracy studenta (CNPS)	50				
Forma zaliczenia	zaliczenie na ocenę				
Dla grupy kursów zaznaczyć kurs końcowy (X)					
<b>Liczba punktów ECTS</b>	<b>2</b>				
w tym liczba punktów odpowiadająca zajęciom o charakterze praktycznym (P)					
w tym liczba punktów ECTS odpowiadająca zajęciom wymagającym bezpośredniego udziału nauczycieli lub innych osób prowadzących zajęcia (BU)	1.28				

**WYMAGANIA WSTĘPNE W ZAKRESIE WIEDZY, UMIEJĘTNOŚCI I KOMPETENCJI SPOŁECZNYCH**

1. Wiedza w zakresie podstaw mechaniki kwantowej, optyki i fizyki statystycznej
2. Wiedza matematyczna w zakresie podstawowych kursów analizy matematycznej i algebry

**CELE PRZEDMIOTU**

- C1. Przekazanie wiedzy na temat podstaw fizyki kondensacji Bosego-Einsteina
- C2. Przekazanie wiedzy na temat realizacji kondensacji Bosego-Einsteina w gazach fotonów i polarytonów ekscytonowych w nowoczesnych układach fonicznych
- C3. Zapoznanie z nowoczesnymi osiągnięciami eksperymentalnymi i teoretycznymi w dziedzinie kondensacji fotonów i polarytonów ekscytonowych

### PRZEDMIOTOWE EFEKTY UCZENIA SIĘ

Z zakresu wiedzy:

PEU\_W01 ma rozszerzoną i pogłębioną wiedzę z wybranych zagadnień poświęconym kwantowym cieczom światła i materii

...

Z zakresu umiejętności:

PEU\_U01 potrafi formułować i testować hipotezy związane z prostymi problemami badawczymi związanymi z kwantowymi cieczami światła i materii

...

Z zakresu kompetencji społecznych:

PEU\_K01 potrafi krytycznie oceniać posiadaną wiedzę i odbierane treści

### TREŚCI PROGRAMOWE

Forma zajęć - wykład		Liczba godzin
Wy1	Kondensacja bozonów nieoddziałujących	2
Wy2	Termalizacja światła w oddziaływaniu z materią	2
Wy3	Fizyka mikrownęk optycznych – lasery i kondensacja fotonów nieoddziałujących	4
Wy4	Kondensacja bozonów oddziałujących – przybliżenie Bogolubowa, kryterium nadciekłości Landaua, równanie Grossa-Pitajewskiego	4
Wy5	Fizyka mikrownęk optycznych – silne sprzężenie ekscyton-foton, właściwości polarytonów ekscytonowych	4
Wy6	Kondensacja polarytonów ekscytonowych – diagram fazowy, kinetyka kondensacji, uogólniony model Grossa-Pitajewskiego, najważniejsze realizacje eksperymentalne	4
Wy7	Metody eksperymentalne w badaniach kondensatów fotonów i polarytonów	4
Wy8	Kondensacja fotonów/polarytonów w zewnętrznych potencjałach rzeczywistych i niehermitowskich	4
	Kolokwium zaliczeniowe	2
	Suma godzin	<b>30</b>

### STOSOWANE NARZĘDZIA DYDAKTYCZNE

N1. Wykład – forma tradycyjna oraz/lub online.

N2. Konsultacje z prowadzącym.

N3. Praca własna – samodzielne studia, zadania domowe i przygotowanie do zaliczenia.

## OCENA OSIĄGNIĘCIA PRZEDMIOTOWYCH EFEKTÓW UCZENIA SIĘ

Oceny (F – formująca (w trakcie semestru), P – podsumowująca (na koniec semestru))	Numer efektu uczenia się	Sposób oceny osiągnięcia efektu uczenia się
F1	PEU_W01, PEU_U01, PEU_K01	Kolokwium zaliczeniowe
P = F1		

### LITERATURA PODSTAWOWA I UZUPEŁNIAJĄCA

#### **LITERATURA PODSTAWOWA:**

1. V. Kavokin, J. J. Baumberg, G. Malpuech, F. P. Laussy, *Microcavities 2ed* (Oxford University Press, Oxford 2017)
2. C. J. Pethick, H. Smith, *Bose-Einstein Condensation in Dilute Gases 2ed* (Cambridge University Press, Cambridge 2011)

#### **LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA:**

1. J. M. Lifszyc, L. P. Pitajewski, 3. *Nadciężkość*, w: *Fizyka statystyczna. Cz. 2. Teoria materii skondensowanej* (PWN, Warszawa 2011)
2. L. P. Pitaevskii, S. Stringari, *Bose-Einstein Condensation and Superfluidity* (Oxford University Press, Oxford 2016)
3. K. Sacha, *Kondensat Bosego Einsteina* (Instytut Fizyki im. Smoluchowskiego, Uniwersytet Jagielloński, Kraków 2004)
4. B. Deveaud (red.), *The physics of semiconductor microcavities : from fundamentals to nanoscale devices* (Wiley-VCH, Weinheim 2007)

#### **OPIEKUN PRZEDMIOTU (IMIĘ, NAZWISKO, ADRES E-MAIL)**

Maciej Pieczarka, maciej.pieczarka@pwr.edu.pl

<b>WYDZIAŁ PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW TECHNIKI</b>	
<b>KARTA PRZEDMIOTU</b>	
<b>Nazwa przedmiotu w języku polskim:</b>	<b>Kwantowe układy otwarte</b>
<b>Nazwa przedmiotu w języku angielskim:</b>	<b>Open quantum systems</b>
<b>Kierunek studiów (jeśli dotyczy):</b>	<b>fizyka techniczna</b>
<b>Specjalność (jeśli dotyczy):</b>	
<b>Poziom i forma studiów:</b>	<b>II stopień, stacjonarna</b>
<b>Rodzaj przedmiotu:</b>	<b>wybieralny</b>
<b>Język wykładowy:</b>	<b>polski</b>
<b>Cykl kształcenia od:</b>	<b>2023/2024</b>
<b>Kod przedmiotu</b>	
<b>Grupa kursów</b>	<b>TAK</b>

	<b>Wykład</b>	<b>Ćwiczenia</b>	<b>Laboratorium</b>	<b>Projekt</b>	<b>Seminarium</b>
Liczba godzin zajęć zorganizowanych w Uczelni (ZZU)	30	30			
Liczba godzin całkowitego nakładu pracy studenta (CNPS)	50	50			
Forma zaliczenia	zaliczenie na ocenę	zaliczenie na ocenę			
Dla grupy kursów zaznaczyć kurs końcowy (X)	X				
<b>Liczba punktów ECTS</b>	<b>4</b>				
w tym liczba punktów odpowiadająca zajęciom o charakterze praktycznym (P)		2			
w tym liczba punktów ECTS odpowiadająca zajęciom wymagającym bezpośredniego udziału nauczycieli lub innych osób prowadzących zajęcia (BU)	1.28	1.28			

<b>WYMAGANIA WSTĘPNE W ZAKRESIE WIEDZY, UMIEJĘTNOŚCI I KOMPETENCJI SPOŁECZNYCH</b>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Mechanika kwantowa 1,</li> <li>2. Mechanika kwantowa 2,</li> <li>3. Umiejętność pracy ze źródłami, w tym z literaturą naukową w języku angielskim</li> </ol>

<b>CELE PRZEDMIOTU</b>
C1 Nabycie wiedzy i umiejętności z zakresu opisu kwantowych układów otwartych w formalizmie macierzy gęstości, ich ewolucji w ramach procesów kwantowych będących i niebędących procesami Markowa.



## PRZEDMIOTOWE EFEKTY UCZENIA SIĘ

Z zakresu wiedzy:

PEU\_W01 Zna pojęcia i metody teoretyczne wykorzystywane w opisie kwantowych układów otwartych w ramach formalizmu macierzy gęstości.

Z zakresu umiejętności:

PEU\_U01 Oblicza ewolucję układu otwartego zarówno w przypadku procesów Markowa jak i dla otoczenia z pamięcią.

PEU\_U02 Posługuje się formalizmem macierzy gęstości, wykonuje operacje na stanach z przestrzeni produktowych.

Z zakresu kompetencji społecznych:

PEU\_K01 potrafi krytycznie oceniać posiadaną wiedzę i odbierane treści. Ma świadomość znaczenia wiedzy w rozwiązywaniu problemów poznawczych i praktycznych i jest świadom własnych ograniczeń i wie, kiedy zwrócić się do ekspertów.

## TREŚCI PROGRAMOWE

Forma zajęć: wykład		Liczba godzin
Wy1	Układ otwarty, macierz gęstości	2
Wy2	Równanie Liouvillea-von Neumanna i ewolucja unitarna	2
Wy3	Relaksacja, dekohrencia, procesy odwracalne i nieodwracalne	4
Wy4	Ewolucja w ramach przybliżenia Markowa	6
Wy5	Metody correlation-expansion	4
Wy6	Równanie Nakajimy-Zwanziga	4
Wy7	Metoda operatorów projekcji bez splotu czasowego	4
Wy8	Postmarkowowskie równanie fundamentalne	4
	Suma godzin	<b>30</b>

Forma zajęć - ćwiczenia		Liczba godzin
Ćw1	Układ otwarty, macierz gęstości	2
Ćw2	Równanie Liouvillea-von Neumanna i ewolucja unitarna	2
Ćw3	Relaksacja, dekohrencia, procesy odwracalne i nieodwracalne	4
Ćw4	Ewolucja w ramach przybliżenia Markowa	6
Ćw5	Metody correlation-expansion	4
Ćw6	Równanie Nakajimy-Zwanziga	4
Ćw7	Metoda operatorów projekcji bez splotu czasowego	4
Ćw8	Postmarkowowskie równanie fundamentalne	4
	Suma godzin	<b>30</b>

## STOSOWANE NARZĘDZIA DYDAKTYCZNE

N1. Wykład z elementami dyskusji problemowej

N2. Ćwiczenia rachunkowe.

## OCENA OSIĄGNIĘCIA PRZEDMIOTOWYCH EFEKTÓW UCZENIA SIĘ

Oceny (F – formująca (w trakcie semestru), P – podsumowująca (na koniec semestru))	Numer efektu uczenia się	Sposób oceny osiągnięcia efektu uczenia się
F1 (ćwiczenia)	PEU_W01, PEU_U01, PEU_U02	regularna praca na zajęciach oraz kolokwium
F2 (wykład)	PEU_W01, PEU_U01, PEU_U02	kolokwium zaliczeniowe
P = 0.5*(F1+F2)		

### LITERATURA PODSTAWOWA I UZUPEŁNIAJĄCA

#### **LITERATURA PODSTAWOWA:**

[1] H.-P. Breuer, F. Petruccione, *The Theory of Open Quantum Systems*

[2] D. A. Lidar, *Lecture Notes on the Theory of Open Quantum Systems*

#### **LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA:**

[1] Attal, Stéphane; Joye, Alain; Pillet, Claude-Alain, *Open Quantum Systems I: The Hamiltonian Approach*

[2] Attal, Stéphane; Joye, Alain; Pillet, Claude-Alain, *Open Quantum Systems II: The Markovian Approach*

[3] Angel Rivas, Susana F. Huelga, *Open Quantum Systems: An Introduction*

#### **OPIEKUN PRZEDMIOTU (IMIE, NAZWISKO, ADRES E-MAIL)**

Michał Gawęłczyk, [michal.gawelczyk@pwr.edu.pl](mailto:michal.gawelczyk@pwr.edu.pl)

<b>WYDZIAŁ PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW TECHNIKI</b>	
<b>KARTA PRZEDMIOTU</b>	
<b>Nazwa przedmiotu w języku polskim: Kwantowe układy wielu cząstek z elementami kwantowej fizyki statystycznej</b>	
<b>Nazwa przedmiotu w języku angielskim: Quantum many-body systems and quantum statistical physics</b>	
<b>Kierunek studiów (jeśli dotyczy): fizyka techniczna</b>	
<b>Specjalność (jeśli dotyczy):</b>	
<b>Poziom i forma studiów:</b>	<b>II stopień, stacjonarna</b>
<b>Rodzaj przedmiotu:</b>	<b>wybieralny</b>
<b>Język wykładowy:</b>	<b>polski</b>
<b>Cykl kształcenia od:</b>	<b>2023/2024</b>
<b>Kod przedmiotu</b>	
<b>Grupa kursów</b>	<b>TAK</b>

	<b>Wykład</b>	<b>Ćwiczenia</b>	<b>Laboratorium</b>	<b>Projekt</b>	<b>Seminarium</b>
Liczba godzin zajęć zorganizowanych w Uczelni (ZZU)	45		30		
Liczba godzin całkowitego nakładu pracy studenta (CNPS)	75		75		
Forma zaliczenia	egzamin		zaliczenie na ocenę		
Dla grupy kursów zaznaczyć kurs końcowy (X)	X				
<b>Liczba punktów ECTS</b>	<b>6</b>				
w tym liczba punktów odpowiadająca zajęciom o charakterze praktycznym (P)			3		
w tym liczba punktów ECTS odpowiadająca zajęciom wymagającym bezpośredniego udziału nauczycieli lub innych osób prowadzących zajęcia (BU)	2.00		1.4		

**WYMAGANIA WSTĘPNE W ZAKRESIE WIEDZY, UMIEJĘTNOŚCI I KOMPETENCJI SPOŁECZNYCH**

1. Podstawy mechaniki kwantowej
2. Podstawy termodynamiki i fizyki statystycznej
3. Podstawy programowania

**CELE PRZEDMIOTU**

- C1 Zdobyć wiedzę dotyczącą opisu układów kwantowych wielu cząstek, w tym opisu układów kwantowych w granicy termodynamicznej
- C2 Umiejętność przeprowadzenia analizy numerycznej zagadnień dotyczących układów kwantowych wielu cząstek, w tym układów kwantowych w granicy termodynamicznej

### PRZEDMIOTOWE EFEKTY UCZENIA SIĘ

Z zakresu wiedzy:

PEU\_W01 ma pogłębioną i zaawansowaną wiedzę, podbudowaną teoretycznie, obejmującą złożone zjawiska o których mowa we współczesnej fizyce kwantowej oraz w fizyce technicznej

Z zakresu umiejętności:

PEU\_U01 potrafi formułować, analizować, rozwiązywać złożone i nietypowe problemy oraz innowacyjnie wykonywać zadania w nieprzewidywalnych warunkach z zakresu fizyki kwantowej oraz fizyki technicznej w oparciu o dobór stosownych metod i narzędzi analitycznych oraz zaawansowanych technik informacyjno-komunikacyjnych

PEU\_U02 potrafi formułować i testować hipotezy związane z prostymi problemami badawczymi we współczesnej fizyce kwantowej oraz w fizyce technicznej

PEU\_U03 potrafi kierować pracą zespołu, współdziałać z innymi osobami w ramach prac zespołowych i podejmuje wiodącą rolę w zespołach

Z zakresu kompetencji społecznych:

PEU\_K01 potrafi odpowiedzialnie pełnić rolę zawodowe z uwzględnieniem zmieniających się potrzeb społecznych: rozwija dorobek zawodu, podtrzymuje etos zawodu, przestrzega i rozwija zasady etyki zawodu oraz działa na rzecz przestrzegania tych zasad

### TREŚCI PROGRAMOWE

Forma zajęć - wykład		Liczba godzin
Wy1	Przestrzeń Fock'a oraz operatory kreacji i anihilacji – przypomnienie podstawowych relacji.	3
Wy2	Przypomnienie podstaw równowagowej fizyki statystycznej. Wyprowadzenie rozkładów Fermiego-Diraca oraz Bosego-Einsteina z reguł komutacji dla operatorów kreacji oraz anihilacji.	4
Wy3	Operatory spinu oraz ich najważniejsze transformacje do operatorów fermionowych i bozonowych.	4
Wy4	Spontaniczne złamanie symetrii, wzbudzenia kolektywne i kwazicząstki w układach z uporządkowaniem magnetycznym	4
Wy5	Ergodyczność w układach klasycznych. Stany stacjonarne i stany równowagowe w układach kwantowych. Hipoteza ETH ( <i>eigenstate thermalization hypothesis</i> ). Uogólniony rozkład Gibbsa (GGE) dla układów nieergodycznych.	6
Wy6	Elementy teorii macierzy losowych - statystyki poziomów w układach ergodycznych i nieergodycznych.	6
Wy7	Podatności układów kwantowych w ujęciu teorii Kubo liniowej reakcji układu. Przewodnictwo optyczne.	4
Wy8	Podstawowe własności termodynamicznych funkcji Greena na osi rzeczywistej. Funkcje spektralne, lokalna gęstość stanów.	6
Wy9	Funkcje Greena Matsubary.	2
Wy10	Twierdzenie Wicka i podstawy rachunku zaburzeń.	4
Wy11	Równanie Dysona i raz jeszcze o kwazicząstkach	2
	Suma godzin	<b>45</b>

<b>Forma zajęć - laboratorium</b>		<b>Liczba godzin</b>
La1	Zagadnienie własne dla macierzy symetrycznych i hermitowskich: nieoddziałujące cząstki w modelach ciasnego wiązania na sieciach o różnych geometriach, ewolucja czasowa prostych obserwabli	4
La2	Lokalizacja Andersona - układy nieuporządkowane i kwaziperiodyczne	2
La3	Konstrukcja i diagonalizacja macierzy hamiltonianu dla podstawowych modeli ciasnego wiązania: model XXZ, bezspinowe fermiony, model Hubbarda dla fermionów ze spinem $s=1/2$ .	6
La4	Diagonalizacja metodą Lanczosa.	4
La5	Ewolucja wybranych obserwabli w układach ergodycznych i nieergodycznych: stany stacjonarne nierównowagowe, stany równowagowe	2
La6	Konstrukcje podprzestrzeni z określoną liczbą cząstek i określonym całkowitym pędem.	4
La7	Statystyki poziomów układów całkowalnych (XXZ, Hubbard) oraz układów z oddziaływaniami łamiącymi całkowalność.	4
La8	Wyznaczenie podatności (np. przewodnictwa optycznego) w modelu ciasnego wiązania: pełna diagonalizacja oraz metoda Lanczosa	4
	Suma godzin	<b>30</b>

<b>STOSOWANE NARZĘDZIA DYDAKTYCZNE</b>
N1. Wykład – forma tradycyjna. N2. Laboratoria komputerowe N3. Konsultacje. N4. Praca własna – samodzielne studia i przygotowanie programów do obliczeń numerycznych. N5. Praca w grupie - i przygotowanie programów do obliczeń numerycznych

### **OCENA OSIĄGNIĘCIA PRZEDMIOTOWYCH EFEKTÓW UCZENIA SIĘ**

<b>Oceny (F – formująca (w trakcie semestru), P – podsumowująca (na koniec semestru))</b>	<b>Numer efektu uczenia się</b>	<b>Sposób oceny osiągnięcia efektu uczenia się</b>
<b>laboratorium</b>		
F1	PEU_W01, PEU_U01- U03, PEU_K01	Ocena programów numerycznych przygotowywanych w trakcie laboratoriów komputerowych
P1=F1	PEU_W01, PEU_U01- U03, PEU_K01	Ocena końcowa z laboratorium komputerowego
<b>wykład</b>		
P2	PEU_W01, PEU_U01- U03, PEU_K01	Egzamin pisemny. Ocena końcowa z wykładu
Ocena końcowa grupy kursów		
$P=(P1+P2)/2$		

<b>LITERATURA PODSTAWOWA I UZUPEŁNIAJĄCA</b>
<b><u>LITERATURA PODSTAWOWA:</u></b>  1. Fetter A.L., Walecka J.D.: „Kwantowa teoria układów wielu cząstek”, PWN 2. Anders W. Sandvik: „Computational Studies of Quantum Spin Systems”, arXiv:1101.3281 3. Luca D'Alessio, Yariv Kafri, Anatoli Polkovnikov, Marcos Rigol, ”From Quantum Chaos and Eigenstate Thermalization to Statistical Mechanics and Thermodynamics”, arXiv:1509.06411  <b><u>LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA:</u></b> 1. Gerald D. Mahan., „Many-particle physics”, Springer  <b>OPIEKUN PRZEDMIOTU (IMIE, NAZWISKO, ADRES E-MAIL)</b> Marcin Mierzejewski, marcin.mierzejewski@pwr.edu.pl
<b>OPIEKUN PRZEDMIOTU (IMIE, NAZWISKO, ADRES E-MAIL)</b>

## WYDZIAŁ PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW TECHNIKI

## KARTA PRZEDMIOTU

Nazwa przedmiotu w języku polskim: Laserowe źródła światła

Nazwa przedmiotu w języku angielskim: Laser-based optical sources

Kierunek studiów (jeśli dotyczy): fizyka techniczna

Specjalność (jeśli dotyczy):

Poziom i forma studiów: II stopień, stacjonarna

Rodzaj przedmiotu: wybieralny

Język wykładowy: polski

Cykl kształcenia od: 2023/2024

Kod przedmiotu

Grupa kursów TAK

	Wykład	Ćwiczenia	Laboratorium	Projekt	Seminarium
Liczba godzin zajęć zorganizowanych w Uczelni (ZZU)	15				15
Liczba godzin całkowitego nakładu pracy studenta (CNPS)	25				25
Forma zaliczenia	zaliczenie na ocenę				zaliczenie na ocenę
Dla grupy kursów zaznaczyć kurs końcowy (X)	X				
<b>Liczba punktów ECTS</b>	<b>2</b>				
w tym liczba punktów odpowiadająca zajęciom o charakterze praktycznym (P)					1
w tym liczba punktów ECTS odpowiadająca zajęciom wymagającym bezpośredniego udziału nauczycieli lub innych osób prowadzących zajęcia (BU)	0.68				0.68

## WYMAGANIA WSTĘPNE W ZAKRESIE WIEDZY, UMIEJĘTNOŚCI I KOMPETENCJI SPOŁECZNYCH

1. Podstawowa wiedza z zakresu fizyki ogólnej
2. Podstawowa wiedza z zakresu elektroniki i fizyki półprzewodników
3. Podstawowa wiedza z zakresu optyki, w tym optyki światłowodowej

## CELE PRZEDMIOTU

- C1 Zdobycie wiedzy związanej z techniką laserową w tym z budową i parametrami wybranych źródeł laserowych.
- C2 Zdobycie wiedzy związanej z podstawowymi zastosowaniami wybranych typów źródeł laserowych.
- C3 Zdobycie wiedzy związanej z bezpieczeństwem pracy ze źródłami laserowymi.

### PRZEDMIOTOWE EFEKTY UCZENIA SIĘ

Z zakresu wiedzy:

PEU\_W01 zna wybrane zagadnienia z zakresu zaawansowanej wiedzy szczegółowej z laserowych źródeł światła, a także jej zastosowań w nauce i inżynierii materiałów m.in: zna zaawansowaną wiedzę w zakresie budowy, parametrów i zastosowań podstawowych laserowych źródeł światła oraz zna zakres bezpieczeństwa pracy laserowych źródeł światła

Z zakresu umiejętności:

PEU\_U01 potrafi formułować, analizować, rozwiązywać złożone i nietypowe problemy oraz innowacyjnie wykonywać zadania z zakresu głównych zalet oraz ograniczeń podstawowych laserowych źródeł światła, potrafi wybrać właściwe źródło laserowe do spełnienia określonej funkcji w różnych zastosowaniach (np. w metrologii, telekomunikacji czy w obróbce materiałów) w oparciu o (a) posiadaną wiedzę, dobór odpowiednich źródeł i informacji z nich pochodzących, dokonywać oceny i krytycznej analizy dotyczącej otrzymanych informacji oraz posiada możliwość twórczej interpretacji i prezentacji tych informacji; (b) dobór stosownych metod i narzędzi w tym zaawansowanych technik obliczeniowych; (c) przystosowaniem istniejących lub opracowaniem nowych metod i narzędzi

Z zakresu kompetencji społecznych:

PEU\_K01 rozumie rolę technik laserowych w rozwoju nowoczesnego społeczeństwa

### TREŚCI PROGRAMOWE

Forma zajęć - wykład		Liczba godzin
Wy1	Wprowadzenie: podstawy fizyki laserów, rezonatory optyczne, tryby pracy źródeł laserowych. Klasy laserów.	2
Wy2	Lasery gazowe: He-Ne, excimerowy, CO <sub>2</sub> . Zastosowania w metrologii, obróbce materiałów.	2
Wy3	Lasery półprzewodnikowe: lasery z zewnętrzną wnęką rezonansową, diody DBR i DFB, lasery VCSEL. Lasery kaskadowe ICL i QCL. Zastosowania.	4
Wy4		
Wy5	Lasery na ciele stałym (Nd:YAG, tytan:szafir) i światłowodowe.	2
Wy6	Praca impulsowa źródeł laserowych, w tym q-switching i mode-locking.	2
Wy7	Źródła światła w oparciu o procesy nieliniowe.	2
Wy8	Zaliczenie.	1
	Suma godzin	<b>15</b>



<b>Forma zajęć - seminarium</b>		<b>Liczba godzin</b>
Se1	Wprowadzenie	1
Se2- Se8	Prezentacje związane z tematyką zajęć, których celem jest pogłębienie wiedzy w obszarach omawianych w czasie wykładów.	14
	Suma godzin	<b>15</b>

<b>STOSOWANE NARZĘDZIA DYDAKTYCZNE</b>
N1. Wykład problemowy. N2. Konsultacje N3. Praca własna w oparciu o dostępną literaturę

### **OCENA OSIĄGNIĘCIA PRZEDMIOTOWYCH EFEKTÓW UCZENIA SIĘ**

<b>Oceny (F – formująca (w trakcie semestru), P – podsumowująca (na koniec semestru))</b>	<b>Numer efektu uczenia się</b>	<b>Sposób oceny osiągnięcia efektu uczenia się</b>
F1 (wykład)	PEU_W01, PEU_W02, PEU_W03, PEU_U01, PEU_U02, PEU_K01	Test/kolokwium zaliczeniowe
F2 (seminarium)	PEU_W01, PEU_W02, PEU_W03, PEU_U01, PEU_U02, PEU_K01	Ocena za przygotowanie i wygłoszenie prezentacji
P = F1 jeżeli ocena F2 jest pozytywna		

<b>LITERATURA PODSTAWOWA I UZUPEŁNIAJĄCA</b>
<p><b><u>LITERATURA PODSTAWOWA:</u></b></p> <p>[1] “Lasers. Basics, Advances and Applications,” by H. Eichler, J. Eichler, O. Lux. Springer Series in Optical Sciences, Springer Nature Switzerland AG 2018.</p> <p>[2] “Lasers. Fundamentals and Applications” 2<sup>nd</sup> edition by K. Thyagarajan, A. Ghatak. Springer Science+Business Media 2010.</p>
<p><b><u>LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA:</u></b></p> <p>[1] “Gas Lasers” edited by M. Endo, R. Walter. CRC Press 2007.</p> <p>[2] “Principles of Lasers” by Orazio Svelto. Springer Science+Business Media 2010.</p> <p>[3] “Fundamentals of Fiber Lasers and Fiber Amplifiers” 2<sup>nd</sup> edition by V. Ter-Mikirtychev. Springer Nature Switzerland AG 2019.</p> <p>[4] R. Curl et al., “Quantum cascade lasers in chemical physics,” Chemical Physics Letters 484, 118 (2010).</p> <p>[5] I. Vurgaftman et al. “Interband cascade lasers,” Journal of Physics D: Applied Physics 48 (2015).</p>
<b>OPIEKUN PRZEDMIOTU (IMIĘ, NAZWISKO, ADRES E-MAIL)</b>
Michał Nikodem, <a href="mailto:michal.nikodem@pwr.edu.pl">michal.nikodem@pwr.edu.pl</a>

<b>WYDZIAŁ PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW TECHNIKI</b>	
<b>KARTA PRZEDMIOTU</b>	
<b>Nazwa przedmiotu w języku polskim: Materiały polimerowe w optoelektronice</b>	
<b>Nazwa przedmiotu w języku angielskim: Polymer materials in optoelectronics</b>	
<b>Kierunek studiów (jeśli dotyczy): fizyka techniczna</b>	
<b>Specjalność (jeśli dotyczy):</b>	
<b>Poziom i forma studiów:</b>	<b>II stopień, stacjonarna</b>
<b>Rodzaj przedmiotu:</b>	<b>wybieralny</b>
<b>Język wykładowy:</b>	<b>polski</b>
<b>Cykl kształcenia od:</b>	<b>2023/2024</b>
<b>Kod przedmiotu</b>	
<b>Grupa kursów</b>	<b>NIE</b>

	<b>Wykład</b>	<b>Ćwiczenia</b>	<b>Laboratorium</b>	<b>Projekt</b>	<b>Seminarium</b>
Liczba godzin zajęć zorganizowanych w Uczelni (ZZU)	2				
Liczba godzin całkowitego nakładu pracy studenta (CNPS)	50				
Forma zaliczenia	zaliczenie na ocenę				
Dla grupy kursów zaznaczyć kurs końcowy (X)					
<b>Liczba punktów ECTS</b>	<b>2</b>				
w tym liczba punktów odpowiadająca zajęciom o charakterze praktycznym (P)					
w tym liczba punktów ECTS odpowiadająca zajęciom wymagającym bezpośredniego udziału nauczycieli lub innych osób prowadzących zajęcia (BU)	1.28				

**WYMAGANIA WSTĘPNE W ZAKRESIE WIEDZY, UMIEJĘTNOŚCI I KOMPETENCJI SPOŁECZNYCH**

1. Podstawowa wiedza z zakresu chemii ogólnej i chemii organicznej

**CELE PRZEDMIOTU**

- C1 Nabycie wiedzy o podstawowych metodach otrzymywania związków wielkocząsteczkowych.
- C2 Nabycie wiedzy o strukturze, właściwościach i zastosowaniach najczęściej występujących materiałach polimerowych.
- C3 Nabycie wiedzy o sposobach modyfikacji związków wielkocząsteczkowych.
- C4 Nabycie wiedzy o mechanizmach przewodzenia prądu elektrycznego, fotoprzewodnictwa i luminescencji w związkach wielkocząsteczkowych.
- C5 Nabycie wiedzy z zakresu syntezy, właściwości i zastosowań polimerów przewodzących, półprzewodnikowych i fotoprzewodzących.

C6 Nabycie wiedzy o najnowszych osiągnięciach naukowych z zakresu materiałów polimerowych stosowanych w optoelektronice.

### PRZEDMIOTOWE EFEKTY UCZENIA SIĘ

Z zakresu wiedzy:

PEU\_W01 zna wybrane zagadnienia z zakresu zaawansowanej wiedzy szczegółowej w obszarze materiałów polimerowych, a także jej zastosowań w nauce i inżynierii materiałów m.in.: ma wiedzę z zakresu chemii i fizykochemii polimerów, zna metody preparatyki materiałów polimerowych o pożądanych właściwościach, zna i rozpoznaje grupy polimerów oraz rozumie zależność pomiędzy strukturą materiału polimerowego a możliwością jego zastosowań w optoelektronice, zna mechanizmy odpowiedzialne za możliwość zastosowań polimerów w optoelektronice i fotowoltaice, rozumie rolę polimerów w procesach recyklingu zużytego sprzętu elektrycznego i elektronicznego

...

Z zakresu umiejętności:

PEU\_U01 potrafi formułować, analizować, rozwiązywać złożone i nietypowe problemy oraz innowacyjnie wykonywać zadania z zakresu materiałów polimerowych, m.in.: potrafi: zdefiniować strukturę polimeru warunkującą jego zdolność do przewodzenia prądu elektrycznego, wyjaśnić rolę struktury makrocząsteczkowej polimeru a także stosowanych domieszek w przewodnictwie polimerów, określić i rozróżnić funkcjonalną i niefunkcjonalną rolę polimerów w urządzeniach elektronicznych, dobrać i/lub zmodyfikować polimer do wytworzenia urządzeń funkcjonalnych, np. układów scalonych, diod OLED, ogniw fotowoltaicznych, w oparciu o (a) posiadaną wiedzę, dobór odpowiednich źródeł i informacji z nich pochodzących, dokonywać oceny i krytycznej analizy otrzymanych informacji oraz posiada możliwość twórczej interpretacji i prezentacji tych informacji; (b) dobór stosowanych metod i narzędzi w tym zaawansowanych technik obliczeniowych; (c) przystosowaniem istniejących lub opracowaniem nowych metod i narzędzi

...

Z zakresu kompetencji społecznych:

PEU\_K01 potrafi krytycznie oceniać posiadaną wiedzę i odbierane treści; ma świadomość znaczenia wiedzy w rozwiązywaniu problemów poznawczych i praktycznych, jest świadom własnych ograniczeń i wie, kiedy zwrócić się do ekspertów

### TREŚCI PROGRAMOWE

Forma zajęć - wykład		Liczba godzin
Wy1	Podstawowe pojęcia z dziedziny związków wielkocząsteczkowych ( <i>definicje meru i monomeru, średniej masy cząsteczkowej, temperatury przejść fazowych, izomerii; omówienie struktury chemicznej i zastosowań najpopularniejszych polimerów</i> )	2
Wy2	Reakcje prowadzące do powstawania związków wielkocząsteczkowych ( <i>polimeryzacja, polikondensacja, wpływ struktury monomeru na przebieg polimeryzacji, przykłady syntezy polimerów</i> )	2

Wy3	Struktury makrocząsteczkowe polimerów oraz ich wpływ ma potencjalne zastosowania ( <i>fazy: amorficzna i krystaliczna, kopolimery usieciowane, rola grup funkcyjnych</i> )	2
Wy4	Zastosowania wybranych materiałów polimerowych w elektronice i optoelektronice ( <i>polimery do mikrolitografii, polimery jako izolatory prądu elektrycznego, ochrona antykorozyjna, powłoki ochronne, antystatyczne i antyradarowe, diody elektroluminescencyjne</i> )	2
Wy5	Mechanizmy przewodzenia prądu elektrycznego przez związki organiczne i polimery ( <i>układy sprzężonych wiązań podwójnych i potrójnych, rola heteroatomów nieorganicznych, domieszkowanie i autodomieszkowanie</i> )	2
Wy6	Polimery półprzewodnikowe ( <i>mechanizm przewodnictwa, synteza polimerów z układami wiązań sprzężonych i skumulowanych oraz z atomami metalu w łańcuchu głównym, mieszaniny polimerów z metalami</i> )	2
Wy7	Elektro-optyczne właściwości polimerów ( <i>absorpcja i transmisja światła, fluorescencja i fosforescencja, struktury polimerów fotoaktywnych, zastosowania</i> )	2
Wy8	Podstawowe pojęcia procesów optoelektronicznych w związkach wielkocząsteczkowych ( <i>stany wzbudzenia makrocząsteczek, polimerowe złącza P-N, właściwości optyczne związków organicznych, fotoindukowany transfer elektronów</i> )	2
Wy9	Organiczne i polimerowe diody elektroluminescencyjne I (OLED/PLED) ( <i>polimery ze sprzężonym układem wiązań podwójnych, architektura diod, struktury determinujące obecność anod i katod, procesy emisji światła</i> )	2
Wy10	Organiczne i polimerowe diody elektroluminescencyjne II (OLED/PLED) ( <i>materiały polimerowe wykorzystywane w produkcji diod PLED, elektrofosforencyjne diody PLED, badanie właściwości, charakterystyka elektrooptyczna, zastosowania komercyjne</i> )	2
Wy11	Materiały polimerowe jako organiczne baterie słoneczne ( <i>proces fotowoltaiczny, najczęściej stosowane polimery oraz ich charakterystyka, elastyczne fotoogniwa</i> )	2
Wy12	Nanokompozyty polimerowe i ich zastosowania w optoelektronice ( <i>definicje, metody syntezy, skład, struktura makrocząsteczkowa, nieorganiczno-organiczne diody LED i ogniwa fotowoltaiczne</i> )	2
Wy13	Materiały polimerowe w recyklingu zużytych elementów elektrycznych i elektronicznych ( <i>metody separacji i/lub odzyskiwania szkodliwych i cennych materiałów</i> )	2
Wy14	Perspektywy i nowe kierunki badań polimerów do zastosowań w elektronice I ( <i>przegląd literatury naukowej, w zależności od liczebności grupy, prezentacje przygotowywane przez studentów</i> )	2
Wy15	Perspektywy i nowe kierunki badań polimerów do zastosowań w elektronice II ( <i>przegląd literatury naukowej, w zależności od liczebności grupy, prezentacje przygotowywane przez studentów, zaliczenie kursu</i> )	2
	Suma godzin	30

### STOSOWANE NARZĘDZIA DYDAKTYCZNE

- N1. Wykład – prezentacje multimedialne, pokazy audiowizualne
- N2. Konsultacje
- N3. Samodzielne przygotowanie prezentacji naukowej

### OCENA OSIĄGNIĘCIA PRZEDMIOTOWYCH EFEKTÓW UCZENIA SIĘ

Oceny (F – formująca (w trakcie semestru), P – podsumowująca (na koniec semestru))	Numer efektu uczenia się	Sposób oceny osiągnięcia efektu uczenia się
F1	PEU_W01, PEU_U01, PEU_K01	Prezentacja naukowa
F2	PEU_W01, PEU_U01, PEU_K01	Kolokwium zaliczeniowe
P – średnia ważona z F1 i F2		

### LITERATURA PODSTAWOWA I UZUPEŁNIAJĄCA

#### **LITERATURA PODSTAWOWA:**

- [1] Mark Geoghegan, Georges Hadziioannou, *Polymer electronics*, Oxford University Press, Oxford 2013
- [2] Sulaiman Khalifeh, *Polymers in Organic Electronics*, ChemTec Publishing, Toronto 2020
- [3] André Moliton, *Optoelectronics of Molecules and Polymers*, Springer, New York, NY 2010

#### **LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA:**

- [1] Michael C. Petty, *Organic and Molecular Electronics: From Principles to Practice, 2nd Edition*, John Wiley & Sons 2019
- [2] Wenbing Hu, *Organic optoelectronics*, Wiley-VCH Verlag, Weinheim 2013
- [3] Marian Kryszewski, *Półprzewodniki wielkocząsteczkowe*, PWN, Warszawa 1968

#### **OPIEKUN PRZEDMIOTU (IMIE, NAZWISKO, ADRES E-MAIL)**

Piotr Cyganowski, piotr.cyganowski@pwr.edu.pl

## WYDZIAŁ PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW TECHNIKI

## KARTA PRZEDMIOTU

Nazwa przedmiotu w języku polskim **Metody kwantowej teorii pola w fizyce statystycznej**Nazwa przedmiotu w języku angielskim: **Methods of quantum field theory  
in statistical physics**Kierunek studiów (jeśli dotyczy): **fizyka techniczna**

Specjalność (jeśli dotyczy):

Poziom i forma studiów: **II stopień, stacjonarna**Rodzaj przedmiotu: **wybieralny**Język wykładowy: **polski**Cykl kształcenia od: **2023/2024**

Kod przedmiotu

Grupa kursów **NIE**

	Wykład	Ćwiczenia	Laboratorium	Projekt	Seminarium
Liczba godzin zajęć zorganizowanych w Uczelni (ZZU)	30				
Liczba godzin całkowitego nakładu pracy studenta (CNPS)	25				
Forma zaliczenia	zaliczenie na ocenę				
Dla grupy kursów zaznaczyć kurs końcowy (X)					
<b>Liczba punktów ECTS</b>	<b>2</b>				
w tym liczba punktów odpowiadająca zajęciom o charakterze praktycznym (P)					
w tym liczba punktów ECTS odpowiadająca zajęciom wymagającym bezpośredniego udziału nauczycieli lub innych osób prowadzących zajęcia (BU)	1.28				

**WYMAGANIA WSTĘPNE W ZAKRESIE WIEDZY, UMIEJĘTNOŚCI I KOMPETENCJI SPOŁECZNYCH**

Wiedza z zakresu mechaniki kwantowej i fizyki statystycznej

**CELE PRZEDMIOTU**

C1 Zapoznanie studentów z obecnym stanem wiedzy z zakresu funkcji Greena retardowanych i adwansowanych, liniową reakcją Kubo i funkcjami Greena-Matsubary  
 C2 Osiągnięcie przez studentów klarownego poziomu wiedzy i umiejętności na temat grafów Feynmana i ich stosowania

### PRZEDMIOTOWE EFEKTY UCZENIA SIĘ

Z zakresu wiedzy:

PEU\_W01 -- wiedza dotycząca podstawowych metod teorii funkcji Greena i potrzeby ich rozumienia

PEU\_W02 -- wiedza zakresu złożonej teorii funkcji Greena i zalet ich wykorzystanie w fizyce fazy skondensowanej

Z zakresu umiejętności:

PEU\_U01 - umiejętność stosowania metod kwantowej teorii pola w opisie zjawisk w układach wielu cząstek – bozonów i fermionów; umiejętność posługiwania się perturbacyjnym podejściem funkcji Greena w zagadnieniach fazy skondensowanej

Z zakresu kompetencji społecznych:

PEU\_K01- niezależnego, twórczego i racjonalnego myślenia w zakresie interdyscyplinarnym

PEU\_K02 – krytycznego spojrzenia na zakres swojej wiedzy, rozumienia konieczności samokształcenia i podnoszenia kwalifikacji.

### TREŚCI PROGRAMOWE

Forma zajęć: wykład		Liczba godzin
Wy1	Drugie kwantowanie, bozony, fermiony, operatory kreacji i anihilacji, operatory pola	2
Wy2	Funkcje Greena retardowane i adwansowane, liniowa reakcja Kubo	2
Wy3	Intensywność spektralna, funkcje korelacyjne	2
Wy4	Fourierowski obraz funkcji Greena retardowanych i adwansowanych dla bozonów i fermionów	2
Wy5	Obliczenie funkcji Greena retardowanej i adwansowanej i intensywności spektralnej dla gazów bozonów i fermionów	2
Wy6	Uniwersalne własności intensywności spektralnej i symetrie funkcji Greena	2
Wy7	Związki Kramersa-Kroniga dla funkcji Greena i liniowej reakcji	2
Wy8	Funkcje Greena-Matsubary dla czasu urojonego	2
Wy9	Częstości matsubarowskie dla bozonów i fermionów – szereg Fouriera dla funkcji Greena-Matsubary	2
Wy10	Związek transformaty Fouriera funkcji retardowanej/adwansowanej i szeregu Fouriera funkcji matsubarowskiej (przedłużenia analityczne)	2
Wy11	Chronologizacja, T eksponenta i rachunek zaburzeń	2
Wy12	Twierdzenie Wicka, Blocha, de Dominicisa dla operatorów drugiego kwantowania	2
Wy13	Grafy Feynmana i ich użycie	2
Wy14	Równanie Dysona; równanie na wierzchołki Bethe Salpetera	2
Wy15	Zastosowanie funkcji Greena do opisu dynamiki dekoherencji w kropkach kwantowych	2
	Suma godzin	<b>30</b>

### STOSOWANE NARZĘDZIA DYDAKTYCZNE

N1. Wykład – forma tradycyjna.

N2. Konsultacje.

N3. Praca własna – samodzielne studia i przygotowanie do egzaminu.

### OCENA OSIĄGNIĘCIA PRZEDMIOTOWYCH EFEKTÓW UCZENIA SIĘ

Oceny (F – formująca (w trakcie semestru), P – podsumowująca (na koniec semestru))	Numer efektu uczenia się	Sposób oceny osiągnięcia efektu uczenia się
F1	PEU_W01 PEU_W02 PEU_U01 PEU_K01 PEU_K02	
P=F1		

### LITERATURA PODSTAWOWA I UZUPEŁNIAJĄCA

#### **LITERATURA PODSTAWOWA:**

- [1] Witold Jacak, Metody kwantowej teorii pola w fizyce statystycznej, Skrypt PWr, 2019  
[2] W. Jacak et al. Dekohierencja orbitalnych i spinowych stopni swobody w kropkach kwantowych, Monografia PWr, 2009

#### **LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA:**

- [1] Abrikosov, A. A., Gorkov, L. P., and Dzialoshinskii, I. E., Methods of Quantum Field Theory in Statistical Physics, Dover Publ. Inc., Dover (1975).  
[2] Lifshitz, E. M. and Pitaevskii, L. P., Statisticeskaja fizika, czast 2, Nauka, Moskva (1978).  
[3] Fetter, A. L. and Walecka, J. D., Quantum theory of multi-particle systems, PWN, Warszawa (1988).

