

**SYLABUS**DOTYCZY CYKLU KSZTAŁCENIA **2020-2024**

(skrajne daty)

Rok akademicki 2022/2023

**1. PODSTAWOWE INFORMACJE O PRZEDMIOCIE**

Nazwa przedmiotu	<b>Transport elektronowy w strukturach kwantowych</b>
Kod przedmiotu*	
Nazwa jednostki prowadzącej kierunek	Kolegium Nauk Przyrodniczych
Nazwa jednostki realizującej przedmiot	Kolegium Nauk Przyrodniczych
Kierunek studiów	Inżynieria materiałowa
Poziom studiów	studia pierwszego stopnia
Profil	ogólnoakademicki
Forma studiów	stacjonarne
Rok i semestr/y studiów	III rok, 6 semestr