#### **OPIEKUN PRZEDMIOTU (IMIĘ, NAZWISKO, ADRES E-MAIL)**

Witold A. Jacak, witold.aleksander.jacak@pwr.edu.pl



<b>WYDZIAŁ PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW TECHNIKI</b>	
<b>KARTA PRZEDMIOTU</b>	
<b>Nazwa przedmiotu w języku polskim: Metody teorii grup w fizyce</b>	
<b>Nazwa przedmiotu w języku angielskim: Group theory methods in physics</b>	
<b>Kierunek studiów (jeśli dotyczy): fizyka techniczna</b>	
<b>Specjalność (jeśli dotyczy):</b>	
<b>Poziom i forma studiów:</b>	<b>II stopień, stacjonarna</b>
<b>Rodzaj przedmiotu:</b>	<b>wybieralny</b>
<b>Język wykładowy:</b>	<b>polski</b>
<b>Cykl kształcenia od:</b>	<b>2023/2024</b>
<b>Kod przedmiotu</b>	
<b>Grupa kursów</b>	<b>NIE</b>

	<b>Wykład</b>	<b>Ćwiczenia</b>	<b>Laboratorium</b>	<b>Projekt</b>	<b>Seminarium</b>
Liczba godzin zajęć zorganizowanych w Uczelni (ZZU)	30				
Liczba godzin całkowitego nakładu pracy studenta (CNPS)	50				
Forma zaliczenia	zaliczenie na ocenę				
Dla grupy kursów zaznaczyć kurs końcowy (X)					
<b>Liczba punktów ECTS</b>	<b>2</b>				
w tym liczba punktów odpowiadająca zajęciom o charakterze praktycznym (P)					
w tym liczba punktów ECTS odpowiadająca zajęciom wymagającym bezpośredniego udziału nauczycieli lub innych osób prowadzących zajęcia (BU)	1.28				

**WYMAGANIA WSTĘPNE W ZAKRESIE WIEDZY, UMIEJĘTNOŚCI I KOMPETENCJI SPOŁECZNYCH**

Wiedza, umiejętności i kompetencje w zakresie:

1. Algebry 1 i 2
2. Analizy 1 i 2
3. Podstaw fizyki ciała stałego
4. Mechaniki kwantowej 1 i 2

**CELE PRZEDMIOTU**

- C1 Uzyskanie wiedzy dotyczącej stosowania teorii grup w opisie układów fizycznych i ich własności.  
 C2 Nabycie umiejętności otrzymywania tabeli charakterów reprezentacji nieprzywiedlnych i stosowania ich w analizie problemów fizycznych.

C3 Nabywanie i utrwalanie kompetencji społecznych obejmujących potrzebę dalszego kształcenia oraz kreatywnego myślenia. Utrwalanie poczucia konieczności ciągłego rozwijania kompetencji zawodowych.

### PRZEDMIOTOWE EFEKTY UCZENIA SIĘ

Z zakresu wiedzy:

PEU\_W01-wiedza dotycząca zastosowania teorii grup w fizyce.

Z zakresu umiejętności:

PEU\_U01- umiejętność stosowania metod teorii grup w fizyce.

Z zakresu kompetencji społecznych:

PEU\_K01 potrafi krytycznie oceniać posiadaną wiedzę i odbierane treści; ma świadomość znaczenia wiedzy w rozwiązywaniu problemów poznawczych i praktycznych, jest świadom własnych ograniczeń i wie, kiedy zwrócić się do ekspertów

### TREŚCI PROGRAMOWE

Forma zajęć - wykład		Liczba godzin
Wy1	Elementy teorii grup.	2
Wy2	Grupy punktowe.	2
Wy3	Grupa obrotów.	2
Wy4	Symetrie sieci Bravais. Układy krystalograficzne.	2
Wy5	Reprezentacje grup.	2
Wy6	Reprezentacje nieprzywiedlne.	2
Wy7	Reprezentacje unitarne, lematy Schura i związki ortogonalności.	4
Wy8	Wyznaczanie reprezentacji grup.	4
Wy9	Reprezentacje grupy obrotów.	2
Wy10	Reprezentacje grup punktowych - grupy symetrii kryształów.	4
Wy11	Grupa symetrii hamiltonianu, funkcji falowej, funkcjonału energii swobodnej.	2
Wy12	Reguły wyboru dla przejść optycznych.	2
	Suma godzin	<b>30</b>

### STOSOWANE NARZĘDZIA DYDAKTYCZNE

N1. Wykład – forma tradycyjna.

N2. Konsultacje.

N3. Praca własna – samodzielne studia i przygotowanie do kolokwium.

## OCENA OSIĄGNIĘCIA PRZEDMIOTOWYCH EFEKTÓW UCZENIA SIĘ

Oceny (F – formująca (w trakcie semestru), P – podsumowująca (na koniec semestru))	Numer efektu uczenia się	Sposób oceny osiągnięcia efektu uczenia się
F1	PEU_W01, PEU_U01, PEU_K01	Kolokwium pisemne.
P=F1 (zaliczenie wykładu)		

### LITERATURA PODSTAWOWA I UZUPEŁNIAJĄCA

#### **LITERATURA PODSTAWOWA:**

- [1] F. W. Byron, R. W. Fuller, Matematyka w fizyce klasycznej i kwantowej, Tom 2, PWN 1975.
- [2] G. L. Bir, G. E. Pikus, Symetria i odkształcenia w półprzewodnikach, PWN 1977.

#### **LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA:**

- [1] J. Mozrzyński, Zastosowania teorii grup w fizyce.
- [2] K. Zalewski, Wykłady o grupie obrotów, PWN 1987.
- [3] R. Gonczarek, Teoria grup w fizyce, Oficyna Wydawnicza PWr 2003.
- [4] A. Musiał, Wykłady z teorii grup, materiały dydaktyczne.

#### **OPIEKUN PRZEDMIOTU (IMIĘ, NAZWISKO, ADRES E-MAIL)**

Grzegorz Harań, grzegorz.haran@pwr.edu.pl

<b>WYDZIAŁ PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW TECHNIKI</b>	
<b>KARTA PRZEDMIOTU</b>	
<b>Nazwa przedmiotu w języku polskim: Nadprzewodnictwo-układy niekonwencjonalne</b>	
<b>Nazwa przedmiotu w języku angielskim: Unconventional superconductivity</b>	
<b>Kierunek studiów (jeśli dotyczy): fizyka techniczna</b>	
<b>Specjalność (jeśli dotyczy):</b>	
<b>Poziom i forma studiów:</b>	<b>II stopień, stacjonarna</b>
<b>Rodzaj przedmiotu:</b>	<b>wybieralny</b>
<b>Język wykładowy:</b>	<b>polski</b>
<b>Cykl kształcenia od:</b>	<b>2023/2024</b>
<b>Kod przedmiotu</b>	
<b>Grupa kursów</b>	<b>NIE</b>

	Wykład	Ćwiczenia	Laboratorium	Projekt	Seminarium
Liczba godzin zajęć zorganizowanych w Uczelni (ZZU)	30				
Liczba godzin całkowitego nakładu pracy studenta (CNPS)	50				
Forma zaliczenia	Zaliczenie na ocenę				
Dla grupy kursów zaznaczyć kurs końcowy (X)					
<b>Liczba punktów ECTS</b>	<b>2</b>				
w tym liczba punktów odpowiadająca zajęciom o charakterze praktycznym (P)					
w tym liczba punktów ECTS odpowiadająca zajęciom wymagającym bezpośredniego udziału nauczycieli lub innych osób prowadzących zajęcia (BU)	1.28				

**WYMAGANIA WSTĘPNE W ZAKRESIE WIEDZY, UMIEJĘTNOŚCI I KOMPETENCJI SPOŁECZNYCH**

Wiedza, umiejętności i kompetencje w zakresie:

1. mechaniki kwantowej 1 i 2
2. metod matematycznych fizyki
3. fizyki ciała stałego
4. fizyki statystycznej
5. nadprzewodnictwa

**CELE PRZEDMIOTU**

- C1 Uzyskanie wiedzy dotyczącej nadprzewodnictwa w układach niekonwencjonalnych.  
 C2 Nabycie umiejętności formułowania i rozwiązywania podstawowych problemów dotyczących zjawiska nadprzewodnictwa w układach niekonwencjonalnych.

C3 Nabywanie i utrwalanie kompetencji społecznych obejmujących potrzebę dalszego kształcenia oraz kreatywnego myślenia. Utrwalanie poczucia konieczności ciągłego rozwijania kompetencji zawodowych.

### PRZEDMIOTOWE EFEKTY UCZENIA SIĘ

Z zakresu wiedzy:

PEU\_W01- zna wybrane zagadnienia z zakresu zaawansowanej wiedzy szczegółowej dotycząca nadprzewodnictwa w układach niekonwencjonalnych, a także jej zastosowań w nauce i inżynierii materiałów

Z zakresu umiejętności:

PEU\_U01- potrafi formułować, analizować, rozwiązywać złożone i nietypowe problemy oraz innowacyjnie wykonywać zadania z zakresu nadprzewodnictwa układów niekonwencjonalnych, w oparciu o (a) posiadaną wiedzę, dobór odpowiednich źródeł i informacji z nich pochodzących, dokonywać oceny i krytycznej analizy dotyczącej otrzymanych informacji oraz posiada możliwość twórczej interpretacji i prezentacji tych informacji; (b) dobór stosownych metod i narzędzi w tym zaawansowanych technik obliczeniowych; (c) przystosowaniem istniejących lub opracowaniem nowych metod i narzędzi

Z zakresu kompetencji społecznych:

PEU\_K01 - potrafi krytycznie oceniać posiadaną wiedzę i odbierane treści; ma świadomość znaczenia wiedzy w rozwiązywaniu problemów poznawczych i praktycznych, jest świadom własnych ograniczeń i wie, kiedy zwrócić się do ekspertów

### TREŚCI PROGRAMOWE

Forma zajęć - wykład		Liczba godzin
Wy1	Symetria inwersji - operator parzystości, parzystość układu.	2
Wy2	Sprzężenie spin-orbita. Operatory stanów Blocha – operatory pasmowe.	2
Wy3	Złamanie symetrii inwersji. Rozszczepienie pasma energetycznego.	2
Wy4	Pary Coopera. Funkcja Greena pary Coopera.	2
Wy5	Symetria par Coopera – symetria inwersji i symetria odbicia czasu.	2
Wy6	Podstawowa symetria par Coopera.	2
Wy7	Symetrie stanu nadprzewodzącego. Struktura spinowa parametru porządku. Separacja stanów singletowego i trypletowego.	4
Wy8	Nadprzewodnictwo w układzie ze złamaną symetrią inwersji – nadprzewodnictwo niecentrosymetryczne. Nadprzewodnictwo wewnątrzpasmostwo i międzypasmostwo.	4
Wy9	Równania Gorkowa i zlinearyzowane równania Gorkowa. Temperatura krytyczna stanu nadprzewodzącego.	2
Wy10	Nadprzewodnictwo singletowe.	2
Wy11	Nadprzewodnictwo trypletowe.	2

Wy12	Nadprzewodnictwo mieszane singletowo-trypletowe.	2
Wy13	Nadprzewodnictwo dynamiczne.	2
	Suma godzin	<b>30</b>

### STOSOWANE NARZĘDZIA DYDAKTYCZNE

N1. Wykład – forma tradycyjna.  
 N2. Konsultacje.  
 N3. Praca własna – samodzielne studia i przygotowanie do kolokwium.

### OCENA OSIĄGNIĘCIA PRZEDMIOTOWYCH EFEKTÓW UCZENIA SIĘ

Oceny (F – formująca (w trakcie semestru), P – podsumowująca (na koniec semestru))	Numer efektu uczenia się	Sposób oceny osiągnięcia efektu uczenia się
F1	PEU_W01 PEU_U01 PEU_K01	Kolokwium pisemne.
P=F1 (zaliczenie wykładu)		

### LITERATURA PODSTAWOWA I UZUPEŁNIAJĄCA

#### **LITERATURA PODSTAWOWA:**

- [1] G. Harań, „Nadprzewodnictwo - układy niekonwencjonalne” – materiały dydaktyczne „ZPR Pwr – Zintegrowany Program Rozwoju Politechniki Wrocławskiej”
- [2] E. Bauer, M. Sigrist „Non-centrosymmetric superconductors”, Springer 2011

#### **LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA:**

- [1] A.L. Fetter, J.D. Walecka „Kwantowa teoria układów wielu cząstek”, PWN 1982
- [2] G.D. Mahan „Many-particle physics”, Plenum Press 1981
- [3] J.R. Schrieffer „Theory of superconductivity”, ABP 1999
- [4] A.A. Abrikosov, L.P. Gorkov, I.E. Dzyaloshinski „Methods of quantum field theory in statistical physics”, Dover Publications, 1963

#### **OPIEKUN PRZEDMIOTU (IMIE, NAZWISKO, ADRES E-MAIL)**

Grzegorz Harań, Grzegorz.Haran@pwr.edu.pl

<b>WYDZIAŁ PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW TECHNIKI</b>	
<b>KARTA PRZEDMIOTU</b>	
<b>Nazwa przedmiotu w języku polskim: Nanodiagnostyka</b>	
<b>Nazwa przedmiotu w języku angielskim: Nanodiagnostics</b>	
<b>Kierunek studiów (jeśli dotyczy): fizyka techniczna</b>	
<b>Specjalność (jeśli dotyczy):</b>	
<b>Poziom i forma studiów:</b>	<b>II stopień, stacjonarna</b>
<b>Rodzaj przedmiotu:</b>	<b>wybieralny</b>
<b>Język wykładowy:</b>	<b>polski</b>
<b>Cykl kształcenia od:</b>	<b>2023/2024</b>
<b>Kod przedmiotu</b>	
<b>Grupa kursów</b>	<b>TAK</b>

	<b>Wykład</b>	<b>Ćwiczenia</b>	<b>Laboratorium</b>	<b>Projekt</b>	<b>Seminarium</b>
Liczba godzin zajęć zorganizowanych w Uczelni (ZZU)	30		30		
Liczba godzin całkowitego nakładu pracy studenta (CNPS)	50		50		
Forma zaliczenia	zaliczenia na ocenę		zaliczenie na ocenę		
Dla grupy kursów zaznaczyć kurs końcowy (X)	X				
<b>Liczba punktów ECTS</b>	<b>4</b>				
w tym liczba punktów odpowiadająca zajęciom o charakterze praktycznym (P)			2		
w tym liczba punktów ECTS odpowiadająca zajęciom wymagającym bezpośredniego udziału nauczycieli lub innych osób prowadzących zajęcia (BU)	1.28		1.28		

**WYMAGANIA WSTĘPNE W ZAKRESIE WIEDZY, UMIEJĘTNOŚCI I KOMPETENCJI SPOŁECZNYCH**

1. Znajomość fizyki ogólnej
2. Podstawowa wiedza z zakresu fizyki kwantowej
3. Wiadomości z zakresu elektrotechniki teoretycznej

**CELE PRZEDMIOTU**

C1 Zapoznanie z podstawowymi zagadnieniami badań i charakteryzacji mikro- i nanostruktur metodami mikroskopii optycznej i elektronowej

C2 Zapoznanie z podstawowymi zagadnieniami badań i charakteryzacji mikro- i nanostruktur metodami mikroskopii bliskich oddziaływań  
 C3 Zapoznanie z podstawowymi technikami pomiaru i detekcji małych napięć, prądów za pomocą podstawowych i zaawansowanych układów elektronicznych  
 C4 Zapoznanie z podstawowymi konstrukcjami i właściwościami układów mikro- i nanolektromechanicznych (MEMS i NEMS)

### PRZEDMIOTOWE EFEKTY UCZENIA SIĘ

#### Z zakresu wiedzy:

##### PEU\_W01

Ma uporządkowaną i podbudowaną teoretycznie wiedzę w zakresie podstawowych metod badania właściwości mikro- i nanostruktur materiałowych i przyrządowych metodami mikroskopii optycznej, elektronowej, bliskich oddziaływań, dyfraktometrii rentgenowskiej

#### Z zakresu umiejętności:

##### PEU\_U01

Student potrafi ocenić przydatność poznanych metod i technik pomiarowych do konkretnego zadania o charakterze praktycznym oraz wybrać odpowiednie narzędzie, metodę i technikę pomiarową (eksperymentalną)

#### Z zakresu kompetencji społecznych:

##### PEU\_K01

Student rozumie potrzebę ciągłego doksztalcania, w tym samodoksztalcania; umie i rozumie potrzebę uczenia się samodzielnie i w grupie

##### PEU\_K02

Student potrafi pracować samodzielnie i w grupie

### TREŚCI PROGRAMOWE

Forma zajęć - wykład		Liczba godzin
Wy1	Badania i charakteryzacji mikro- i nanostruktur metodami mikroskopii optycznej oraz interferometrii	2
Wy2	Badania i charakteryzacji mikro- i nanostruktur metodami skaningowej i transmisyjnej mikroskopii elektronowej	2
Wy3	Podstawowe zastosowania i konstrukcje układów pomiarowych do detekcji małych sygnałów prądowych i napięciowych	2
Wy4	Ogólna charakterystyka i zastosowania mikroskopii tunelowej	2
Wy5	Charakterystyka sond mikromechanicznych dla mikroskopii sił atomowych	2
Wy6	Ogólna charakterystyka i podstawowe zastosowania mikroskopii sił atomowych	3



Wy7	Cząstkowe kolokwium zaliczeniowe	1
Wy8	Charakterystyka i zastosowania skaningowej mikroskopii termicznej	2
Wy9	Charakterystyka i zastosowania mikroskopii sił elektrostatycznych	2
Wy10	Charakterystyka i zastosowania mikroskopii bliskiego pola optycznego	2
Wy11	Badanie struktur studni kwantowych metodami wysokorozdzielczej dyfraktometrii rentgenowskiej	2
Wy12	Badanie struktur proszkowych metodami dyfraktometrii rentgenowskiej	2
Wy13	Badania i właściwości podstawowych układów mikro i nanoelektromechanicznych (MEMS i NEMS)	2
Wy14	Badania właściwości elektrycznych mikro- i nanostruktur metodami spektroskopii impedancyjnej	3
Wy15	Cząstkowe kolokwium zaliczeniowe	1
	Suma godzin	<b>30</b>

<b>Forma zajęć - laboratorium</b>		<b>Liczba godzin</b>
La1	Zajęcia wprowadzające – sprawy organizacyjne, zasady realizacji zadań projektowych, zasady BHP, obsługa przyrządów, metody pomiarowe,	3
La2	Projektowanie, montaż, testy podstawowych rozwiązań elektroniki układowej stosowanych w nanodiagnostyce	3
La3	Badanie właściwości rezonatorów kwarcowych technikami elektrycznymi i optycznymi	3
La4	Badania właściwości mikrodźwigni mechanicznych jako układów MEMS	3
La5	Badania powierzchni metodami mikroskopii tunelowej	3
La6	Badania powierzchni metodami mikroskopii sił atomowych	3
La7	Badania struktur studni kwantowych metodami dyfraktometrii rentgenowskiej	3
La8	Badanie struktur proszkowych metodami dyfraktometrii rentgenowskiej	3
La9	Modelowanie i obliczenia map odbić	3
La10	Termin poprawkowy	3
	Suma godzin	<b>30</b>

<b>STOSOWANE NARZĘDZIA DYDAKTYCZNE</b>
N1. Wykład tradycyjny z dyskusją
N2. Wykład multimedialny z dyskusją
N3. Konsultacje
N4. Praca własna – przygotowanie zadanych zagadnień do wykładu
N5. Praca własna – przygotowanie do kolokwium
N6. Praca własna – samodzielne studia w przedmiotowym temacie na potrzeby realizacji ćwiczeń laboratoryjnych
N7. Laboratorium: pisemne sprawozdanie z każdego ćwiczenia

## OCENA OSIĄGNIĘCIA PRZEDMIOTOWYCH EFEKTÓW UCZENIA SIĘ

Oceny (F – formująca (w trakcie semestru), P – podsumowująca (na koniec semestru))	Numer efektu uczenia się	Sposób oceny osiągnięcia efektu uczenia się
F1 (wykład)	PEU_W01	kolokwium zaliczeniowe K1 Wy
F2 (wykład)	PEU_W01	kolokwium zaliczeniowe K2 Wy
F3...F10 (laboratorium)	PEU_U01	pisemne sprawozdanie z każdego z ćwiczeń laboratoryjnych
P1 (wykład) = (F1+F2)/2		
P2 (laboratorium) = (F3+F4+F5+F6+F7+F8+F9+F10)/8		
P = P1*0.5 + P2*0.5		

### LITERATURA PODSTAWOWA I UZUPEŁNIAJĄCA

#### **LITERATURA PODSTAWOWA:**

- [1] T. Gotszalk, Systemy mikroskopii bliskich oddziaływań w badaniach mikro- i nanostruktur, Wyd. Politechniki Wrocławskiej, 2004.
- [2] P. Horowitz, Sztuka Elektroniki, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, 2009.
- [3] J.Sokołowski, B.Pluta, M.Nosiła „Elektronowy mikroskop skaningowy”, Skrypt uczelniany, Nr 834, Politechnika Śląska, Gliwice 1979.
- [4] A. Sikora, Rozwój i zastosowanie zaawansowanych technik mikroskopii sił atomowych w diagnostyce materiałów elektrotechnicznych. Wybrane zagadnienia, Prace Instytutu Elektrotechniki, 2012; 59 (257)

#### **LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA:**

- [1] „Mikroskopia elektronowa”, pod red. A. Barbackiego, Wyd. Politechn. Poznańskiej, Poznań, 2005.
- [2] S. Senturia, Microsystem Design, ISBN 978-0-7923-7246-2

#### **OPIEKUN PRZEDMIOTU (IMIE, NAZWISKO, ADRES E-MAIL)**

Teodor Gotszalk, teodor.gotszalk@pwr.edu.pl

<b>WYDZIAŁ PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW TECHNIKI</b>	
<b>KARTA PRZEDMIOTU</b>	
<b>Nazwa przedmiotu w języku polskim</b> Nieklasyczne źródła światła i ich zastosowania	
<b>Nazwa przedmiotu w języku angielskim</b> Non-classical light sources and their applications	
<b>Kierunek studiów (jeśli dotyczy):</b> fizyka techniczna	
<b>Specjalność (jeśli dotyczy):</b>	
<b>Poziom i forma studiów:</b>	II stopień, stacjonarna
<b>Rodzaj przedmiotu:</b>	wybieralny
<b>Język wykładowy:</b>	polski
<b>Cykl kształcenia od:</b>	2023/2024
<b>Kod przedmiotu</b>	
<b>Grupa kursów</b>	NIE

	Wykład	Ćwiczenia	Laboratorium	Projekt	Seminarium
Liczba godzin zajęć zorganizowanych w Uczelni (ZZU)	30				
Liczba godzin całkowitego nakładu pracy studenta (CNPS)	50				
Forma zaliczenia	zaliczenie na ocenę				
Dla grupy kursów zaznaczyć kurs końcowy (X)					
<b>Liczba punktów ECTS</b>	<b>2</b>				
w tym liczba punktów odpowiadająca zajęciom o charakterze praktycznym (P)					
w tym liczba punktów ECTS odpowiadająca zajęciom wymagającym bezpośredniego udziału nauczycieli lub innych osób prowadzących zajęcia (BU)	1.28				

**WYMAGANIA WSTĘPNE W ZAKRESIE WIEDZY, UMIEJĘTNOŚCI I KOMPETENCJI SPOŁECZNYCH**

1. Wiedza z zakresu: mechaniki kwantowej, fizyki ciała stałego, fizyki półprzewodników, spektroskopii, podstaw optyki kwantowej i fizyki nanostruktur.
2. Znajomość języka angielskiego co najmniej na poziomie B2 (materiały w języku angielskim, m. in. współczesna literatura przedmiotu – publikacje naukowe).
3. Umiejętność wyszukiwania informacji w naukowych bazach danych oraz uzyskania dostępu do czasopism za pośrednictwem Politechniki Wrocławskiej.
4. W zakresie kompetencji społecznych: zdolność do koncentracji, umiejętność słuchania i przetwarzania informacji, efektywne zarządzanie czasem.

### CELE PRZEDMIOTU

- C1 Zapoznanie studentów z układami fizycznymi umożliwiającymi emisję nieklasycznych stanów światła (wady i zalety każdego z nich).
- C2 Zapoznanie studentów z metodami implementacji oraz weryfikacji parametrów nieklasycznych źródeł światła w rzeczywistych układach doświadczalnych (wskazanie praktycznych trudności i sposobów ich rozwiązania).
- C3 Zapoznanie studentów z aktualnym stanem wiedzy nt. nieklasycznych źródeł światła w różnych układach fizycznych.
- C4 Zapoznanie studentów z zastosowaniami nieklasycznych źródeł światła w technologiach kwantowych

### PRZEDMIOTOWE EFEKTY UCZENIA SIĘ

Z zakresu wiedzy:

PEU\_W01 zna wybrane zagadnienia z zakresu nieklasycznych źródeł światła i ich zastosowań

Z zakresu umiejętności:

PEU\_U01 potrafi formułować, analizować, rozwiązywać złożone i nietypowe problemy oraz innowacyjnie wykonywać zadania w nieprzewidywalnych warunkach z zakresu nieklasycznych źródeł światła i ich zastosowań, w oparciu o (a) posiadaną wiedzę, dobór odpowiednich źródeł i informacji z nich pochodzących, dokonywać oceny i krytycznej analizy dotyczącej otrzymanych informacji oraz posiada możliwość twórczej interpretacji i prezentacji tych informacji; (b) dobór stosownych metod i narzędzi w tym zaawansowanych technik informacyjno-komunikacyjnych; (c) przystosowaniem istniejących lub opracowaniem nowych metod i narzędzi

Z zakresu kompetencji społecznych:

PEU\_K01 potrafi krytycznie oceniać posiadaną wiedzę i odbierane treści

PEU\_K02 ma świadomość znaczenia wiedzy w rozwiązywaniu problemów poznawczych i praktycznych i jest świadom własnych ograniczeń i wie, kiedy zwrócić się do ekspertów

### TREŚCI PROGRAMOWE

Forma zajęć - wykład		Liczba godzin
Wy1	Zapoznanie studentów z zakresem materiału wykładu, obowiązującą literaturą, wymaganiami oraz formą zaliczenia wykładu. Sprawdzenie wiedzy studentów na tematy wymagane do uczestnictwa w wykładzie. Przypomnienie podstawowych pojęć za zakresu optyki kwantowej niezbędnych do zrozumienia dalszego materiału wykładu.	2
Wy2	Zdefiniowanie nieklasycznych źródeł światła, podanie przykładów takich źródeł (źródła pojedynczych nierozróżnialnych fotonów i splątanych fotonów) oraz podstawowych parametrów je charakteryzujących.	2
Wy3	Detektory pojedynczych fotonów (fotopowielacz, dioda lawinowa, z obszarem aktywnym w postaci nadprzewodzących nanodrutów)	2

Wy4	Detektory o rozdzielczości ze względu na liczbę fotonów.	2
Wy5	Omówienie metod doświadczalnych wyznaczania parametrów nieklasycznych źródeł światła: spektroskopia korelacyjna, interferometr Hanbury Brown i Twiss.	2
Wy6	Omówienie metod doświadczalnych wyznaczania parametrów nieklasycznych źródeł światła: tomografia kwantowa. Omówienie różnych miar splątania.	2
Wy7	Różne typy splątania: pary polaryzacyjnie splątanych fotonów, stany klastrowe, splątanie typu czas-położenie (ang. time-bin entanglement).	2
Wy8	Omówienie metod doświadczalnych wyznaczania parametrów nieklasycznych źródeł światła: efekt i interferometr Hong-Ou-Mandel. Zdefiniowanie stopnia nierozróżnialności pojedynczych fotonów.	3
Wy9	Przedstawienie układów fizycznych, które emitują pojedyncze fotony wraz ze wskazaniem ich charakterystycznych cech, a w szczególności wad i zalet każdego z podejść.	2
Wy10	Przedstawienie układów fizycznych, które emitują splątane fotony wraz ze wskazaniem ich charakterystycznych cech, a w szczególności wad i zalet każdego z podejść.	2
Wy11	Zaprezentowanie aktualnego stanu wiedzy nt. wybranych nieklasycznych źródeł światła, w szczególności rekordowych parametrów takich źródeł zrealizowanych w różnych układach fizycznych.	3
Wy12	Zastosowania nieklasycznych źródeł światła: protokoły kryptografii kwantowej (np. BB84).	1
Wy13	Zastosowania nieklasycznych źródeł światła: duplikator kwantowy (ang. quantum repeater).	1
Wy14	Zastosowania nieklasycznych źródeł światła: teleportacja kwantowa.	2
Wy15	Zaliczenie.	2
	Suma godzin	<b>30</b>

### STOSOWANE NARZĘDZIA DYDAKTYCZNE

N1. Prezentacja multimedialna treści wykładu.  
N2. Prezentacja treści artykułów naukowych.

### OCENA OSIĄGNIĘCIA PRZEDMIOTOWYCH EFEKTÓW UCZENIA SIĘ

Oceny (F – formująca (w trakcie semestru), P – podsumowująca (na koniec semestru))	Numer efektu uczenia się	Sposób oceny osiągnięcia efektu uczenia się
F1	PEU_W01, PEU_U01, PEU_K01, PEU_K02	Kolokwium zaliczeniowe
P = F1		

## LITERATURA PODSTAWOWA I UZUPEŁNIAJĄCA

### **LITERATURA PODSTAWOWA:**

- [1] P. Michler (ed.) „Quantum Dots for Quantum Information Technologies”, Springer, 2017
- [2] B. Lounis and M. Orrit “Single-photon sources”, Rep. Prog. Phys. 68, 1129 (2005)
- [3] I. Aharonovich et al. “Solid-state single-photon emitters”, Nat. Photonics 10, 631 (2016)
- [4] C. J. Chunnillall et al. “Metrology of single-photon sources and detectors: a review”, Opt. Engineering 53 (8), 081910 (2014)
- [5] M. D. Eisaman et al. “Invited Review Article: Single-photon sources and detectors”, Rev. Sci. Instrum. 82, 0711011 (2011)
- [6] S. Buckley et al. “Engineered quantum dot single-photon sources”, Rep. Prog. Phys. 75, 126503 (2012)
- [7] Y. Arakawa and M. J. Holmes “Progress in quantum-dot single photon sources for quantum information technologies: A broad spectrum overview”, Appl. Phys. Rev. 7, 021309 (2020)
- [8] S. Rodt et al. “Deterministically fabricated solid-state quantum-light sources”, J. Phys. Condens. Matter 32, 153003 (2020)
- [9] P. Senellart et al. “High-performance semiconductor quantum-dot single-photon sources”, Nat. Nanotechnology 12, 1026 (2017).

### **LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA:**

- [1] Zhe-Yu Jeff Ou “Quantum Optics for Experimentalists”, World Scientific, 2017
- [2] L. Schweickert et al., “On-demand generation of background-free single photons from a solid-state source”, Appl. Phys. Lett. 112, 093106 (2018)
- [3] A. Lohrmann et al. “A review on single photon sources in silicon carbide”, Rep. Prog. Phys. 80, 034502 (2017)
- [4] M. J. Holmes et al. “III-nitride quantum dots as single photon emitters”, Semicond. Sci. Technol. 34, 033001 (2019)
- [5] I. Aharonovich et al. “Diamond-based Single-photon emitters”, Rep. Prog. Phys. 74, 076501 (2011)
- [6] N. Somaschi et al. “Near optimal single photon sources in the solid state”, Nat. Photonics 10, 1–6 (2015)
- [7] H. Wang et al. “Near-Transform-Limited Single Photons from an Efficient Solid-State Quantum Emitter”, Phys. Rev. Lett. 116, 213601 (2016)
- [8] T. Heindel et al. “Electrically driven quantum dot-micropillar single photon source with 34% overall efficiency”, Appl. Phys. Lett. 96, 2008–2011 (2010)
- [9] T. Miyazawa et al. „Single-photon emission at 1.5  $\mu$  m from an InAs/InP quantum dot with highly suppressed multi-photon emission probabilities”, Appl. Phys. Lett. 109, 132106 (2016)
- [10] S. L. Portalupi et al. “InAs quantum dots grown on metamorphic buffers as non-classical light sources at telecom C-band: A review”, Semicond. Sci. Technol. 34, (2019).

### **OPIEKUN PRZEDMIOTU (IMIE, NAZWISKO, ADRES E-MAIL)**

Anna Musiał, anna.musial@pwr.edu.pl

<b>WYDZIAŁ PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW TECHNIKI</b>	
<b>KARTA PRZEDMIOTU</b>	
<b>Nazwa przedmiotu w języku polskim</b>	<b>Nierównowagowa teoria układów wielu cząstek</b>
<b>Nazwa przedmiotu w języku angielskim</b>	<b>Nonequilibrium theory of many-body systems</b>
<b>Kierunek studiów (jeśli dotyczy): fizyka techniczna</b>	
<b>Specjalność (jeśli dotyczy):</b>	
<b>Poziom i forma studiów:</b>	<b>II stopień, stacjonarna</b>
<b>Rodzaj przedmiotu:</b>	<b>wybieralny</b>
<b>Język wykładowy:</b>	<b>polski</b>
<b>Cykl kształcenia od:</b>	<b>2023/2024</b>
<b>Kod przedmiotu</b>	
<b>Grupa kursów</b>	<b>NIE</b>

	<b>Wykład</b>	<b>Ćwiczenia</b>	<b>Laboratorium</b>	<b>Projekt</b>	<b>Seminarium</b>
Liczba godzin zajęć zorganizowanych w Uczelni (ZZU)	30				
Liczba godzin całkowitego nakładu pracy studenta (CNPS)	50				
Forma zaliczenia	Zaliczenie na ocenę				
Dla grupy kursów zaznaczyć kurs końcowy (X)					
<b>Liczba punktów ECTS</b>	<b>2</b>				
w tym liczba punktów odpowiadająca zajęciom o charakterze praktycznym (P)					
w tym liczba punktów ECTS odpowiadająca zajęciom wymagającym bezpośredniego udziału nauczycieli lub innych osób prowadzących zajęcia (BU)	1.28				

**WYMAGANIA WSTĘPNE W ZAKRESIE WIEDZY, UMIEJĘTNOŚCI I KOMPETENCJI SPOŁECZNYCH**

1. Mechanika kwantowa 1,
2. Mechanika kwantowa 2,
3. Umiejętność pracy ze źródłami, w tym z literaturą naukową w języku angielskim

**CELE PRZEDMIOTU**

C1 Student zapozna się z zaawansowanymi pojęciami i metodami potrzebnymi do kwantowego opisu przepływu prądu przez nanostruktury.

### PRZEDMIOTOWE EFEKTY UCZENIA SIĘ

Z zakresu wiedzy:

PEU\_W01 - posiada wiedzę teoretyczną dotyczącą kwantowego opisu prądu płynącego przez nanostruktury

Z zakresu umiejętności:

PEU\_U01 - umie zastosować nierównowagowe funkcje Greena do opisu realistycznego układu

PEU\_U02 - potrafi obliczyć prąd przepływający przez nanostrukturę w stanie ustalonym

Z zakresu kompetencji społecznych:

PEU\_K01 - jest przygotowany do krytycznego oceniania własnej wiedzy i odbieranych treści oraz działania w rozwiązywaniu zagadnień o charakterze poznawczym

PEU\_K02 - jest świadom własnych ograniczeń i wie, kiedy zwrócić się do ekspertów

### TREŚCI PROGRAMOWE

Forma zajęć - wykład		Liczba godzin
Wy1	<i>Eksperymenty transportowe</i>	1
Wy2	Wprowadzenie do funkcji Greena, układ otwarty, operator masowy, funkcja spektralna	4
Wy3	Druga kwantyzacja, operatory pola	2
Wy4	<i>Ewolucja operatorów pola</i>	2
Wy5	Kwantowe równanie ciągłości i prąd w modelach na sieci	2
Wy6	Równowagowe funkcje Greena	3
Wy7	Twierdzenie Wicka, macierz rozpraszania, równanie Dysona	3
Wy8	Nierównowagowe funkcje Greena	4
Wy9	Równanie Dysona na konturze, reguły Langretha	2
Wy10	Równania kinetyczne Kadanoffa-Bayma i Kiełdysza	2
Wy11	Układ z elektrodami	2
Wy12	Prąd przez układ z oddziaływaniami	3
	Suma godzin	<b>30</b>

### STOSOWANE NARZĘDZIA DYDAKTYCZNE

N1 wykład z elementami dyskusji problemowej

### OCENA OSIĄGNIĘCIA PRZEDMIOTOWYCH EFEKTÓW UCZENIA SIĘ

Oceny (F – formująca (w trakcie semestru), P – podsumowująca (na koniec semestru))	Numer efektu uczenia się	Sposób oceny osiągnięcia efektu uczenia się
F1	PEU_W01 , PEU_U01 , PEU_U02 , PEU_K01 , PEU_K02	Test końcowy
P=F1		



## LITERATURA PODSTAWOWA I UZUPEŁNIAJĄCA

### **LITERATURA PODSTAWOWA:**

- [1] „*Nonequilibrium Many-Body Theory of Quantum Systems: A Modern Introduction*”, G. Stefanucci, R. van Leeuwen
- [2] „*Quantum Kinetics in Transport and Optics of Semiconductors*”, H. Haug, A. P. Jauho

### **LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA:**

- [1] „*Many Particle Physics*”, G. D. Mahan
- [2] „*Quantum Theory of Many-Particle Systems*”, A. L. Fetter i J. D. Walecka
- [3] „*Electronic Transport in Mesoscopic Systems*”, S. Datta
- [4] „An Introduction to Quantum Transport in Semiconductors”, D. K. Ferry
- [5] Y. Meir, N. S. Wingreen, *Phys. Rev. Lett.* **68**, 2512 (1992)

### **OPIEKUN PRZEDMIOTU (IMIE, NAZWISKO, ADRES E-MAIL)**

Michał Gawęłczyk, [michal.gawelczyk@pwr.edu.pl](mailto:michal.gawelczyk@pwr.edu.pl)

<b>WYDZIAŁ PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW TECHNIKI</b>	
<b>KARTA PRZEDMIOTU</b>	
<b>Nazwa przedmiotu w języku polskim: Numeryczne metody badania układów kwantowych</b>	
<b>Nazwa przedmiotu w języku angielskim: Numerical methods for quantum systems</b>	
<b>Kierunek studiów (jeśli dotyczy): fizyk techniczna</b>	
<b>Specjalność (jeśli dotyczy):</b>	
<b>Poziom i forma studiów:</b>	<b>II stopień, stacjonarna</b>
<b>Rodzaj przedmiotu:</b>	<b>wybieralny</b>
<b>Język wykładowy:</b>	<b>polski</b>
<b>Cykl kształcenia od:</b>	<b>2023/2024</b>
<b>Kod przedmiotu</b>	
<b>Grupa kursów</b>	<b>NIE</b>

	Wykład	Ćwiczenia	Laboratorium	Projekt	Seminarium
Liczba godzin zajęć zorganizowanych w Uczelni (ZZU)			30		
Liczba godzin całkowitego nakładu pracy studenta (CNPS)			50		
Forma zaliczenia			zaliczenie na ocenę		
Dla grupy kursów zaznaczyć kurs końcowy (X)					
<b>Liczba punktów ECTS</b>			<b>2</b>		
w tym liczba punktów odpowiadająca zajęciom o charakterze praktycznym (P)			2		
w tym liczba punktów ECTS odpowiadająca zajęciom wymagającym bezpośredniego udziału nauczycieli lub innych osób prowadzących zajęcia (BU)			1.28		

**WYMAGANIA WSTĘPNE W ZAKRESIE WIEDZY, UMIEJĘTNOŚCI I KOMPETENCJI SPOŁECZNYCH**

1. Mechanika kwantowa 1
2. Mechanika kwantowa 2
3. Metody numeryczne (kurs programowania)
4. Umiejętność posługiwania się aparatem analizy matematycznej i algebry liniowej
5. Umiejętność pracy ze źródłami, w tym z literaturą naukową w języku angielskim

### CELE PRZEDMIOTU

C1 Student zapozna się z metodami numerycznymi dla kwantowych układów wielociałowych

C2 Student zapozna się z metodami dokładnej diagonalizacji macierzy w przestrzeni Hilberta

C3 Student zapozna się z metodami liczenia obserwabli kwantowych

### PRZEDMIOTOWE EFEKTY UCZENIA SIĘ

#### Z zakresu wiedzy:

PEU\_W01 - posiada wiedzę teoretyczną dotyczącą metod numerycznych stosowanych w opisie zjawisk kwantowych w materii skondensowanej i ich limitacji

#### Z zakresu umiejętności:

PEU\_U01 - posiada umiejętność napisania programu symulującego układ kwantowy w języku drugiej kwantyzacji

PEU\_U02 - posiada wiedzę dotyczącą diagonalizacji macierzy Hamiltonianu oraz operowaniu na wartościach i wektorach własnych zapisanych w bazie wielocząstkowej

PEU\_U03 - potrafi przeprowadzić analizę numeryczną wybranych zjawisk kwantowych

PEU\_U04 - potrafi pozyskiwać informację o dostępnych bibliotekach numerycznych oraz potrafi zaimplementować wybraną bibliotekę według dostępnej dokumentacji

#### Z zakresu kompetencji społecznych:

PEU\_K01 - jest przygotowany do krytycznego myślenia i działania w rozwiązywaniu zagadnień o charakterze poznawczym

PEU\_K02 - przestrzegania obyczajów i zasad obowiązujących w środowisku akademickim

### TREŚCI PROGRAMOWE

Forma zajęć - laboratorium		Liczba godzin
La1 – La15	<ul style="list-style-type: none"><li>- Przygotowanie stanowiska pracy (kompilatory, biblioteki numeryczne, wizualizacja danych)</li><li>- Baza oraz macierz hamiltonianu</li><li>- Metody dokładnej diagonalizacji oraz operacje macierz-wektor</li><li>- Numeryczne operacje na wartościach własnych (przerwa energetyczna, ciepło właściwe)</li><li>- Kwantowa ewolucja czasowa w bazie wektorów własnych</li><li>- Kwantowa ewolucja czasowa - metoda Rungego-Kutty</li><li>- Numeryczne obliczenia obserwabli z teorii liniowej odpowiedzi</li></ul>	<b>30</b>

## STOSOWANE NARZĘDZIA DYDAKTYCZNE

- N1. Prezentacje wprowadzające do laboratorium.
- N2. Samodzielna realizacja projektów numerycznych (pod kierunkiem prowadzącego)
- N3. Konsultacje

## OCENA OSIĄGNIĘCIA PRZEDMIOTOWYCH EFEKTÓW UCZENIA SIĘ

Oceny (F – formująca (w trakcie semestru), P – podsumowująca (na koniec semestru))	Numer efektu uczenia się	Sposób oceny osiągnięcia efektu uczenia się
F1	PEU_W01, PEU_U01-U04, PEU_K01-K02	Zaliczenie - projekt numeryczny
P = F1		

## LITERATURA PODSTAWOWA I UZUPEŁNIAJĄCA

### **LITERATURA PODSTAWOWA:**

1. *J. J. Sakurai - Advanced Quantum Mechanics (Pearson Education, Incorporated, 1967)*

### **LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA:**

1. *A. Sandvik (Boston University) - Course on "Quantum Spin Simulations" 2010  
<http://physics.bu.edu/~sandvik/perimeter/index.html>*
2. *A. Läuchli (University of Innsbruck) - Les Houches school on "Modern theories of correlated electron systems" 2009  
<https://www.pks.mpg.de/~aml/LesHouches/>*

### **OPIEKUN PRZEDMIOTU (IMIE, NAZWISKO, ADRES E-MAIL)**

Jacek Herbrych, [jacek.herbrych@pwr.edu.pl](mailto:jacek.herbrych@pwr.edu.pl)

<b>WYDZIAŁ PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW TECHNIKI</b>	
<b>KARTA PRZEDMIOTU</b>	
<b>Nazwa przedmiotu w języku polskim: Obliczenia kwantowe i ich zastosowania</b>	
<b>Nazwa przedmiotu w języku angielskim: Quantum computing and applications</b>	
<b>Kierunek studiów (jeśli dotyczy): fizyka techniczna</b>	
<b>Specjalność (jeśli dotyczy):</b>	
<b>Poziom i forma studiów:</b>	<b>II stopień, stacjonarna</b>
<b>Rodzaj przedmiotu:</b>	<b>wybieralny</b>
<b>Język wykładowy:</b>	<b>polski/angielski*</b>
<b>Cykl kształcenia od:</b>	<b>2023/2024</b>
<b>Kod przedmiotu</b>	
<b>Grupa kursów</b>	<b>TAK</b>

\*przedmiot może być prowadzony w języku angielskim – decyzję podejmuje dziekan

	<b>Wykład</b>	<b>Ćwiczenia</b>	<b>Laboratorium</b>	<b>Projekt</b>	<b>Seminarium</b>
Liczba godzin zajęć zorganizowanych w Uczelni (ZZU)	30			15	
Liczba godzin całkowitego nakładu pracy studenta (CNPS)	50			50	
Forma zaliczenia	zaliczenie na ocenę			zaliczenie na ocenę	
Dla grupy kursów zaznaczyć kurs końcowy (X)	X				
<b>Liczba punktów ECTS</b>	4				
w tym liczba punktów odpowiadająca zajęciom o charakterze praktycznym (P)				2	
w tym liczba punktów ECTS odpowiadająca zajęciom wymagającym bezpośredniego udziału nauczycieli lub innych osób prowadzących zajęcia (BU)	1,28			0,64	

**WYMAGANIA WSTĘPNE W ZAKRESIE WIEDZY, UMIEJĘTNOŚCI I KOMPETENCJI SPOŁECZNYCH**

1. Wiedza z zakresu matematyki na poziomie studiów inżynierskich
2. Znajomość podstaw mechaniki kwantowej
3. Znajomość zagadnień z zakresu informatyki kwantowej
4. Umiejętność pracy ze źródłami, w tym z literaturą naukową w języku angielskim

**CELE PRZEDMIOTU**

- C1 Zapoznanie studentów ze współczesnymi metodami obliczeń kwantowych  
 C2 Przekazanie umiejętności rozwiązywania zagadnień z wykorzystaniem obliczeń kwantowych

## PRZEDMIOTOWE EFEKTY UCZENIA SIĘ

Z zakresu wiedzy:

PEU\_W01 zna wybrane zagadnienia z zakresu zaawansowanej wiedzy szczegółowej w obszarze informatyki kwantowej i jej zastosowań

Z zakresu umiejętności:

PEU\_U01 potrafi formułować, analizować, rozwiązywać złożone i nietypowe problemy oraz innowacyjnie wykonywać zadania w nieprzewidywalnych warunkach z zakresu informatyki kwantowej, w oparciu o (a) posiadaną wiedzę, dobór odpowiednich źródeł i informacji z nich pochodzących, dokonywać oceny i krytycznej analizy dotyczącej otrzymanych informacji oraz posiada możliwość twórczej interpretacji i prezentacji tych informacji; (b) dobór stosownych metod i narzędzi w tym zaawansowanych technik informacyjno-komunikacyjnych; (c) przystosowanie istniejących lub nowych metod i narzędzi

Z zakresu kompetencji społecznych:

PEU\_K01 potrafi krytycznie oceniać posiadaną wiedzę i odbierane treści; ma świadomość znaczenia wiedzy w rozwiązywaniu problemów poznawczych i praktycznych i jest świadom własnych ograniczeń i wie, kiedy zwrócić się do ekspertów

## TREŚCI PROGRAMOWE

Forma zajęć: wykład		Liczba godzin
Wy1	Introduction to quantum computing. Quantum information and quantum computing. Quantum computing hardware landscape (introduction to different techniques of qubit's physical implementations). Quantum advantage and place of quantum computing in modern HPC landscape.	2
Wy2	Qubits and properties. Quantum circuit model of computation. Operators and gates. Single-qubit and multi-qubit gates. Entanglement, superposition, and measurement. Alternative models of quantum computations. Overview of quantum ecosystems.	2
Wy3	Computational complexity. Comparing classical and quantum algorithms performance. Running quantum algorithms: state preparation, circuit optimization, transpilation, mapping to device topology. Deep look into quantum advantage: structure of addressed problems, resources estimation, cost of mapping classical problem to quantum architecture, solution feasibility. Systems design.	2
Wy4	Black-box, oracles, query algorithms and their applications. Deutsch-Jozsa algorithm. Shor's and Grover's algorithm intuition and applications.	2
Wy5	Quantum Fourier transform, Quantum phase and amplitude estimation. Detailed look into Shor's and Grover's algorithms. Resources estimation for real-life problems.	2
Wy6	Monte Carlo methods in computation and quantum alternatives.	2
Wy7	Hybrid quantum algorithms. Variational algorithms workflow. Parametrized quantum circuit and ansatz state, and optimization loop. Resources estimation.	2
Wy8	Variational Quantum Eigensolver (VQE) and applications in chemistry.	2
Wy9	Combinatorial optimization problems in computer science. Quadratic unconstrained binary optimization and mapping to Ising model.	2
Wy10	Quantum annealing. Physical principles and limitations. Barren plateaus in energy landscape. Calculating advantage for quantum annealers.	2
Wy11	Quantum Approximate Optimization Algorithm (QAOA). Max-CUT and scheduling problems solving using gate-based devices and quantum annealers.	2

Wy12	Quantum machine learning introduction. Transition from classical ML to QML. Basic concepts of QML. QML applied to classical and quantum data. Transfer learning.	2
Wy13	Quantum kernel methods. Quantum-enhanced support vector machine. Quantum Generative Adversarial networks and applications.	2
Wy14	Quantum gradient calculation. Combining quantum optimization and machine learning.	2
Wy15	Quantum computing and fundamental mathematical theories. Quantum applications and category theory for natural language processing.	2
	Suma godzin	<b>30</b>

<b>Forma zajęć: Projekt</b>		<b>Liczba godzin</b>
Ćw1	Qubits, single- and multi-qubit gates. Quantum circuits. Measurements. Shots. Onboarding to IBM qiskit.	2
Ćw2	Quantum simulators and differences. Introduction to amazon braket as cloud platform. Photonic devices simulators (Pasqal, Quandela).	2
Ćw3	Computational complexity for major classical algorithms. Resources estimation for computations on gate-based devices.	2
Ćw4	Query algorithms implementation. Bernstein–Vazirani.	2
Ćw5	HHL algorithm implementation.	2
Ćw6	Iterative Quantum Amplitude estimation.	2
Ćw7	VQE for LiH molecule simulation	2
Ćw8	QAOA for max-SAT problem	1
	Homework project topics: Quantum computing and derivatives pricing (European, Asian call and put options) Combinatorial optimization problems using QC (manufacturing, logistics, finance) Quantum machine learning applied to classical data. Image processing. Quantum machine learning applied to quantum data (classification of physical systems simulated using quantum computer).	
	Suma godzin	<b>15</b>

<b>STOSOWANE NARZĘDZIA DYDAKTYCZNE</b>
N1. Wykład oraz dyskusje panelowe N2. Zajęcia laboratoryjne N3. Praca własna studenta

#### **OCENA OSIĄGNIĘCIA PRZEDMIOTOWYCH EFEKTÓW UCZENIA SIĘ**

<b>Oceny (F – formująca (w trakcie semestru), P – podsumowująca (na koniec semestru))</b>	<b>Numer efektu uczenia się</b>	<b>Sposób oceny osiągnięcia efektu uczenia się</b>
P	PEU_W01 PEU_U01 PEU_K01	Zaliczenie - projekt

<b>LITERATURA PODSTAWOWA I UZUPEŁNIAJĄCA</b>
<b><u>LITERATURA PODSTAWOWA:</u></b> [1] IBM Quantum Learning. Online material: <a href="https://learning.quantum-computing.ibm.com/">https://learning.quantum-computing.ibm.com/</a>
<b><u>LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA:</u></b> [1] Jack D. Hidary. Quantum applications: An Applied Approach. 2019
<b>OPIEKUN PRZEDMIOTU (IMIE, NAZWISKO, ADRES E-MAIL)</b> Damyр Hadiiev (dhadi@softserveinc.com)



<b>WYDZIAŁ PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW TECHNIKI</b>	
<b>KARTA PRZEDMIOTU</b>	
<b>Nazwa przedmiotu w języku polskim: Obliczenia numeryczne w nanoinżynierii</b>	
<b>Nazwa przedmiotu w języku angielskim: Numerical methods in nanoengineering</b>	
<b>Kierunek studiów (jeśli dotyczy): fizyka techniczna</b>	
<b>Specjalność (jeśli dotyczy):</b>	
<b>Poziom i forma studiów:</b>	<b>II stopień, stacjonarna</b>
<b>Rodzaj przedmiotu:</b>	<b>wybieralny</b>
<b>Język wykładowy:</b>	<b>polski</b>
<b>Cykl kształcenia od:</b>	<b>2023/2024</b>
<b>Kod przedmiotu</b>	
<b>Grupa kursów</b>	<b>TAK</b>

	<b>Wykład</b>	<b>Ćwiczenia</b>	<b>Laboratorium</b>	<b>Projekt</b>	<b>Seminarium</b>
Liczba godzin zajęć zorganizowanych w Uczelni (ZZU)	15		15		
Liczba godzin całkowitego nakładu pracy studenta (CNPS)	25		25		
Forma zaliczenia	zaliczenie na ocenę		zaliczenie na ocenę		
Dla grupy kursów zaznaczyć kurs końcowy (X)	X				
<b>Liczba punktów ECTS</b>	<b>2</b>				
w tym liczba punktów odpowiadająca zajęciom o charakterze praktycznym (P)			1		
w tym liczba punktów ECTS odpowiadająca zajęciom wymagającym bezpośredniego udziału nauczycieli lub innych osób prowadzących zajęcia (BU)	0.68		0.68		

**WYMAGANIA WSTĘPNE W ZAKRESIE WIEDZY, UMIEJĘTNOŚCI I KOMPETENCJI SPOŁECZNYCH**

- Umiejętności w zakresie programowania, obejmujące:
  - znajomość języka programowania – Python;
  - tworzenie i używanie własnych funkcji;
  - posługiwanie się własnymi typami danych np. rekordy, klasy;
  - usuwanie i poprawy błędów w programie.
- Znajomość fizyki ogólnej oraz podstaw z mechaniki kwantowej i fizyki ciała stałego.

**CELE PRZEDMIOTU**

- C1 Utrwalenie oraz rozszerzenie umiejętności programistycznych studenta.  
 C2 Zaznajomienie studenta ze specyfiką obliczeń numerycznych.  
 C3 Poznanie niektórych zaawansowanych metod numerycznych.  
 C4 Nabycie umiejętności stosowania metod numerycznych do rozwiązania konkretnych problemów fizycznych.  
 C5 Zwiększenie umiejętności w znajdowaniu i usuwaniu błędów oraz usterek w programie.

### PRZEDMIOTOWE EFEKTY UCZENIA SIĘ

Z zakresu wiedzy:

PEU\_W01 zna wybrane zagadnienia z zakresu zaawansowanej wiedzy szczegółowej w obszarze metod numerycznych, a także jej zastosowań w nauce i inżynierii materiałów

Z zakresu umiejętności:

PEU\_U01 potrafi formułować, analizować, rozwiązywać złożone i nietypowe problemy oraz innowacyjnie wykonywać zadania z zakresu metod numerycznych, w oparciu o (a) posiadaną wiedzę, dobór odpowiednich źródeł i informacji z nich pochodzących, dokonywać oceny i krytycznej analizy dotyczącej otrzymanych informacji oraz posiada możliwość twórczej interpretacji i prezentacji tych informacji; (b) dobór stosownych metod i narzędzi w tym zaawansowanych technik obliczeniowych; (c) przystosowaniem istniejących lub opracowaniem nowych metod i narzędzi

Z zakresu kompetencji społecznych:

PEU\_K01 potrafi krytycznie oceniać posiadaną wiedzę i odbierane treści; ma świadomość znaczenia wiedzy w rozwiązywaniu problemów poznawczych i praktycznych, jest świadom własnych ograniczeń i wie, kiedy zwrócić się do ekspertów

### TREŚCI PROGRAMOWE

Forma zajęć: wykład		Liczba godzin
Wy1	Cząstkowe równania różniczkowe w fizyce	1
Wy2	Dyskretyzacja wielowymiarowego równania Schroedingera – metoda różnic skończonych	1
Wy3-4	Macierze rzadkie – rozwiązywania zagadnienia własnego – metoda potęgowa, metoda Lanczosa, metoda Davidsona	2
Wy5-6	Wizualizacja wielowymiarowych danych – biblioteki VTK, ParaView	2
Wy7-8	Gaz elektronowy – samouzgodnione rozwiązywanie równania Schroedingera i Poissona. Metody Kryłowa oraz konstrukcja preconditionera.	2
Wy9-10	Ekscyton – metoda wariacyjna obliczania energii wiązania	2
Wy11-12	Efekty wielociałowe: metoda Hartree-Focka	2
Wy13-14	Efekty wielociałowe: metoda dokładnej diagonalizacji	2
Wy15	Zaliczenie	1
	Suma godzin	<b>15</b>

Forma zajęć: laboratorium		Liczba godzin
La1	Wprowadzenie. Python oraz środowisko programistyczne.	1
La2	Modyfikacja równania Schroedingera – zależność masy efektywnej od położenia	2
La3	Wizualizacja danych wejściowych i wyjściowych w wielowymiarowym równaniu Schroedingera	2
La4	Implementacja preconditionera	2
La5-6	Energia wiązania ekscytonu – badanie różnych modeli	4
La7-8	Obliczanie energii korelacji	4
	Suma godzin	<b>15</b>

### STOSOWANE NARZĘDZIA DYDAKTYCZNE

- N1. Wykład w formie tradycyjnej z wykorzystaniem prezentacji komputerowej.  
N2. Omawianie przykładowych programów.  
N3. Listy zadań. Praca samodzielna. Indywidualne/grupowe rozwiązywanie zadań oraz rozmowy na zajęciach.  
N4. Konsultacje pozwalające na uzupełnienie treści programowych.

### OCENA OSIĄGNIĘCIA PRZEDMIOTOWYCH EFEKTÓW UCZENIA SIĘ

Oceny (F – formująca (w trakcie semestru), P – podsumowująca (na koniec semestru))	Numer efektu uczenia się	Sposób oceny osiągnięcia efektu uczenia się
F1	PEU_W01, PEU_W02, PEU_W03, PEU_W04, PEU_U01, PEU_U02, PEU_U03, PEU_U04, PEU_K01, PEU_K03, PEU_K03, PEU_K04	Kolokwium zaliczeniowe
F2	PEU_U01, PEU_U02, PEU_U03, PEU_U04, PEU_K01, PEU_K03, PEU_K03, PEU_K04	Na podstawie oddanych/zmodyfikowanych programów
P1(Wykład)		F1
P2(Labolatorium)		F2

$P = 0,4 * P1 + 0,6 * P2$  jeśli P1 i P2 są pozytywne. W pozostałych przypadkach ocena jest niedostateczna.

### LITERATURA PODSTAWOWA I UZUPEŁNIAJĄCA

#### LITERATURA PODSTAWOWA:

1. Bill Lubanovic, Python Nowoczesne programowanie w prostych krokach, Wyd II, Helion 2021
2. Mark Lutz, Python. Wprowadzenie, Wyd V Helion 2020
3. Robert Johansson, Matematyczny Python. Obliczenia naukowe i analiza danych z użyciem NumPy, SciPy i Matplotlib, Helion 2021
4. T. Pang, Metody obliczeniowe w fizyce. Fizyka i komputery, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2001
5. Z. Fortuna, B. Macukow, J. Wąsowski, Metody numeryczne, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa
6. D. Potter, Metody obliczeniowe fizyki, PWN Warszawa.
7. Notatki do wykładu w formie elektronicznej udostępnione na stronie internetowej wykładowcy/stronie kursu(e-portal)

#### LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA:

1. <https://numpy.org/>
2. <https://scipy.org/>
3. <https://www.sympy.org>
4. <https://www.paraview.org/>
5. <https://vtk.org/>

#### **OPIEKUN PRZEDMIOTU (IMIĘ, NAZWISKO, ADRES E-MAIL)**

Janusz Andrzejewski, [janusz.andrzejewski@pwr.edu.pl](mailto:janusz.andrzejewski@pwr.edu.pl)

<b>WYDZIAŁ PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW TECHNIKI</b>	
<b>KARTA PRZEDMIOTU</b>	
<b>Nazwa przedmiotu w języku polskim: Odnawialne źródła energii a ochrona środowiska i klimatu</b>	
<b>Nazwa przedmiotu w języku angielskim: Renewable energy sources and environmental and climate protection</b>	
<b>Kierunek studiów (jeśli dotyczy): fizyka techniczna</b>	
<b>Specjalność (jeśli dotyczy):</b>	
<b>Poziom i forma studiów:</b>	<b>II stopień, stacjonarna</b>
<b>Rodzaj przedmiotu:</b>	<b>wybieralny</b>
<b>Język wykładowy:</b>	<b>polski</b>
<b>Cykl kształcenia od:</b>	<b>2023/2024</b>
<b>Kod przedmiotu</b>	
<b>Grupa kursów</b>	<b>TAK</b>

	Wykład	Ćwiczenia	Laboratorium	Projekt	Seminarium
Liczba godzin zajęć zorganizowanych w Uczelni (ZZU)	45				30
Liczba godzin całkowitego nakładu pracy studenta (CNPS)	75				75
Forma zaliczenia	egzamin				zaliczenie na ocenę
Dla grupy kursów zaznaczyć kurs końcowy (X)	X				
<b>Liczba punktów ECTS</b>	<b>6</b>				
w tym liczba punktów odpowiadająca zajęciom o charakterze praktycznym (P)					3
w tym liczba punktów ECTS odpowiadająca zajęciom wymagającym bezpośredniego udziału nauczycieli lub innych osób prowadzących zajęcia (BU)	2.00				1.4

**WYMAGANIA WSTĘPNE W ZAKRESIE WIEDZY, UMIEJĘTNOŚCI I KOMPETENCJI SPOŁECZNYCH**

1. Ma podstawową wiedzę w zakresie praw przyrody i fizyki.
2. Wiedza i umiejętności z zakresu chemii i matematyki na poziomie absolwenta studiów I stopnia.
3. Zna aplikację lub oprogramowanie służące do przygotowania prezentacji multimedialnej.

### CELE PRZEDMIOTU

C1 Przekazanie wiedzy dotyczącej budowy i zasady działania różnych typów elektrowni i elektrociepłowni oraz roli w krajowym systemie elektroenergetycznym.

C2 Zdobyć wiedzę w zakresie rodzajów zagrożeń związanych z zanieczyszczeniem środowiska.

C3 Poznanie podstawowych zasad polityki ekologicznej i energetycznej wraz z rozwiązaniami w zakresie OZE.

C4 Opracowanie i wygłoszenie seminarium poświęconego wybranemu specjalistycznemu zagadnieniu naukowo - technicznemu z tematyki związanej z wykładem

C5 Prowadzenie i udział w dyskusji na temat referowanych zagadnień

### PRZEDMIOTOWE EFEKTY UCZENIA SIĘ

Z zakresu wiedzy:

PEU\_W01 ma uporządkowaną i zaawansowaną wiedzę podstawowych rodzajów elektrowni i elektrociepłowni oraz ich funkcjonowania w systemie elektroenergetycznym

PEU\_W02 ma zaawansowaną wiedzę na temat rodzajów zagrożeń związanych z zanieczyszczeniem środowiska

PEU\_W03 zna rozwiązania w zakresie pozyskiwania energii z różnych źródeł

PEU\_W04 zna elementy zasad polityki ekologicznej, energetycznej oraz zrównoważonego rozwoju

Z zakresu umiejętności:

PEU\_U01 potrafi opracować krytycznie konkretne zagadnienie specjalistyczne korzystając z tradycyjnych i elektronicznych źródeł informacji (w języku polskim i angielskim), zaprezentować wyniki w zwartej i uporządkowanej formie

PEU\_U02 posiada umiejętność opracowania danych z zadania inżynierskiego, przygotowania tekstów oraz prezentacji (w tym multimedialnej), sprawozdania z realizacji badań albo zadania projektowego

PEU\_U03 potrafi współdziałać z innymi osobami w ramach prac zespołowych i podejmować wiodącą rolę w zespołach

Z zakresu kompetencji społecznych:

PEU\_K01 potrafi odpowiedzialnie pełnić role zawodowe z uwzględnieniem zmieniających się potrzeb społecznych: rozwija dorobek zawodu, przestrzega i rozwija zasady etyki zawodu oraz działa na rzecz przestrzegania tych zasad

### TREŚCI PROGRAMOWE

Forma zajęć – Wykład		Liczba godzin
Wy1	Zarys historyczny energetyki cieplnej i elektroenergetyki.	2
Wy2	Krajowy system elektroenergetyczny.	2
Wy3,4	Elektrownie i elektrociepłownie konwencjonalne.	4
Wy5	Elektrownie i elektrociepłownie gazowe i gazowo-parowe.	2
Wy6	Elektrownie i elektrociepłownie na biomasę i biogaz.	2
Wy7	Elektrociepłownie na paliwa alternatywne.	2
Wy8	Elektrownie wodne.	2
Wy9	Elektrownie geotermalne.	2

Wy10	Elektrownie wiatrowe.	2
Wy11	Helioenergetyka.	2
Wy12,13	Elektrownie jądrowe.	4
Wy14	Nowe technologie w energetyce – wyzwania XXI wieku.	2
Wy15	Kolokwium zaliczeniowe.	2
Wy16	Wstępna charakterystyka problemów środowiskowych. Kryteria klasyfikacji i przykłady głównych zagrożeń środowiskowych.	2
Wy17,18	Zmiany w środowisku o zasięgu globalnym -przykłady. Specyfika i złożoność systemu klimatycznego. Przykłady i charakterystyka zjawisk będących przyczyną i efektem zmian klimatu. Dziura ozonowa jako skutek emisji antropogennej.	4
Wy19	Charakterystyka źródeł i trendów zmian zanieczyszczeń powietrza oraz gazów cieplarnianych a konieczność stosowania w zakresie OZE.	2
Wy20,21	Rozwiązania techniczne i technologiczne w zakresie pozyskiwania energii z różnych źródeł z przykładami rozwiązań innowacyjnych i charakterystyką aspektów ekonomicznych.	4
Wy22	Charakterystyka elementów i rozwój polityki ekologicznej, energetycznej oraz teorii zrównoważonego rozwoju.	3
	Suma godzin	<b>45</b>

<b>Forma zajęć - seminarium</b>		<b>Liczba godzin</b>
Se1	Zajęcia wprowadzające. Przedstawienie tematów seminariów. Omówienie zasad zaliczenia kursu.	2
Se2	Wygłoszenie seminarium. Czynny udział w seminarium w roli słuchacza i dyskutanta	28
	Suma godzin	<b>30</b>

<b>STOSOWANE NARZĘDZIA DYDAKTYCZNE</b>
N1 Wykład informacyjno-multimedialny N2 Dyskusja moderowana N3 Konsultacje

<b>OCENA OSIĄGNIĘCIA PRZEDMIOTOWYCH EFEKTÓW UCZENIA SIĘ</b>		
<b>Oceny</b> (F – formująca (w trakcie semestru), P – podsumowująca (na koniec semestru))	Numer efektu uczenia się	Sposób oceny osiągnięcia efektu uczenia się
F1	PEU_W01	Kolokwium
F2	PEU_W02, PEU_W03, PEU_W04	Kolokwium
F3	PEU_U01, PEU_U02, PEU_K01	Ocena zawartości merytorycznej prezentacji i jakości prezentacji, treść i forma wypowiedzi ustnej

F4	PEU_U03, PEU_K01	sprawne prowadzenie i aktywność w dyskusji
$P_s = 0.7 \cdot F_3 + 0.3 \cdot F_4$ $P = 0,25 F_1 + 0,25 F_2 + 0,5 P_s$		

## LITERATURA PODSTAWOWA I UZUPEŁNIAJĄCA

### **LITERATURA PODSTAWOWA:**

- [1] Pawlik M., Strzelczyk F., *Elektrownie*, Wydawnictwo Naukowe PWN 2016
- [2] Misiołek A., Kowal E., Bień: Ekologia. PWE. 2021
- [3] Budziszewska M., Kardaś A., Bohdanowicz Z.: Klimatyczne ABC. Interdyscyplinarne podstawy współczesnej wiedzy o zmianie klimatu. Wydawnictwa Uniwersytetu Warszawskiego. 2021
- [4] Kakar N., Popovski V., Robinson N.S. (eds.): Fulfilling the Sustainable Development Goals. On a Quest for a Sustainable World. Routledge. 2021
- [5] Zieliński S., Skażenia chemiczne w środowisku, Ofi. Wyd. P. Wr., Wrocław, 2000.
- [6] Ewa Klugmann-Radziemska, Lewandowski Witold M.: Proekologiczne odnawialne źródła energii Kompendium. PWN. 2022
- [7] Grażyna Jastrzębska: Energia ze źródeł odnawialnych i jej wykorzystanie. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności WKŁ. 2017.
- [8] Czasopisma, książki i materiały o tematyce dotyczącej opracowywanego zagadnienia do seminarium.

### **LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA:**

- [1] Marecki J.: Podstawy przemian energetycznych, Wydawnictwo WNT 2014
- [2] Kubowski J., *Elektrownie jądrowe*, Wydawnictwo Naukowe PWN 2017
- [3] Chmielniak T., Chmielniak T.: Energetyka wodorowa, Wydawnictwo Naukowe PWN 2020
- [4] Lubośny Z.: Farmy wiatrowe w systemie elektroenergetycznym, Wydawnictwo WNT 2009
- [5] Czasopisma branżowe, np.: „Energetyka” <https://nowa.elektroenergetyka.pl/>; „Energetyka Wodna” <https://www.energetykawodna.info/>; „Nowa Energia” <https://magazyn.nowa-energia.com.pl/>
- [6] Prandecki K. (red.) , Burchard-Dziubińska (red.) M.: Zmiana klimatu - skutki dla polskiego społeczeństwa i gospodarki. Komitet Prognoz „Polska 2000 Plus” przy Prezydium PAN. 2020
- [7] Trzepacz P. (red.): Zrównoważony rozwój - wyzwania globalne. Podręcznik dla uczestników studiów doktoranckich, IGiGP UJ, Kraków. 2012.
- [8] Kramer M., Brauweiler J., Nowak Z.: Międzynarodowe zarządzanie środowiskiem. Wyd. C.H. Beck. 2005.
- [9] Materiały o tematyce dotyczącej opracowywanego zagadnienia wyszukane na stronach internetowych.

### **OPIEKUN PRZEDMIOTU (IMIE, NAZWISKO, ADRES E-MAIL)**

Wykład 1-15: Andrzej Tatarek, [andrzej.tatarek@pwr.edu.pl](mailto:andrzej.tatarek@pwr.edu.pl)

Wykład 16-22 oraz seminarium: Izabela Sówka, [izabela.sowka@pwr.edu.pl](mailto:izabela.sowka@pwr.edu.pl)

<b>WYDZIAŁ PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW TECHNIKI</b>	
<b>KARTA PRZEDMIOTU</b>	
<b>Nazwa przedmiotu w języku polskim: Ogólna Teoria Względności</b>	
<b>Nazwa przedmiotu w języku angielskim: General Theory of Relativity</b>	
<b>Kierunek studiów (jeśli dotyczy): fizyka techniczna</b>	
<b>Specjalność (jeśli dotyczy):</b>	
<b>Poziom i forma studiów:</b>	<b>II stopień, stacjonarna</b>
<b>Rodzaj przedmiotu:</b>	<b>wybieralny</b>
<b>Język wykładowy:</b>	<b>polski</b>
<b>Cykl kształcenia od:</b>	<b>2023/2024</b>
<b>Kod przedmiotu</b>	
<b>Grupa kursów</b>	<b>TAK</b>

	Wykład	Ćwiczenia	Laboratorium	Projekt	Seminarium
Liczba godzin zajęć zorganizowanych w Uczelni (ZZU)	30	30			
Liczba godzin całkowitego nakładu pracy studenta (CNPS)	50	50			
Forma zaliczenia	zaliczenie na ocenę	zaliczenie na ocenę			
Dla grupy kursów zaznaczyć kurs końcowy (X)	X				
<b>Liczba punktów ECTS</b>	<b>4</b>				
w tym liczba punktów odpowiadająca zajęciom o charakterze praktycznym (P)		2			
w tym liczba punktów ECTS odpowiadająca zajęciom wymagającym bezpośredniego udziału nauczycieli lub innych osób prowadzących zajęcia (BU)	1.28	1.28			

**WYMAGANIA WSTĘPNE W ZAKRESIE WIEDZY, UMIEJĘTNOŚCI I KOMPETENCJI SPOŁECZNYCH**

1. Wiedza z zakresu mechaniki klasycznej i matematyki wyższej (analiza, algebra)

**CELE PRZEDMIOTU**

- C1 Nabywanie podstawowej wiedzy z zakresu teorii względności
- C2 Utrwalanie kompetencji społecznych, takich jak: odpowiedzialność, uczciwość i rzetelność w postępowaniu; przestrzeganie obyczajów panujących w środowisku akademickim i społeczeństwie



## PRZEDMIOTOWE EFEKTY UCZENIA SIĘ

### Z zakresu wiedzy:

PEU\_W01 – zna podstawy ogólnej teorii względności (OTW): zasadę równoważności, równanie Einsteina i jego zastosowania w wybranych zagadnieniach. Posługuje się aparatem matematycznym OTW: zna pojęcie tensora metrycznego, geodezyjnej zerowej i czasowej. Rozumie sens obecności horyzontu zdarzeń. Zna rozmaite układy współrzędnych oraz zachodzące między nimi relacje. Ma wiedzę na temat wybranych rodzajów efektów OTW: pomiar prędkości, przesunięcie grawitacyjne (ku czerwieni/ku fioletowi), efekt Penrose’a. Ma podstawową wiedzę na temat diagramów Penrose’a

### Z zakresu umiejętności:

PEU\_U01 – potrafi formułować, analizować i rozwiązywać równanie ruchu w polu grawitacyjnym. Potrafi wyznaczać prawa zachowania wynikające z właściwości symetrii czasoprzestrzeni. Potrafi wykonywać nieskomplikowane obliczenia dotyczące wybranych wielkości fizycznych: potrafi opisać sposób pomiaru energii masywnego i pozbawionego masy obiektu na zewnątrz i wewnątrz horyzontu zdarzeń.

PEU\_U02 – potrafi wykonać transformację pomiędzy różnymi układami współrzędnych dla wielkości skalarnych i wektorowych

PEU\_U03 – potrafi wykonać analizę rozmaitych zagadnień z użyciem diagramów Penrose’a

### Z zakresu kompetencji społecznych:

PEU\_K01 – potrafi krytycznie oceniać posiadaną wiedzę i odbierane treści; ma świadomość znaczenia wiedzy w rozwiązywaniu problemów poznawczych i praktycznych, jest świadom własnych ograniczeń i wie, kiedy zwrócić się do ekspertów

## TREŚCI PROGRAMOWE

Forma zajęć - wykład		Liczba godzin
Wy1	Elementy szczególnej teorii względności	2
Wy2	Formalizm kowariantny: wektory i tensory	2
Wy3	Tensor metryczny	2
Wy4	Przybliżenie słabego pola grawitacyjnego	2
Wy5	Równanie Einsteina	4
Wy6	Rozwiązanie Schwarzschilda	2
Wy7	Geodezyjne czasowe i zerowe w czasoprzestrzeni Schwarzschilda – sfera fotonowa	4
Wy8	Horyzont zdarzeń; współrzędne Eddingtona-Finkelsteina	4
Wy9	Efekt Penrose’a; efekt Banadosa-Silka-Westa	4
Wy10	Diagramy Penrose’a	2
Wy11	Wnętrze czarnej dziury: kosmologia Kantowskiego- Sachsa	2
	Suma godzin	<b>30</b>

<b>Forma zajęć - ćwiczenia</b>		<b>Liczba godzin</b>
Ćw1-2	STR - kinematyka szczególnej teorii względności	4
Ćw3-4	Diagramy czasowo-przestrzenne	4
Ćw4-5	Wektory i tensory – transformacje, zastosowania	4
Ćw6-9	Geodezyjne w czasoprzestrzeni Schwarzschilda – spadek na horyzont; efekt Dopplera; dylatacja czasu	6
Cw10-11	Współrzędne Eddingtona –Finkelsteina - zastosowania	4
Ćw12-13	Zastosowanie diagramów Penrose'a	4
Cw 14-15	Współrzędne Schwarzschilda wewnątrz horyzontu	4
	Suma godzin	<b>30</b>

### **STOSOWANE NARZĘDZIA DYDAKTYCZNE**

N1. Wykład tradycyjny  
 N2. Zasoby cyfrowe  
 N4. Konsultacje  
 N5. Praca własna

### **OCENA OSIĄGNIĘCIA PRZEDMIOTOWYCH EFEKTÓW UCZENIA SIĘ**

<b>Oceny (F – formująca (w trakcie semestru), P – podsumowująca (na koniec semestru))</b>	<b>Numer efektu uczenia się</b>	<b>Sposób oceny osiągnięcia efektu uczenia się</b>
F1	PEU_U01-U03	
F2	PEU_W01	kolokwium zaliczeniowe
P =F2		

### **LITERATURA PODSTAWOWA I UZUPEŁNIAJĄCA**

#### **LITERATURA PODSTAWOWA:**

[1] J.B. Hartle, *Gravity*, Addison and Wesley (2003)  
 [1] S. Weinberg, *Gravitation and Cosmology: Principles and Application of the General Theory of Relativity*, John Wiley & Sons (1972)

#### **LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA:**

[1] A. Radosz, *Czarne Dziury*, Wrocław 2021  
 [2] Augousti, A.T.; Radosz, A.; Gusin, P.; Kaczmarek, A. The Symmetry of the Interior and Exterior of Schwarzschild and Reissner–Nordstrom Black Holes—Sphere vs. Cylinder. *Symmetry* 2020, 12, 859. <https://doi.org/10.3390/sym12050859>

#### **OPIEKUN PRZEDMIOTU (IMIE, NAZWISKO, ADRES E-MAIL)**

Andrzej Radosz, Andrzej.Radosz@pwr.edu.pl  
 Paweł Gusin, Pawel.Gusin@pwr.edu.pl

<b>WYDZIAŁ PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW TECHNIKI</b>	
<b>KARTA PRZEDMIOTU</b>	
Nazwa przedmiotu w języku polskim: <b>Optyka instrumentalna i falowa</b>	
Nazwa przedmiotu w języku angielskim: <b>Geometric and physical optics</b>	
Kierunek studiów (jeśli dotyczy): <b>fizyka techniczna</b>	
Specjalność (jeśli dotyczy):	
Poziom i forma studiów:	<b>II stopień, stacjonarna</b>
Rodzaj przedmiotu:	<b>wybieralny</b>
Język wykładowy:	<b>polski</b>
Cykl kształcenia od:	<b>2023/2024</b>
Kod przedmiotu	
Grupa kursów	<b>TAK</b>

	Wykład	Ćwiczenia	Laboratorium	Projekt	Seminarium
Liczba godzin zajęć zorganizowanych w Uczelni (ZZU)	30		30		
Liczba godzin całkowitego nakładu pracy studenta (CNPS)	50		50		
Forma zaliczenia	zaliczenie na ocenę		zaliczenie na ocenę		
Dla grupy kursów zaznaczyć kurs końcowy (X)	X				
<b>Liczba punktów ECTS</b>	<b>4</b>				
w tym liczba punktów odpowiadająca zajęciom o charakterze praktycznym (P)			2		
w tym liczba punktów ECTS odpowiadająca zajęciom wymagającym bezpośredniego udziału nauczycieli lub innych osób prowadzących zajęcia (BU)	1.28		1.28		

**WYMAGANIA WSTĘPNE W ZAKRESIE WIEDZY, UMIEJĘTNOŚCI I KOMPETENCJI SPOŁECZNYCH**

**CELE PRZEDMIOTU**

- C1-zapoznanie z zagadnieniami optyki geometrycznej i falowej niezbędnymi do zrozumienia działania i ograniczeń w odwzorowaniu danym przez układy optyczne
- C2- zdobycie umiejętności opisu różnych właściwości światła
- C3- zdobycie umiejętności justowania układów optycznych
- C4-zdobycie umiejętności analizy i interpretacji wyników otrzymanych w pomiarach optycznych

## PRZEDMIOTOWE EFEKTY UCZENIA SIĘ

Z zakresu wiedzy:

K2FTE\_W01 zna wybrane zagadnienia z zakresu zaawansowanej wiedzy szczegółowej w obszarze optyki instrumentalnej i falowej, a także jej zastosowań w nauce i inżynierii materiałów

Z zakresu umiejętności:

K2FTE\_U01 potrafi formułować, analizować, rozwiązywać złożone i nietypowe problemy oraz innowacyjnie wykonywać zadania z zakresu optyki instrumentalnej i falowej, w oparciu o (a) posiadaną wiedzę, dobór odpowiednich źródeł i informacji z nich pochodzących, dokonywać oceny i krytycznej analizy dotyczącej otrzymanych informacji oraz posiada możliwość twórczej interpretacji i prezentacji tych informacji; (b) dobór stosownych metod i narzędzi w tym zaawansowanych technik obliczeniowych; (c) przystosowaniem istniejących lub opracowaniem nowych metod i narzędzi

Z zakresu kompetencji społecznych:

PEU\_K01 potrafi krytycznie oceniać posiadaną wiedzę i odbierane treści; ma świadomość znaczenia wiedzy w rozwiązywaniu problemów poznawczych i praktycznych, jest świadom własnych ograniczeń i wie, kiedy zwrócić się do ekspertów

## TREŚCI PROGRAMOWE

Forma zajęć - wykład		Liczba godzin
Wy1	Wprowadzenie: przypomnienie podstawowych pojęć z zakresu optyki geometrycznej i falowej	2
Wy2	Propagacja światła, czoło fali, prędkość fazowa, światło w ośrodku materialnym, współczynnik załamania, skąd się bierze dyspersja, prędkość grupowa.	2
Wy3	Odwzorowanie w ujęciu optyki geometrycznej - przybliżenie przyosiowe, macierz ABCD układu	2
Wy4	Odwzorowanie w ujęciu optyki geometrycznej – wady odwzorowania i sposoby ich korekcji, granica dobrego odwzorowania	2
Wy5	Różne rozwiązania układów optycznych	2
Wy6	Polaryzacja- natura światła spolaryzowanego, matematyczne sposoby opisu polaryzacji (macierz Jonesa)	2
Wy7	Polaryzacja- polaryzatory, dwójłomność, aktywność optyczna,	2
Wy8	Interferencja- rozważania ogólne, warunki interferencji	2
Wy9	Interferencja- interferometry, obrazy prążkowe, zastosowania interferometrów	2
Wy10	Dyfrakcja- rozważania wstępne, zasada Huygensa, całka dyfrakcyjna	2
Wy11	Dyfrakcja Fraunhofera, Fresnela na prostych otworach, siatka dyfrakcyjna, zdolność rozdzielcza w układach optycznych	2
Wy12	Optyka Fourierowska – transformaty Fouriera	2

Wy13	Optyka Fourierowska – zastosowania optyczne, filtracja optyczna	2
Wy14	Techniki obrazowania – holografia, kontrast fazowy	2
Wy15	Techniki obrazowania – zejście poniżej granicy dyfrakcyjnej zdolności rozdzielczej	2
	Suma godzin	<b>30</b>

<b>Forma zajęć - laboratorium</b>		<b>Liczba godzin</b>
La1	Pomiar powiększenia kąтового, pola widzenia i zdolności rozdzielczej wybranego instrumentu optycznego	3
La2	Mikroskopowa obserwacja obiektów przezroczystych- barwienie, ciemne pole, kontrast fazowy	3
La3	Pomiar aberracji geometrycznych	3
La4	Interferometr speklowy	3
La5	Filtracja optyczna	3
La6	Pomiary dyfraktometryczne	3
La7	Modulacja światła przy pomocy przestrzennego modulatora światła	3
La8	Interferometr	3
La9	Polaryzacja	3
La10	Ćwiczenia odróbkowe	3
	Suma godzin	<b>30</b>

<b>STOSOWANE NARZĘDZIA DYDAKTYCZNE</b>
N1. Wykład tradycyjny N2. Laboratorium : krótkie kartkówki N3 Praca własna : opracowanie wyników pomiarów N5 Konsultacje

#### **OCENA OSIĄGNIĘCIA PRZEDMIOTOWYCH EFEKTÓW UCZENIA SIĘ**

<b>Oceny (F – formująca (w trakcie semestru), P – podsumowująca (na koniec semestru))</b>	<b>Numer efektu uczenia się</b>	<b>Sposób oceny osiągnięcia efektu uczenia się</b>
F1	PEU_W01-PEU_W05	kolokwium
F2	PEU_U01-PEU_U02 PEU_K01-PEU_K03	Kartkówki, projekty, sprawdzian
P=0.5 F1 + 0.5 F2		

## LITERATURA

### LITERATURA:

- [1] Jerzy Nowak, Marek Zając: "Odwzorowanie w układach optycznych", Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2011
- [2] Eugene Hecht, Optyka
- [3] J. Meyer-Arendt „Wstęp do optyki”, PWN, Warszawa 1979
- [4] Maksymilia Pluta, Mikroskopia Optyczna, PWN, Warszawa 1982
- [5] B. Dubik, M. Zając, Elementy interferometrii, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1998

### OPIEKUN PRZEDMIOTU (IMIE, NAZWISKO, ADRES E-MAIL)

Agnieszka Popiołek-Masajada, Agnieszka.Masajada@pwr.edu.pl

WYDZIAŁ PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW TECHNIKI  
**KARTA PRZEDMIOTU**

Nazwa przedmiotu w języku polskim: **Optyka kwantowa**

Nazwa przedmiotu w języku angielskim: **Quantum optics**

Kierunek studiów (jeśli dotyczy): **fizyka techniczna**

Specjalność (jeśli dotyczy):

Poziom i forma studiów: **II stopień, stacjonarna**

Rodzaj przedmiotu: **wybieralny**

Język wykładowy: **polski**

Cykl kształcenia od: **2023/2024**

Kod przedmiotu

Grupa kursów **TAK**

	Wykład	Ćwiczenia	Laboratorium	Projekt	Seminarium
Liczba godzin zajęć zorganizowanych w Uczelni (ZZU)	30	30			
Liczba godzin całkowitego nakładu pracy studenta (CNPS)	50	50			
Forma zaliczenia	zaliczenie na ocenę	zaliczenie na ocenę			
Dla grupy kursów zaznaczyć kurs końcowy (X)	X				
<b>Liczba punktów ECTS</b>	<b>4</b>				
w tym liczba punktów odpowiadająca zajęciom o charakterze praktycznym (P)		2			
w tym liczba punktów ECTS odpowiadająca zajęciom wymagającym bezpośredniego udziału nauczycieli lub innych osób prowadzących zajęcia (BU)	1.28	1.28			

**WYMAGANIA WSTĘPNE W ZAKRESIE WIEDZY, UMIEJĘTNOŚCI I KOMPETENCJI SPOŁECZNYCH**

1. Wiedza w zakresie mechaniki kwantowej
2. Wiedza matematyczna w zakresie analizy matematycznej i podstaw algebry

**CELE PRZEDMIOTU**

- C1 Przekazanie wiedzy z dziedziny podstaw optyki kwantowej i jej zastosowań
- C2 Wypracowanie umiejętności rozwiązywania problemów i stosowania zdobytej wiedzy

### PRZEDMIOTOWE EFEKTY UCZENIA SIĘ

Z zakresu wiedzy:

PEU\_W01 zna wybrane zagadnienia z zakresu zaawansowanej wiedzy szczegółowej w obszarze optyki kwantowej, a także jej zastosowań w nauce i technice

Z zakresu umiejętności:

PEU\_U01 potrafi formułować, analizować, rozwiązywać złożone i nietypowe problemy oraz innowacyjnie wykonywać zadania z zakresu optyki kwantowej, w oparciu o (a) posiadaną wiedzę, dobór odpowiednich źródeł i informacji z nich pochodzących, dokonywać oceny i krytycznej analizy dotyczącej otrzymanych informacji oraz posiada możliwość twórczej interpretacji i prezentacji tych informacji; (b) dobór stosownych metod i narzędzi w tym zaawansowanych technik obliczeniowych; (c) przystosowaniem istniejących lub opracowaniem nowych metod i narzędzi

Z zakresu kompetencji społecznych:

PEU\_K01 potrafi krytycznie oceniać posiadaną wiedzę i odbierane treści; ma świadomość znaczenia wiedzy w rozwiązywaniu problemów poznawczych i praktycznych, jest świadom własnych ograniczeń i wie, kiedy zwrócić się do ekspertów

### TREŚCI PROGRAMOWE

Forma zajęć - wykład		Liczba godzin
Wy1	Półklasyczny opis oddziaływania światła z materią: atom dwupoziomowy sterowany światłem klasycznym	4
Wy2	Kwantowanie pola elektromagnetycznego	4
Wy3	Stany koherentne i ścieśnione	4
Wy4	Operator fazy	4
Wy5	Kwantowe funkcje rozkładu	2
Wy6	Kwantowe funkcje koherencji i interferometria	4
Wy7	Oddziaływanie światła z materią: opis kwantowy	4
Wy8	Optyczne równania Blocha. Fluorescencja rezonansowa	4
	Suma godzin	<b>30</b>

Forma zajęć - ćwiczenia		Liczba godzin
Ćw1	Półklasyczny opis oddziaływania światła z materią: atom dwupoziomowy sterowany światłem klasycznym	4
Ćw2	Kwantowanie pola elektromagnetycznego	4
Ćw3	Stany koherentne i ścieśnione	4
Ćw4	Operator fazy	4
Ćw5	Kwantowe funkcje rozkładu	2
Ćw6	Kwantowe funkcje koherencji i interferometria	4
Ćw7	Oddziaływanie światła z materią: opis kwantowy	4
Ćw8	Optyczne równania Blocha. Fluorescencja rezonansowa	2
Ćw9	Kolokwium zaliczeniowe	<b>2</b>
	Suma godzin	<b>30</b>



### STOSOWANE NARZĘDZIA DYDAKTYCZNE

N1. Wykład wspomagany multimedialnie.

N2. Konsultacje.

N3. Ćwiczenia.

N4. Praca własna – przygotowanie do ćwiczeń.

N5. Praca własna – samodzielne studia i przygotowanie do egzaminu.

### OCENA OSIĄGNIĘCIA PRZEDMIOTOWYCH EFEKTÓW UCZENIA SIĘ

Oceny (F – formująca (w trakcie semestru), P – podsumowująca (na koniec semestru))	Numer efektu uczenia się	Sposób oceny osiągnięcia efektu uczenia się
F1 (ćwiczenia)	PEU_W01, PEU_U01, PEU_K01	regularna praca na zajęciach oraz kolokwium
F2 (wykład)	PEU_W01, PEU_U01, PEU_K01	kolokwium zaliczeniowe
$P=0.5*(F1+F2)$		

### LITERATURA PODSTAWOWA I UZUPEŁNIAJĄCA

Literatura podstawowa:

[1] M. O. Scully, M. S. Zubairy Quantum optics (Cambridge 1997)

[2] R. Tanaś, Wykłady z optyki kwantowej,  
<http://zon8.physd.amu.edu.pl/~tanas/optkwant.pdf>

Literatura uzupełniająca:

[1] C.C. Gerry, P.L. Knight, Wstęp do optyki kwantowej (PWN 2007)

[2] Y. Yamamoto, A. Imamoglu, Mesoscopic quantum optics (John Wiley & Sons, Inc., 1999)

[3] Rodney Loudon, The quantum theory of light (third edition) (Oxford University Press, 2001)

[4] Stanisław Kryszewski, Quantum optics,  
<http://iftia9.univ.gda.pl/~sjk/QO-SK.pdf>

### OPIEKUN PRZEDMIOTU (IMIE, NAZWISKO, ADRES E-MAIL)

Adam Sajna, adam.sajna@pwr.edu.pl

<b>WYDZIAŁ PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW TECHNIKI</b>	
<b>KARTA PRZEDMIOTU</b>	
Nazwa przedmiotu w języku polskim: <b>Optyka nieliniowa</b>	
Nazwa przedmiotu w języku angielskim: <b>Nonlinear optics</b>	
Kierunek studiów (jeśli dotyczy): <b>fizyka techniczna</b>	
Specjalność (jeśli dotyczy):	
Poziom i forma studiów:	<b>II stopień, stacjonarna</b>
Rodzaj przedmiotu:	<b>wybieralny</b>
Język wykładowy:	<b>polski</b>
Cykl kształcenia od:	<b>2023/2024</b>
Kod przedmiotu	
Grupa kursów	<b>TAK</b>

	Wykład	Ćwiczenia	Laboratorium	Projekt	Seminarium
Liczba godzin zajęć zorganizowanych w Uczelni (ZZU)	30	15	15		
Liczba godzin całkowitego nakładu pracy studenta (CNPS)	50	25	25		
Forma zaliczenia	zaliczenie na ocenę	zaliczenie na ocenę	zaliczenie na ocenę		
Dla grupy kursów zaznaczyć kurs końcowy (X)	X				
<b>Liczba punktów ECTS</b>	<b>2</b>				
w tym liczba punktów odpowiadająca zajęciom o charakterze praktycznym (P)		1	1		
w tym liczba punktów ECTS odpowiadająca zajęciom wymagającym bezpośredniego udziału nauczycieli lub innych osób prowadzących zajęcia (BU)	1.24	0.64	0.68		

**WYMAGANIA WSTĘPNE W ZAKRESIE WIEDZY, UMIEJĘTNOŚCI I KOMPETENCJI SPOŁECZNYCH**

2. Podstawowa wiedza z zakresu fizyki
3. Podstawowa wiedza z zakresu optyki
4. Podstawowa wiedza z zakresu matematyki
5. Podstawowe umiejętności dotyczące wykonywanie pomiarów i opracowania danych eksperymentalnych

### CELE PRZEDMIOTU

- C1 Nabycie wiedzy i opanowanie pojęć z zakresu nieliniowych zjawisk optycznych
- C2 Nabycie wiedzy z zakresu teorii nieliniowego oddziaływania światła z materiałami dielektrycznymi
- C3 Nabycie wiedzy na temat głównych metod badawczych materii za pomocą wiązek światła o bardzo dużych natężeniach i krótkich czasach trwania
- C3 Określenie podstawowych mechanizmów na poziomie mikroskopowym tłumaczących liniowe i nieliniowe oddziaływanie fali elektromagnetycznej z materią
- C4 Nabycie umiejętności posługiwania się rachunkiem tensorowym przy opisie nieliniowych zjawisk optycznych
- C5 Nabycie praktycznych umiejętności pracy z laserami i konstrukcji zaawansowanych systemów pomiarowych z zakresu optyki nieliniowej
- C6 Nabycie umiejętności analizy danych eksperymentalnych i ich obróbki
- C7 Opanowanie umiejętności wyszukiwania informacji i studiowania literatury z zakresu fotoniki i optyki nieliniowej

### PRZEDMIOTOWE EFEKTY UCZENIA SIĘ

Z zakresu wiedzy:

PEU\_W01 zna wybrane zagadnienia z zakresu zaawansowanej wiedzy szczegółowej w obszarze optyki nieliniowej a także jej zastosowań w nauce i inżynierii materiałów w tym m.in.: rozumie prawa rządzące nieliniowym oddziaływaniem światła z materią na poziomie mikroskopowym i makroskopowym, klasycznym i kwantowym, zna i rozpoznaje nieliniowe zjawiska optyczne drugorzędowe i trzeciorzędowe, zna i rozumie metody pomiarowe służące do oceny nieliniowych właściwości optycznych danego materiału optycznego

Z zakresu umiejętności:

PEU\_U01 potrafi formułować, analizować, rozwiązywać złożone i nietypowe problemy oraz innowacyjnie wykonywać zadania z zakresu optyki nieliniowej, w oparciu o (a) posiadaną wiedzę, dobór odpowiednich źródeł i informacji z nich pochodzących, dokonywać oceny i krytycznej analizy dotyczącej otrzymanych informacji oraz posiada możliwość twórczej interpretacji i prezentacji tych informacji; (b) dobór stosownych metod i narzędzi w tym zaawansowanych technik obliczeniowych; (c) przystosowaniem istniejących lub opracowaniem nowych metod i narzędzi

Z zakresu kompetencji społecznych:

PEU\_K01 potrafi krytycznie oceniać posiadaną wiedzę i odbierane treści; ma świadomość znaczenia wiedzy w rozwiązywaniu problemów poznawczych i praktycznych, jest świadom własnych ograniczeń i wie, kiedy zwrócić się do ekspertów

### TREŚCI PROGRAMOWE

Forma zajęć - wykład		Liczba godzin
Wy1	Model oscylatora harmonicznego dla opisów liniowych zjawisk optycznych – propagacja światła w liniowym ośrodku optycznym	2

Wy2	Nieliniowy ośrodek optyczny, polaryzacja, nieliniowe podatności optyczne – model oscylatora anharmonicznego	2
Wy3	Zasady zachowania w optyce, procesy parametryczne i nieparametryczne, notacja i jednostki optyki nieliniowej	2
Wy4	Generacja drugiej harmonicznej	2
Wy5	Generacja częstości sumacyjnych i różnicowych w procesach II-rzędu	2
Wy6	Nieliniowy współczynnik załamania światła w procesach II- i III-rzędu	2
Wy7	Procesy mieszania 4-fal	2
Wy8	Nieliniowe procesy rozpraszania	2
Wy9	Zjawiska samo-oddziaływania światła z materią	2
Wy10	Nieliniowe reguły wyboru – wielofotonowa absorpcja	2
Wy11	Wybrane metody pomiarowe w optyce nieliniowej I – metody czasowo rozdzielcze	2
Wy12	Wybrane metody pomiarowe w optyce nieliniowej II – z-scan i nieliniowe metody mikroskopowe	2
Wy13	Wybrane współczesne materiały i układy fotoniczne optyki nieliniowej	2
Wy14	Zjawiska kwantowe optyki nieliniowej	2
Wy15	Sprawdzian wiedzy	2
	Suma godzin	<b>30</b>

<b>Forma zajęć - ćwiczenia</b>		<b>Liczba godzin</b>
Ćw1	Polaryzacja liniowa i nieliniowa	2
Ćw2	Określenie geometrii procesów nieliniowych, podstawowy rachunek tensorowy	2
Ćw3	Transmisja w układach polaryzacyjny, indukowana światłem dwójłomność	2
Ćw4	Dopasowanie fazowe dla procesów drugiego i trzeciego rzędu	2
Ćw5	Zjawiska samo-oddziaływania światła	2
Ćw6	Równania fal sprzężonych, natężenie fali wynikowej	2
Ćw7	Obliczenie wydajności makroskopowych na podstawie efektów mikroskopowych w układach z różnym stopniem uporządkowania	2
Ćw8	Kolokwium zaliczeniowe	1
	Suma godzin	<b>15</b>

<b>Forma zajęć - laboratorium</b>		<b>Liczba godzin</b>
La1	Liniowy efekt elektrooptyczny – efekt Pockelsa	3
La2	Optyczny efekt Kerra	3
La3	Holograficzny zapis siatek dyfrakcyjnych w materiałach fotochromowych	3
La4	Optyczna koniugacja fazowa	3
La5	Seminarium zaliczeniowe	3
	Suma godzin	<b>15</b>

### STOSOWANE NARZĘDZIA DYDAKTYCZNE

- N1. Wykład– metoda tradycyjna, prezentacje multimedialne  
 N2. Konsultacje  
 N3. Praca własna – przygotowanie do wykładu z literatury naukowej  
 N4. Budowanie stanowiska pomiarowego i samodzielne wykonanie doświadczeń w laboratorium Optyki Nieliniowej  
 N5. Samodzielne opracowanie i analiza wyników eksperymentalnych  
 N6. Dyskusja uzyskanych wyników i ich poprawna interpretacja  
 N7. Ćwiczenia obliczeniowe  
 N8. Rozwiązywanie problemów naukowo-technicznych

### OCENA OSIĄGNIĘCIA PRZEDMIOTOWYCH EFEKTÓW UCZENIA SIĘ

Oceny (F – formująca (w trakcie semestru), P – podsumowująca (na koniec semestru))	Numer efektu uczenia się	Sposób oceny osiągnięcia efektu uczenia się
F1	PEU_W01, PEU_U01, PEU_K01	Kolokwium zaliczeniowe w formie pisemnej. Ocena na podstawie uzyskanej liczby punktów: 40% maksymalnej liczby punktów - zaliczenie 3.0, wyższe oceny – rozkład proporcjonalny względem uzyskanej ilości punktów do oceny 5.0. Ocena celująca dla studentów z najwyższą liczbą punktów po rozwiązaniu problemu na podstawie analizy rozdziału książki z tematyki wykraczającej poza zakres omawianego materiału.
F2	PEU_W01, PEU_U01, PEU_K01	Kolokwium zaliczeniowe w formie pisemnej. Ocena na podstawie uzyskanej liczby punktów: 40% maksymalnej liczby punktów - zaliczenie 3.0, wyższe oceny – rozkład proporcjonalny względem uzyskanej ilości punktów do oceny 5.0. Ocena celująca dla studentów z najwyższą liczbą punktów po rozwiązaniu problemu na podstawie analizy rozdziału książki z tematyki wykraczającej poza zakres omawianego materiału.
F3	PEU_W01, PEU_U01, PEU_K01	Opracowanie i analiza pomiarów wykonanych w ramach laboratorium. Ocena na podstawie przygotowanego i zaprezentowanego na seminarium zaliczeniowym sprawozdania.
$P = (F1 + F2 + F3) / 3$		

## LITERATURA PODSTAWOWA I UZUPEŁNIAJĄCA

### **LITERATURA PODSTAWOWA:**

1. G. He, Nonlinear Optics and Photonics, Oxford University Press, USA, 2014
2. R.W. Boyd, Nonlinear Optics, Elsevier Academic Press, 2008
3. B.E. A. Saleh, M. C. Teich, Fundamentals of Photonics, Wiley, New York, 1999
4. P. N. Prasad, Nanophotonics, Wiley-Interscience, New Jersey, 2004
5. Pavel Chmela, "Wprowadzenie do optyki nieliniowej", PWN, Warszawa 1987
6. A. Yariv, P. Yeh, "Optical waves in crystals", Wiley 1984
7. F. Kaczmarek, „Wstęp do fizyki laserów”, PWN, Warszawa 1986

[6] S. Kielich, "Molekularna optyka nieliniowa", PWN Warszawa, 1977

### **LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA:**

1. Artykuły z czasopism naukowych
2. Photonics Spectra
3. Laser Physics World
4. Materials Today

### **OPIEKUN PRZEDMIOTU (IMIE, NAZWISKO, ADRES E-MAIL)**

Paweł Karpiński, pawel.karpinski@pwr.edu.pl

Lech Sznitko, lech.sznitko@pwr.edu.pl

<b>WYDZIAŁ PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW TECHNIKI</b>	
<b>KARTA PRZEDMIOTU</b>	
<b>Nazwa przedmiotu w języku polskim: Praca dyplomowa 1</b>	
<b>Nazwa przedmiotu w języku angielskim: Diploma thesis – 1</b>	
<b>Kierunek studiów (jeśli dotyczy): fizyka techniczna</b>	
<b>Specjalność (jeśli dotyczy):</b>	
<b>Poziom i forma studiów:</b>	<b>II stopień, stacjonarna</b>
<b>Rodzaj przedmiotu:</b>	<b>obowiązkowy</b>
<b>Język wykładowy:</b>	<b>polski</b>
<b>Cykl kształcenia od:</b>	<b>2023/2024</b>
<b>Kod przedmiotu</b>	
<b>Grupa kursów</b>	<b>NIE</b>

	Wykład	Ćwiczenia	Laboratorium	Projekt	Seminarium
Liczba godzin zajęć zorganizowanych w Uczelni (ZZU)				15	
Liczba godzin całkowitego nakładu pracy studenta (CNPS)				175	
Forma zaliczenia				zaliczenie na ocenę	
Dla grupy kursów zaznaczyć kurs końcowy (X)					
<b>Liczba punktów ECTS</b>				<b>7</b>	
w tym liczba punktów odpowiadająca zajęciom o charakterze praktycznym (P)				7	
w tym liczba punktów ECTS odpowiadająca zajęciom wymagającym bezpośredniego udziału nauczycieli lub innych osób prowadzących zajęcia (BU)				0.72	

**WYMAGANIA WSTĘPNE W ZAKRESIE WIEDZY, UMIEJĘTNOŚCI I KOMPETENCJI SPOŁECZNYCH**

1. Student posiada zaawansowaną wiedzę i umiejętności z fizyki.

**CELE PRZEDMIOTU**

- C1 Określenie celu pracy. Sporządzenie harmonogramu zadań do wykonania.  
C2 Wykonanie określonych zadań służących do wykonania pracy dyplomowej.

### PRZEDMIOTOWE EFEKTY UCZENIA SIĘ

Z zakresu wiedzy:

PEU\_W01 ma pogłębioną i zaawansowaną wiedzę, podbudowaną teoretycznie, obejmującą złożone zjawiska o których mowa w fizyce i fizyce technicznej

Z zakresu umiejętności:

PEU\_U01 potrafi określić kierunki dalszego uczenia się, zrealizować proces samokształcenia oraz ukierunkować innych w zakresie fizyce technicznej

Z zakresu kompetencji społecznych:

PEU\_K01 ma świadomość znaczenia wiedzy w rozwiązywaniu problemów poznawczych i praktycznych i jest świadom własnych ograniczeń i wie, kiedy zwrócić się do ekspertów

Forma zajęć - projekt		Liczba godzin
Pr1	Zgromadzenie literatury przedmiotu i zapoznanie się z nią. Prowadzenie działań prowadzących do uzyskania rezultatów a w efekcie zrealizowania celu pracy w tym, m.in. interpretacja oraz krytyczna ocena uzyskanych wyników.	30
	Suma godzin	30

### STOSOWANE NARZĘDZIA DYDAKTYCZNE

N1. Praca własna – studia literaturowe z zakresu tematyki pracy dyplomowej oraz prowadzenie badań.

N2. Dyskusja nad wynikami badań.

### OCENA OSIĄGNIĘCIA PRZEDMIOTOWYCH EFEKTÓW UCZENIA SIĘ

Oceny (F – formująca (w trakcie semestru), P – podsumowująca (na koniec semestru))	Numer efektu uczenia się	Sposób oceny osiągnięcia efektu uczenia się
F1	PEU_W01 PEU_U01 PEU_K01	ocena sposobu realizacji pracy dyplomowej
P=F1		

### LITERATURA PODSTAWOWA I UZUPEŁNIAJĄCA

#### **LITERATURA PODSTAWOWA:**

[1] Czasopisma naukowe z fizyki.

#### **OPIEKUN PRZEDMIOTU (IMIE, NAZWISKO, ADRES E-MAIL)**

Opiekun pracy dyplomowej



<b>WYDZIAŁ PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW TECHNIKI</b>	
<b>KARTA PRZEDMIOTU</b>	
<b>Nazwa przedmiotu w języku polskim: Praca dyplomowa 2</b>	
<b>Nazwa przedmiotu w języku angielskim: Diploma thesis – 2</b>	
<b>Kierunek studiów (jeśli dotyczy): fizyka techniczna</b>	
<b>Specjalność (jeśli dotyczy):</b>	
<b>Poziom i forma studiów:</b>	<b>II stopień, stacjonarna</b>
<b>Rodzaj przedmiotu:</b>	<b>obowiązkowy</b>
<b>Język wykładowy:</b>	<b>polski</b>
<b>Cykl kształcenia od:</b>	<b>2023/2024</b>
<b>Kod przedmiotu</b>	
<b>Grupa kursów</b>	<b>NIE</b>

	Wykład	Ćwiczenia	Laboratorium	Projekt	Seminarium
Liczba godzin zajęć zorganizowanych w Uczelni (ZZU)				30	
Liczba godzin całkowitego nakładu pracy studenta (CNPS)				325	
Forma zaliczenia				zaliczenie na ocenę	
Dla grupy kursów zaznaczyć kurs końcowy (X)					
<b>Liczba punktów ECTS</b>				<b>13</b>	
w tym liczba punktów odpowiadająca zajęciom o charakterze praktycznym (P)				13	
w tym liczba punktów ECTS odpowiadająca zajęciom wymagającym bezpośredniego udziału nauczycieli lub innych osób prowadzących zajęcia (BU)				1.44	

\*niepotrzebne skreślić

### WYMAGANIA WSTĘPNE W ZAKRESIE WIEDZY, UMIEJĘTNOŚCI I KOMPETENCJI SPOŁECZNYCH

1. Student posiada zaawansowaną wiedzę i umiejętności z fizyki.

### CELE PRZEDMIOTU

- C1 Określenie celu pracy. Sporządzenie harmonogramu zadań do wykonania.  
 C2 Wykonanie określonych zadań służących do wykonania pracy dyplomowej.  
 C3 Napisanie pracy dyplomowej (jako dzieła), przygotowanie prezentacji przy użyciu różnych nowoczesnych technologii informacyjno-komunikacyjnych.

### PRZEDMIOTOWE EFEKTY UCZENIA SIĘ

Z zakresu wiedzy:

PEU\_W01 ma pogłębioną i zaawansowaną wiedzę, podbudowaną teoretycznie, obejmującą złożone zjawiska o których mowa w fizyce i fizyce technicznej

Z zakresu umiejętności:

PEU\_U01 potrafi określić kierunki dalszego uczenia się, zrealizować proces samokształcenia oraz ukierunkować innych w zakresie fizyce technicznej

PEU\_U02 umie komunikować się ze zróżnicowanymi kręgami odbiorców, m.in. przy użyciu różnych nowoczesnych technologii informacyjno-komunikacyjnych na tematy związane z fizyką techniczną oraz prowadzić debatę

Z zakresu kompetencji społecznych:

PEU\_K01 ma świadomość znaczenia wiedzy w rozwiązywaniu problemów poznawczych i praktycznych i jest świadom własnych ograniczeń i wie, kiedy zwrócić się do ekspertów

Forma zajęć - projekt		Liczba godzin
Pr1	Zgromadzenie literatury przedmiotu i zapoznanie się z nią. Prowadzenie działań prowadzących do uzyskania rezultatów a w efekcie zrealizowania celu pracy w tym, m.in. interpretacja oraz krytyczna ocena uzyskanych wyników. Napisanie pracy dyplomowej. Przygotowanie prezentacji dotyczącej pracy dyplomowej.	30
	Suma godzin	30

### STOSOWANE NARZĘDZIA DYDAKTYCZNE

N1. Praca własna – studia literaturowe z zakresu tematyki pracy dyplomowej oraz prowadzenie badań.

N2. Dyskusja nad wynikami badań.

### OCENA OSIĄGNIĘCIA PRZEDMIOTOWYCH EFEKTÓW UCZENIA SIĘ

Oceny (F – formująca (w trakcie semestru), P – podsumowująca (na koniec semestru))	Numer efektu uczenia się	Sposób oceny osiągnięcia efektu uczenia się
F1	PEU_W01 PEU_U01 PEU_U02 PEU_K01	ocena sposobu realizacji pracy dyplomowej
P=F1		

### LITERATURA PODSTAWOWA I UZUPEŁNIAJĄCA

#### **LITERATURA PODSTAWOWA:**

[1] Czasopisma naukowe z fizyki.

#### **OPIEKUN PRZEDMIOTU (IMIE, NAZWISKO, ADRES E-MAIL)**

Opiekun pracy dyplomowej

<b>WYDZIAŁ PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW TECHNIKI</b>	
<b>KARTA PRZEDMIOTU</b>	
<b>Nazwa przedmiotu w języku polskim: Równania różniczkowe</b>	
<b>Nazwa przedmiotu w języku angielskim: Differential equations</b>	
<b>Kierunek studiów (jeśli dotyczy): fizyka techniczna</b>	
<b>Specjalność (jeśli dotyczy):</b>	
<b>Poziom i forma studiów:</b>	<b>II stopień, stacjonarna</b>
<b>Rodzaj przedmiotu:</b>	<b>wybieralny</b>
<b>Język wykładowy:</b>	<b>polski</b>
<b>Cykl kształcenia od:</b>	<b>2023/2024</b>
<b>Kod przedmiotu</b>	
<b>Grupa kursów</b>	<b>TAK</b>

	Wykład	Ćwiczenia	Laboratorium	Projekt	Seminarium
Liczba godzin zajęć zorganizowanych w Uczelni (ZZU)	30	30			
Liczba godzin całkowitego nakładu pracy studenta (CNPS)	50	50			
Forma zaliczenia	zaliczenie na ocenę	zaliczenie na ocenę			
Dla grupy kursów zaznaczyć kurs końcowy (X)	X				
<b>Liczba punktów ECTS</b>	<b>4</b>				
w tym liczba punktów odpowiadająca zajęciom o charakterze praktycznym (P)		2			
w tym liczba punktów ECTS odpowiadająca zajęciom wymagającym bezpośredniego udziału nauczycieli lub innych osób prowadzących zajęcia (BU)	1.28	1.28			

**WYMAGANIA WSTĘPNE W ZAKRESIE WIEDZY, UMIEJĘTNOŚCI I KOMPETENCJI SPOŁECZNYCH**

Znajomość analizy matematycznej i fizyki ogólnej na poziomie studiów I-go stopnia w zakresie nauk technicznych lub ścisłych

**CELE PRZEDMIOTU**

- C1 Uporządkowanie i poszerzenie wiedzy nt metod rozwiązywania równań różniczkowych zwyczajnych (RRZ) i cząstkowych (RRC) podstawowych typów
- C2 Zapoznanie się z elementarnymi koncepcjami w analizie stabilności układów dynamicznych
- C3 Uporządkowanie i poszerzenie wiedzy nt opisu ruchu oscylacyjnego i falowego z pomocą najbardziej rozpowszechnionych typów równań różniczkowych

### PRZEDMIOTOWE EFEKTY UCZENIA SIĘ

Z zakresu wiedzy:

PEU\_W01 – zna wybrane zagadnienia z zakresu zaawansowanej wiedzy szczegółowej w obszarze równań różniczkowych m.in.: zna klasyfikację i metody rozwiązywania zagadnień z układami dynamicznymi, zna metody analizy stabilności, redukcji wymiaru przestrzeni fazowej, posiada usystematyzowane podstawy opisu odpowiedzi liniowej i nieliniowej oraz opisu obiektów topologicznych

Z zakresu umiejętności:

PEU\_U01 – potrafi formułować, analizować, rozwiązywać złożone i nietypowe problemy oraz innowacyjnie wykonywać zadania z zakresu równań różniczkowych, w oparciu o (a) posiadaną wiedzę, dobór odpowiednich źródeł i informacji z nich pochodzących, dokonywać oceny i krytycznej analizy dotyczącej otrzymanych informacji oraz posiada możliwość twórczej interpretacji i prezentacji tych informacji; (b) dobór stosownych metod i narzędzi w tym zaawansowanych technik obliczeniowych; (c) przystosowaniem istniejących lub opracowaniem nowych metod i narzędzi

Z zakresu kompetencji społecznych:

PEU\_K01 – potrafi krytycznie oceniać posiadaną wiedzę i odbierane treści; ma świadomość znaczenia wiedzy w rozwiązywaniu problemów poznawczych i praktycznych, jest świadom własnych ograniczeń i wie, kiedy zwrócić się do ekspertów

### TREŚCI PROGRAMOWE

Forma zajęć - wykład		Liczba godzin
Wy1	Zagadnienie Cauchy'ego. Podstawowe typy RRZ: przegląd równań 1go rzędu (równania o zmiennych rozdzielonych, wymierne, jednorodne, liniowe i Bernoulliego) i równania liniowe wyższych rzędów (metoda transformaty Laplace'a).	4
Wy2	Układy liniowych RRZ o stałych współczynnikach; macierz fundamentalna, zastosowania.	2
Wy3	Stabilność Liapunowa układów RRZ pierwszego rzędu. Punkty krytyczne układów autonomicznych.	2
Wy4	RRZ drugiego rzędu redukowalne do układów RRZ pierwszego rzędu, elementy rachunku wariacyjnego i redukcja równań Lagrange'a do równań Hamiltona. Analiza portretów fazowych.	4
Wy5	Oscylacje nieliniowe: oscylator Duffinga (punkty stabilności i bifurkacje, rozwiązania ściśle dla przypadku braku wymuszenia i perturbacyjne dla przypadku słabej siły wymuszającej, rezonans nieliniowy, przejście do chaosu).	2
Wy6	Modele Lotki-Volterra (równanie Bernoulliego jako prototyp modelu dynamiki populacji, model "drapieżnik-ofiara", model konkurencji "królik-owca"). Rozwiązania ściśle, punkty stabilności, zastosowania w kinetyce chemicznej i modelowaniu dynamiki epidemii.	2

Wy7	Układy RRZ z więzami dynamicznymi – metoda mnożników Lagrange’a.	2
Wy8	Zagadnienie Cauchy’ego dla RRC. Podstawowe typy RRC liniowych w jednym i dwóch wymiarach i ich elementarne rozwiązania: przegląd (równanie falowe, prawa Ficka i równanie dyfuzji, równanie Schrodingera, równanie Poissona). Metoda charakterystyk i metoda separacji zmiennych.	3
Wy9	Metoda potencjałów i metoda funkcji Greena rozwiązywania liniowych RRC. Zagadnienie Sturm-Liouville’a.	3
Wy10	Równania opisujące fale samotnicze (solitary waves) i solitony; modele reakcyjno-dyfuzyjne i model Eulera-Lotka dyfuzyjnej dynamiki populacji, nieliniowe równanie Schrodingera (prawa zachowania, rozwiązania jedno- i wielo-solitonowe, zderzenia solitonów jasnych – asymptotyka rozwiązań dwu-solitonowych, samorozpraszające nieliniowe równanie Schrodingera i solitony ciemne).	3
Wy11	Stacjonarne i zależące od czasu równania Ginzburga-Landaua (geneza; przejście fazowe pierwszego rodzaju, stabilność faz i bifurkacje, rozwiązania opisujące ściany domenowe, wymuszony polem ruch ściany domenowej, samopropagujące się fronty fazowe).	3
	Suma godzin	<b>30</b>

<b>Forma zajęć - ćwiczenia</b>		<b>Liczba godzin</b>
Ćw1	Rozwiązywanie RRZ Igo rzędu i liniowych RRZ wyższych rzędów	4
Ćw2	Rozwiązywanie układów liniowych RRZ.	4
Ćw3	Badanie stabilności układów autonomicznych i wyznaczanie całek pierwszych układów RRZ.	4
Ćw4	Rozwiązywanie RRZ drugiego rzędu i/lub analizowanie stabilności rozwiązań. Rozwiązywanie zagadnień oscylacji nieliniowych.	4
Ćw5	Kolokwium I	2
Ćw6	Rozwiązywanie RRC liniowych metodą rozdzielania zmiennych.	3
Ćw7	Rozwiązywanie RRC liniowych metodami potencjałów i funkcji Greena.	4
Ćw8	Rozwiązywanie RRC liniowych metodą przekształceń całkowitych	3
Ćw9	Kolokwium II	2
	Suma godzin	<b>30</b>

<b>STOSOWANE NARZĘDZIA DYDAKTYCZNE</b>
N1. Lecture using board and/or computer presentations
N2. Solving exercises with students
N3. Consultations

## OCENA OSIĄGNIĘCIA PRZEDMIOTOWYCH EFEKTÓW UCZENIA SIĘ

Oceny (F – formująca (w trakcie semestru), P – podsumowująca (na koniec semestru))	Numer efektu uczenia się	Sposób oceny osiągnięcia efektu uczenia się
F1	PEU_W01, PEU_U01, PEU_K01	Egzamin
F2	PEU_W01, PEU_U01, PEU_K01	Kolokwia + rozwiązywanie zadań przy tablicy
P=0.5*(F1+F2)		

### LITERATURA PODSTAWOWA I UZUPEŁNIAJĄCA

#### **LITERATURA PODSTAWOWA:**

- [1] A Palczewski, Równania różniczkowe zwyczajne, PWN 2017
- [2] WA Adkins, MG Davidson, Ordinary Differential Equations, Springer 2012
- [3] E Kącki, Równania różniczkowe cząstkowe w zagadnieniach fizyki i techniki, WNT 1992
- [4] DG Duffy, Green Functions with Applications, CRC Press 2016

#### **LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA:**

- [1] JR Taylor, Classical Mechanics, Univ. Science Books 2005
- [2] JMT Thompson, HB Steward, Nonlinear dynamics and chaos, Willey 2002
- [3] R Hirota, Bilinearization of soliton equations, Journal of the Physical Society of Japan 51 (1982) 323
- [4] J Lajzerowicz, JJ Niez, Phase transition in a domain wall, J. Physique Lett. 40 (1979) 165
- [5] K Nozaki, N Bekki, Exact solutions of the generalized Ginzburg-Landau equation, Journal of the Physical Society of Japan 53 (1984) 1581

#### **OPIEKUN PRZEDMIOTU (IMIĘ, NAZWISKO, ADRES E-MAIL)**

Andrzej Janutka, [andrzej.janutka@pwr.edu.pl](mailto:andrzej.janutka@pwr.edu.pl)

<b>WYDZIAŁ PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW TECHNIKI</b>	
<b>KARTA PRZEDMIOTU</b>	
<b>Nazwa przedmiotu w języku polskim: Seminarium dyplomowe 1</b>	
<b>Nazwa przedmiotu w języku angielskim: Diploma Seminar – 1</b>	
<b>Kierunek studiów (jeśli dotyczy): fizyka techniczna</b>	
<b>Specjalność (jeśli dotyczy):</b>	
<b>Poziom i forma studiów:</b>	<b>II stopień, stacjonarna</b>
<b>Rodzaj przedmiotu:</b>	<b>obowiązkowy</b>
<b>Język wykładowy:</b>	<b>polski</b>
<b>Cykl kształcenia od:</b>	<b>2023/2024</b>
<b>Kod przedmiotu</b>	
<b>Grupa kursów</b>	<b>NIE</b>

	Wykład	Ćwiczenia	Laboratorium	Projekt	Seminarium
Liczba godzin zajęć zorganizowanych w Uczelni (ZZU)					30
Liczba godzin całkowitego nakładu pracy studenta (CNPS)					50
Forma zaliczenia					zaliczenie na ocenę
Dla grupy kursów zaznaczyć kurs końcowy (X)					
<b>Liczba punktów ECTS</b>					<b>2</b>
w tym liczba punktów odpowiadająca zajęciom o charakterze praktycznym (P)					2
w tym liczba punktów ECTS odpowiadająca zajęciom wymagającym bezpośredniego udziału nauczycieli lub innych osób prowadzących zajęcia (BU)					1.28

**WYMAGANIA WSTĘPNE W ZAKRESIE WIEDZY, UMIEJĘTNOŚCI I KOMPETENCJI SPOŁECZNYCH**

1. Student posiada zaawansowaną wiedzę i umiejętności z fizyki.

**CELE PRZEDMIOTU**

- C1 Pogłębianie umiejętności przygotowania i przedstawienia prezentacji ustnej i multimedialnej.  
C2 Możliwość zaprezentowania tematyki prowadzonych w ramach pracy dyplomowej badań.

### PRZEDMIOTOWE EFEKTY UCZENIA SIĘ

Z zakresu wiedzy:

PEU\_W01 zna główne trendy rozwojowe dyscypliny – nauki fizyczne

Z zakresu umiejętności:

PEU\_U01 umie komunikować się ze zróżnicowanymi kręgami odbiorców, m.in. przy użyciu różnych nowoczesnych technologii informacyjno-komunikacyjnych na tematy związane z fizyką techniczną oraz prowadzić debatę

Z zakresu kompetencji społecznych:

PEU\_K01 potrafi krytycznie oceniać posiadaną wiedzę i odbierane treści

Forma zajęć - seminarium		Liczba godzin
Se1	Prezentacje wyników przygotowanych prac magisterskich uczestników seminarium.	10
Se2	Prezentacje indywidualne dotyczące omówienia aktualnego stanu wiedzy związanego z problematyką realizowanej pracy dyplomowej oraz odniesienia przewidywanego, oryginalnego własnego wkładu do osiągnięć literaturowych.	25
Se3	Dyskusja w grupie seminaryjnej nt. stanu wiedzy literaturowej i założonej koncepcji rozwiązania stawianych sobie problemów, składających się na pracę dyplomową.	5
	Suma godzin	30

### STOSOWANE NARZĘDZIA DYDAKTYCZNE

N1. Prezentacja wyników badań

N2. Dyskusja nad prezentowanymi wynikami badań

N3. Praca własna studenta - przygotowanie prezentacji.

### OCENA OSIĄGNIĘCIA PRZEDMIOTOWYCH EFEKTÓW UCZENIA SIĘ

Oceny (F – formująca (w trakcie semestru), P – podsumowująca (na koniec semestru))	Numer efektu uczenia się	Sposób oceny osiągnięcia efektu uczenia się
F1	PEU_W01 PEU_U01 PEU_K01	ocena przygotowanej prezentacji
P=F1		

### LITERATURA PODSTAWOWA I UZUPEŁNIAJĄCA

#### LITERATURA PODSTAWOWA:

[1] Czasopisma naukowe z fizyki.

#### OPIEKUN PRZEDMIOTU (IMIE, NAZWISKO, ADRES E-MAIL)

Grzegorz Sęk, grzegorz.sek@pwr.edu.pl



<b>WYDZIAŁ PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW TECHNIKI</b>	
<b>KARTA PRZEDMIOTU</b>	
<b>Nazwa przedmiotu w języku polskim: Seminarium dyplomowe 2</b>	
<b>Nazwa przedmiotu w języku angielskim: Diploma Seminar – 2</b>	
<b>Kierunek studiów (jeśli dotyczy): fizyka techniczna</b>	
<b>Specjalność (jeśli dotyczy):</b>	
<b>Poziom i forma studiów:</b>	<b>II stopień, stacjonarna</b>
<b>Rodzaj przedmiotu:</b>	<b>obowiązkowy</b>
<b>Język wykładowy:</b>	<b>polski</b>
<b>Cykl kształcenia od:</b>	<b>2023/2024</b>
<b>Kod przedmiotu</b>	
<b>Grupa kursów</b>	<b>NIE</b>

	Wykład	Ćwiczenia	Laboratorium	Projekt	Seminarium
Liczba godzin zajęć zorganizowanych w Uczelni (ZZU)					30
Liczba godzin całkowitego nakładu pracy studenta (CNPS)					50
Forma zaliczenia					zaliczenie na ocenę
Dla grupy kursów zaznaczyć kurs końcowy (X)					
<b>Liczba punktów ECTS</b>					<b>2</b>
w tym liczba punktów odpowiadająca zajęciom o charakterze praktycznym (P)					2
w tym liczba punktów ECTS odpowiadająca zajęciom wymagającym bezpośredniego udziału nauczycieli lub innych osób prowadzących zajęcia (BU)					1.28

**WYMAGANIA WSTĘPNE W ZAKRESIE WIEDZY, UMIEJĘTNOŚCI I KOMPETENCJI SPOŁECZNYCH**

1. Student posiada zaawansowaną wiedzę i umiejętności z fizyki.

**CELE PRZEDMIOTU**

- C1 Pogłębianie umiejętności przygotowania i przedstawienia prezentacji ustnej i multimedialnej.  
C2 Możliwość zaprezentowania tematyki prowadzonych w ramach pracy dyplomowej badań.

### PRZEDMIOTOWE EFEKTY UCZENIA SIĘ

Z zakresu wiedzy:

PEU\_W01 zna główne trendy rozwojowe dyscypliny – nauki fizyczne

Z zakresu umiejętności:

PEU\_U01 umie komunikować się ze zróżnicowanymi kręgami odbiorców, m.in. przy użyciu różnych nowoczesnych technologii informacyjno-komunikacyjnych na tematy związane z fizyką techniczną oraz prowadzić debatę

Z zakresu kompetencji społecznych:

PEU\_K01 potrafi krytycznie oceniać posiadaną wiedzę i odbierane treści

Forma zajęć - seminarium		Liczba godzin
Se1	Prezentacje wyników przygotowanych prac magisterskich uczestników seminarium.	10
Se2	Prezentacje indywidualne dotyczące omówienia aktualnego stanu wiedzy związanego z problematyką realizowanej pracy dyplomowej oraz odniesienia przewidywanego, oryginalnego własnego wkładu do osiągnięć literaturowych.	25
Se3	Dyskusja w grupie seminaryjnej nt. stanu wiedzy literaturowej i założonej koncepcji rozwiązania stawianych sobie problemów, składających się na pracę dyplomową.	5
	Suma godzin	30

### STOSOWANE NARZĘDZIA DYDAKTYCZNE

N1. Prezentacja wyników badań

N2. Dyskusja nad prezentowanymi wynikami badań

N3. Praca własna studenta - przygotowanie prezentacji.

### OCENA OSIĄGNIĘCIA PRZEDMIOTOWYCH EFEKTÓW UCZENIA SIĘ

Oceny (F – formująca (w trakcie semestru), P – podsumowująca (na koniec semestru))	Numer efektu uczenia się	Sposób oceny osiągnięcia efektu uczenia się
F1	PEU_W01 PEU_U01 PEU_K01	ocena przygotowanej prezentacji
P=F1		

### LITERATURA PODSTAWOWA I UZUPEŁNIAJĄCA

#### LITERATURA PODSTAWOWA:

[1] Czasopisma naukowe z fizyki.

#### OPIEKUN PRZEDMIOTU (IMIĘ, NAZWISKO, ADRES E-MAIL)

Grzegorz Sęk, grzegorz.sek@pwr.edu.pl

<b>WYDZIAŁ PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW TECHNIKI</b>	
<b>KARTA PRZEDMIOTU</b>	
<b>Nazwa przedmiotu w języku polskim:</b>	<b>Seminarium teoretyczne: Coherence, Correlations, Complexity-1</b>
<b>Nazwa przedmiotu w języku angielskim:</b>	<b>Seminar: Coherence, Correlations, Complexity-1</b>
<b>Kierunek studiów (jeśli dotyczy):</b>	<b>fizyka techniczna</b>
<b>Specjalność (jeśli dotyczy):</b>	
<b>Poziom i forma studiów:</b>	<b>II stopień, stacjonarna</b>
<b>Rodzaj przedmiotu:</b>	<b>wybieralny</b>
<b>Język wykładowy:</b>	<b>polski/angielski</b>
<b>Cykl kształcenia od:</b>	<b>2023/2024</b>
<b>Kod przedmiotu</b>	
<b>Grupa kursów</b>	<b>NIE</b>

	<b>Wykład</b>	<b>Ćwiczenia</b>	<b>Laboratorium</b>	<b>Projekt</b>	<b>Seminarium</b>
Liczba godzin zajęć zorganizowanych w Uczelni (ZZU)					15
Liczba godzin całkowitego nakładu pracy studenta (CNPS)					25
Forma zaliczenia					zaliczenie na ocenę
Dla grupy kursów zaznaczyć kurs końcowy (X)					
<b>Liczba punktów ECTS</b>					<b>1</b>
w tym liczba punktów odpowiadająca zajęciom o charakterze praktycznym (P)					1
w tym liczba punktów ECTS odpowiadająca zajęciom wymagającym bezpośredniego udziału nauczycieli lub innych osób prowadzących zajęcia (BU)					0.68

**WYMAGANIA WSTĘPNE W ZAKRESIE WIEDZY, UMIEJĘTNOŚCI I KOMPETENCJI SPOŁECZNYCH**

Student posiada zaawansowaną wiedzę i umiejętności z fizyki.

**CELE PRZEDMIOTU**

Poznanie nowych osiągnięć i metod używanych w różnych zastosowaniach fizyki i nanoinżynierii.

### PRZEDMIOTOWE EFEKTY UCZENIA SIĘ

Z zakresu wiedzy:

PEU\_W01 zna główne tendencje rozwojowe dyscypliny – nauki fizyczne

...

Z zakresu umiejętności:

PEU\_U01 umie komunikować się ze zróżnicowanymi kręgami odbiorców, m.in. przy użyciu różnych nowoczesnych technologii informacyjno-komunikacyjnych na tematy związane z fizyką techniczną oraz prowadzić debatę

...

Z zakresu kompetencji społecznych:

PEU\_K01 potrafi odpowiedzialnie pełnić rolę zawodowe z uwzględnieniem zmieniających się potrzeb społecznych: rozwija dorobek zawodu, podtrzymuje etos zawodu, przestrzega i rozwija zasady etyki zawodu oraz działa na rzecz przestrzegania tych zasad

Forma zajęć - seminarium		Liczba godzin
Se1 – Se15	Prezentacje ekspertów dotyczące aktualnego stanu wiedzy związanego z fizyką teoretyczną	30
	Suma godzin	<b>30</b>

### STOSOWANE NARZĘDZIA DYDAKTYCZNE

N1. Seminarium problemowe, prezentacja

N2. Dyskusja

### OCENA OSIĄGNIĘCIA PRZEDMIOTOWYCH EFEKTÓW UCZENIA SIĘ

Oceny (F – formująca (w trakcie semestru), P – podsumowująca (na koniec semestru))	Numer efektu uczenia się	Sposób oceny osiągnięcia efektu uczenia się
F1	PEU_W01 PEU_U01 PEU_K01	Obecność na seminarium, ocena udziału studenta w dyskusji, aktywność
P=F1		

### LITERATURA PODSTAWOWA I UZUPEŁNIAJĄCA

#### **LITERATURA PODSTAWOWA:**

Czasopisma naukowe z fizyki.

#### **OPIEKUN PRZEDMIOTU (IMIĘ, NAZWISKO, ADRES E-MAIL)**

Francisco Pena Benitez, francisco.pena-benitez@pwr.edu.pl

<b>WYDZIAŁ PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW TECHNIKI</b>	
<b>KARTA PRZEDMIOTU</b>	
<b>Nazwa przedmiotu w języku polskim:</b>	<b>Seminarium teoretyczne: Coherence, Correlations, Complexity-2</b>
<b>Nazwa przedmiotu w języku angielskim:</b>	<b>Seminar: Coherence, Correlations, Complexity-2</b>
<b>Kierunek studiów (jeśli dotyczy):</b>	<b>fizyka techniczna</b>
<b>Specjalność (jeśli dotyczy):</b>	
<b>Poziom i forma studiów:</b>	<b>II stopień, stacjonarna</b>
<b>Rodzaj przedmiotu:</b>	<b>wybieralny</b>
<b>Język wykładowy:</b>	<b>polski/angielski</b>
<b>Cykl kształcenia od:</b>	<b>2023/2024</b>
<b>Kod przedmiotu</b>	
<b>Grupa kursów</b>	<b>NIE</b>

	<b>Wykład</b>	<b>Ćwiczenia</b>	<b>Laboratorium</b>	<b>Projekt</b>	<b>Seminarium</b>
Liczba godzin zajęć zorganizowanych w Uczelni (ZZU)					15
Liczba godzin całkowitego nakładu pracy studenta (CNPS)					25
Forma zaliczenia					zaliczenie na ocenę
Dla grupy kursów zaznaczyć kurs końcowy (X)					
<b>Liczba punktów ECTS</b>					<b>1</b>
w tym liczba punktów odpowiadająca zajęciom o charakterze praktycznym (P)					1
w tym liczba punktów ECTS odpowiadająca zajęciom wymagającym bezpośredniego udziału nauczycieli lub innych osób prowadzących zajęcia (BU)					0.68

**WYMAGANIA WSTĘPNE W ZAKRESIE WIEDZY, UMIEJĘTNOŚCI I KOMPETENCJI SPOŁECZNYCH**

Student posiada zaawansowaną wiedzę i umiejętności z fizyki.

**CELE PRZEDMIOTU**

Poznanie nowych osiągnięć i metod używanych w różnych zastosowaniach fizyki i nanoinżynierii.

### PRZEDMIOTOWE EFEKTY UCZENIA SIĘ

Z zakresu wiedzy:

PEU\_W01 zna główne tendencje rozwojowe dyscypliny – nauki fizyczne

...

Z zakresu umiejętności:

PEU\_U01 umie komunikować się ze zróżnicowanymi kręgami odbiorców, m.in. przy użyciu różnych nowoczesnych technologii informacyjno-komunikacyjnych na tematy związane z fizyką techniczną oraz prowadzić debatę

...

Z zakresu kompetencji społecznych:

PEU\_K01 potrafi odpowiedzialnie pełnić rolę zawodowe z uwzględnieniem zmieniających się potrzeb społecznych: rozwija dorobek zawodu, podtrzymuje etos zawodu, przestrzega i rozwija zasady etyki zawodu oraz działa na rzecz przestrzegania tych zasad

Forma zajęć - seminarium		Liczba godzin
Se1 – Se15	Prezentacje ekspertów dotyczące aktualnego stanu wiedzy związanego z fizyką teoretyczną	30
	Suma godzin	<b>30</b>

### STOSOWANE NARZĘDZIA DYDAKTYCZNE

N1. Seminarium problemowe, prezentacja

N2. Dyskusja

### OCENA OSIĄGNIĘCIA PRZEDMIOTOWYCH EFEKTÓW UCZENIA SIĘ

Oceny (F – formująca (w trakcie semestru), P – podsumowująca (na koniec semestru))	Numer efektu uczenia się	Sposób oceny osiągnięcia efektu uczenia się
F1	PEU_W01 PEU_U01 PEU_K01	Obecność na seminarium, ocena udziału studenta w dyskusji, aktywność
P=F1		

### LITERATURA PODSTAWOWA I UZUPEŁNIAJĄCA

#### LITERATURA PODSTAWOWA:

Czasopisma naukowe z fizyki.

#### **OPIEKUN PRZEDMIOTU (IMIĘ, NAZWISKO, ADRES E-MAIL)**

Francisco Pena Benitez, francisco.pena-benitez@pwr.edu.pl

<b>WYDZIAŁ PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW TECHNIKI</b>	
<b>KARTA PRZEDMIOTU</b>	
<b>Nazwa przedmiotu w języku polskim: Synteza i funkcjonalizacja nanostruktur koloidalnych</b>	
<b>Nazwa przedmiotu w języku angielskim: Synthesis and functionalization of colloidal nanostructures</b>	
<b>Kierunek studiów (jeśli dotyczy): fizyka techniczna</b>	
<b>Specjalność (jeśli dotyczy):</b>	
<b>Poziom i forma studiów:</b>	<b>II stopień, stacjonarna</b>
<b>Rodzaj przedmiotu:</b>	<b>wybieralny</b>
<b>Język wykładowy:</b>	<b>polski</b>
<b>Cykl kształcenia od:</b>	<b>2023/2024</b>
<b>Kod przedmiotu:</b>	
<b>Grupa kursów:</b>	<b>TAK</b>

	Wykład	Ćwiczenia	Laboratorium	Projekt	Seminarium
Liczba godzin zajęć zorganizowanych w Uczelni (ZZU)	30			45	
Liczba godzin całkowitego nakładu pracy studenta (CNPS)	50			100	
Forma zaliczenia	egzamin			zaliczenie na ocenę	
Dla grupy kursów zaznaczyć kurs końcowy (X)	X				
<b>Liczba punktów ECTS</b>	<b>6</b>				
w tym liczba punktów odpowiadająca zajęciom o charakterze praktycznym (P)				4	
w tym liczba punktów ECTS odpowiadająca zajęciom wymagającym bezpośredniego udziału nauczycieli lub innych osób prowadzących zajęcia (BU)	1.48			1.92	

**WYMAGANIA WSTĘPNE W ZAKRESIE WIEDZY, UMIEJĘTNOŚCI I KOMPETENCJI SPOŁECZNYCH**

1. Podstawy chemii ogólnej
2. Nanostruktury i nanokryształy półprzewodnikowe

**CELE PRZEDMIOTU**

- C1. Nabycie wiedzy o wybranych metodach syntezy i modyfikacji powierzchni nanomateriałów koloidalnych.
- C2. Nabycie wiedzy o dotychczasowych osiągnięciach i stojących dalszych wyzwaniach, w tym w zakresie bezpieczeństwa i wpływu na środowisko wynikających z produkcji i

wykorzystania nanomateriałów.

C3. Praktyczna nauka wytwarzania nanomateriałów metodami mokrej chemii.

C4. Praktyczna nauka przygotowania próbek koloidalnych do pomiarów spektroskopii optycznej, przeprowadzania pomiaru, jego analiza i interpretacja.

C5. Nauka raportowania pracy laboratoryjnej, w tym stawiania i weryfikacji hipotez.

C6. Nabywanie i utrwalanie wiedzy o dobrej praktyce laboratoryjnej

C7. Nabywanie i utrwalanie kompetencji społecznych obejmujących inteligencję emocjonalną polegającą na umiejętności współpracy w grupie studenckiej mającej na celu efektywne rozwiązywanie problemów. Odpowiedzialność, uczciwość i rzetelność w postępowaniu; przestrzeganie obyczajów obowiązujących w środowisku akademickim i społeczeństwie.

### PRZEDMIOTOWE EFEKTY UCZENIA SIĘ

Z zakresu wiedzy:

PEU\_W01 ma rozszerzoną i pogłębioną wiedzę z wybranych zagadnień związanych z funkcjonalizacją powierzchni nanostruktur

PEU\_W02 ma pogłębioną wiedzę dotyczącą aparatury pomiarowej wykorzystywanej do wytwarzania nanostruktur i zna zasady jej działania

Z zakresu umiejętności:

PEU\_U01 posiada umiejętność formułowania, analizowania, rozwiązywania złożonych i nietypowych problemów oraz potrafi innowacyjnie wykonywać zadania z zakresu wytwarzania nanostruktur w tym potrafi przystosować istniejące lub opracować nowe metody i narzędzia

PEU\_U02 posiada umiejętność opracowania danych z zadania inżynierskiego, przygotowania tekstów oraz prezentacji (w tym multimedialnej), sprawozdania z realizacji badań albo zadania projektowego

PEU\_U03 potrafi współdziałać z innymi osobami w ramach prac zespołowych i podejmować wiodącą rolę w zespołach

Z zakresu kompetencji społecznych:

PEU\_K01 potrafi odpowiedzialnie pełnić role zawodowe z uwzględnieniem zmieniających się potrzeb społecznych: rozwija dorobek zawodu, przestrzega i rozwija zasady etyki zawodu oraz działa na rzecz przestrzegania tych zasad

### TREŚCI PROGRAMOWE

Forma zajęć - wykład		Liczba godzin
Wy1	Przedstawienie i klasyfikacja nanomateriałów.	2
Wy2	Metody syntezy nanomateriałów.	2
Wy3	Wyzwania w zakresie wytwarzania (syntezy i funkcjonalizacji) nanomateriałów.	2
Wy4	Roztwory koloidalne i ich właściwości.	2



Wy5	Metody badawcze nanomateriałów.	2
Wy6	Procesy nukleacji i krystalizacji.	2
Wy7	Proces wzrostu nanomateriałów.	2
Wy8	Właściwości powierzchni nanomateriałów, ligandy i ich modyfikacja.	4
Wy9	Anizotropowy wzrost nanomateriałów.	2
Wy10	Samoorganizacja nanomateriałów.	2
Wy11	Zastosowania nanomateriałów.	2
Wy12	Procesy technologiczne i skalowanie syntezy.	2
Wy13	Wytwarzanie i stosowanie nanomateriałów w kontekście poziomu rozwoju technologicznego (TRL).	2
Wy14	Wpływ nanomateriałów na środowisko, bezpieczeństwo pracy z nanomateriałami, regulacje prawne.	2
	Suma godzin	<b>30</b>

<b>Forma zajęć - projekt</b>		<b>Liczba godzin</b>
Pr1	Zajęcia organizacyjne, omówienie zasad BHP i zasad pracy na stanowiskach laboratoryjnych, zapoznanie z aparaturą w laboratorium, nauka dobrych zasad pracy laboratoryjnej	5
Pr2	Synteza półprzewodnikowych kropek kwantowych – analiza kinetyki reakcji	5
Pr3	Synteza i analiza nanomateriałów o strukturze rdzeń/płaszcz	5
Pr4	Synteza nanokryształów o anizotropowym kształcie	5
Pr5	Analiza właściwości strukturalnych i morfologicznych nanokryształów koloidalnych	5
Pr6	Inżynieria powierzchni nanomateriału - wymiana ligandów	5
Pr7	Analiza powierzchni nanomateriału - reakcja charakterystyczna grupy funkcyjnej	5
Pr8	Utworzenie i analiza warstwy samoorganizującej	5
Pr9	Badanie wpływu pH na ligandy i roztwór koloidalny	5
	Suma godzin	<b>45</b>

<b>STOSOWANE NARZĘDZIA DYDAKTYCZNE</b>
N1. Wykłady wsparte prezentacjami multimedialnymi
N2. Bazy danych, bazy literatury, oprogramowanie specjalistyczne
N3. Praca własna w laboratorium – wykonanie zadań w laboratorium pod opieką prowadzącego
N4. Praca własna w domu – samodzielne studia i przygotowanie raportów
N5. Dyskusja raportów

## OCENA OSIĄGNIĘCIA PRZEDMIOTOWYCH EFEKTÓW UCZENIA SIĘ

Oceny (F – formująca (w trakcie semestru), P – podsumowująca (na koniec semestru))	Numer efektu uczenia się	Sposób oceny osiągnięcia efektu uczenia się
F1 (wykład)	PEU_W01, PEU_U01, PEU_K01	Egzamin
F2 (projekt)	PEU_W01, PEU_U01, PEU_K01	Ocena sprawozdania z projektu
$P = F1*0.5 + F2*0.5$		

### LITERATURA PODSTAWOWA I UZUPEŁNIAJĄCA

#### **LITERATURA PODSTAWOWA:**

- [1] W. Baek, H. Chang, M.S. Bootharaju, J. H. Kim, S. Park, T. Hyeon, Recent Advances and Prospects in Colloidal Nanomaterials (2021)
- [2] N. Kumar, S. S. Ray, Synthesis and Functionalization of Nanomaterials (2018)
- [3] V. I. Klimov, Nanocrystal Quantum Dots (2010)
- [4] E. R. Leite, C. Ribeiro, Crystallization and Growth of Colloidal Nanocrystals (2012)
- [5] C. N. R. Rao, G. U. Kulkarni, P. J. Thomas, Nanocrystals: Synthesis, Properties and Applications (2007)
- [6] K. D. Sattler, Handbook of nanophysics. 3, Nanoparticles and quantum dots (2010)

#### **LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA:**

- [1] M. Sluydts, K. De Nolf, V. Van Speybroeck, S. Cottenier, Z. Hens, Ligand Addition Energies and the Stoichiometry of Colloidal Nanocrystals (2016)
- [2] M. A. Boles, D. Ling, T. Hyeon, D. V. Talapin, The surface science of nanocrystals (2016)
- [3] R. R. Knauf, J. C. Lennox, J. L. Dempsey, Quantifying Ligand Exchange Reactions at CdSe Nanocrystal Surfaces (2016)
- [4] J. Owen, The coordination chemistry of nanocrystal surfaces (2015)

#### **OPIEKUN PRZEDMIOTU (IMIE, NAZWISKO, ADRES E-MAIL)**

Mateusz Bański, mateusz.banski@pwr.edu.pl

<b>WYDZIAŁ PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW TECHNIKI</b>	
<b>KARTA PRZEDMIOTU</b>	
Nazwa przedmiotu w języku polskim: <b>Teoretyczne podstawy spektroskopii</b>	
Nazwa przedmiotu w języku angielskim: <b>Theoretical foundations of spectroscopy</b>	
Kierunek studiów (jeśli dotyczy): <b>fizyka techniczna</b>	
Specjalność (jeśli dotyczy):	
Poziom i forma studiów:	<b>II stopień, stacjonarna</b>
Rodzaj przedmiotu:	<b>wybieralny</b>
Język wykładowy:	<b>polski</b>
Cykl kształcenia od:	<b>2023/2024</b>
Kod przedmiotu	
Grupa kursów	<b>TAK</b>

	<b>Wykład</b>	<b>Ćwiczenia</b>	<b>Laboratorium</b>	<b>Projekt</b>	<b>Seminarium</b>
Liczba godzin zajęć zorganizowanych w Uczelni (ZZU)	30	30			
Liczba godzin całkowitego nakładu pracy studenta (CNPS)	50	50			
Forma zaliczenia	zaliczenie na ocenę	zaliczenie na ocenę			
Dla grupy kursów zaznaczyć kurs końcowy (X)	X				
<b>Liczba punktów ECTS</b>	<b>4</b>				
w tym liczba punktów odpowiadająca zajęciom o charakterze praktycznym (P)		2			
w tym liczba punktów ECTS odpowiadająca zajęciom wymagającym bezpośredniego udziału nauczycieli lub innych osób prowadzących zajęcia (BU)	1.28	1.28			

**WYMAGANIA WSTĘPNE W ZAKRESIE WIEDZY, UMIEJĘTNOŚCI I KOMPETENCJI SPOŁECZNYCH**

1. Wiedza w zakresie mechaniki kwantowej
2. Wiedza matematyczna w zakresie analizy matematycznej i podstaw algebry

**CELE PRZEDMIOTU**

- C1 Przekazanie wiedzy na temat podstaw optyki kwantowej i teoretycznych modeli spektroskopii optycznej
- C2 Przegląd wybranych zastosowań optyki kwantowej w spektroskopii

## PRZEDMIOTOWE EFEKTY UCZENIA SIĘ

Z zakresu wiedzy:

PEU\_W01 zna wybrane zagadnienia z zakresu zaawansowanej wiedzy szczegółowej w obszarze optyki kwantowej i spektroskopii optycznej, a także jej zastosowań w nauce i inżynierii materiałów

Z zakresu umiejętności:

PEU\_U01 potrafi formułować, analizować, rozwiązywać złożone i nietypowe problemy oraz innowacyjnie wykonywać zadania z zakresu optyki kwantowej i spektroskopii, w oparciu o (a) posiadaną wiedzę, dobór odpowiednich źródeł i informacji z nich pochodzących, dokonywać oceny i krytycznej analizy dotyczącej otrzymanych informacji oraz posiada możliwość twórczej interpretacji i prezentacji tych informacji; (b) dobór stosownych metod i narzędzi w tym zaawansowanych technik obliczeniowych; (c) przystosowaniem istniejących lub opracowaniem nowych metod i narzędzi

Z zakresu kompetencji społecznych:

PEU\_K01 potrafi krytycznie oceniać posiadaną wiedzę i odbierane treści; ma świadomość znaczenia wiedzy w rozwiązywaniu problemów poznawczych i praktycznych, jest świadom własnych ograniczeń i wie, kiedy zwrócić się do ekspertów

## TREŚCI PROGRAMOWE

Forma zajęć - wykład		Liczba godzin
Wy1	Wprowadzenie: optyka kwantowa i spektroskopia	2
Wy2	Przejścia promieniste – opis fenomenologiczny	2
Wy3	Prosty model lasera	2
Wy4	Oddziaływanie światła z materią; spektroskopia liniowa	2
Wy5	Wybrane techniki spektroskopii nieliniowej	4
Wy6	Rezonansowa fluorescencja jako technika spektroskopii optycznej	4
Wy7	Grupowanie i antygrupowanie fotonów; interferometria natężeniowa	4
Wy8	Koherentne i ściśnione stany światła	4
Wy9	Stany własne liczby fotonów; zarys formalizmu optyki kwantowej	4
Wy10	Sprawdzian końcowy	2
	Suma godzin	<b>30</b>

Forma zajęć - ćwiczenia		Liczba godzin
Ćw1	Mechanika kwantowa – powtórzenie	5
Ćw2	Klasyczny opis światła	5
Ćw3	Przejścia optyczne i linie emisyjne	6
Ćw4	Statystyka fotonów i statystyka zdarzeń detekcyjnych	6
Ćw5	Koherencja i interferometria natężeniowa	6
Ćw6	Kolokwium	2
	Suma godzin	<b>30</b>

### STOSOWANE NARZĘDZIA DYDAKTYCZNE

N1. Wykład informacyjny wspomagany materiałem graficznym z elementami dyskusji problemowej  
N2. Ćwiczenia rachunkowe.

### OCENA OSIĄGNIĘCIA PRZEDMIOTOWYCH EFEKTÓW UCZENIA SIĘ

Oceny (F – formująca (w trakcie semestru), P – podsumowująca (na koniec semestru))	Numer efektu uczenia się	Sposób oceny osiągnięcia efektu uczenia się
F(Ćw)	PEU_W01, PEU_U01, PEU_K01	Aktywność na ćwiczeniach
P1(Ćw)	PEU_W01, PEU_U01, PEU_K01	Sprawdzian pisemny z zadań rachunkowych
P2(W)	PEU_W01, PEU_K01	Sprawdzian pisemny
$P = 0,5 * P1 + 0,5 * P2$		

### LITERATURA PODSTAWOWA I UZUPEŁNIAJĄCA

#### **LITERATURA PODSTAWOWA:**

Skrypt do wykładu;  
M. Fox, *Quantum Optics. An Introduction* (Oxford 2006).

#### **LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA:**

M. O. Scully, M. S. Zubairy, *Quantum Optics* (Cambridge 1997);  
C.C. Gerry, P.L. Knight, *Wstęp do optyki kwantowej* (PWN 2007);  
Stanisław Kryszewski, *Quantum Optics*, <http://iftia9.univ.gda.pl/~sjk/QO-SK.pdf>;  
R. Tanaś, *Wykłady z optyki kwantowej*, <http://zon8.physd.amu.edu.pl/~tanas/optkwant.pdf>.

#### **OPIEKUN PRZEDMIOTU (IMIE, NAZWISKO, ADRES E-MAIL)**

Paweł Machnikowski, [Pawel.Machnikowski@pwr.edu.pl](mailto:Pawel.Machnikowski@pwr.edu.pl)

<b>WYDZIAŁ PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW TECHNIKI</b>	
<b>KARTA PRZEDMIOTU</b>	
<b>Nazwa przedmiotu w języku polskim: Topologia układów kwantowych</b>	
<b>Nazwa przedmiotu w języku angielskim: Topological properties of quantum systems</b>	
<b>Kierunek studiów (jeśli dotyczy): fizyka techniczna</b>	
<b>Specjalność (jeśli dotyczy):</b>	
<b>Poziom i forma studiów:</b>	<b>II stopień, stacjonarna</b>
<b>Rodzaj przedmiotu:</b>	<b>wybieralny</b>
<b>Język wykładowy:</b>	<b>polski</b>
<b>Cykl kształcenia od:</b>	<b>2023/2024</b>
<b>Kod przedmiotu</b>	
<b>Grupa kursów</b>	<b>NIE</b>

	<b>Wykład</b>	<b>Ćwiczenia</b>	<b>Laboratorium</b>	<b>Projekt</b>	<b>Seminarium</b>
Liczba godzin zajęć zorganizowanych w Uczelni (ZZU)	30				
Liczba godzin całkowitego nakładu pracy studenta (CNPS)	50				
Forma zaliczenia	zaliczenie na ocenę				
Dla grupy kursów zaznaczyć kurs końcowy (X)					
<b>Liczba punktów ECTS</b>	<b>2</b>				
w tym liczba punktów odpowiadająca zajęciom o charakterze praktycznym (P)					
w tym liczba punktów ECTS odpowiadająca zajęciom wymagającym bezpośredniego udziału nauczycieli lub innych osób prowadzących zajęcia (BU)	1.28				

**WYMAGANIA WSTĘPNE W ZAKRESIE WIEDZY, UMIEJĘTNOŚCI I KOMPETENCJI SPOŁECZNYCH**

Wymagana jest wiedza, umiejętności i kompetencje w zakresie:

1. mechaniki kwantowej
2. analizy matematycznej i algebry
2. metod matematycznych fizyki

**CELE PRZEDMIOTU**

- C1. Uzyskanie wiedzy dotyczącej konsekwencji nietrywialnej topologii w materii kwantowej.
- C2. Nabycie umiejętności posługiwania się narzędziami topologicznymi do analizy stanów kwantowych.
- C3. Nabywanie i utrwalanie świadomości znaczenia nowych koncepcji w fizyce.

### PRZEDMIOTOWE EFEKTY UCZENIA SIĘ

Z zakresu wiedzy:

PEU\_W01- zna wybrane kwantowe zjawiska fizyczne będących efektem nietrywialnej topologii

PEU\_W02 – zna wybrane metody matematyczne i numeryczne używane przy badaniu efektów topologicznych

PEU\_W03 – zna możliwości praktycznego zastosowania efektów topologicznych, w szczególności zna podstawy działania topologicznego komputera kwantowego

Z zakresu umiejętności:

PEU\_U01 – potrafi stosować metody topologii w fizyce kwantowej; w szczególności potrafi dobierać odpowiednie analityczne lub numeryczne metody obliczeniowe do poszczególnych zagadnień

PEU\_U02 – potrafi klasyfikować materiały i stany układów pod względem własności topologicznych

PEU\_U03 – potrafi identyfikować nietypowe własności materiałów, które mogą być związane z nietrywialną topologią

Z zakresu kompetencji społecznych:

PEU\_K01 – potrafi krytycznie oceniać posiadaną przez siebie wiedzę i ma świadomość konieczności jej rozszerzania

PEU\_K02 - potrafi krytycznie oceniać najnowsze osiągnięcia badawcze

PEU\_K03 - rozumie znaczenie nowych idei w nauce

PEU\_K04 - rozumie rolę obyczajów i zasad obowiązujących w środowisku akademickim

### TREŚCI PROGRAMOWE

Forma zajęć - wykład		Liczba godzin
Wy1	Fazy materii i przejścia między nimi; fazy topologiczne; niezmienniki topologiczne	2
Wy2	Dyskretna charakterystyka Eulera, twierdzenie Eulera o wielościanach, twierdzenie Gaussa-Bonneta	2
Wy3	Krzywizna przestrzeni, transport równoległy.	2
Wy4	Przybliżenie ciasnego wiązania. Łańcuch elektronowy	2
Wy5	Przejście Peierlsa, model Su-Schrieffer'a-Heeger'a (SSH)	2
Wy6	Model SSH: liczba nawinięć; symetria chiralna.	2
Wy7	Model SSH: deformacja adiabatyczne	2
Wy8	Model SSH z otwartymi warunkami brzegowymi; stany brzegowe	2
Wy9	Stany własne, analiza numeryczne modeli ciasnego wiązania	2
Wy10	Faza Zaka; faza Berry'ego i polaryzacja.	2
Wy11	Fermiony, bozony i anyon-y	2
Wy12	Łańcuch Kitaeva, grupy warkoczowe	2
Wy13	Dwuwymiarowe izolatory topologiczne; model Kane-Mele	2
Wy14	Liczby Cherna i izolatory Cherna	2
Wy15	Kolokwium zaliczeniowe	2
	Suma godzin	<b>30</b>

**STOSOWANE NARZĘDZIA DYDAKTYCZNE**

N1. Wykład – forma tradycyjna  
N2. Prezentacje komputerowe  
N3. Konsultacje

**OCENA OSIĄGNIĘCIA PRZEDMIOTOWYCH EFEKTÓW UCZENIA SIĘ**

Oceny (F – formująca (w trakcie semestru), P – podsumowująca (na koniec semestru))	Numer efektu uczenia się	Sposób oceny osiągnięcia efektu uczenia się
F1	PEU_W01, PEU_W02, PEU_W03, PEU_U01, PEU_U02, PEU_U03, PEU_K01, PEU_K02, PEU_K03, PEU_K04	Zaliczenie na ocenę
P=F1 (ocena z wykładu)		

**LITERATURA PODSTAWOWA I UZUPEŁNIAJĄCA****LITERATURA PODSTAWOWA:**

- [1] B. Andrei Bernevig, Taylor L. Hughes, “*Topological Insulators and Topological Superconductors*”, Princeton University Press (2013)
- [2] Mikio Nakahara, “*Geometry, topology, and physics*”, IOP Publishing (2003)
- [3] S.M. Girvin, K. Yang, “*Modern Condensed Matter Physics*”, Cambridge University Press (2019)
- [4] M. El-Batanouny, “*Advanced Quantum Condensed Matter Physics. One-Body, Many-Body, and Topological Perspectives*”, Cambridge University Press (2020)

**LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA:**

- [1] E. Fradkin, “*Field Theories of Condensed Matter Physics*”, Cambridge University Press (2013)
- [2] C. Chamon, M.O. Goerbig, R. Moessner, L.F. Cugliandolo (eds.) “*Topological Aspects of Condensed Matter Physics*”, Oxford University Press (2017)
- [3] A.M. Tsvelik, “*Quantum field theory in condensed matter physics*”, Cambridge University Press (2003)

**OPIEKUN PRZEDMIOTU (IMIE, NAZWISKO, ADRES E-MAIL)**

Maciej Maśka, maciej.maska@pwr.edu.pl



<b>WYDZIAŁ PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW TECHNIKI</b>	
<b>KARTA PRZEDMIOTU</b>	
<b>Nazwa przedmiotu w języku polskim: Uczenie maszynowe</b>	
<b>Nazwa przedmiotu w języku angielskim: Machine learning</b>	
<b>Kierunek studiów (jeśli dotyczy): fizyka techniczna</b>	
<b>Specjalność (jeśli dotyczy):</b>	
<b>Poziom i forma studiów:</b>	<b>II stopień, stacjonarna</b>
<b>Rodzaj przedmiotu:</b>	<b>wybieralny</b>
<b>Język wykładowy:</b>	<b>polski</b>
<b>Cykl kształcenia od:</b>	<b>2023/2024</b>
<b>Kod przedmiotu</b>	
<b>Grupa kursów</b>	<b>TAK</b>

	<b>Wykład</b>	<b>Ćwiczenia</b>	<b>Laboratorium</b>	<b>Projekt</b>	<b>Seminarium</b>
Liczba godzin zajęć zorganizowanych w Uczelni (ZZU)	30		30		
Liczba godzin całkowitego nakładu pracy studenta (CNPS)	50		50		
Forma zaliczenia	zaliczenie na ocenę		zaliczenie na ocenę		
Dla grupy kursów zaznaczyć kurs końcowy (X)	X				
<b>Liczba punktów ECTS</b>	<b>4</b>				
w tym liczba punktów odpowiadająca zajęciom o charakterze praktycznym (P)			2		
w tym liczba punktów ECTS odpowiadająca zajęciom wymagającym bezpośredniego udziału nauczycieli lub innych osób prowadzących zajęcia (BU)	1.28		1.28		

**WYMAGANIA WSTĘPNE W ZAKRESIE WIEDZY, UMIEJĘTNOŚCI I KOMPETENCJI SPOŁECZNYCH**

1. Znajomość podstaw algebry i analizy matematycznej.
2. Znajomość podstaw statystyki matematycznej.
3. Znajomość przynajmniej jednego współczesnego języka programowania: Python, c++
4. Obycie z architekturą współczesnego komputera: zrozumienie pojęć takich jak pamięć operacyjna, CPU, GPU.
5. Chęć do zdobycia wiedzy w mocno interdyscyplinarnym (przez to trudnym do opanowania) obszarze sztucznej inteligencji.

**CELE PRZEDMIOTU**

- C1 Zaznajomienie słuchacza z tradycyjnymi technikami uczenia maszynowego, nadzorowanego i nienadzorowanego.
- C2 Zaznajomienie z aktualnie rozwijanymi algorytmami uczenia głębokiego.
- C3 Wskazanie ogromnego potencjału zastosowań tych metod w nauce i technice.

## PRZEDMIOTOWE EFEKTY UCZENIA SIĘ

Z zakresu wiedzy:

PEU\_W01 zna wybrane zagadnienia z zakresu zaawansowanej wiedzy szczegółowej w obszarze współcześnie stosowanych technik uczenia maszynowego, w szczególności uczenia głębokiego

Z zakresu umiejętności:

PEU\_U01 potrafi formułować, analizować, rozwiązywać złożone i nietypowe problemy oraz innowacyjnie wykonywać zadania z zakresu optyki kwantowej i spektroskopii, w oparciu o (a) posiadaną wiedzę, dobór odpowiednich źródeł i informacji z nich pochodzących, dokonywać oceny i krytycznej analizy dotyczącej otrzymanych informacji oraz posiada możliwość twórczej interpretacji i prezentacji tych informacji; (b) dobór stosownych metod i narzędzi w tym zaawansowanych technik obliczeniowych; (c) przystosowaniem istniejących lub opracowaniem nowych metod i narzędzi w tym potrafi zastosować biblioteki numeryczne/frameworki uczenia maszynowego i głębokiego

Z zakresu kompetencji społecznych:

PEU\_K01 potrafi krytycznie oceniać posiadaną wiedzę i odbierane treści; ma świadomość znaczenia wiedzy w rozwiązywaniu problemów poznawczych i praktycznych, jest świadom własnych ograniczeń i wie, kiedy zwrócić się do ekspertów

## TREŚCI PROGRAMOWE

Forma zajęć: wykład		Liczba godzin
Wy1	Podstawy uczenia maszynowego: definicja, rodzaje uczenia, obciążenie i wariancja, obszary zastosowań i ograniczenia.	3
Wy2	Klasyfikatory, metody tradycyjne: SVM, drzewa decyzyjne, techniki bagging i boosting.	4
Wy3	Redukcja wymiarowości i klasteryzacja.	3
Wy4	Głębokie sieci neuronowe: propagacja wsteczna, funkcje aktywacji, regularyzacja.	3
Wy5	Konwolucyjne sieci neuronowe: definicja, współczesne architektury, zastosowania.	4
Wy6	Podstawy rozpoznawania obrazów, wektory cech w klasycznym przetwarzaniu obrazów.	3
Wy7	Rozpoznawanie obrazów z wykorzystaniem sieci głębokich, detekcja, segmentacja obiektów na obrazach, augmentacja danych.	3
Wy8	Rekurencyjne sieci neuronowe i ich zastosowania, mechanizm uwagi. Mechanizm samo-atencji i modele typu Transformer.	4
Wy9	Sieci neuronowe dla fizyków: sieci grafowe i sieci ekwiwariantne względem transformacji grupowych.	3
	Suma godzin	<b>30</b>

<b>Forma zajęć: laboratorium</b>		<b>Liczba godzin</b>
La1	Popularne bazy danych w uczeniu maszynowym (ML). Frameworki: scikit, Pytorch. Budowanie prostego klasyfikatora w oparciu o tradycyjne metody ML.	5
La2	Porównanie prostych architektur sieci neuronowych: perceptron, sieci głębokie, sieci konwolucyjne. Przykłady zastosowań w przetwarzaniu obrazów i sygnałów.	10
La3	Zaawansowane sieci neuronowe: sieci rezydualne, sieci rekurencyjne.	5
La4	Regularyzacja w sieciach neuronowych.	
La5	Mechanizm uwagi i implementacja modelu Transformer od postaw.	5
La6	Modele generatywne i trening prostego modelu GAN.	5
	Suma godzin	<b>30</b>

<b>STOSOWANE NARZĘDZIA DYDAKTYCZNE</b>
N1. Wykład multimedialny

### **OCENA OSIĄGNIĘCIA PRZEDMIOTOWYCH EFEKTÓW UCZENIA SIĘ**

<b>Oceny (F – formująca (w trakcie semestru), P – podsumowująca (na koniec semestru))</b>	<b>Numer efektu uczenia się</b>	<b>Sposób oceny osiągnięcia efektu uczenia się</b>
F1	PEU_W01, PEU_U01, PEU_K01	częstkowe sprawozdania z kolejnych laboratoriów
F2	PEU_W01, PEU_U01, PEU_K01	egzamin
$P = 0.5*(F1+F2)$		

<b>LITERATURA PODSTAWOWA I UZUPEŁNIAJĄCA</b>
<p><b><u>LITERATURA PODSTAWOWA:</u></b></p> <p>[1] Ian Goodfellow et al., Deep learning, Cambridge: MIT Press, Cambridge 2016.  [2] Christopher M. Bishop, Pattern recognition and machine learning, Springer, 2006.  [3] Charu C. Aggarwal, Neural networks and deep learning, Springer, 2018.  [4] Michael Nielsen, Neural Networks and Deep Learning, dostępna tylko online: <a href="http://neuralnetworksanddeeplearning.com">http://neuralnetworksanddeeplearning.com</a></p> <p><b><u>LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA:</u></b></p> <p>[1] <a href="https://scikit-learn.org/stable/user_guide.html">https://scikit-learn.org/stable/user_guide.html</a> (online)  [2] <a href="https://stanford.edu/~shervine/teaching/">https://stanford.edu/~shervine/teaching/</a> (zasób online)</p>
<b>OPIEKUN PRZEDMIOTU (IMIE, NAZWISKO, ADRES E-MAIL)</b>
Jarosław Pawłowski, <a href="mailto:jaroslaw.pawlowski@pwr.edu.pl">jaroslaw.pawlowski@pwr.edu.pl</a>

<b>WYDZIAŁ PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW TECHNIKI</b>	
<b>KARTA PRZEDMIOTU</b>	
Nazwa przedmiotu w języku polskim: <b>Układy złożone</b>	
Nazwa przedmiotu w języku angielskim: <b>Complex systems</b>	
Kierunek studiów (jeśli dotyczy): <b>fizyka techniczna</b>	
Specjalność (jeśli dotyczy):	
Poziom i forma studiów:	<b>II stopień, stacjonarna</b>
Rodzaj przedmiotu:	<b>wybieralny</b>
Język wykładowy:	<b>polski</b>
Cykl kształcenia od:	<b>2023/2024</b>
Kod przedmiotu	
Grupa kursów	<b>TAK</b>

	Wykład	Ćwiczenia	Laboratorium	Projekt	Seminarium
Liczba godzin zajęć zorganizowanych w Uczelni (ZZU)	30		30		
Liczba godzin całkowitego nakładu pracy studenta (CNPS)	50		50		
Forma zaliczenia	zaliczenie na ocenę		zaliczenie na ocenę		
Dla grupy kursów zaznaczyć kurs końcowy (X)	X				
<b>Liczba punktów ECTS</b>	<b>4</b>				
w tym liczba punktów odpowiadająca zajęciom o charakterze praktycznym (P)			2		
w tym liczba punktów ECTS odpowiadająca zajęciom wymagającym bezpośredniego udziału nauczycieli lub innych osób prowadzących zajęcia (BU)	1.28		1.28		

**WYMAGANIA WSTĘPNE W ZAKRESIE WIEDZY, UMIEJĘTNOŚCI I KOMPETENCJI SPOŁECZNYCH**

1. Umiejętności programowania komputerowego i symulacji Monte Carlo
2. Wiedza i umiejętności z zakresu fizyki statystycznej
3. Wiedza i umiejętności z zakresu teorii rachunku prawdopodobieństwa

**CELE PRZEDMIOTU**

C1 Zapoznanie się z koncepcją układów złożonych i relacjami między różnymi podejściami stosowanymi do układów złożonych

C2 Zdobycie wiedzy i umiejętności pozwalających na projektowanie, rozwijanie, weryfikację i walidację modeli układów złożonych

C3 Nabycie umiejętności pracy w zespole nad projektami interdyscyplinarnymi oraz prezentowania wyników pracy szerokiej publiczności interdyscyplinarnej

### PRZEDMIOTOWE EFEKTY UCZENIA SIĘ

Z zakresu wiedzy:

PEU\_W01 zna wybrane zagadnienia z zakresu zaawansowanej wiedzy szczegółowej w obszarze układów złożonych, a także jej zastosowań w nauce i inżynierii

Z zakresu umiejętności:

PEU\_U01 potrafi formułować, analizować, rozwiązywać złożone i nietypowe problemy oraz innowacyjnie wykonywać zadania z zakresu układów złożonych, w oparciu o (a) posiadaną wiedzę, dobór odpowiednich źródeł i informacji z nich pochodzących, dokonywać oceny i krytycznej analizy dotyczącej otrzymanych informacji oraz posiada możliwość twórczej interpretacji i prezentacji tych informacji; (b) dobór stosownych metod i narzędzi w tym zaawansowanych technik obliczeniowych; (c) przystosowaniem istniejących lub opracowaniem nowych metod i narzędzi

Z zakresu kompetencji społecznych:

PEU\_K01 potrafi krytycznie oceniać posiadaną wiedzę i odbierane treści; ma świadomość znaczenia wiedzy w rozwiązywaniu problemów poznawczych i praktycznych, jest świadom własnych ograniczeń i wie, kiedy zwrócić się do ekspertów

### TREŚCI PROGRAMOWE

Forma zajęć - wykład		Liczba godzin
Wy1	Introduction: What Is a Complex System? Real-life empirical examples and models.	2
Wy2	Power-laws in complex systems: Zipf analysis of data in literature, music, urban planning, economy, etc., self-organized criticality.	2
Wy3	Cellular automata: Wolfram's one-dimensional system and universality classes, toy models (e.g. Game of life, Langton's ant) and real-life applications (e.g. modeling traffic jams, etc.).	4
Wy4	Percolation as a simple model of complexity and criticality – Monte Carlo simulations and analytical methods (exact solution on the Bethe lattice, the mean-field and the renormalization group approaches).	4
Wy5	Introduction to complex networks – empirical data, basic measures and theoretical models.	4
Wy6	Spreading phenomena on networks – from virus to opinion.	4
Wy7	Agent-based vs analytical model. Advantages and disadvantages of both approaches.	4
Wy8	Tips for building and analyzing model, including a role of: averaging (time vs. ensemble average), initial conditions (ordered vs disordered), updating schemes (synchronous vs. sequential) and the type of approach (quenched vs. annealed).	2
Wy9	Agent-based modeling in biology, social science and economy- theory and applications.	4
	Suma godzin	<b>30</b>

<b>Forma zajęć - laboratorium</b>		<b>Liczba godzin</b>
La1	Implementation and visualization of a chosen agent-based model such as the Schelling model of spatial segregation in cities, Reynolds boids, etc.	4
La2	Zipf analysis of selected texts	2
La3	Implementation of the selected cellular automata such as the Wolfram's one dimensional system, Game of Life, Langton Ant, etc.	4
La4	Monte Carlo simulations of the percolation model – clusters, paths and criticality	4
La5	Acquiring empirical data from the internet and representing them in a form of a network	2
La6	Calculating basic properties of complex networks, including: degree distribution, average degree, shortest path, average path length, clustering coefficients, degree correlations, robustness	4
La7	Implementing basic contact processes on graphs	4
La8	Designing, developing, verifying and validating models – the team project	6
	Suma godzin	<b>30</b>

<b>STOSOWANE NARZĘDZIA DYDAKTYCZNE</b>
N1. wykład z prezentacją multimedialną N2. projekt zespołowy N3. dyskusje, prezentacje studentów N4. pisemne raporty N5. pracownia komputerowa – programowanie w C++, Python, Julia lub innym języku programowania N6. zasoby cyfrowe N7. konsultacje

#### **OCENA OSIĄGNIĘCIA PRZEDMIOTOWYCH EFEKTÓW UCZENIA SIĘ**

<b>Oceny (F – formująca (w trakcie semestru), P – podsumowująca (na koniec semestru))</b>	<b>Numer efektu uczenia się</b>	<b>Sposób oceny osiągnięcia efektu uczenia się</b>
F1	PEU_W01, PEU_W02, PEU_U0, PEU_U02, PEU_K01- PEU_K03	dyskusje, sprawdzanie postępów w pracowni komputerowej
F2	PEU_W01, PEU_W02, PEU_U0, PEU_U02,	prezentacja końcowa i pisemny raport związany z projektem zespołowym

	PEU_K01- PEU_K03	
P=(F1+F2)/2		

<b>LITERATURA PODSTAWOWA I UZUPEŁNIAJĄCA</b>	
<b><u>LITERATURA PODSTAWOWA:</u></b>	
<p>[1] J. Ladyman, K. Wiesner, What Is a Complex System?, Yale University Press (2020)</p> <p>[2] S. Thurner, R. Hanel, and P. Klimek, Introduction to the Theory of Complex Systems, Oxford University Press (2018)</p> <p>[3] A. L. Barabási, Network Science, Cambridge University Press (2016)</p> <p>[4] M. Newman, Networks: An Introduction, Oxford University Press (2010)</p> <p>[5] J. H. Miller, S. E. Page, Complex Adaptive Systems, Princeton University Press (2007)</p>	
<b><u>LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA:</u></b>	
<p>[6] T. M. Cover, J. A. Thomas, Elements of Information Theory, John Wiley &amp; Sons, Inc. (2006)</p> <p>[7] N. R. Moloney, K. Christensen, Complexity and Criticality, Imperial College Press (2005)</p> <p>[8] I. Białynicki-Birula, I. Białynicka-Birula, Modeling Reality, Oxford University Press (2004)</p> <p>[9] Stephen Wolfram, A New Kind of Science, Wolfram Media (2002)</p> <p>[10] P. Bak, How Nature Works, Springer (1996)</p> <p>[11] Original articles</p>	
<b>OPIEKUN PRZEDMIOTU (IMIE, NAZWISKO, ADRES E-MAIL)</b>	
Katarzyna Weron (katarzyna.weron@pwr.edu.pl)	

<b>WYDZIAŁ PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW TECHNIKI</b>	
<b>KARTA PRZEDMIOTU</b>	
<b>Nazwa przedmiotu w języku polskim:</b>	<b>Wstęp do procesów stochastycznych dla fizyków</b>
<b>Nazwa przedmiotu w języku angielskim:</b>	<b>Introduction to stochastic processes for physicists</b>
<b>Kierunek studiów (jeśli dotyczy):</b>	<b>fizyka techniczna</b>
<b>Specjalność (jeśli dotyczy):</b>	
<b>Poziom i forma studiów:</b>	<b>II stopień, stacjonarna</b>
<b>Rodzaj przedmiotu:</b>	<b>wybieralny</b>
<b>Język wykładowy:</b>	<b>polski</b>
<b>Cykl kształcenia od:</b>	<b>2023/2024</b>
<b>Kod przedmiotu</b>	
<b>Grupa kursów</b>	<b>NIE</b>

	Wykład	Ćwiczenia	Laboratorium	Projekt	Seminarium
Liczba godzin zajęć zorganizowanych w Uczelni (ZZU)	30				
Liczba godzin całkowitego nakładu pracy studenta (CNPS)	75				
Forma zaliczenia	zaliczenie na ocenę				
Dla grupy kursów zaznaczyć kurs końcowy (X)					
<b>Liczba punktów ECTS</b>	<b>2</b>				
w tym liczba punktów odpowiadająca zajęciom o charakterze praktycznym (P)					
w tym liczba punktów ECTS odpowiadająca zajęciom wymagającym bezpośredniego udziału nauczycieli lub innych osób prowadzących zajęcia (BU)	1.28				

#### WYMAGANIA WSTĘPNE W ZAKRESIE WIEDZY, UMIEJĘTNOŚCI I KOMPETENCJI SPOŁECZNYCH

Wiedza, umiejętności i kompetencje w zakresie:

2. Analiza matematyczna z pierwszego stopnia studiów
3. Kurs fizyki ogólnej z pierwszego stopnia studiów

#### CELE PRZEDMIOTU

- C1 Nabycie wiedzy dotyczącej podstawowych pojęć dotyczących rachunku Ito i całek stochastycznych.
- C2 Nabycie umiejętności modelowania i analizy statystycznych własności znanych układów fizycznych w obecności addytywnego oraz multiplikatywnego szumu generowanego przez proces Wienera.
- C3 Nabycie umiejętności rozwiązywania prostych stochastycznych równań różniczkowych.
- C4 Nabywanie i utrwalanie kompetencji społecznych dotyczących przestrzegania obyczajów i zasad obowiązujących w środowisku akademickim.



### PRZEDMIOTOWE EFEKTY UCZENIA SIĘ

Z zakresu wiedzy:

PEU\_W01- zna metody matematyczne stosowane przy opisie układów fizycznych z fluktuacjami

Z zakresu umiejętności:

PEU\_U01 - potrafi analizować zjawiska fizyczne wykorzystując poznane metody opisu teoretycznego, a także dokonywać ich analizy jakościowej i ilościowej

Z zakresu kompetencji społecznych:

PEU\_K01 - potrafi krytycznie oceniać posiadaną wiedzę i odbierane treści; ma świadomość znaczenia wiedzy w rozwiązywaniu problemów poznawczych i praktycznych, jest świadom własnych ograniczeń i wie, kiedy zwrócić się do ekspertów

### TREŚCI PROGRAMOWE

Forma zajęć - wykład		Liczba godzin
Wy1	Podstawy rachunku prawdopodobieństwa, zmienne losowe. Procesy stochastyczne w fizyce.	2
Wy2	Ruch Browna: pierwsze kroki.	2
Wy3	Ruch Browna: proces Wienera.	2
Wy4	Równanie Langevina (I). Proces Ornsteina-Uhlenbecka.	2
Wy5	Równanie Langevina (II). Fluktuacje i dyssypacja. Przejście szumu przez układ dynamiczny.	3
Wy6	Równanie Langevina (III). Całkowanie procesu Ornsteina-Uhlenbecka. Symulacja Monte-Carlo ruchu Browna.	3
Wy7	Stochastyczny oscylator harmoniczny.	2
Wy8	Poza procesy gaussowskie: rozpraszanie elastyczne.	3
Wy9	Rachunek Ito.	2
Wy10	Całki stochastyczne.	3
Wy11	Stochastyczne równania różniczkowe.	3
Wy12	Równanie Fokkera-Plancka. Równanie Smoluchowskiego.	3
	Suma godzin	<b>30</b>

### STOSOWANE NARZĘDZIA DYDAKTYCZNE

N1. Wykład – forma tradycyjna.

N2. Laboratorium komputerowe (w czasie wykładu)

N3. Konsultacje

### OCENA OSIĄGNIĘCIA PRZEDMIOTOWYCH EFEKTÓW UCZENIA SIĘ

Oceny (F – formująca (w trakcie semestru), P – podsumowująca (na koniec semestru))	Numer efektu uczenia się	Sposób oceny osiągnięcia efektu uczenia się
F	PEU_W01, PEU_U01, PEU_K01	Dyskusje w czasie wykładu i konsultacji.
P	PEU_W01, PEU_U01, PEU_K01	Kolokwium pisemne.
P=F (zaliczenie wykładu)		

## LITERATURA PODSTAWOWA I UZUPEŁNIAJĄCA

### **LITERATURA PODSTAWOWA:**

- [1] D.S. Lemons, *An Introduction to Stochastic Processes in Physics*, The Johns Hopkins University Press, 2002.
- [2] K. Jacobs, *Stochastic Processes for Physicists: Understanding noisy Systems*, Cambridge University Press, 2010.

### **LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA:**

- 1] O. Calin, *An informal Introduction to Stochastic Calculus with Applications*, World Scientific, 2015.
- [2] C. Gardiner, *Stochastic Methods*, Springer, 2009.
- [3] A. Janicki, A. Izydorzyc, *Komputerowe metody w modelowaniu stochastycznym*, WNT, 2001.
- [4] A.I. Papoulis, *Probability, Random Variables and Stochastic Processes*, Mc Graw-Hill, 1965;  
Polskie tłumaczenie: A. Papoulis, *Prawdopodobieństwo, zmienne losowe i procesy stochastyczne*, WNT, 1972.

### **OPIEKUN PRZEDMIOTU (IMIĘ, NAZWISKO, ADRES E-MAIL)**

Antoni C. Mituś    [Antoni.mitus@pwr.edu.pl](mailto:Antoni.mitus@pwr.edu.pl)

<b>WYDZIAŁ PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW TECHNIKI</b>	
<b>KARTA PRZEDMIOTU</b>	
Nazwa przedmiotu w języku polskim <b>Wybrane metody charakteryzacji nanomateriałów</b>	
Nazwa przedmiotu w języku angielskim <b>Selected methods of characterization of nanomaterials</b>	
Kierunek studiów (jeśli dotyczy): <b>fizyka techniczna</b>	
Specjalność (jeśli dotyczy):	
Poziom i forma studiów:	<b>II stopień, stacjonarna</b>
Rodzaj przedmiotu:	<b>wybieralny</b>
Język wykładowy:	<b>polski</b>
Cykl kształcenia od:	<b>2023/2024</b>
Kod przedmiotu	
Grupa kursów	<b>TAK</b>

	Wykład	Ćwiczenia	Laboratorium	Projekt	Seminarium
Liczba godzin zajęć zorganizowanych w Uczelni (ZZU)	15			15	
Liczba godzin całkowitego nakładu pracy studenta (CNPS)	25			25	
Forma zaliczenia	zaliczenie na ocenę			zaliczenie na ocenę	
Dla grupy kursów zaznaczyć kurs końcowy (X)	X				
<b>Liczba punktów ECTS</b>	<b>2</b>				
w tym liczba punktów odpowiadająca zajęciom o charakterze praktycznym (P)				1	
w tym liczba punktów ECTS odpowiadająca zajęciom wymagającym bezpośredniego udziału nauczycieli lub innych osób prowadzących zajęcia (BU)	0.68			0.68	

**WYMAGANIA WSTĘPNE W ZAKRESIE WIEDZY, UMIEJĘTNOŚCI I KOMPETENCJI SPOŁECZNYCH**

1. Podstawy spektroskopii.

**CELE PRZEDMIOTU**

C1. Celem kursu jest zapoznanie studentów z wiedzą teoretyczną pozwalającą zrozumieć eksperymentalne metody charakteryzacji nanomateriałów.

C2. Celem kursu jest praktyczne zapoznanie studentów z wybranymi spektroskopowymi metodami badań nanomateriałów przydatnymi przy określaniu ich właściwości strukturalnych, chemicznych (wiązania chemiczne, skład chemiczny), oraz służącymi do wyznaczenia rozmiaru fizycznego nanomateriałów.

#### PRZEDMIOTOWE EFEKTY UCZENIA SIĘ

Z zakresu wiedzy:

PEU\_W01 ma szeroką wiedzę w zakresie wytwarzania materiałów oraz badania ich właściwości strukturalnych stosowanych w nanoinżynierii

...

Z zakresu umiejętności:

PEU\_U01 potrafi (a) obsługiwać skomplikowaną aparaturę pomiarową; (b) planować i przeprowadzać złożone pomiary w celu zbadania specyficznych własności strukturalnych nanomateriałów i poprawnie zinterpretować rezultaty badań

...

Z zakresu kompetencji społecznych:

PEU\_K01 rozumie własne ograniczenia i wie, kiedy zwrócić się do ekspertów

#### TREŚCI PROGRAMOWE

Forma zajęć - wykład		Liczba godzin
Wy1	Wstęp do wykładu: nanomateriały i ich badanie	1
Wy2	Spektroskopia rozpraszania Rutherforda (RBS)	2
Wy3	Transmisyjna mikroskopia elektronowa (TEM)	2
Wy4	Skaningowa mikroskopia elektronowa (SEM)	2
Wy5	Mikroanaliza rentgenowska (EDS/EDX)	2
Wy6	Dynamiczne rozpraszanie światła (DLS)	2
Wy7	Rozpraszanie Ramana i absorpcja podczerwieni (wiązanie chemiczne)	2
Wy8	Kolokwium zaliczeniowe	2
	Suma godzin	<b>15</b>

Forma zajęć - projekt		Liczba godzin
Pr1	Wstęp do zajęć	1
Pr2	Pomiary rozpraszania Ramana – mody akustyczne i optyczne	3
Pr3	Absorpcja w podczerwieni – metoda ATR i transmisji	3
Pr4	Dynamiczne rozpraszanie światła (DLS)	3
Pr5	Analiza i modelowanie widm RBS w pakiecie QUARK lub SIMNRA	3
Pr6	Zajęcia odróbkowe	2
	Suma godzin	<b>15</b>

### STOSOWANE NARZĘDZIA DYDAKTYCZNE

- N1. Wykład z użyciem narzędzi multimedialnych
- N2. Samodzielne wykonanie doświadczeń w laboratorium
- N3. Samodzielne opracowanie i analiza wyników eksperymentalnych

### OCENA OSIĄGNIĘCIA PRZEDMIOTOWYCH EFEKTÓW UCZENIA SIĘ

Oceny (F – formująca (w trakcie semestru), P – podsumowująca (na koniec semestru))	Numer efektu uczenia się	Sposób oceny osiągnięcia efektu uczenia się
F1 (wykład)	PEU_W01	Kolokwium pisemne
F2 (projekt)	PEU_U01	Sprawozdanie pisemne
$P = F1 * 0.5 + F2 * 0.5$		

### LITERATURA PODSTAWOWA I UZUPEŁNIAJĄCA

#### **LITERATURA PODSTAWOWA:**

- [1] Fizyka Ciała Stałego, Neil W. Ashcroft, N. David Mermin, PWN
- [2] Wstęp do Fizyki Ciała Stałego, Charles Kittel, PWN

#### **LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA:**

- [1] Introductory Raman Spectroscopy, John R. Ferraro, Kazuo Nakamoto and Chris W. Brown (Elsevier, 2003)

#### **OPIEKUN PRZEDMIOTU (IMIE, NAZWISKO, ADRES E-MAIL)**

Grzegorz Zatryb, Grzegorz.zatryb@pwr.wroc.pl

<b>WYDZIAŁ PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW TECHNIKI</b>	
<b>KARTA PRZEDMIOTU</b>	
<b>Nazwa przedmiotu w języku polskim:</b>	<b>Wybrane zagadnienia fizyki struktur niskowymiarowych</b>
<b>Nazwa przedmiotu w języku angielskim:</b>	<b>Selected topics in physics of low dimensional structures</b>
<b>Kierunek studiów (jeśli dotyczy):</b>	<b>fizyka techniczna</b>
<b>Specjalność (jeśli dotyczy):</b>	
<b>Poziom i forma studiów:</b>	<b>II stopień, stacjonarna</b>
<b>Rodzaj przedmiotu:</b>	<b>wybieralny</b>
<b>Język wykładowy:</b>	<b>polski</b>
<b>Cykl kształcenia od:</b>	<b>2023/2024</b>
<b>Kod przedmiotu</b>	
<b>Grupa kursów</b>	<b>TAK</b>

	Wykład	Ćwiczenia	Laboratorium	Projekt	Seminarium
Liczba godzin zajęć zorganizowanych w Uczelni (ZZU)	30	30			
Liczba godzin całkowitego nakładu pracy studenta (CNPS)	50	50			
Forma zaliczenia	zaliczenie na ocenę	zaliczenie na ocenę			
Dla grupy kursów zaznaczyć kurs końcowy (X)	X				
<b>Liczba punktów ECTS</b>	<b>4</b>				
w tym liczba punktów odpowiadająca zajęciom o charakterze praktycznym (P)		2			
w tym liczba punktów ECTS odpowiadająca zajęciom wymagającym bezpośredniego udziału nauczycieli lub innych osób prowadzących zajęcia (BU)	1.28	1.28			

**WYMAGANIA WSTĘPNE W ZAKRESIE WIEDZY, UMIEJĘTNOŚCI I KOMPETENCJI SPOŁECZNYCH**

Zaliczone kursy: Mechanika kwantowa – 1; Fizyka ciała stałego – 1; Podstawy fizyki półprzewodników.

**CELE PRZEDMIOTU**

- C1. Celem kursu jest nabycie zaawansowanej wiedzy, z uwzględnieniem jej aspektów aplikacyjnych, w dziedzinie teorii struktur niskowymiarowych.
- C2. Nabycie umiejętności samodzielnego rozwiązywania wybranych zagadnień dotyczących teorii struktur niskowymiarowych.
- C3. Zdobycie umiejętności samodzielnego pozyskiwania wiedzy z literatury naukowej.

### PRZEDMIOTOWE EFEKTY UCZENIA SIĘ

Z zakresu wiedzy:

PEU\_W01 posiada zaawansowaną wiedzę w zakresie teorii struktur niskowymiarowych

Z zakresu umiejętności:

PEU\_U01 potrafi rozwiązywać wybrane zagadnienia w zakresie podstaw teorii struktur niskowymiarowych

PEU\_U02 umie stosować zdobytą wiedzę w praktyce naukowej i technicznej

PEU\_U03 umie poszerzać wiedzę w oparciu o literaturę naukową

Z zakresu kompetencji społecznych:

PEU\_K01 rozumie konieczność samokształcenia

### TREŚCI PROGRAMOWE

Forma zajęć - wykład		Liczba godzin
Wy1- Wy2	Przewodnictwo elektryczne struktur dwuwymiarowych. Mechanizmy rozpraszania. Rozpraszanie między podpasmami.	4
Wy3- Wy4	Układy dwuwymiarowe o ultra wysokich ruchliwościach. Transport balistyczny.	3
Wy4- Wy5	Zjawisko blokady kulombowskiej. Tranzystory jednoelektrodowe.	3
Wy6- Wy7	Transport wertykalny i tunelowanie. Stany rezonansowe w układach dwuwymiarowych.	4
Wy8- Wy9	Zjawiska fizyczne w układach niskowymiarowych poddanych działaniu silnych pól elektrycznych. Oscylacje Blocha. Ekscytonowy efekt Starka.	4
Wy10 - Wy13	Własności układów dwuwymiarowych w silnych polach magnetycznych. Całkowity i ułamkowy kwantowy efekt Halla. Złożone fermiony.	8
Wy14 - Wy15	Zjawiska magnetoptyczne w strukturach niskowymiarowych. Wpływ pola magnetycznego na absorpcję światła i fotoluminescencję. Rezonans cyklotronowy.	4
	Suma godzin	<b>30</b>

Forma zajęć - ćwiczenia		Liczba godzin
Ćw1- Ćw3	Przewodnictwo elektryczne struktur dwuwymiarowych.	6
Ćw4- Ćw5	Stany rezonansowe w układach dwuwymiarowych.	4
Ćw6- Ćw7	Wpływ silnych pól elektrycznych na stany elektronowe w układach niskowymiarowych.	4
Ćw8- Ćw12	Własności układów dwuwymiarowych w silnych polach magnetycznych.	10
Ćw13- Ćw15	Wpływ pola magnetycznego na absorpcję światła i fotoluminescencję.	6
	Suma godzin	<b>30</b>

**STOSOWANE NARZĘDZIA DYDAKTYCZNE**

- N1. Wykład problemowy.  
N2. Ćwiczenia tradycyjne.

**OCENA OSIĄGNIĘCIA PRZEDMIOTOWYCH EFEKTÓW UCZENIA SIĘ**

Oceny (F – formująca (w trakcie semestru), P – podsumowująca (na koniec semestru))	Numer efektu uczenia się	Sposób oceny osiągnięcia efektu uczenia się
F1 (wykład)	PEU_W01- PEU_U01	Kolokwium..
F2 (ćwiczenia)	PEU_U01- PEU_U03, PEU_K01	Kolokwium. Dyskusje.
P = 0.5*(F1+F2)		

**LITERATURA PODSTAWOWA I UZUPEŁNIAJĄCA****LITERATURA PODSTAWOWA:**

- [1] K. Sierański, M. Kubisa, J. Szatkowski, J. Misiewicz, Półprzewodniki i struktury półprzewodnikowe. Oficyna Wydawnicza PWr, Wrocław 2002

**LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA:**

- [1] G. Bastard, Wave Mechanics Applied to Semiconductor Heterostructures. Les Editions de Physique, Les Ulis (France) 1988  
[2] E. L. Ivchenko, G. Pikus, Superlattices and Other Heterostructures, Springer, Berlin 1995  
[3] L. Jacak, P. Hawrylak, A. Wójs, Kropki kwantowe. Oficyna Wydawnicza PWr, Wrocław 1996  
[4] M. J. Kelly, Low-Dimensional Semiconductors. Materials, Physics, Technology, Devices. Clarendon Press, Oxford 1995

**OPIEKUN PRZEDMIOTU (IMIE, NAZWISKO, ADRES E-MAIL)**

Maciej Kubisa (maciej.kubisa@pwr.edu.pl)



<b>WYDZIAŁ PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW TECHNIKI</b>	
<b>KARTA PRZEDMIOTU</b>	
<b>Nazwa przedmiotu w języku polskim</b>	<b>Wybrane zagadnienia fotoniki</b>
<b>Nazwa przedmiotu w języku angielskim</b>	<b>Selected topics in photonics</b>
<b>Kierunek studiów (jeśli dotyczy): fizyka techniczna</b>	
<b>Specjalność (jeśli dotyczy):</b>	
<b>Poziom i forma studiów:</b>	<b>II stopień, stacjonarna</b>
<b>Rodzaj przedmiotu:</b>	<b>wybieralny</b>
<b>Język wykładowy:</b>	<b>polski</b>
<b>Cykl kształcenia od:</b>	<b>2023/2024</b>
<b>Kod przedmiotu</b>	
<b>Grupa kursów</b>	<b>TAK</b>

	<b>Wykład</b>	<b>Ćwiczenia</b>	<b>Laboratorium</b>	<b>Projekt</b>	<b>Seminarium</b>
Liczba godzin zajęć zorganizowanych w Uczelni (ZZU)	2		2		
Liczba godzin całkowitego nakładu pracy studenta (CNPS)					
Forma zaliczenia	zaliczenie na ocenę		zaliczenie na ocenę		
Dla grupy kursów zaznaczyć kurs końcowy (X)	X				
<b>Liczba punktów ECTS</b>	<b>4</b>				
w tym liczba punktów odpowiadająca zajęciom o charakterze praktycznym (P)			2		
w tym liczba punktów ECTS odpowiadająca zajęciom wymagającym bezpośredniego udziału nauczycieli lub innych osób prowadzących zajęcia (BU)	1.28		1.28		

**WYMAGANIA WSTĘPNE W ZAKRESIE WIEDZY, UMIEJĘTNOŚCI I KOMPETENCJI SPOŁECZNYCH**

1. Podstawowa wiedza z zakresu teorii elektromagnetyzmu

**CELE PRZEDMIOTU**

C1 Zdobycie wiedzy z zakresu propagacji promieniowania elektromagnetycznego w opisie geometrycznym i falowym w ośrodkach objętościowych i w falowodach, podstaw oddziaływania światła z materią, w tym detekcji promieniowania oraz zjawisk nieliniowych, podstaw optyki statystycznej, propagacji światła w ośrodkach periodycznych.

C2 Zdobycie umiejętności wykorzystania zaawansowanych metod numerycznych do analizowania problemów z zakresu propagacji promieniowania elektromagnetycznego w ośrodkach objętościowych i w falowodach, podstaw oddziaływania światła z materią, w tym detekcji promieniowania oraz zjawisk nieliniowych, podstaw optyki statystycznej, a także propagacji światła w ośrodkach periodycznych.

### PRZEDMIOTOWE EFEKTY UCZENIA SIĘ

Z zakresu wiedzy:

PEU\_W01 Zna zagadnienia z zakresu propagacji promieniowania elektromagnetycznego w opisie geometrycznym i falowym w ośrodkach objętościowych i w falowodach.

PEU\_W02 Zna zagadnienia dotyczące podstaw oddziaływania światła z materią, w tym detekcji promieniowania oraz zjawisk nieliniowych.

PEU\_W03 Zna zagadnienia dotyczące podstaw optyki statystycznej.

PEU\_W04 Zna zagadnienia dotyczące propagacji światła w ośrodkach periodycznych, w szczególności w kryształach fotonicznych.

Z zakresu umiejętności:

PEU\_U01 Potrafi analizować zagadnienia z zakresu propagacji promieniowania elektromagnetycznego w ośrodkach objętościowych i w falowodach z wykorzystaniem zaawansowanych metod numerycznych.

PEU\_U02 Potrafi analizować zagadnienia dotyczące podstaw oddziaływania światła z materią, w tym detekcji promieniowania oraz zjawisk nieliniowych z wykorzystaniem zaawansowanych metod numerycznych.

PEU\_U03 Potrafi analizować zagadnienia dotyczące podstaw optyki statystycznej z wykorzystaniem zaawansowanych metod numerycznych.

PEU\_U04 Potrafi analizować zagadnienia dotyczące propagacji światła w ośrodkach periodycznych, w szczególności w kryształach fotonicznych z wykorzystaniem zaawansowanych metod numerycznych.

Z zakresu kompetencji społecznych:

PEU\_K01 Potrafi analizować i krytycznie oceniać odbierane treści.

### TREŚCI PROGRAMOWE

Forma zajęć: wykład		Liczba godzin
Wy1	Fale elektromagnetyczne	2
Wy2	Promienie i wiązki	2
Wy3	Falowody i światłowody	2
Wy4	Rezonatory optyczne	2
Wy5	Oddziaływanie światła z materią	2
Wy6	Właściwości światłowodów	2
Wy7	Zjawiska optyki nieliniowej	2
Wy8	Podstawy optyki statystycznej	2
Wy9	Detekcja promieniowania optycznego	2
Wy10	Propagacja w ośrodkach periodycznych	2
Wy11	Sprzęganie falowodów	2
Wy12	Zjawiska nieliniowej optyki światłowodów	2
Wy13	Wzmacniacze optyczne	2
Wy14	Zaliczenie końcowe	2
Wy15	Zaliczenie poprawkowe	2
	Suma godzin	<b>30</b>

Forma zajęć: laboratorium		Liczba godzin
La1	Wprowadzenie do środowiska modelowania numerycznego	2
La2	Symulacje numeryczne poświęcone zagadnieniom wykładu Wy1	2
La3	Symulacje numeryczne poświęcone zagadnieniom wykładu Wy2	2
La4	Symulacje numeryczne poświęcone zagadnieniom wykładu Wy3	2

La5	Zaliczenie cząstkowe 1	2
La6	Symulacje numeryczne poświęcone zagadnieniom wykładu Wy4	2
La7	Symulacje numeryczne poświęcone zagadnieniom wykładu Wy5	2
La8	Zaliczenie cząstkowe 2	2
La9	Symulacje numeryczne poświęcone zagadnieniom wykładu Wy7	2
La10	Symulacje numeryczne poświęcone zagadnieniom wykładu Wy8	2
La11	Zaliczenie cząstkowe 3	2
La12	Symulacje numeryczne poświęcone zagadnieniom wykładu Wy10	2
La13	Symulacje numeryczne poświęcone zagadnieniom wykładu Wy11	2
La14	Symulacje numeryczne poświęcone zagadnieniom wykładu Wy12	2
La15	Zaliczenie cząstkowe 4	2
	Suma godzin	30

### STOSOWANE NARZĘDZIA DYDAKTYCZNE

- N1. Wykład prowadzony z wykorzystaniem prezentacji multimedialnej.  
 N2. Laboratorium komputerowe z dostępem do środowiska symulacji numerycznych.  
 N3. Udostępnione modele numeryczne ilustrujące omawiane zagadnienia.  
 N4. Zadania laboratoryjne polegające na numerycznym analizowaniu problemów z zakresu fotoniki z wykorzystaniem udostępnionych modeli numerycznych.  
 N5. Konsultacje.

### OCENA OSIĄGNIĘCIA PRZEDMIOTOWYCH EFEKTÓW UCZENIA SIĘ

Oceny (F – formująca (w trakcie semestru), P – podsumowująca (na koniec semestru))	Numer efektu uczenia się	Sposób oceny osiągnięcia efektu uczenia się
F1	PEU_U01, PEU_K01	Ocena rozwiązań zadań polegających na numerycznym analizowaniu problemów z zakresu propagacji fal elektromagnetycznych – Zaliczenie cząstkowe 1
F2	PEU_U01, PEU_U02, PEU_K01	Ocena rozwiązań zadań polegających na numerycznym analizowaniu problemów z zakresu: rezonatorów optycznych oraz oddziaływania światła z materią – Zaliczenie cząstkowe 2
F3	PEU_U02, PEU_U03, PEU_K01	Ocena rozwiązań zadań polegających na numerycznym analizowaniu problemów z zakresu: optyki nieliniowej oraz podstaw optyki statystycznej – Zaliczenie cząstkowe 3
F4	PEU_U01, PEU_U02, PEU_U04	Ocena rozwiązań zadań polegających na numerycznym analizowaniu problemów z zakresu: propagacji światła w ośrodkach periodycznych, sprzęgania falowodów oraz nieliniowej optyki światłowodów – Zaliczenie cząstkowe 4
F5	PEU_W01, PEU_W02, PEU_W03, PEU_W04	Zaliczenie pisemne sprawdzające wiedzę z zakresu PEU_W01, PEU_W02, PEU_W03, PEU_W04
$P = 0,28 \cdot F5 + 0,18 \cdot F1 + 0,18 \cdot F2 + 0,18 \cdot F3 + 0,18 \cdot F4$		

<b>LITERATURA PODSTAWOWA I UZUPEŁNIAJĄCA</b>
<b><u>LITERATURA PODSTAWOWA:</u></b> 1. A. Yariv, P. Yeh, <i>Photonics: optical electronics in modern communications</i> , Oxford University Press, 2007 2. B. E. A, Saleh, M. C. Teich, <i>Fundamentals of photonics</i> , Wiley, 2019 3. notatki udostępnione przez prowadzących
<b>OPIEKUN PRZEDMIOTU (IMIE, NAZWISKO, ADRES E-MAIL)</b> Karol Tarnowski, karol.tarnowski@pwr.edu.pl Jacek Olszewski, jacek.olszewski@pwr.edu.pl

<b>WYDZIAŁ PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW TECHNIKI</b>	
<b>KARTA PRZEDMIOTU</b>	
<b>Nazwa przedmiotu w języku polskim: Wybrane zagadnienia współczesnej fizyki</b>	
<b>Nazwa przedmiotu w języku angielskim: Selected issues of modern physics</b>	
<b>Kierunek studiów (jeśli dotyczy): fizyka techniczna</b>	
<b>Specjalność (jeśli dotyczy):</b>	
<b>Poziom i forma studiów:</b>	<b>II stopień, stacjonarna</b>
<b>Rodzaj przedmiotu:</b>	<b>obowiązkowy</b>
<b>Język wykładowy:</b>	<b>polski</b>
<b>Cykl kształcenia od:</b>	<b>2023/2024</b>
<b>Kod przedmiotu</b>	
<b>Grupa kursów</b>	<b>NIE</b>

	Wykład	Ćwiczenia	Laboratorium	Projekt	Seminarium
Liczba godzin zajęć zorganizowanych w Uczelni (ZZU)					30
Liczba godzin całkowitego nakładu pracy studenta (CNPS)					50
Forma zaliczenia					zaliczenie na ocenę
Dla grupy kursów zaznaczyć kurs końcowy (X)					
<b>Liczba punktów ECTS</b>					<b>2</b>
w tym liczba punktów odpowiadająca zajęciom o charakterze praktycznym (P)					2
w tym liczba punktów ECTS odpowiadająca zajęciom wymagającym bezpośredniego udziału nauczycieli lub innych osób prowadzących zajęcia (BU)					1.28

**WYMAGANIA WSTĘPNE W ZAKRESIE WIEDZY, UMIEJĘTNOŚCI I KOMPETENCJI SPOŁECZNYCH**

Student posiada zaawansowaną wiedzę i umiejętności z fizyki.

**CELE PRZEDMIOTU**

Poznanie nowych osiągnięć i metod używanych w różnych zastosowaniach fizyki.

### PRZEDMIOTOWE EFEKTY UCZENIA SIĘ

Z zakresu wiedzy:

PEU\_W01 zna główne trendy rozwojowe dyscypliny – nauki fizyczne

Z zakresu umiejętności:

PEU\_U01 umie komunikować się ze zróżnicowanymi kręgami odbiorców, m.in. przy użyciu różnych nowoczesnych technologii informacyjno-komunikacyjnych na tematy związane z fizyką techniczną oraz prowadzić debatę

Z zakresu kompetencji społecznych:

PEU\_K01 potrafi myśleć i działać w sposób przedsiębiorczy oraz ma świadomość roli społecznej absolwenta uczelni technicznej a dodatkowo potrafi inicjować działania na rzecz interesu publicznego

Forma zajęć - seminarium		Liczba godzin
Se1	Prezentacje indywidualne dotyczące omówienia aktualnego stanu wiedzy związanego z problematyką realizowanej pracy dyplomowej oraz odniesienia przewidywanego, oryginalnego własnego wkładu do osiągnięć literaturowych.	25
Se2	Dyskusja w grupie seminaryjnej nt. stanu wiedzy literaturowej.	5
	Suma godzin	<b>30</b>

### STOSOWANE NARZĘDZIA DYDAKTYCZNE

N1. Dyskusja nad prezentowanymi wynikami badań

### OCENA OSIĄGNIĘCIA PRZEDMIOTOWYCH EFEKTÓW UCZENIA SIĘ

Oceny (F – formująca (w trakcie semestru), P – podsumowująca (na koniec semestru))	Numer efektu uczenia się	Sposób oceny osiągnięcia efektu uczenia się
F1	PEU_W01 PEU_U01 PEU_K01	ocena przygotowanej prezentacji
P=F1		

### LITERATURA PODSTAWOWA I UZUPEŁNIAJĄCA

#### **LITERATURA PODSTAWOWA:**

[1] Czasopisma naukowe z fizyki.

#### **OPIEKUN PRZEDMIOTU (IMIĘ, NAZWISKO, ADRES E-MAIL)**

Grzegorz Sęk, grzegorz.sek@pwr.edu.pl

## WYDZIAŁ PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW TECHNIKI

## KARTA PRZEDMIOTU

Nazwa przedmiotu w języku polskim: Wykład monograficzny – 1

Nazwa przedmiotu w języku angielskim: Monographic lecture – 1

Kierunek studiów (jeśli dotyczy): fizyka techniczna

Specjalność (jeśli dotyczy):

Poziom i forma studiów: II stopień, stacjonarna

Rodzaj przedmiotu: obowiązkowy

Język wykładowy: polski/angielski\*

Cykl kształcenia od: 2023/2024

Kod przedmiotu

Grupa kursów NIE

	Wykład	Ćwiczenia	Laboratorium	Projekt	Seminarium
Liczba godzin zajęć zorganizowanych w Uczelni (ZZU)	30				
Liczba godzin całkowitego nakładu pracy studenta (CNPS)	50				
Forma zaliczenia	zaliczenie na ocenę				
Dla grupy kursów zaznaczyć kurs końcowy (X)					
<b>Liczba punktów ECTS</b>	<b>2</b>				
w tym liczba punktów odpowiadająca zajęciom o charakterze praktycznym (P)					
w tym liczba punktów ECTS odpowiadająca zajęciom wymagającym bezpośredniego udziału nauczycieli lub innych osób prowadzących zajęcia (BU)	1.28				

## WYMAGANIA WSTĘPNE W ZAKRESIE WIEDZY, UMIEJĘTNOŚCI I KOMPETENCJI SPOŁECZNYCH

Student posiada zaawansowaną wiedzę i umiejętności z fizyki.

## CELE PRZEDMIOTU

Celem kursu jest zapoznanie studentów z aktualną wiedzą dotyczącą badań i osiągnięć w dziedzinie fizyki fazy skondensowanej

### PRZEDMIOTOWE EFEKTY UCZENIA SIĘ

Z zakresu wiedzy:

PEU\_W01 zna kontekst omawianych badań i osiągnięć w dziedzinie fizyki fazy skondensowanej

...

Z zakresu umiejętności:

PEU\_U01 potrafi rozwiązywać zadania i problemy w oparciu o zdobytą wiedzę oraz informacje pozyskane z literatury naukowo-technicznej w języku polskim i angielskim

PEU\_U02 potrafi sformułować wnioski i opinie nt. zdobytych informacji

PEU\_U03 potrafi prowadzić dyskusje w języku polskim i obcym na tematy z fizyki fazy skondensowanej

...

Z zakresu kompetencji społecznych:

PEU\_K01 jest gotów do krytycznej oceny posiadanej i nabywanej wiedzy

PEU\_K02 rozumie potrzebę popularyzacji fizyki

Forma zajęć - seminarium		Liczba godzin
W1 – W15	Wykład monograficzny na temat aktualnych badań i osiągnięć w dziedzinie fizyki fazy skondensowanej	30
	Suma godzin	<b>30</b>

### STOSOWANE NARZĘDZIA DYDAKTYCZNE

N1. Wykłady problemowe

N2. Dyskusja na temat poruszanych zagadnień

N3. Konsultacje Seminarium problemowe, prezentacja

### OCENA OSIĄGNIĘCIA PRZEDMIOTOWYCH EFEKTÓW UCZENIA SIĘ

Oceny (F – formująca (w trakcie semestru), P – podsumowująca (na koniec semestru))	Numer efektu uczenia się	Sposób oceny osiągnięcia efektu uczenia się
F	PEU_W01 PEU_U01 - 3 PEU_K01 - 2	Kolokwium zaliczeniowe
P = F		

### LITERATURA PODSTAWOWA I UZUPEŁNIAJĄCA

#### LITERATURA PODSTAWOWA:

Określona przez wykładowcę.

#### LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA:

Artykuły i prace przeglądowe publikowane na przełomie ostatnich lat.

#### **OPIEKUN PRZEDMIOTU (IMIE, NAZWISKO, ADRES E-MAIL)**

Ekspert w dziedzinie fizyki fazy skondensowanej



<b>WYDZIAŁ PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW TECHNIKI</b>	
<b>KARTA PRZEDMIOTU</b>	
<b>Nazwa przedmiotu w języku polskim:</b>	<b>Wykład monograficzny – 2</b>
<b>Nazwa przedmiotu w języku angielskim:</b>	<b>Monographic lecture – 2</b>
<b>Kierunek studiów (jeśli dotyczy):</b>	<b>fizyka techniczna</b>
<b>Specjalność (jeśli dotyczy):</b>	
<b>Poziom i forma studiów:</b>	<b>II stopień, stacjonarna</b>
<b>Rodzaj przedmiotu:</b>	<b>obowiązkowy</b>
<b>Język wykładowy:</b>	<b>polski</b>
<b>Cykl kształcenia od:</b>	<b>2023/2024</b>
<b>Kod przedmiotu</b>	
<b>Grupa kursów</b>	<b>NIE</b>

	<b>Wykład</b>	<b>Ćwiczenia</b>	<b>Laboratorium</b>	<b>Projekt</b>	<b>Seminarium</b>
Liczba godzin zajęć zorganizowanych w Uczelni (ZZU)	30				
Liczba godzin całkowitego nakładu pracy studenta (CNPS)	50				
Forma zaliczenia	zaliczenie na ocenę				
Dla grupy kursów zaznaczyć kurs końcowy (X)					
<b>Liczba punktów ECTS</b>	<b>2</b>				
w tym liczba punktów odpowiadająca zajęciom o charakterze praktycznym (P)					
w tym liczba punktów ECTS odpowiadająca zajęciom wymagającym bezpośredniego udziału nauczycieli lub innych osób prowadzących zajęcia (BU)	1.28				

**WYMAGANIA WSTĘPNE W ZAKRESIE WIEDZY, UMIEJĘTNOŚCI I KOMPETENCJI SPOŁECZNYCH**

Student posiada zaawansowaną wiedzę i umiejętności z fizyki.

**CELE PRZEDMIOTU**

Celem kursu jest zapoznanie studentów z aktualną wiedzą dotyczącą badań i osiągnięć w dziedzinie fizyki fazy skondensowanej

### PRZEDMIOTOWE EFEKTY UCZENIA SIĘ

Z zakresu wiedzy:

PEU\_W01 zna kontekst omawianych badań i osiągnięć w dziedzinie fizyki fazy skondensowanej

...

Z zakresu umiejętności:

PEU\_U01 potrafi rozwiązywać zadania i problemy w oparciu o zdobytą wiedzę oraz informacje pozyskane z literatury naukowo-technicznej w języku polskim i angielskim

PEU\_U02 potrafi sformułować wnioski i opinie nt. zdobytych informacji

PEU\_U03 potrafi prowadzić dyskusje w języku polskim i obcym na tematy z fizyki fazy skondensowanej

...

Z zakresu kompetencji społecznych:

PEU\_K01 jest gotów do krytycznej oceny posiadanej i nabywanej wiedzy

PEU\_K02 rozumie potrzebę popularyzacji fizyki

Forma zajęć - seminarium		Liczba godzin
W1 – W15	Wykład monograficzny na temat aktualnych badań i osiągnięć w dziedzinie fizyki fazy skondensowanej	30
	Suma godzin	<b>30</b>

### STOSOWANE NARZĘDZIA DYDAKTYCZNE

N1. Wykłady problemowe

N2. Dyskusja na temat poruszanych zagadnień

N3. Konsultacje Seminarium problemowe, prezentacja

### OCENA OSIĄGNIĘCIA PRZEDMIOTOWYCH EFEKTÓW UCZENIA SIĘ

Oceny (F – formująca (w trakcie semestru), P – podsumowująca (na koniec semestru))	Numer efektu uczenia się	Sposób oceny osiągnięcia efektu uczenia się
F	PEU_W01 PEU_U01 - 3 PEU_K01 - 2	Kolokwium zaliczeniowe
P = F		

### LITERATURA PODSTAWOWA I UZUPEŁNIAJĄCA

#### **LITERATURA PODSTAWOWA:**

Określona przez wykładowcę.

#### **LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA:**

Artykuły i prace przeglądowe publikowane na przełomie ostatnich lat.

#### **OPIEKUN PRZEDMIOTU (IMIE, NAZWISKO, ADRES E-MAIL)**

Ekspert w dziedzinie fizyki fazy skondensowanej

<b>WYDZIAŁ PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW TECHNIKI</b>	
<b>KARTA PRZEDMIOTU</b>	
<b>Nazwa przedmiotu w języku polskim: Zaawansowana informatyka i kryptografia kwantowa</b>	
<b>Nazwa przedmiotu w języku angielskim: Advanced quantum information processing and quantum cryptography</b>	
<b>Kierunek studiów (jeśli dotyczy): fizyka techniczna</b>	
<b>Specjalność (jeśli dotyczy):</b>	
<b>Poziom i forma studiów:</b>	<b>II stopień, stacjonarna</b>
<b>Rodzaj przedmiotu:</b>	<b>wybieralny</b>
<b>Język wykładowy:</b>	<b>polski</b>
<b>Cykl kształcenia od:</b>	<b>2023/2024</b>
<b>Kod przedmiotu</b>	
<b>Grupa kursów</b>	<b>NIE</b>

	<b>Wykład</b>	<b>Ćwiczenia</b>	<b>Laboratorium</b>	<b>Projekt</b>	<b>Seminarium</b>
Liczba godzin zajęć zorganizowanych w Uczelni (ZZU)	30				
Liczba godzin całkowitego nakładu pracy studenta (CNPS)	50				
Forma zaliczenia	zaliczenie na ocenę				
Dla grupy kursów zaznaczyć kurs końcowy (X)					
<b>Liczba punktów ECTS</b>	<b>2</b>				
w tym liczba punktów odpowiadająca zajęciom o charakterze praktycznym (P)	0				
w tym liczba punktów ECTS odpowiadająca zajęciom wymagającym bezpośredniego udziału nauczycieli lub innych osób prowadzących zajęcia (BU)	1.28				

**WYMAGANIA WSTĘPNE W ZAKRESIE WIEDZY, UMIEJĘTNOŚCI I KOMPETENCJI SPOŁECZNYCH**

1. Wiedza z zakresu mechaniki kwantowej

**CELE PRZEDMIOTU**

- C1 Zapoznanie studentów z obecnym stanem wiedzy z zakresu informatyki kwantowej  
 C2 Osiągnięcie przez studentów klarownego poziomu wiedzy w zakresie praktycznej kryptografii kwantowej

### PRZEDMIOTOWE EFEKTY UCZENIA SIĘ

Z zakresu wiedzy:

PEU\_W01-wiedza dotycząca informatyki kwantowej i kwantowej kryptografii

Z zakresu umiejętności:

PEU\_U01- umiejętność stosowania metod kwantowej informatyki i kwantowej kryptografii

Z zakresu kompetencji społecznych:

PEU\_K01– umiejętność krytycznej oceny zakresu swojej wiedzy i rozumienie konieczności samokształcenia i podnoszenia kwalifikacji

PEU\_K02- niezależnego, twórczego i racjonalnego myślenia

### TREŚCI PROGRAMOWE

Forma zajęć: wykład		Liczba godzin
Wy1	Przetwarzanie informacji kwantowej – założenia teoretyczne	2
Wy2	Informacja klasyczna i kwantowa; Macierz gęstości – opis stanu informacji	2
Wy3	Reprezentacja Schmidta oraz stany splątane	2
Wy4	Pomiar Von Neumanna i superwybór Żurka (einselection); Możliwy scenariusz pomiaru kwantowego z uwzględnieniem granicy relatywistycznej dla propagacji oddziaływania	2
Wy5	Geometryczne własności macierzy gęstości – geometria informacji kwantowej; Geometria qubitu – zbiór wypukły macierzy gęstości qubitu (sfera Blocha)	2
Wy6	Stany Bella; Protokoły kwantowe	2
Wy7	Twierdzenia No-Cloning, No-Broadcasting, No-Deleting dla informacji kwantowej; Ewolucja czasowa macierzy gęstości – ewolucja informacji kwantowej	2
Wy8	Oscylacje Rabiego – kontrola nad qubitami	2
Wy9	Bezpieczeństwo kryptosystemów; Protokoły bezwarunkowo bezpieczne (szyfrowania OTP, uwierzytelnienia W-C)	2
Wy10	Protokoły kwantowej dystrybucji klucza (DV-QKD niesplątaniowa i splątaniowa)	2
Wy11	Procedury informatyki klasycznej w protokołach QKD	2
Wy12	Implementacje QKD na przykładach Clavis II oraz EPR S405 Quelle	2
Wy13	Kwantowe generatory liczb prawdziwie losowych	2
Wy14	Splątanie kwantowe dla QKD, QSDC, quantum OTP, EQRNG	2
Wy15	Komputer kwantowy - supremacja kwantowa	2
	Suma godzin	<b>30</b>

### STOSOWANE NARZĘDZIA DYDAKTYCZNE

N1. Wykład – forma tradycyjna.

N2. Konsultacje.

N3. Praca własna – samodzielne studia i przygotowanie do egzaminu.

## OCENA OSIĄGNIĘCIA PRZEDMIOTOWYCH EFEKTÓW UCZENIA SIĘ

Oceny (F – formująca (w trakcie semestru), P – podsumowująca (na koniec semestru))	Numer efektu uczenia się	Sposób oceny osiągnięcia efektu uczenia się
F1	PEU_W01 PEU_U01 PEU_K01 PEU_K02	Zaliczenie na podstawie kolokwium lub samodzielnego opracowania
P=F1		

### LITERATURA PODSTAWOWA I UZUPEŁNIAJĄCA

#### **LITERATURA PODSTAWOWA:**

[1] Janusz Jacak, Quantum information and cryptography, Skrypt PWr, 2019

#### **LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA:**

[1] M. A. Nielsen, I. L. Chuang, Quantum Computation & Quantum Information, Cambridge UP 2000

[2] D. Bouwmeester, A. Ekert, A. Zeilinger, The Physics of Quantum Information, Springer Verlag 2000

[3] bieżąca literatura w dziedzinie

#### **OPIEKUN PRZEDMIOTU (IMIE, NAZWISKO, ADRES E-MAIL)**

Janusz E. Jacak, janusz.jacak@pwr.edu.pl

<b>WYDZIAŁ PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW TECHNIKI</b>	
<b>KARTA PRZEDMIOTU</b>	
<b>Nazwa przedmiotu w języku polskim: Zaawansowana mechanika analityczna i elektrodynamika</b>	
<b>Nazwa przedmiotu w języku angielskim: Advanced analytical mechanics and electrodynamics</b>	
<b>Kierunek studiów (jeśli dotyczy): fizyka techniczna</b>	
<b>Specjalność (jeśli dotyczy):</b>	
<b>Poziom i forma studiów:</b>	<b>II stopień, stacjonarna</b>
<b>Rodzaj przedmiotu:</b>	<b>wybieralny</b>
<b>Język wykładowy:</b>	<b>polski/angielski*</b>
<b>Cykl kształcenia od:</b>	<b>2023/2024</b>
<b>Kod przedmiotu</b>	
<b>Grupa kursów</b>	<b>TAK</b>

\*przedmiot może być prowadzony w języku angielskim – decyzję podejmuje dziekan

	<b>Wykład</b>	<b>Ćwiczenia</b>	<b>Laboratorium</b>	<b>Projekt</b>	<b>Seminarium</b>
Liczba godzin zajęć zorganizowanych w Uczelni (ZZU)	45	30			
Liczba godzin całkowitego nakładu pracy studenta (CNPS)	75	75			
Forma zaliczenia	egzamin	zaliczenie na ocenę			
Dla grupy kursów zaznaczyć kurs końcowy (X)	X				
<b>Liczba punktów ECTS</b>	<b>6</b>				
w tym liczba punktów odpowiadająca zajęciom o charakterze praktycznym (P)		3			
w tym liczba punktów ECTS odpowiadająca zajęciom wymagającym bezpośredniego udziału nauczycieli lub innych osób prowadzących zajęcia (BU)	2.00	1.4			

**WYMAGANIA WSTĘPNE W ZAKRESIE WIEDZY, UMIEJĘTNOŚCI I KOMPETENCJI SPOŁECZNYCH**

1. Analiza matematyczna
2. Algebra

**CELE PRZEDMIOTU**

C1 Zdobycie wiedzy dotyczącej opisu dynamiki układów klasycznych cząstek  
 C2 Zrozumienie podstaw elektrodynamiki, włączając symetrie, równania ruchu oraz podstawowe rozwiązania równań Maxwella

### PRZEDMIOTOWE EFEKTY UCZENIA SIĘ

Z zakresu wiedzy:

PEU\_W01 ma pogłębioną i zaawansowaną wiedzę, podbudowaną teoretycznie, obejmującą złożone zjawiska o których mowa we współczesnej fizyce teoretycznej oraz w fizyce technicznej

Z zakresu umiejętności:

PEU\_U01 potrafi formułować, analizować, rozwiązywać złożone i nietypowe problemy oraz innowacyjnie wykonywać zadania w nieprzewidywalnych warunkach z zakresu fizyki teoretycznej oraz fizyki technicznej w oparciu o dobór stosownych metod i narzędzi analitycznych oraz zaawansowanych technik informacyjno-komunikacyjnych

PEU\_U02 potrafi formułować i testować hipotezy związane z prostymi problemami badawczymi we współczesnej fizyce teoretycznej oraz w fizyce technicznej

PEU\_U03 potrafi kierować pracą zespołu, współdziałać z innymi osobami w ramach prac zespołowych i podejmuje wiodącą rolę w zespołach

Z zakresu kompetencji społecznych:

PEU\_K01 potrafi odpowiedzialnie pełnić rolę zawodowe z uwzględnieniem zmieniających się potrzeb społecznych: rozwija dorobek zawodu, podtrzymuje etos zawodu, przestrzega i rozwija zasady etyki zawodu oraz działa na rzecz przestrzegania tych zasad

### TREŚCI PROGRAMOWE

Forma zajęć - wykład		Liczba godzin
Wy1	Równania różniczkowe zwyczajne. Warunki brzegowe. Ordinary Differential Equations. Initial-Value and Boundary-Value Problems.	2
Wy2	Teoria jednorodnych równań liniowych. Rozwiązania jednorodnych równań liniowych. Niejednorodne równania liniowe. Theory of Homogeneous Linear Equations. Solutions of Homogeneous Linear Equations. Inhomogeneous Linear Equations.	6
Wy3	Formalizmy Lagrange'a i Hamiltona. Lagrangian and Hamiltonian formalisms.	4
Wy4	Twierdzenie Noether w mechanice klasycznej i teorii pola. Noether's theorem in classical mechanics and field theory.	4
Wy5	Elektrostatyka. Równania Laplace'a i Poissona. Metoda funkcji Greena. Specjalne metody elektrostatyki-symetria sferyczna. Rozwinięcie multipolowe. Electrostatics. Laplace and Poisson equations. The Green theorems. Method of Green's functions. Electrostatic problems with spherical symmetry. Multipole expansion for scalar potential.	6
Wy6	Przewodniki. Dielektryki. Conducting matter. Dielectric matter	4

Wy7	Równania Maxwella. Fale elektromagnetyczne. Maxwell's equations and gauge invariance. Fields produced by moving charges. Electromagnetic waves. Solving Maxwell's equations with sources.	4
Wy8	Magnetostatyka. Prawo Biota-Savarta. Prawo Ampere'a. Magnetyczny moment dipolowy. Magnetyzacja. Magnetostatics. The Law of Biot and Savart. Ampère's Law. The Magnetic Dipole. Magnetization	4
Wy9	Promieniowanie. Antena. Problem Liénarda-Wiecherta. Radiation. Antenna. The Liénard-Wiechert Problem.	3
Wy10	Mechanika relatywistyczna. Transformacje Lorentza. Relativistic Mechanics. Newton's relativity principle. Einstein's relativity principle. Structure of Lorentz transformations. Lie algebra of the Lorentz group. Relativistic particle	6
Wy11	Relatywistyczna cząstka w polu elektromagnetycznym. Relativistic particle in electromagnetic field	3
	Suma godzin	<b>45</b>

<b>Forma zajęć - ćwiczenia</b>		<b>Liczba godzin</b>
Ćw1	Problem dwóch ciał. Two-body problems	4
Ćw 2	Oscylator harmoniczny. Harmonic oscillator.	2
Ćw 3	Równania ruchu. Equations of motion from variational principle	6
Ćw 4	Kula metalowa w zewnętrznym polu. Metal sphere in an external field	4
Ćw 5	Kula dielektryczna w zewnętrznym polu. Dielectric sphere in an external field	2
Ćw 6	Fale elektromagnetyczne. Electromagnetic waves	4
Ćw 7	Ładunek poruszający się. Potencjały Liénarda-Wiecherta. Moving charge and Liénard-Wiechert potential	4
Ćw 8	Elektryczne i magnetyczne promieniowanie dipolowe. Electric and magnetic dipole radiation	4
	Suma godzin	<b>30</b>

<b>STOSOWANE NARZĘDZIA DYDAKTYCZNE</b>
N1. Wykład – forma tradycyjna N2. Ćwiczenia z prowadzącym N3. Konsultacje N4. Praca własna – samodzielne studia i przygotowanie rozwiązań problemów z mechaniki i elektromagnetyzmu



## OCENA OSIĄGNIĘCIA PRZEDMIOTOWYCH EFEKTÓW UCZENIA SIĘ

Oceny (F – formująca (w trakcie semestru), P – podsumowująca (na koniec semestru))	Numer efektu uczenia się	Sposób oceny osiągnięcia efektu uczenia się
ćwiczenia		
P1=F1	PEU_W01, PEU_U01- U03, PEU_K01	Ocena końcowa z ćwiczeń
wykład		
P2	PEU_W01, PEU_U01- U03, PEU_K01	Egzamin pisemny.
$P = 0,3 P1 + 0,7 P2$		

### LITERATURA PODSTAWOWA I UZUPEŁNIAJĄCA

#### **LITERATURA PODSTAWOWA:**

1. Classical Mechanics - Herbert Goldstein, Charles Poole, John Safko, Pearson 2001
2. Introductory Classical Mechanics, with Problems and Solutions - David Morin, Cambridge University Press, 2004
3. Electricity and Magnetism - Edward M. Purcell, David J. Morin, Cambridge University Press, 2013
4. Modern Electrodynamics - Andrew Zangwill, Cambridge University Press, 2012

#### **LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA:**

5. Classical Mechanics - John R. Taylor, University Science Books 2005
6. Classical Electrodynamics - John David Jackson, Wiley 1998

#### **OPIEKUN PRZEDMIOTU (IMIĘ, NAZWISKO, ADRES E-MAIL)**

pracownik Instytutu Fizyki Teoretycznej

<b>WYDZIAŁ PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW TECHNIKI</b>	
<b>KARTA PRZEDMIOTU</b>	
<b>Nazwa przedmiotu w języku polskim: Zaawansowana mechanika kwantowa</b>	
<b>Nazwa przedmiotu w języku angielskim: Advanced Quantum Mechanics</b>	
<b>Kierunek studiów (jeśli dotyczy): fizyka techniczna</b>	
<b>Specjalność (jeśli dotyczy):</b>	
<b>Poziom i forma studiów:</b>	<b>II stopień, stacjonarna</b>
<b>Rodzaj przedmiotu:</b>	<b>wybieralny</b>
<b>Język wykładowy:</b>	<b>polski</b>
<b>Cykl kształcenia od:</b>	<b>2023/2024</b>
<b>Kod przedmiotu</b>	
<b>Grupa kursów</b>	<b>TAK</b>

	Wykład	Ćwiczenia	Laboratorium	Projekt	Seminarium
Liczba godzin zajęć zorganizowanych w Uczelni (ZZU)	45	30			
Liczba godzin całkowitego nakładu pracy studenta (CNPS)	75	75			
Forma zaliczenia	egzamin	zaliczenie na ocenę			
Dla grupy kursów zaznaczyć kurs końcowy (X)	X				
<b>Liczba punktów ECTS</b>	<b>6</b>				
w tym liczba punktów odpowiadająca zajęciom o charakterze praktycznym (P)		3			
w tym liczba punktów ECTS odpowiadająca zajęciom wymagającym bezpośredniego udziału nauczycieli lub innych osób prowadzących zajęcia (BU)	2.00	1.4			

**WYMAGANIA WSTĘPNE W ZAKRESIE WIEDZY, UMIEJĘTNOŚCI I KOMPETENCJI SPOŁECZNYCH**

1. Podstawy mechaniki kwantowej;
2. Analiza i algebra w zakresie I stopnia studiów fizycznych.

**CELE PRZEDMIOTU**

- C1 Zdobycie wiedzy dotyczącej wybranych zaawansowanych zagadnień mechaniki kwantowej oraz podstaw formalizmu optyki kwantowej;
- C2 Umiejętność rozwiązywania problemów z zakresu zaawansowanych zagadnień mechaniki kwantowej oraz podstaw optyki kwantowej.

### PRZEDMIOTOWE EFEKTY UCZENIA SIĘ

Z zakresu wiedzy:

PEU\_W01 ma pogłębioną, zaawansowaną wiedzę teoretyczną w zakresie mechaniki kwantowej i teoretycznych podstaw optyki kwantowej

Z zakresu umiejętności:

PEU\_U01 potrafi formułować, analizować, rozwiązywać złożone i nietypowe problemy oraz innowacyjnie rozwiązywać zadania i problemy z zakresu mechaniki kwantowej oraz formalizmu optyki kwantowej w oparciu o dobór stosownych metod i narzędzi analitycznych oraz technik numerycznych

PEU\_U02 potrafi formułować i testować hipotezy związane z prostymi problemami badawczymi we współczesnej teorii kwantowej

PEU\_U03 potrafi kierować pracą zespołu rozwiązującego zagadnienia teoretyczne, współdziałać z innymi osobami w ramach prac zespołowych i podejmuje wiodącą rolę w zespołach

Z zakresu kompetencji społecznych:

PEU\_K01 potrafi odpowiedzialnie pełnić rolę zawodową fizyka z uwzględnieniem zmieniających się potrzeb społecznych: jest przygotowany do rozwijania dorobku zawodu fizyka, podtrzymuje etos zawodu, przestrzega i rozwija zasady etyki zawodu oraz dobrych obyczajów naukowych oraz działa na rzecz przestrzegania tych zasad

### TREŚCI PROGRAMOWE

Forma zajęć - wykład		Liczba godzin
Wy1	Permutacje i symetria stanów wielu cząstek	2
Wy2	Operatory kreacji i anihilacji	2
Wy3	Obserwable w reprezentacji liczb obsadzeń	2
Wy4	Operatory pola	2
Wy5	Reprezentacja pędowa; spin	2
Wy6	Dodawanie momentu pędu	3
Wy7	Transformacja obserwabli; tensory	2
Wy8	Twierdzenie Wignera-Eckarta	3
Wy9	Równanie Diraca	3
Wy10	Pole elektromagnetyczne: sprzężenie minimalne	2
Wy11	Granica nierelatywistyczna; równanie Pauliego	2
Wy12	Transformacja Foldy'ego-Wouthuysena	2
Wy13	Poprawki relatywistyczne do atomu wodoru	3
Wy14	Kwantowanie pola elektromagnetycznego w cechowaniu Coulomba	3
Wy15	Stany Focka, stany koherentne, stany ścięśnione w optyce kwantowej	4
Wy16	Operatory fazy w optyce kwantowej	3
Wy17	Kwantowe kwazi-funkcje rozkładu	5
	Suma godzin	<b>45</b>

Forma zajęć - ćwiczenia		Liczba godzin
Ćw1	Struktura formalizmu mechaniki kwantowej – przypomnienie	4
Ćw2	Drugie kwantowanie	6
Ćw3	Moment pędu	4
Ćw4	Operatory tensorowe	4
Ćw5	Równanie Diraca	6
Ćw6	Formalizm optyki kwantowej	4
Ćw7	Sprawdzian końcowy	2
	Suma godzin	<b>30</b>

STOSOWANE NARZĘDZIA DYDAKTYCZNE
N1. Wykład – forma tradycyjna. N2. Rozwiązywanie zadań indywidualnie i w grupach N3. Konsultacje. N4. Praca własna – samodzielne studia i praca nad problemami N4. Praca w grupie – rozwiązywanie problemów

#### OCENA OSIĄGNIĘCIA PRZEDMIOTOWYCH EFEKTÓW UCZENIA SIĘ

Oceny (F – formująca (w trakcie semestru), P – podsumowująca (na koniec semestru))	Numer efektu uczenia się	Sposób oceny osiągnięcia efektu uczenia się
F1	PEU_W01, PEU_U01- U03, PEU_K01	Ocena rozwiązań zadań i problemów oraz ich prezentacji.
P1=F1 (ćwiczenia)	PEU_W01, PEU_U01- U03, PEU_K01	Ocena końcowa z ćwiczeń
P2 (wykład)	PEU_W01, PEU_U01- U03, PEU_K01	Egzamin pisemny. Ocena końcowa z wykładu
$P = 0,4*P1 + 0,6*P2$ jeśli P1,P2 pozytywne	PEU_W01, PEU_U01- U03, PEU_K01	Ocena łączna z grupy kursów

LITERATURA PODSTAWOWA I UZUPEŁNIAJĄCA
<p><b>LITERATURA PODSTAWOWA:</b></p> <p>[1] Skrypt do wykładu; [2] F. Schwabl, <i>Advanced Quantum Mechanics</i>; [3] J. J. Sakurai, <i>Modern Quantum Mechanics</i>, [4] M. Scully, S. Zubairy, <i>Quantum Optics</i>.</p> <p><b>LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA:</b></p> <p>[1] L. Schiff, <i>Quantum Mechanics</i>; [2] R. Shankar, <i>Principles of Quantum Mechanics</i>.</p>
<b>OPIEKUN PRZEDMIOTU (IMIĘ, NAZWISKO, ADRES E-MAIL)</b>
Paweł Machnikowski, Pawel.Machnikowski@pwr.edu.pl

<b>WYDZIAŁ PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW TECHNIKI</b>	
<b>KARTA PRZEDMIOTU</b>	
<b>Nazwa przedmiotu w języku polskim:</b>	<b>Zaawansowana plazmonika nanostruktur metalicznych</b>
<b>Nazwa przedmiotu w języku angielskim:</b>	<b>Advanced nano-plasmonics of metallic nanostructures</b>
<b>Kierunek studiów (jeśli dotyczy):</b>	<b>fizyka techniczna</b>
<b>Specjalność (jeśli dotyczy):</b>	
<b>Poziom i forma studiów:</b>	<b>II stopień, stacjonarna</b>
<b>Rodzaj przedmiotu:</b>	<b>wybieralny</b>
<b>Język wykładowy:</b>	<b>polski</b>
<b>Cykl kształcenia od:</b>	<b>2023/2024</b>
<b>Kod przedmiotu</b>	
<b>Grupa kursów</b>	<b>NIE</b>

	<b>Wykład</b>	<b>Ćwiczenia</b>	<b>Laboratorium</b>	<b>Projekt</b>	<b>Seminarium</b>
Liczba godzin zajęć zorganizowanych w Uczelni (ZZU)	30				
Liczba godzin całkowitego nakładu pracy studenta (CNPS)	50				
Forma zaliczenia	zaliczenie na ocenę				
Dla grupy kursów zaznaczyć kurs końcowy (X)					
<b>Liczba punktów ECTS</b>	<b>2</b>				
w tym liczba punktów odpowiadająca zajęciom o charakterze praktycznym (P)					
w tym liczba punktów ECTS odpowiadająca zajęciom wymagającym bezpośredniego udziału nauczycieli lub innych osób prowadzących zajęcia (BU)	1.28				

**WYMAGANIA WSTĘPNE W ZAKRESIE WIEDZY, UMIEJĘTNOŚCI I KOMPETENCJI SPOŁECZNYCH**

1. Wiedza z zakresu mechaniki kwantowej, fizyki statystycznej i elektrodynamiki

**CELE PRZEDMIOTU**

- C1 Zapoznanie studentów z obecnym stanem wiedzy z zakresu plazmoniki nanostruktur metalicznych
- C2 Osiągnięcie przez studentów klarownego poziomu wiedzy w zakresie praktycznych zastosowań plazmoniki i soft-plazmoniki

### PRZEDMIOTOWE EFEKTY UCZENIA SIĘ

Z zakresu wiedzy:

PEU\_W01 - wiedza dotycząca kwantowych efektów w nanoplazmonice

Z zakresu umiejętności:

PEU\_U01 - umiejętność stosowania metod kwantowych w plazmonice

Z zakresu kompetencji społecznych:

PEU\_K01 - rozumienia konieczności samokształcenia i podnoszenia kwalifikacji

PEU\_K02 - niezależnego, twórczego i racjonalnego myślenia

### TREŚCI PROGRAMOWE

Forma zajęć: wykład		Liczba godzin
Wy1	Teoria przybliżenia faz chaotycznych Pinesa Bohma (random phase approximation dla metalu rozciągniętego)	2
Wy2	Plazmony powierzchniowe i objętościowe w metalicznej nanosferze	2
Wy3	Tłumienie plazmonów w metalicznych nanostrukturach; tarcie Lorentza	2
Wy4	Porównanie modelu RPA z tarcie Lorentza z klasycznym modelem Mie i z eksperymentem	2
Wy5	Plazmonowy efekt fotowoltaiczny	2
Wy6	Zastosowanie złotej reguły Fermiego do opisu silnego sprzężenia plazmonów w nanocząstkach metalicznych z pasmowymi elektronami w półprzewodniku	2
Wy7	Metalizowane baterie słoneczne – kwantowe efekty pomijane w konwencjonalnych numerycznych symulacjach klasycznych metodą elementów skończonych dla równań Maxwella	2
Wy8	Metalizowane baterie perowskitowe – nowy kwantowy elektryczny kanał plazmonowy	2
Wy9	Plazmono-polarytony w łańcuchu metalicznych nanocząstek	2
Wy10	Mody plazmono-polarytonu i ich tłumienie	2
Wy11	Dokładne rozwiązanie dynamiki plazmono-polarytonu – ograniczenie prędkości grupowej przez prędkość światła	2
Wy12	Brak strat promienistych plazmono-polarytonów	2
Wy13	Plazmono-polarytony w metalicznym nano-łańcuchu w absorpcyjnym otoczeniu	2
Wy14	Wstęp to soft-plazmoniki elektrolitów	2
Wy15	Zastosowania nano-plazmoniki i soft-plazmoniki	2
	Suma godzin	<b>30</b>

### STOSOWANE NARZĘDZIA DYDAKTYCZNE

N1. Wykład – forma tradycyjna.

N2. Konsultacje.

N3. Praca własna – samodzielne studia i przygotowanie do egzaminu.

## OCENA OSIĄGNIĘCIA PRZEDMIOTOWYCH EFEKTÓW UCZENIA SIĘ

Oceny (F – formująca (w trakcie semestru), P – podsumowująca (na koniec semestru))	Numer efektu uczenia się	Sposób oceny osiągnięcia efektu uczenia się
F1	PEU_W01 PEU_U01 PEU_K01 PEU_K02	Zaliczenie na ocenę, kolokwium
P=F1		

### LITERATURA PODSTAWOWA I UZUPEŁNIAJĄCA

**LITERATURA PODSTAWOWA:**

[1] Witold Jacak, Kwantowe efekty w nano-plazmonice, Skrypt PWr, 2019

**LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA:**

[1] Witold Jacak, Quantum Nano-Plasmonics, Cambridge UP, 2020

[2] bieżące publikacje z plazmoniki

**OPIEKUN PRZEDMIOTU (IMIĘ, NAZWISKO, ADRES E-MAIL)**

Witold A. Jacak, witold.aleksander.jacak@pwr.edu.pl

<b>WYDZIAŁ PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW TECHNIKI</b>	
<b>KARTA PRZEDMIOTU</b>	
<b>Nazwa przedmiotu w języku polskim:</b>	<b>Zaawansowana teoria materii skondensowanej</b>
<b>Nazwa przedmiotu w języku angielskim:</b>	<b>Advanced Condensed Matter Theory</b>
<b>Kierunek studiów (jeśli dotyczy):</b>	<b>fizyka techniczna</b>
<b>Specjalność (jeśli dotyczy):</b>	
<b>Poziom i forma studiów:</b>	<b>II stopień, stacjonarna</b>
<b>Rodzaj przedmiotu:</b>	<b>wybieralny</b>
<b>Język wykładowy:</b>	<b>polski</b>
<b>Cykl kształcenia od:</b>	<b>2023/2024</b>
<b>Kod przedmiotu</b>	
<b>Grupa kursów</b>	<b>TAK</b>

	<b>Wykład</b>	<b>Ćwiczenia</b>	<b>Laboratorium</b>	<b>Projekt</b>	<b>Seminarium</b>
Liczba godzin zajęć zorganizowanych w Uczelni (ZZU)	30	30			
Liczba godzin całkowitego nakładu pracy studenta (CNPS)	50	50			
Forma zaliczenia	zaliczenie na ocenę	zaliczenie na ocenę			
Dla grupy kursów zaznaczyć kurs końcowy (X)	X				
<b>Liczba punktów ECTS</b>	<b>4</b>				
w tym liczba punktów odpowiadająca zajęciom o charakterze praktycznym (P)		2			
w tym liczba punktów ECTS odpowiadająca zajęciom wymagającym bezpośredniego udziału nauczycieli lub innych osób prowadzących zajęcia (BU)	1.28	1.28			

**WYMAGANIA WSTĘPNE W ZAKRESIE WIEDZY, UMIEJĘTNOŚCI I KOMPETENCJI SPOŁECZNYCH**

1. Wiedza w zakresie mechaniki kwantowej
2. Wiedza matematyczna w zakresie analizy matematycznej i podstaw algebry
3. Kreatywność

**CELE PRZEDMIOTU**

- C1 Przekazanie wiedzy na temat podstaw teorii materii skondensowanej.  
C2 Przegląd wybranych zastosowań fizyki materiałów.



## PRZEDMIOTOWE EFEKTY UCZENIA SIĘ

Z zakresu wiedzy:

PEU\_W01 zna wybrane zagadnienia z zakresu zaawansowanej wiedzy szczegółowej w obszarze teorii materii skondensowanej i jej zastosowań, w szczególności w fizyce nowych materiałów

Z zakresu umiejętności:

PEU\_U01 potrafi formułować, analizować, rozwiązywać złożone i nietypowe problemy oraz inn owacyjnie wykonywać zadania w nieprzewidywalnych warunkach z zakresu teorii materii skondensowanej i fizyki nowoczesnych materiałów, w oparciu o (a) posiadaną wiedzę, dobór odpowiednich źródeł i informacji z nich pochodzących, dokonywać oceny i krytycznej analizy dotyczącej otrzymanych informacji oraz posiada możliwość twórczej interpretacji i prezentacji tych informacji; (b) dobór stosownych metod i narzędzi w tym zaawansowanych technik obliczeniowych; (c) przystosowaniem istniejących lub opracowaniem nowych metod i narzędzi

Z zakresu kompetencji społecznych:

PEU\_K01 potrafi krytycznie oceniać posiadaną wiedzę i odbierane treści; ma świadomość znaczenia wiedzy w rozwiązywaniu problemów poznawczych i praktycznych i jest świadom własnych ograniczeń i wie, kiedy zwrócić się do ekspertów

## TREŚCI PROGRAMOWE

Forma zajęć - wykład		Liczba godzin
Wy1	<b>Introduction to condensed matter physics:</b> emergence and collective behavior, quantum fields, second quantization.	3
Wy2	<b>Path integral formulation of quantum field theory:</b> single-particle quantum mechanics from the path integral, partition function as a functional integral, effective field theories.	3
Wy3	<b>Symmetries and structure of condensed matter:</b> Phases and broken symmetries, spontaneous symmetry breaking and phase stiffness, superfluidity, vortices, boson-vortex duality in two dimensions, Berezinskii-Kosterlitz-Thouless transition.	4
Wy4	<b>Transport of electrons:</b> Bloch theorem, Wannier functions, band theory, linear response theory, response functions, semiclassical dynamics, Bloch oscillations, Boltzmann equations, classical Drude formula for conductivity.	4
Wy5	<b>Transport of electrons 2:</b> Fermi liquid theory, Fermi liquid ground state, quasiparticles and their stability, collective modes	4
Wy6	<b>Electronic hydrodynamics:</b> review of thermodynamics, diffusion equation, Naviers-Stokes equations, viscosity, flow solutions.	4
Wy7	<b>Topological materials:</b> quantum Hall effect, Berry phases, graphene, Haldane model and topological insulators.	3
Wy8	<b>Topological materials 2:</b> quantum anomalies, Dirac and Weyl semimetals.	3
	Kolokwium zaliczeniowe	2
	Suma godzin	<b>30</b>

Forma zajęć - ćwiczenia		Liczba godzin
Ćw1	Path integrals	6
Ćw2	Effective theories of condensed matter	4
Ćw3	Kinetic theory and transport	6
Ćw4	Hydrodynamics	6
Ćw5	Topological materials	6
Ćw6	Kolokwium	2
<b>Suma godzin</b>		<b>30</b>

STOSOWANE NARZĘDZIA DYDAKTYCZNE
N1. Wykład – forma tradycyjna.
N2. Konsultacje.
N3. Praca własna – samodzielne studia i przygotowanie do zaliczenia.

#### OCENA OSIĄGNIĘCIA PRZEDMIOTOWYCH EFEKTÓW UCZENIA SIĘ

Oceny (F – formująca (w trakcie semestru), P – podsumowująca (na koniec semestru))	Numer efektu uczenia się	Sposób oceny osiągnięcia efektu uczenia się
F1 (wykład)	PEU W01- PEU U01	Kolokwium zaliczeniowe.
F2 (ćwiczenia)	PEU U01, PEU K01	Kolokwium. Dyskusje.
$P = F1*0.5+F2*0.2$		

LITERATURA PODSTAWOWA I UZUPEŁNIAJĄCA
<b><u>LITERATURA PODSTAWOWA:</u></b> P. Coleman, Introduction to Many-Body Physics D. Tong, Quantum Hall effect P.M. Chaikin and T.C. Lubensky, Principles of Condensed Matter Physics N.W. Ashcroft and N.D. Mermin, Solid State Physics D. Tong, Kinetic theory L. Landau, E. M. Lifszyc, Hydrodynamika
<b><u>LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA:</u></b> A. Altland and B. Simons, Condensed Matter Field Theory E. Fradkin, Field Theories of Condensed Matter Physics M. D. Schwartz - Quantum Field Theory and the Standard Model X.-G. Wen, Quantum Field Theory of Many-Body Systems
<b>OPIEKUN PRZEDMIOTU (IMIĘ, NAZWISKO, ADRES E-MAIL)</b>
Piotr Surówka (piotr.surowka@pwr.edu.pl)

<b>WYDZIAŁ PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW TECHNIKI</b>	
<b>KARTA PRZEDMIOTU</b>	
<b>Nazwa przedmiotu w języku polskim: Zaawansowana fizyka półprzewodników</b>	
<b>Nazwa przedmiotu w języku angielskim: Advanced semiconductor physics</b>	
<b>Kierunek studiów (jeśli dotyczy): Fizyka Techniczna</b>	
<b>Specjalność (jeśli dotyczy):</b>	
<b>Poziom i forma studiów:</b>	<b>II stopień, stacjonarna</b>
<b>Rodzaj przedmiotu:</b>	<b>wybieralny</b>
<b>Język wykładowy:</b>	<b>polski</b>
<b>Cykl kształcenia od:</b>	<b>2023/2024</b>
<b>Kod przedmiotu</b>	
<b>Grupa kursów</b>	<b>TAK</b>

	<b>Wykład</b>	<b>Ćwiczenia</b>	<b>Laboratorium</b>	<b>Projekt</b>	<b>Seminarium</b>
Liczba godzin zajęć zorganizowanych w Uczelni (ZZU)	30			15	15
Liczba godzin całkowitego nakładu pracy studenta (CNPS)	60			40	20
Forma zaliczenia	zaliczenie na ocenę			zaliczenie na ocenę	zaliczenie na ocenę
Dla grupy kursów zaznaczyć kurs końcowy (X)	X				
<b>Liczba punktów ECTS</b>	<b>4</b>				
w tym liczba punktów odpowiadająca zajęciom o charakterze praktycznym (P)				1	1
w tym liczba punktów ECTS odpowiadająca zajęciom wymagającym bezpośredniego udziału nauczycieli lub innych osób prowadzących zajęcia (BU)	1.24			0.68	0.64

**WYMAGANIA WSTĘPNE W ZAKRESIE WIEDZY, UMIEJĘTNOŚCI I KOMPETENCJI SPOŁECZNYCH**

1. Wiedza matematyczna z zakresu algebry liniowej 1,2 oraz analizy matematycznej 1,2.
2. Podstawy mechaniki kwantowej.
3. Podstawy fizyki ciała stałego oraz znajomość podstaw fizyki półprzewodników.
4. Podstawowe umiejętności z zakresu programowania.

**CELE PRZEDMIOTU**

- C1 Zapoznanie się z właściwościami optycznymi, elektronowymi i spinowymi półprzewodników.
- C2 Zaznajomienie się z technikami obliczeniowymi wykorzystywanymi do modelowania właściwości półprzewodników oraz zjawisk w nich zachodzących.

C3. Doskonalenie umiejętności pracy grupowej nad projektem programistycznym.  
 C4. Kształtowanie umiejętności numerycznego rozwiązywania zagadnień z zakresu fizyki półprzewodników.

### PRZEDMIOTOWE EFEKTY UCZENIA SIĘ

Z zakresu wiedzy:

PEU\_W01 – zna wybrane zagadnienia z zakresu zaawansowanej wiedzy szczegółowej w obszarze fizyki półprzewodników i jej zastosowań, w szczególności w technice; posiada wiedzę związaną z własnościami optycznymi, elektronowymi i spinowymi półprzewodników, potrafi przewidzieć w jaki sposób odkształcenia oraz zewnętrzne pola wpływają na wybrane cechy półprzewodników, potrafi zastosować zdobytą wiedzę pod kątem optymalizacji własności materiałów

PEU\_W02 – zna techniki obliczeniowe wykorzystywane w modelowaniu własności półprzewodników, zna założenia fizyczne stojące u podstaw tych metod, a także ich ograniczenia.

Z zakresu umiejętności:

PEU\_U01 – potrafi powiązać wybrane własności półprzewodników z symetrią sieci krystalicznej, rozumie związek między redukcją symetrii a efektami fizycznymi (np. powstawaniem pola piezoelektrycznego); potrafi formułować, analizować, rozwiązywać złożone i nietypowe problemy oraz innowacyjnie wykonywać zadania w nieprzewidywalnych warunkach z zakresu fizyki półprzewodników; potrafi dobrać odpowiedni model obliczeniowy do rozwiązywania danego zagadnienia, potrafi czytać ze zrozumieniem literaturę przedmiotu.

PEU\_U02 – potrafi rozwiązywać numerycznie wybrane zagadnienia fizyczne związane ze strukturą pasmową półprzewodników, potrafi pracować w grupie nad projektem programistycznym; potrafi korzystać z istniejących bibliotek, a także tworzyć nowe metody i narzędzia

Z zakresu kompetencji społecznych:

PEU\_K01 – potrafi krytycznie oceniać posiadaną wiedzę i odbierane treści; ma świadomość znaczenia wiedzy w rozwiązywaniu problemów poznawczych i praktycznych i jest świadom własnych ograniczeń i wie, kiedy zwrócić się do ekspertów.

### TREŚCI PROGRAMOWE

Forma zajęć - wykład		Liczba godzin
Wy1	Wstęp matematyczny, symetria, wybrane pojęcia z teorii grup, reprezentacje grupy, grupy przestrzenne i punktowe	2
Wy2	Symetria oraz struktury pasmowe wybranych półprzewodników, oddziaływanie spin-orbita, ciężkie i lekkie dziury, rola symetrii inwersji, klasyfikacja pasm względem własności symetrii, notacja Kostera-Seitza.	4
Wy3	Modelowanie struktur pasmowych wybranych półprzewodników w	3

	modelu ciasnego wiązania oraz modelu empirycznych pseudopotencjałów; pseudopotencjały lokalne oraz Nielokalne; modelowanie DFT.	
Wy4	Wielopasmowe modele k.p, metoda inwariantów symetrii, metoda perturbacyjna Löwdina, pole magnetyczne.	4
Wy5	Stopy różnych półprzewodników, rola odkształceń, potencjały deformacyjne, pole piezoelektryczne	2
Wy6	Efekt Dresselhausu oraz efekt Rashby w półprzewodnikach, wpływ oddziaływania spin-orbita na czynnik żyromagnetyczny.	2
Wy7	Teoria liniowej odpowiedzi optycznej półprzewodników, wyznaczenie siły oscylatora przy wykorzystaniu różnych technik obliczeniowych, funkcja dielektryczna.	6
Wy8	Rola fononów optycznych i akustycznych, anharmonizm fononowy, polarony.	3
Wy9	Oddziaływanie kulombowskie, ekscytony w półprzewodnikach	2
Wy10	Zaliczenie końcowe	2
	Suma godzin	<b>30</b>

<b>Forma zajęć - projekt</b>		<b>Liczba godzin</b>
Pr1	Przedstawienie zasad organizacji pracy w projekcie, podział na zespoły, repozytoria, omówienie wykorzystania systemu kontroli wersji (git).	1
Pr2	Wybór tematu projektu z zakresu implementacji technik obliczeniowych wykorzystywanych w fizyce półprzewodników; referowanie aktualnych postępów prac podczas kolejnych zajęć.	12
Pr3	Podsumowanie, wystawienie ocen końcowych	2
	Suma godzin	<b>15</b>

<b>Forma zajęć - seminarium</b>		<b>Liczba godzin</b>
Se1	Wprowadzenie, informacje o sposobie organizacji seminarium	1
Se2	Prezentacje powiązane tematycznie z własnościami optycznymi, elektronowymi lub spinowymi półprzewodników.	14
	Suma godzin	<b>15</b>

<b>STOSOWANE NARZĘDZIA DYDAKTYCZNE</b>	
N1. Wykład tradycyjny	
N2. Rozbudowane komentarze i dodatkowe konsultacje dla zainteresowanych studentów	
N3. Praca własna związana z realizacją projektu.	
N4. Praca własna związana z przygotowaniem seminarium.	

## OCENA OSIĄGNIĘCIA PRZEDMIOTOWYCH EFEKTÓW UCZENIA SIĘ

Oceny (F – formująca (w trakcie semestru), P – podsumowująca (na koniec semestru))	Numer efektu uczenia się	Sposób oceny osiągnięcia efektu uczenia się
F1 (wykład)	PEU_W01, PEU_W02, PEU_U01, PEU_K01	Ocena z kolokwium końcowego
F2 (projekt)	PEU_W02, PEU_U01, PEU_U02, PEU_K01	Ocena realizacji projektu
F3 (seminarium)	PEU_W01, PEU_W02, PEU_U01, PEU_K01	Ocena za prezentację uwzględniająca zawartość merytoryczną oraz sposób jej wygłoszenia
Ocena końcowa obliczana z		
$P = 0.5 \cdot F1 + 0.3 \cdot F2 + 0.2 \cdot F3$		

### LITERATURA PODSTAWOWA I UZUPEŁNIAJĄCA

#### **LITERATURA PODSTAWOWA:**

- [1] Peter Y. Yu , Manuel Cardona, *Fundamentals of Semiconductors*, (Springer, Berlin, 2010)  
 [2] Hartmut Haug, Stephan W. Koch, *Quantum Theory of the Optical and Electronic Properties of Semiconductors*, (New Jersey etc.: World Scientific 2009)

#### **LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA:**

- [1] L. C. Lew Yan Voon and M. Willatzen, *The k.p Method: Electronic Properties of Semiconductors*, (Springer Berlin HeidelbergBerlin, Heidelberg, 2009)  
 [2] Dresselhaus, M. S., Dresselhaus, G. & Jorio, *Group theory : application to the physics of condensed matter* (Springer-Verlag, 2010).

#### **OPIEKUN PRZEDMIOTU (IMIĘ, NAZWISKO, ADRES E-MAIL)**

Krzysztof Gawarecki, Krzysztof.Gawarecki@pwr.edu.pl

<b>WYDZIAŁ PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW TECHNIKI</b>	
<b>KARTA PRZEDMIOTU</b>	
<b>Nazwa przedmiotu w języku polskim: Zaawansowane metody badania dielektryków</b>	
<b>Nazwa przedmiotu w języku angielskim: Advanced methods of testing dielectrics</b>	
<b>Kierunek studiów (jeśli dotyczy): fizyka techniczna</b>	
<b>Specjalność (jeśli dotyczy):</b>	
<b>Poziom i forma studiów:</b>	<b>II stopień, stacjonarna</b>
<b>Rodzaj przedmiotu:</b>	<b>wybieralny</b>
<b>Język wykładowy:</b>	<b>polski</b>
<b>Cykl kształcenia od:</b>	<b>2023/2024</b>
<b>Kod przedmiotu</b>	
<b>Grupa kursów</b>	<b>TAK</b>

	<b>Wykład</b>	<b>Ćwiczenia</b>	<b>Laboratorium</b>	<b>Projekt</b>	<b>Seminarium</b>
Liczba godzin zajęć zorganizowanych w Uczelni (ZZU)	30			30	
Liczba godzin całkowitego nakładu pracy studenta (CNPS)	50			50	
Forma zaliczenia	zaliczenie na ocenę			zaliczenie na ocenę	
Dla grupy kursów zaznaczyć kurs końcowy (X)	X				
<b>Liczba punktów ECTS</b>	<b>4</b>				
w tym liczba punktów odpowiadająca zajęciom o charakterze praktycznym (P)				2	
w tym liczba punktów ECTS odpowiadająca zajęciom wymagającym bezpośredniego udziału nauczycieli lub innych osób prowadzących zajęcia (BU)	1.28			1.28	

**WYMAGANIA WSTĘPNE W ZAKRESIE WIEDZY, UMIEJĘTNOŚCI I KOMPETENCJI SPOŁECZNYCH**

1. Fizyka ciała stałego.
2. Wstęp do fizyki dielektryków.

**CELE PRZEDMIOTU**

- C1 Nabycie wiedzy w zakresie rozpoznawania procesów fizycznych zachodzących w dielektrykach.  
 C2. Zdobywanie wiedzy na temat zaawansowanych metod charakteryzacji materiałów dielektrycznych.  
 C3. Poznanie możliwości aplikacyjnych dielektryków.

### PRZEDMIOTOWE EFEKTY UCZENIA SIĘ

Z zakresu wiedzy:

PEU\_W01 posiada wiedzę na temat rozpoznawania procesów fizycznych zachodzących w materiałach dielektrycznych

PEU\_W02 posiada wiedzę na temat zaawansowanych metod badania właściwości fizycznych dielektryków

PEU\_W03 ma wiedzę na temat analizy danych charakteryzujących dielektryki

Z zakresu umiejętności:

PEU\_U01 potrafi przeprowadzić analizę klasyfikującą dielektryk do grupy materiałów polarnych w oparciu o posiadaną wiedzę oraz dobór odpowiednich źródeł

PEU\_U02 potrafi zanalizować procesy relaksacyjne występujące w widmach dielektrycznych korzystając z doboru odpowiedniego modelu stochastycznego, dokonać krytycznej analizy i interpretacji danych

PEU\_U03 potrafi sklasyfikować rodzaj przemiany fazowej w dielektryku w oparciu o dobór stosownej metody pomiarowej

PEU\_U04 potrafi opisać zmiany właściwości dielektrycznych wywołanych temperaturą, ciśnieniem, czasem oraz efektami rozmiarowymi korzystając z doboru zaawansowanych metod pomiarowych

Z zakresu kompetencji społecznych:

PEU\_K01 potrafi pracować samodzielnie i w grupie, umie pokierować zadaniami projektowymi

PEU\_K02 ma świadomość znaczenia wiedzy w rozwiązywaniu problemów poznawczych i praktycznych i jest świadom własnych ograniczeń i wie, kiedy zwrócić się do ekspertów

### TREŚCI PROGRAMOWE

Forma zajęć: wykład		Liczba godzin
Wy1	Szerokopasmowa spektroskopia impedancyjna.	2
Wy2	Szerokopasmowa spektroskopia impedancyjna: interpretacja wyników, modele relaksacji dielektrycznej.	2
Wy3	Efekty czasowe w dielektrykach. Metody przełączania polaryzacji oraz przenikalności dielektrycznej.	2
Wy4	Metody badania wpływu naprężeń na właściwości fizyczne dielektryków.	2
Wy5	Metody badania nieliniowych efektów elektrycznych w dielektrykach.	2
Wy6	Metody badania niecentrosymetryczności w dielektrykach.	2
Wy7	Mikroskopia sił piezoelektrycznych.	2
Wy8	Skaningowa kalorymetria różnicowa i termograwimetria w badaniu stabilności dielektryków.	2
Wy9	Wytwarzanie niskowymiarowych struktur dielektrycznych.	2
Wy10	Efekty rozmiarowe w dielektrykach.	2
Wy11	Metody badania sprzężenia magneto-elektrycznego w ferroikach.	2
Wy12	Bezkontaktowe metody badania dielektryków.	2
Wy13	Konwersja energetyczna w dielektrykach.	2
Wy14	Metody optyczne badania dielektryków.	2
Wy15	Zastosowania ferroików.	2
	Suma godzin	<b>30</b>

Forma zajęć: projekt		Liczba godzin
Pr1	Określenie zmiany uporządkowania struktury przy przejściu fazowym metodą skaningową kalorymetrią różnicową	8



Pr2	Badanie relaksacji dipolowej w dielektrykach polarnych metodą szerokopasmowej spektroskopii dielektrycznej.	12
Pr3	Określenie parametrów odwracalnego przełączania przenikalności dielektrycznej.	10
	Suma godzin	<b>30</b>

### STOSOWANE NARZĘDZIA DYDAKTYCZNE

N1. Wykład  
N2. Zajęcia w laboratorium – wykonanie pomiarów, opracowanie i interpretacja wyników pomiarów, dyskusja na temat wyników.  
N3. Praca własna – samodzielne studia i przygotowanie do zalecenia.  
N4. Konsultacje

### OCENA OSIĄGNIĘCIA PRZEDMIOTOWYCH EFEKTÓW UCZENIA SIĘ

Oceny (F – formująca (w trakcie semestru), P – podsumowująca (na koniec semestru))	Numer efektu uczenia się	Sposób oceny osiągnięcia efektu uczenia się
F1 (wykład)	PEU_W01 PEU_W02	Kolokwium zaliczeniowe
P1 = F1		
F2 (laboratorium)	PEU_U03 PEU_U01 PEU_U02 PEU_U03 PEU_U04 PEU_K01 PEU_K02	Ocena realizacji zadań projektowych oraz ocena prezentacji podczas dyskusji podsumowującej projekt
P2 = F2		
P = 0.5*(P1+P2)		

### LITERATURA PODSTAWOWA I UZUPEŁNIAJĄCA

#### **LITERATURA PODSTAWOWA:**

1. A. Ciżman, R. Poprawski, A. Sieradzki, Dielectric Physics, Introduction to Selected Problems of Dielectric Physics, PrintPAP Łódź, 2011.
2. Broadband Dielectric Spectroscopy. Editors: Friedrich Kremer; Andreas Schönhals
3. M.E. Lines and A.M. Glass, Principles and application of ferroelectrics and related materials, Clarendon Press, Oxford (1977).
4. B.A. Strukov and A. P. Levanyuk, Ferroelectric Phenomena in Crystals Springer, Berlin, Heidelberg (1998)

#### **LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA:**

[1] Artykuły naukowe

#### **OPIEKUN PRZEDMIOTU (IMIE, NAZWISKO, ADRES E-MAIL)**

Adam Sieradzki, adam.sieradzki@pwr.edu.pl

<b>WYDZIAŁ PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW TECHNIKI</b>	
<b>KARTA PRZEDMIOTU</b>	
<b>Nazwa przedmiotu w języku polskim:</b>	<b>Zaawansowane metody badania struktur półprzewodnikowych – 1</b>
<b>Nazwa przedmiotu w języku angielskim:</b>	<b>Advanced methods of studying semiconductor structures – 1</b>
<b>Kierunek studiów (jeśli dotyczy):</b>	<b>fizyka techniczna</b>
<b>Specjalność (jeśli dotyczy):</b>	
<b>Poziom i forma studiów:</b>	<b>II stopień, stacjonarna</b>
<b>Rodzaj przedmiotu:</b>	<b>wybieralny</b>
<b>Język wykładowy:</b>	<b>polski/angielski</b>
<b>Cykl kształcenia od:</b>	<b>2023/2024</b>
<b>Kod przedmiotu</b>	
<b>Grupa kursów</b>	<b>NIE</b>

	Wykład	Ćwiczenia	Laboratorium	Projekt	Seminarium
Liczba godzin zajęć zorganizowanych w Uczelni (ZZU)					15
Liczba godzin całkowitego nakładu pracy studenta (CNPS)					25
Forma zaliczenia					zaliczenie na ocenę
Dla grupy kursów zaznaczyć kurs końcowy (X)					
<b>Liczba punktów ECTS</b>					<b>1</b>
w tym liczba punktów odpowiadająca zajęciom o charakterze praktycznym (P)					1
w tym liczba punktów ECTS odpowiadająca zajęciom wymagającym bezpośredniego udziału nauczycieli lub innych osób prowadzących zajęcia (BU)					0.68

**WYMAGANIA WSTĘPNE W ZAKRESIE WIEDZY, UMIEJĘTNOŚCI I KOMPETENCJI SPOŁECZNYCH**

Student posiada zaawansowaną wiedzę i umiejętności z fizyki.

**CELE PRZEDMIOTU**

Poznanie nowych osiągnięć i metod używanych w różnych zastosowaniach fizyki i nanoinżynierii.

### PRZEDMIOTOWE EFEKTY UCZENIA SIĘ

Z zakresu wiedzy:

PEU\_W01 zna główne tendencje rozwojowe dyscypliny – nauki fizyczne

...

Z zakresu umiejętności:

PEU\_U01 umie komunikować się ze zróżnicowanymi kręgami odbiorców, m.in. przy użyciu różnych nowoczesnych technologii informacyjno-komunikacyjnych na tematy związane z fizyką techniczną oraz prowadzić debatę

...

Z zakresu kompetencji społecznych:

PEU\_K01 potrafi odpowiedzialnie pełnić rolę zawodowe z uwzględnieniem zmieniających się potrzeb społecznych: rozwija dorobek zawodu, podtrzymuje etos zawodu, przestrzega i rozwija zasady etyki zawodu oraz działa na rzecz przestrzegania tych zasad

Forma zajęć - seminarium		Liczba godzin
Se1 – Se15	Prezentacje ekspertów dotyczące aktualnego stanu wiedzy związanego z fizyką półprzewodników i nanoinżynierią	30
	Suma godzin	<b>30</b>

### STOSOWANE NARZĘDZIA DYDAKTYCZNE

N1. Seminarium problemowe, prezentacja

N2. Dyskusja

### OCENA OSIĄGNIĘCIA PRZEDMIOTOWYCH EFEKTÓW UCZENIA SIĘ

Oceny (F – formująca (w trakcie semestru), P – podsumowująca (na koniec semestru)	Numer efektu uczenia się	Sposób oceny osiągnięcia efektu uczenia się
F1	PEU_W01 PEU_U01 PEU_K01	Obecność na seminarium, ocena udziału studenta w dyskusji, aktywność
P=F1		

### LITERATURA PODSTAWOWA I UZUPEŁNIAJĄCA

#### LITERATURA PODSTAWOWA:

Czasopisma naukowe z fizyki.

#### **OPIEKUN PRZEDMIOTU (IMIĘ, NAZWISKO, ADRES E-MAIL)**

Jan Misiewicz, jan.misiewicz@pwr.wroc.pl

<b>WYDZIAŁ PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW TECHNIKI</b>	
<b>KARTA PRZEDMIOTU</b>	
<b>Nazwa przedmiotu w języku polskim:</b>	<b>Zaawansowane metody badania struktur półprzewodnikowych – 2</b>
<b>Nazwa przedmiotu w języku angielskim:</b>	<b>Advanced methods of studying semiconductor structures – 2</b>
<b>Kierunek studiów (jeśli dotyczy):</b>	<b>fizyka techniczna</b>
<b>Specjalność (jeśli dotyczy):</b>	
<b>Poziom i forma studiów:</b>	<b>II stopień, stacjonarna</b>
<b>Rodzaj przedmiotu:</b>	<b>wybieralny</b>
<b>Język wykładowy:</b>	<b>polski/angielski</b>
<b>Cykl kształcenia od:</b>	<b>2023/2024</b>
<b>Kod przedmiotu</b>	
<b>Grupa kursów</b>	<b>NIE</b>

	Wykład	Ćwiczenia	Laboratorium	Projekt	Seminarium
Liczba godzin zajęć zorganizowanych w Uczelni (ZZU)					15
Liczba godzin całkowitego nakładu pracy studenta (CNPS)					25
Forma zaliczenia					zaliczenie na ocenę
Dla grupy kursów zaznaczyć kurs końcowy (X)					
<b>Liczba punktów ECTS</b>					<b>1</b>
w tym liczba punktów odpowiadająca zajęciom o charakterze praktycznym (P)					1
w tym liczba punktów ECTS odpowiadająca zajęciom wymagającym bezpośredniego udziału nauczycieli lub innych osób prowadzących zajęcia (BU)					0.68

**WYMAGANIA WSTĘPNE W ZAKRESIE WIEDZY, UMIEJĘTNOŚCI I KOMPETENCJI SPOŁECZNYCH**

Student posiada zaawansowaną wiedzę i umiejętności z fizyki.

**CELE PRZEDMIOTU**

Poznanie nowych osiągnięć i metod używanych w różnych zastosowaniach fizyki i nanoinżynierii.

### PRZEDMIOTOWE EFEKTY UCZENIA SIĘ

Z zakresu wiedzy:

PEU\_W01 zna główne tendencje rozwojowe dyscypliny – nauki fizyczne

...

Z zakresu umiejętności:

PEU\_U01 umie komunikować się ze zróżnicowanymi kręgami odbiorców, m.in. przy użyciu różnych nowoczesnych technologii informacyjno-komunikacyjnych na tematy związane z fizyką techniczną oraz prowadzić debatę

...

Z zakresu kompetencji społecznych:

PEU\_K01 potrafi odpowiedzialnie pełnić rolę zawodowe z uwzględnieniem zmieniających się potrzeb społecznych: rozwija dorobek zawodu, podtrzymuje etos zawodu, przestrzega i rozwija zasady etyki zawodu oraz działa na rzecz przestrzegania tych zasad

Forma zajęć - seminarium		Liczba godzin
Se1 – Se15	Prezentacje ekspertów dotyczące aktualnego stanu wiedzy związanego z fizyką półprzewodników i nanoinżynierią	30
	Suma godzin	<b>30</b>

### STOSOWANE NARZĘDZIA DYDAKTYCZNE

N1. Seminarium problemowe, prezentacja

N2. Dyskusja

### OCENA OSIĄGNIĘCIA PRZEDMIOTOWYCH EFEKTÓW UCZENIA SIĘ

Oceny (F – formująca (w trakcie semestru), P – podsumowująca (na koniec semestru))	Numer efektu uczenia się	Sposób oceny osiągnięcia efektu uczenia się
F1	PEU_W01 PEU_U01 PEU_K01	Obecność na seminarium, ocena udziału studenta w dyskusji, aktywność
P=F1		

### LITERATURA PODSTAWOWA I UZUPEŁNIAJĄCA

#### LITERATURA PODSTAWOWA:

Czasopisma naukowe z fizyki.

#### **OPIEKUN PRZEDMIOTU (IMIĘ, NAZWISKO, ADRES E-MAIL)**

Jan Misiewicz, jan.misiewicz@pwr.wroc.pl

<b>WYDZIAŁ PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW TECHNIKI</b>	
<b>KARTA PRZEDMIOTU</b>	
<b>Nazwa przedmiotu w języku polskim: Zaawansowane metody elektryczne badań fotoogniw</b>	
<b>Nazwa przedmiotu w języku angielskim: Advanced Electrical Methods in Photovoltaic Cell Research</b>	
<b>Kierunek studiów (jeśli dotyczy): fizyka techniczna</b>	
<b>Specjalność (jeśli dotyczy):</b>	
<b>Poziom i forma studiów:</b>	<b>II stopień, stacjonarna</b>
<b>Rodzaj przedmiotu:</b>	<b>wybieralny</b>
<b>Język wykładowy:</b>	<b>polski</b>
<b>Cykl kształcenia od:</b>	<b>2023/2024</b>
<b>Kod przedmiotu</b>	
<b>Grupa kursów</b>	<b>TAK</b>

	Wykład	Ćwiczenia	Laboratorium	Projekt	Seminarium
Liczba godzin zajęć zorganizowanych w Uczelni (ZZU)	15			15	
Liczba godzin całkowitego nakładu pracy studenta (CNPS)	25			25	
Forma zaliczenia	zaliczenie na ocenę			zaliczenie na ocenę	
Dla grupy kursów zaznaczyć kurs końcowy (X)	X				
<b>Liczba punktów ECTS</b>	<b>2</b>				
w tym liczba punktów odpowiadająca zajęciom o charakterze praktycznym (P)				1	
w tym liczba punktów ECTS odpowiadająca zajęciom wymagającym bezpośredniego udziału nauczycieli lub innych osób prowadzących zajęcia (BU)	0.68			0.68	

**WYMAGANIA WSTĘPNE W ZAKRESIE WIEDZY, UMIEJĘTNOŚCI I KOMPETENCJI SPOŁECZNYCH**

1. Znajomość podstaw fizyki ciała stałego i fizyki półprzewodników
2. Podstawowa wiedza z zakresu fotowoltaiki.
3. Podstawowe umiejętności przeprowadzanie eksperymentów fizycznych.

**CELE PRZEDMIOTU**

- C1 Nabycie wiedzy dotyczącej zaawansowanych metod elektrycznych badań fotoogniw.  
 C2 Nabycie umiejętności przeprowadzania zaawansowanych eksperymentów elektrycznych dla fotoogniw  
 C3 Nabycie umiejętności analizowania oraz raportowania otrzymanych wyników.

### PRZEDMIOTOWE EFEKTY UCZENIA SIĘ

Z zakresu wiedzy:

PEU\_W01 zna metody elektryczne badania fotoogniw, tj. DLTS, LDLTS, spektroskopia impedancyjna, EQE, charakterystyki prądowo-napięciowa oraz pojemnościowo-napięciowe

PEU\_W02 zna i rozumie zalety i wady poszczególnych metod, ich ograniczenia oraz możliwości zastosowania

PEU\_W03 zna i rozumie podstawowe parametry fizyczne wyznaczone za pomocą wyżej wymienionych metod

Z zakresu umiejętności:

PEU\_U01 potrafi wyjustować stanowisko pomiarowe i przygotować próbki do pomiaru właściwości elektrycznych fotoogniw

PEU\_U02 potrafi scharakteryzować fotoogniwo pod kątem właściwości elektrycznych

PEU\_U03 potrafi zinterpretować wyniki eksperymentu

PEU\_U04 potrafi napisać raport z wykonanych pomiarów i analiz

Z zakresu kompetencji społecznych:

PEU\_K01 rozumie potrzebę samokształcenia

PEU\_K02 potrafi poszukiwać rozwiązania i realizować postawione zadania w zespole

PEU\_K03 potrafi krytycznie odnieść się do uzyskiwanych wyników oraz informacji

### TREŚCI PROGRAMOWE

Forma zajęć – wykład		Liczba godzin
Wy1	Wprowadzenie do kursu oraz omówienie zasad zaliczenia. Podsumowanie ogólnych informacji o ogniwach słonecznych.	1
Wy2	Charakterystyka prądowo-napięciowa z oświetleniem i bez. Równanie Schokley'a. Mechanizmy transportu prądu. Model dwudiodowy.	2
Wy3	Charakterystyka pojemnościowo-napięciowa. Profilowanie C-V.	2
Wy4	Spektroskopia głębokich poziomów defektowych (DLTS).	2
Wy5	Odmiany DLTS: Spektroskopia głębokich poziomów defektowych z wykorzystania transformaty Laplace'a (LDLTS), optyczny DLTS (ODLTS), prądowa spektroskopia głębokich poziomów pułpkowych z wyzwaniem światłem (PICS).	2
Wy6	Spektroskopia impedancyjna	2
Wy7	Pomiar fotoprądu, wydajność kwantowa: wewnętrzna (EQE), zewnętrzna (IQE). Rekombinacja nośników w ogniwach.	2
Wy8	Zaliczenie	2
	Suma godzin	15

Forma zajęć – projekt		Liczba godzin
P1	Zajęcia wprowadzające: zapoznanie z zasadami zaliczenia kursu, omówienie przebiegu zajęć, zapoznanie studentów ze stanowiskami, urządzeniami pomiarowymi, badanymi strukturami oraz sposobami przeprowadzania eksperymentu.	3

P2	Pomiar charakterystyk prądowo-napięciowych oraz pojemnościowo-napięciowych w różnych temperaturach.	3
P3	Pomiar DLTS oraz LDLTS.	3
P4	Pomiar PICS	3
P5	Pomiar I-V przy oświetleniu AM1.5. Pomiar EQE, IQE.	3
	<b>Suma godzin</b>	<b>15</b>

### STOSOWANE NARZĘDZIA DYDAKTYCZNE

N1 Wykład tradycyjny z prezentacjami multimedialnymi.  
 N2 E-materiały do wykładu umieszczone w Internecie.  
 N3 Konsultacje i kontakt pocztą elektroniczną.  
 N4 Materiały do projektu.  
 N5 Praca własna – przygotowanie do projektu i kolokwium zaliczeniowego z wykładu, wykonanie raportu z części projektowej.

### OCENA OSIĄGNIĘCIA PRZEDMIOTOWYCH EFEKTÓW UCZENIA SIĘ

Oceny (F – formująca (w trakcie semestru), P – podsumowująca (na koniec semestru))	Numer efektu uczenia się	Sposób oceny osiągnięcia efektu uczenia się
F1	PEU_W01, PEU_W02, PEU_W03, PEU_U01, PEU_U02, PEU_U03, PEU_U04, PEU_K01, PEU_K02, PEU_K03	Aktywność podczas wykładu, zajęć projektowych, odpowiedź ustna podczas zajęć projektowych.
F2	PEU_W01, PEU_W02, PEU_W03	Kolokwium zaliczeniowe z wykładu .
F3	PEU_W01, PEU_W02, PEU_W03, PEU_U01, PEU_U02, PEU_U03, PEU_U04, PEU_K01, PEU_K02, PEU_K03	Raport podsumowujący z zajęć projektowych.
P1 = F1+F2+F3 (do grupy kursów)		



## LITERATURA PODSTAWOWA I UZUPEŁNIAJĄCA

### **LITERATURA PODSTAWOWA:**

- [1] Materiały do wykładu, projektu (prezentacje, opisy zadań), dostępne poprzez internet: <https://gwozdz.wppt.pwr.edu.pl/>
- [2] P. Blood, J. Orton, The Electrical Characterization of Semiconductors: Majority Carriers and Electron States (Techniques of Physics), Academic Press, 1992
- [3] Dieter K. Schroder, Semiconductor Material and Device Characterization, Wiley and Sons, 2005
- [4] M. Deen, Fabien Pascal, Electrical Characterization of Semiconductor Materials and Devices, Springer Handbooks, 2006
- [5] E. Płaczek-Popko, „Fizyka odnawialnych źródeł energii” Skrypt DBC
- [6] E. Płaczek-Popko, Spektroskopia defektów metastabilnych. Centra DX w  $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ , Oficyna Wydawnicza PWR, 2004
- [7] M. Dąbrowska-Szata, Spektroskopia głębokich poziomów w strukturach półprzewodnikowych, Oficyna Wydawnicza PWR, 2009

### **LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA**

- [1] M.Fox „Optical Properties of Solids” Oxford University Press 2010.
- [2] P.Wurfel „Physics of Solar Cells”, ed. Wiley-Vch, Weinham 2009.
- [3] J.Nelson „The Physics of Solar Cells” Imperial College Press 2003
- [4] D.A.Neamen „Semiconductor Physics and Devices”, McGraw Hill, 1992

### **OPIEKUN PRZEDMIOTU (IMIE, NAZWISKO, ADRES E-MAIL)**

Katarzyna Gwóźdź, katarzyna.r.gwozdz@pwr.edu.pl

<b>WYDZIAŁ PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW TECHNIKI</b>	
<b>KARTA PRZEDMIOTU</b>	
<b>Nazwa przedmiotu w języku polskim: Zaawansowane modelowanie zjawisk fizycznych za pomocą Maple</b>	
<b>Nazwa przedmiotu w języku angielskim: Advanced Modeling of Physical Phenomena with Maple</b>	
<b>Kierunek studiów (jeśli dotyczy): fizyka techniczna</b>	
<b>Specjalność (jeśli dotyczy):</b>	
<b>Poziom i forma studiów:</b>	<b>II stopień, stacjonarna</b>
<b>Rodzaj przedmiotu:</b>	<b>wybieralny</b>
<b>Język wykładowy:</b>	<b>polski</b>
<b>Cykl kształcenia od:</b>	<b>2023/2024</b>
<b>Kod przedmiotu</b>	
<b>Grupa kursów</b>	<b>NIE</b>

	<b>Wykład</b>	<b>Ćwiczenia</b>	<b>Laboratorium</b>	<b>Projekt</b>	<b>Seminarium</b>
Liczba godzin zajęć zorganizowanych w Uczelni (ZZU)			30		
Liczba godzin całkowitego nakładu pracy studenta (CNPS)			50		
Forma zaliczenia			zaliczenie na ocenę		
Dla grupy kursów zaznaczyć kurs końcowy (X)					
<b>Liczba punktów ECTS</b>			<b>2</b>		
w tym liczba punktów odpowiadająca zajęciom o charakterze praktycznym (P)			2		
w tym liczba punktów ECTS odpowiadająca zajęciom wymagającym bezpośredniego udziału nauczycieli lub innych osób prowadzących zajęcia (BU)			1.28		

**WYMAGANIA WSTĘPNE W ZAKRESIE WIEDZY, UMIEJĘTNOŚCI I KOMPETENCJI SPOŁECZNYCH**

1. Podstawowa wiedza i praktyczne opanowanie matematyki z zakresu studiów I stopnia
2. Podstawowa wiedza i umiejętności w zakresie algorytmów, struktur danych oraz programowania
3. Kompetencje w zakresie docierania do uzupełniających obszarów wiedzy i umiejętności
4. Umiejętność pracy z komputerem w środowisku Windows

**CELE PRZEDMIOTU**

- C1 Zdobyć wiedzę dotyczącą wybranych zaawansowanych zagadnień mechaniki kwantowej oraz podstaw formalizmu optyki kwantowej;
- C2 Umiejętność rozwiązywania problemów z zakresu zaawansowanych zagadnień mechaniki kwantowej oraz podstaw optyki kwantowej.

### PRZEDMIOTOWE EFEKTY UCZENIA SIĘ

Z zakresu wiedzy:

PEU\_W01 ma wiedzę z zakresu metodyki wykorzystania pakietu algebry komputerowej *Maple*

PEU\_W02 ma usystematyzowaną i utrwaloną wiedzę z zakresu podstawowych zagadnień przetwarzania danych i obliczeń naukowych oraz inżynierskich, zna wybrane komendy i funkcje pakietu *Maple*

Z zakresu umiejętności:

PEU\_U01 potrafi pozyskiwać informacje z literatury, baz danych i innych źródeł; potrafi integrować uzyskane informacje, dokonywać ich interpretacji i krytycznej oceny, a także wyciągać wnioski oraz formułować i wyczerpująco uzasadniać opinie

PEU\_U02 posiada umiejętność samodzielnego uczenia się w zakresie zagadnień fizyki teoretycznej

PEU\_U03 potrafi analizować zjawiska fizyczne wykorzystując poznane metody opisu teoretycznego i pakietu *Maple*

Z zakresu kompetencji społecznych:

PEU\_K01 rozumie potrzebę ciągłego dokształcania, w tym samokształcenia; rozumie potrzebę pracy samodzielnie i w grupie

Forma zajęć - laboratorium		Liczba godzin
La01	Rozwiązywanie równań różniczkowych zwyczajnych. Metoda analityczna (symboliczna) i numeryczna	2
La02	Wahadło matematyczne – zależność okresu drgań od amplitudy	2
La03	Oscylator anharmoniczny	2
La04	Wahadło podwójne	2
La05	Tunelowanie przez barierę	4
La06	Rekonstrukcja atraktora Lorenza	2
La07	Portrety fazowe układów dynamicznych	2
La08	Model Lorenza – stabilność punktów stałych	4
La09	Chaos deterministyczny i przekrój Poincare	2
La10	Przepływ ciepła w jednym wymiarze	4
La11	Drgania struny	2
La12	Przybliżone metody analityczne dla nieliniowego oscylatora Harmonicznego. Metoda perturbacyjna Poissona i Lindstedta	2
	Suma godzin	<b>30</b>

### STOSOWANE NARZĘDZIA DYDAKTYCZNE

N1. Ćwiczenia laboratoryjne - komputer PC z pakietem algebry symbolicznej *Maple*

N2. Konsultacje

N3. Zasoby cyfrowe

N4. Praca własna – przygotowanie do laboratorium

### OCENA OSIĄGNIĘCIA PRZEDMIOTOWYCH EFEKTÓW UCZENIA SIĘ

Oceny (F – formująca (w trakcie semestru), P – podsumowująca (na koniec semestru))	Numer efektu uczenia się	Sposób oceny osiągnięcia efektu uczenia się
F1	PEU_U03, PEU_K01	Dyskusja i odpowiedzi ustne
F2	PEU_W01, PEU_W02, PEU_U01, PEU_U02	Zagadnienia rozwiązywane w trakcie ćwiczeń laboratoryjnych, zadania dodatkowe
P=F2 jeżeli brak oceny negatywnej F1		

## LITERATURA PODSTAWOWA I UZUPEŁNIAJĄCA

### **LITERATURA PODSTAWOWA:**

- [1] A.C. Mituś, R. Orlik, G. Pawlik, *Wstęp do pakietu algebry komputerowej Maple*, (Oficyna Wydawnicza DWSPiT, Polkowice, 2010).
- [2] Materiały dydaktyczne (w języku polskim) udostępnianie w postaci elektronicznej na stronie www

### **LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA:**

- [1] A. Heck, *Introduction to Maple*, Springer 1996.
- [2] W. H. Press, S.A. Teukolsky, W.T. Vetterling and B.P. Flannery, *NUMERICAL RECIPES*, Cambridge University Press (2007), Edition: 3.
- [3] Tao Pang, *Metody obliczeniowe w fizyce*, PWN (2001).
- [4] R.H. Enns, G.C. McGuire, *Computer Algebra Recipes: An Advanced Guide to Scientific Modeling*, Springer, 2007.
- [5] R.H. Enns, *Computer Algebra Recipes for Mathematical Physics*, Birkhauser, 2005.

### **OPIEKUN PRZEDMIOTU (IMIE, NAZWISKO, ADRES E-MAIL)**

Grzegorz Pawlik, grzegorz.pawlik@pwr.edu.pl

<b>WYDZIAŁ PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW TECHNIKI</b>	
<b>KARTA PRZEDMIOTU</b>	
<b>Nazwa przedmiotu w języku polskim</b>	<b>Zaawansowane metody spektroskopii optycznej</b>
<b>Nazwa przedmiotu w języku angielskim</b>	<b>Advanced methods of optical spectroscopy</b>
<b>Kierunek studiów (jeśli dotyczy):</b> fizyka techniczna	
<b>Specjalność (jeśli dotyczy):</b>	
<b>Poziom i forma studiów:</b>	<b>II stopień, stacjonarna</b>
<b>Rodzaj przedmiotu:</b>	<b>wybieralny</b>
<b>Język wykładowy:</b>	<b>polski</b>
<b>Cykl kształcenia od:</b>	<b>2023/2024</b>
<b>Kod przedmiotu</b>	
<b>Grupa kursów</b>	<b>TAK</b>

	Wykład	Ćwiczenia	Laboratorium	Projekt	Seminarium
Liczba godzin zajęć zorganizowanych w Uczelni (ZZU)	15			45	15
Liczba godzin całkowitego nakładu pracy studenta (CNPS)	25			75	50
Forma zaliczenia	egzamin			zaliczenie na ocenę	zaliczenie na ocenę
Dla grupy kursów zaznaczyć kurs końcowy (X)	X				
<b>Liczba punktów ECTS</b>	<b>6</b>				
w tym liczba punktów odpowiadająca zajęciom o charakterze praktycznym (P)				3	2
w tym liczba punktów ECTS odpowiadająca zajęciom wymagającym bezpośredniego udziału nauczycieli lub innych osób prowadzących zajęcia (BU)	0.64			1.92	0.84

**WYMAGANIA WSTĘPNE W ZAKRESIE WIEDZY, UMIEJĘTNOŚCI I KOMPETENCJI SPOŁECZNYCH**

1. Mechanika kwantowa
2. Podstawy fizyki ciała stałego
3. Podstawy spektroskopii

**CELE PRZEDMIOTU**

- C1 Opis zjawisk dotyczących optycznych właściwości ciał stałych i nanostruktur, oddziaływania światło-materia oraz sposobów badania nowych materiałów i nanomateriałów.
- C2 Zapoznanie studentów z wybranymi, współczesnymi, zaawansowanymi metodami doświadczalnymi spektroskopii optycznej w badaniach ciał stałych i nanostruktur.
- C3 Zapoznanie studentów z różnymi sposobami wyznaczania właściwości optycznych oraz elektronicznych na podstawie widm optycznych oraz zastosowaniem metod spektroskopii

optycznej w badaniach nowych materiałów, nanomateriałów i innych struktur niskowymiarowych.

### PRZEDMIOTOWE EFEKTY UCZENIA SIĘ

Z zakresu wiedzy:

PEU\_W01 ma uporządkowaną i zaawansowaną wiedzę na temat współczesnych metod eksperymentalnych stosowanych w spektroskopii optycznej

PEU\_W02 ma pogłębioną wiedzę dotyczącą aparatury pomiarowej wykorzystywanej w badaniach spektroskopowych i zna zasady jej działania

Z zakresu umiejętności:

PEU\_U01 posiada umiejętność planowania i przeprowadzania eksperymentów, interpretowania uzyskanych rezultatów oraz formułowania wniosków

PEU\_U02 posiada umiejętność opracowania danych z zadania inżynierskiego, przygotowania tekstów oraz prezentacji (w tym multimedialnej), sprawozdania z realizacji badań albo zadania projektowego

PEU\_U03 potrafi współdziałać z innymi osobami w ramach prac zespołowych i podejmować wiodącą rolę w zespołach

Z zakresu kompetencji społecznych:

PEU\_K01 potrafi odpowiedzialnie pełnić role zawodowe z uwzględnieniem zmieniających się potrzeb społecznych: rozwija dorobek zawodu, przestrzega i rozwija zasady etyki zawodu oraz działa na rzecz przestrzegania tych zasad

### TREŚCI PROGRAMOWE

Forma zajęć - wykład		Liczba godzin
Wy1	Wstęp do metod optycznych badania ciał stałych i nanostruktur. Oddziaływanie światła materia. Podstawowe pojęcia spektroskopii i rodzaje widm optycznych.	1
Wy2	Funkcja dielektryczna a widma optyczne. Związki pomiędzy stałymi optycznymi. Metody wyznaczania i analizy podstawowych widm optycznych - różne realizacje eksperymentalne.	2
Wy3	Metody wyznaczania widm emisyjnych i absorpcyjnych, ich zalety i ograniczenia (spektroskopia fotoluminescencyjna, spektroskopia wzbudzeniowa, i inne)	2
Wy4	Badania optyczne z wysoką rozdzielczością przestrzenną. Zależność kątowna - pomiary w przestrzeni rzeczywistej i przestrzeni pędu.	2
Wy5	Podstawy fizyczne spektroskopii modulacyjnej. Związki pomiędzy zmianami w zespolonej funkcji dielektrycznej i widmami modulacyjnymi o charakterze różniczkowym dla różnych przypadków fizycznych. Efekt Franza-Kieldysza (FK) i efekt Starka dla stanów ograniczonych przestrzennie ( <i>ang. quantum confined Stark effect</i> ).	2
Wy6	Od efektu FK do spektroskopii trzeciej pochodnej. Spektroskopia pierwszej pochodnej. Metody analizy widm. Realizacje eksperymentalne spektroskopii modulacyjnej.	2
Wy7	Techniki wytwarzania laserowych impulsów światła. Metody badawcze ultraszybkiej spektroskopii. Spektroskopia detekcji i korelacji pojedynczych fotonów.	2

Wy8	Zaawansowana spektroskopia fourierowska w podczerwieni do badania nowych materiałów i nanostruktur. Metodologia i różne realizacje eksperymentalne.	<b>2</b>
	Suma godzin	<b>15</b>

<b>Forma zajęć - projekt</b>		Liczba godzin
Pr1	Zajęcia organizacyjne: przepisy BHP obowiązujące w laboratorium; wybór zagadnień na seminarium wstępne, związanych z technikami pomiarowymi oraz przyrządami wykorzystywanymi w spektroskopii optycznej, omówienie zadań laboratoryjnych i sposobu analizy danych pomiarowych.	<b>4</b>
Pr2	Przygotowanie i wygłoszenie prezentacji wstępnej nt. wybranych metod i przyrządów.	<b>6</b>
Pr3	Praca w laboratorium: - przygotowanie układów pomiarowych - udział w zaawansowanych pomiarach spektroskopowych	<b>14</b>
Pr4	Analiza danych pomiarowych	<b>10</b>
Pr5	Przygotowanie sprawozdania pisemnego na podstawie uzyskanych wyników pomiarowych	<b>5</b>
Pr6	Przygotowanie i wygłoszenie prezentacji nt. wyników uzyskanych w ramach zadania projektowego.	<b>4</b>
Pr7	Omówienie sprawozdań i prezentacji, podsumowanie	<b>2</b>
	Suma godzin	<b>45</b>

<b>Forma zajęć – seminarium</b>		Liczba godzin
Se1	Zajęcia organizacyjne. Omówienie tematów seminariów oraz wymagań. Niezbędna literatura. Ustalenie harmonogramu.	<b>1</b>
Se2- Se8	Zagadnienia seminaryjne do wyboru: 1. Wpływ temperatury na widma emisyjne nowych materiałów i nanostruktur 2. Zastosowania spektroskopii wzbudzeniowej do struktur niskowymiarowych 3. Przykłady zastosowania pomiarów rozpraszania Ramana do badania materiałów/struktur niskowymiarowych i nanostruktur 4. Wykorzystanie spektroskopii modulacyjnej w badaniach struktur półprzewodnikowych 5. Pomiary widm emisyjnych w badaniu właściwości pojedynczych nanostruktur 6. Badania promienistych czasów życia nośników w nanostrukturach 7. Zastosowanie techniki pompa-sonda do badania dynamiki odpowiedzi optycznej z nanostruktur półprzewodnikowych 8. Wykorzystanie techniki mieszania czterech fal w badaniach struktur niskowymiarowych 9. Przykłady spektroskopii korelacji pojedynczych fotonów w badaniu nanostruktur 10. Badania struktur półprzewodnikowych w dalszej podczerwieni – spektroskopia fourierowska	<b>14</b>

	11. Optyczne badania silnego oddziaływania ekscytonów z fotonami – polarytony, kondensat Bosego-Einsteina	
	Suma godzin	<b>15</b>

<b>STOSOWANE NARZĘDZIA DYDAKTYCZNE</b>	
N1. Wykład z użyciem narzędzi multimedialnych	
N2. Praca w laboratorium	
N3. Praca własna studenta - przygotowanie do seminarium i wygłoszenia prezentacji	
N4. Konsultacje	

### **OCENA OSIĄGNIĘCIA PRZEDMIOTOWYCH EFEKTÓW UCZENIA SIĘ**

Oceny (F – formująca (w trakcie semestru), P – podsumowująca (na koniec semestru))	Numer efektu uczenia się	Sposób oceny osiągnięcia efektu uczenia się
F1 (wykład)	PEU_W01, PEU_W02 PEU_U01 PEU_K01	Egzamin
F2 (projekt)	PEU_W01, PEU_W02 PEU_U01, PEU_U02, PEU_U03 PEU_K01	Ocena sprawozdania z projektu i prezentacji z wynikami
F3 (seminarium)	PEU_W01, PEU_W02 PEU_U02	Ocena wystąpienia i prezentacji
P = F1*0.3 + F2*0.5 + F3*0.2, pod warunkiem, uzyskania ocen pozytywnych z F1, F2 i F3		

<b>LITERATURA PODSTAWOWA I UZUPEŁNIAJĄCA</b>
<p><b><u>LITERATURA PODSTAWOWA:</u></b></p> <p>[1] Optyczna spektroskopia nanostruktur, J. Misiewicz, G. Sęk, A. Podhorodecki, materiały elektroniczne – E-Skrypt, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej 2011.</p> <p>[2] David Ball, The basics of Spectroscopy, SPIE 2001</p> <p>[3] Optical spectroscopy. Methods and Instruments, N. V. Tkaczenko, Elsevier 2006</p> <p>[4] Introduction to the photoreflectance spectroscopy, J. Misiewicz, P. Sitarek, G. Sęk, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej 1999</p> <p>[5] Spektroskopia fotoodbiciowa struktur półprzewodnikowych, J. Misiewicz, G. Sęk, P. Sitarek, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej 1999</p> <p>[6] Ultrafast optics, W. Weiner, Wiley 2009</p> <p>[7] Advanced Time-Correlated Single Photon Counting Techniques, W. Becker, Springer 2005</p> <p><b><u>LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA:</u></b></p> <p>[1] Fundamentals of Semiconductors: Physics and Materials Properties, Peter Yu, Manuel Cardona, Springer 2010.</p>



- [2] Półprzewodniki i struktury półprzewodnikowe, K. Sierański, M. Kubisa, J. Szatkowski, J. Misiewicz, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej 2002.
- [3] Optyka struktur półprzewodnikowych, J. Misiewicz, P. Podemski, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej 2008.
- [4] Artykuły naukowe z zakresu zaawansowanych metod spektroskopowych na podstawie baz danych, np. Scopus lub Web of Science, oraz strony wydawców czasopism (np. ACS, AIP, IOP, APS, Wiley, Springer, Elsevier).
- [5] Strony internetowe producentów elementów urządzeń i aparatury do pomiarów spektroskopowych (np. [www.scontel.ru](http://www.scontel.ru), [www.hamamatsu.com](http://www.hamamatsu.com), [www.bruker.com](http://www.bruker.com), [www.edmundoptics.com](http://www.edmundoptics.com), [www.picoquant.com](http://www.picoquant.com), [www.horiba.com/us/en/scientific](http://www.horiba.com/us/en/scientific), [www.newport.com](http://www.newport.com), [www.coherent.com](http://www.coherent.com), [www.oceaninsight.com](http://www.oceaninsight.com), etc.)

**OPIEKUN PRZEDMIOTU (IMIE, NAZWISKO, ADRES E-MAIL)**

Grzegorz Sęk, [grzegorz.sek@pwr.edu.pl](mailto:grzegorz.sek@pwr.edu.pl)

<b>WYDZIAŁ PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW TECHNIKI</b>	
<b>KARTA PRZEDMIOTU</b>	
<b>Nazwa przedmiotu w języku polskim: Zjawiska transportu ładunku i spinu w nanostrukturach</b>	
<b>Nazwa przedmiotu w języku angielskim: Charge and spin transport phenomena in nanostructures</b>	
<b>Kierunek studiów (jeśli dotyczy): fizyka techniczna</b>	
<b>Specjalność (jeśli dotyczy):</b>	
<b>Poziom i forma studiów:</b>	<b>II stopień, stacjonarna</b>
<b>Rodzaj przedmiotu:</b>	<b>wybieralny</b>
<b>Język wykładowy:</b>	<b>polski</b>
<b>Cykl kształcenia od:</b>	<b>2023/2024</b>
<b>Kod przedmiotu</b>	
<b>Grupa kursów</b>	<b>TAK</b>

	Wykład	Ćwiczenia	Laboratorium	Projekt	Seminarium
Liczba godzin zajęć zorganizowanych w Uczelni (ZZU)	45				15
Liczba godzin całkowitego nakładu pracy studenta (CNPS)	75				25
Forma zaliczenia	zaliczenie na ocenę				zaliczenie na ocenę
Dla grupy kursów zaznaczyć kurs końcowy (X)	X				
<b>Liczba punktów ECTS</b>	<b>4</b>				
w tym liczba punktów odpowiadająca zajęciom o charakterze praktycznym (P)					1
w tym liczba punktów ECTS odpowiadająca zajęciom wymagającym bezpośredniego udziału nauczycieli lub innych osób prowadzących zajęcia (BU)	1.88				0.68

**WYMAGANIA WSTĘPNE W ZAKRESIE WIEDZY, UMIEJĘTNOŚCI I KOMPETENCJI SPOŁECZNYCH**

1. Zaliczone kursy: Mechanika kwantowa, Fizyka ciała stałego.

**CELE PRZEDMIOTU**

- C1 Nabycie zaawansowanej wiedzy, z uwzględnieniem jej aspektów aplikacyjnych, dotyczącej zjawisk transportu ładunku i spinu (spintroniki) w nanostrukturach.
- C2 Zdobycie umiejętności samodzielnego pozyskiwania wiedzy z literatury naukowej.

### PRZEDMIOTOWE EFEKTY UCZENIA SIĘ

Z zakresu wiedzy:

PEU\_W01 studenci posiadają zaawansowaną wiedzę dotyczącą zjawisk transportowych w nanostrukturach półprzewodnikowych

PEU\_W02 studenci posiadają podstawową wiedzę dotyczącą spintroniki, włącznie z jej aplikacyjnymi aspektami

...

Z zakresu umiejętności:

PEU\_U01 studenci umieją stosować zdobytą wiedzę w praktyce naukowej i technicznej

PEU\_U02 studenci umieją poszerzać wiedzę w oparciu o literaturę naukową

...

Z zakresu kompetencji społecznych:

PEU\_K01 studenci rozumieją konieczność samokształcenia

PEU\_K02 studenci rozumieją wagę dyskusji naukowych

### TREŚCI PROGRAMOWE

Forma zajęć - wykład		Liczba godzin
Wy1–Wy2	Wprowadzenie do fizyki struktur półprzewodnikowych: inżynieria przerwy, struktura pasmowa, aspekty materiałowe, wytwarzanie struktur 2D, 1D i 0D	3
Wy2–Wy4	Transport elektryczny w układach niskowymiarowych: model Drude'go, równanie Boltzmana, mechanizmy rozpraszania, wysokie ruchliwości, tensor magnetoprzewodnictwa, klasyczny efekt Halla, konfiguracje pomiarowe,	6
Wy5–Wy6	Transport balistyczny w strukturach 1D: kwantyzacja przewodnictwa, model Landauera- Bütikkera	4
Wy7–Wy9	Magnetotransport w wysokich polach magnetycznych i kwantowy efekt Halla	5
Wy10–Wy11	Transport w strukturach 0D: blokada kulombowska	4
Wy12–Wy13	Fizyka spinu elektronowego, własności magnetyczne ciał stałych	3
Wy13–Wy15	Transport elektronowy w materiałach magnetycznych. Zjawiska magnetooporowe: AMR, GMR, TMR	4
Wy15–Wy16	Transport spinowy w materiałach niemagnetycznych w modelu dryfowo-dyfuzyjnym	2
Wy16–Wy17	Elektryczne wstrzykiwanie i detekcja spinów w materiałach niemagnetycznych.	2
Wy17–Wy18	Oddziaływanie spin-orbita w ciele stałym: wpływ na strukturę pasmową półprzewodnikow, zjawiska Rashby i Dresselhausa	2
Wy18–Wy20	Spin w polu magnetycznym. Prądy spinowe: dyfuzja, relaksacja, manipulacja. Tranzystor spinowy.	4
Wy20–Wy21	Spinowy efekt Halla i kwantowy spinowy efekt Halla	2
Wy21–Wy22	Zjawiska interferencyjne w transporcie ładunku i spinu	2
Wy22–Wy23	Kropki kwantowe z pojedynczym spinem: spinowe bity kwantowe	2
<b>Suma godzin</b>		<b>45</b>

Forma zajęć - seminarium		Liczba godzin
<b>Rozwinięcie zagadnień omawianych na wykładzie</b>		
Se1	Szczegółowa analiza oscylacji Szubnikowa-de Haasa	1
Se1	Zastosowanie modelu Landauera-Büttikera do obliczania przewodnictwa różnych struktur	1
Se2	Nowoczesne materiały dwuwymiarowe	1
Se2	Rozcieńczone półprzewodniki magnetyczne	1
Se3	Wstrzykiwanie i detekcja spinów: komplementarne metody optyczne	1
Se3–Se7	Omówienie wybranych publikacji z literatury naukowej ilustrujących wybrane zagadnienia	10
<b>Suma godzin</b>		<b>15</b>

STOSOWANE NARZĘDZIA DYDAKTYCZNE
N1. Wykład problemowy.
N2. Seminarium z interaktywnym udziałem studentów.

### OCENA OSIĄGNIĘCIA PRZEDMIOTOWYCH EFEKTÓW UCZENIA SIĘ

Oceny (F – formująca (w trakcie semestru), P – podsumowująca (na koniec semestru))	Numer efektu uczenia się	Sposób oceny osiągnięcia efektu uczenia się
F1 (wykład)	PEU_W01–W02 PEU_U01	Kolokwium.
F2 (seminarium)	PEU_U01–U02, PEU_K01–K02	Prezentacje, dyskusje.
$P = F1 * 0.75 + F2 * 0.25$		

LITERATURA PODSTAWOWA I UZUPEŁNIAJĄCA
<b><u>LITERATURA PODSTAWOWA:</u></b>
[1] T. Ihn: <i>Semiconductor nanostructures: quantum states and electronic transport</i> , Oxford University Press, Oxford, 2010
[2] T. Schäpers: <i>Semiconductor Spintronics</i> , De Greuter, Berlin/Boston, 2016
<b><u>LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA:</u></b>
[2] S. Datta: <i>Electronic transport in mesoscopic systems</i> , Cambridge University Press, Cambridge, 2007
[3] J. H. Davies: <i>Physics of low-dimensional semiconductors</i> , Cambridge University Press, Cambridge, 2009
[4] T. Heinzl, <i>Mesoscopic electronics in solid state nanostructures</i> , Wiley-VCH, Weinheim, 2007
[5] P. Yu, M. Cardona, <i>Fundamentals of Semiconductors</i> , Springer, Berlin 2005
[6] Wybrane artykuły z czasopism naukowych
<b>OPIEKUN PRZEDMIOTU (IMIĘ, NAZWISKO, ADRES E-MAIL)</b>
Mariusz Ciorga, mariusz.ciorga@pwr.edu.pl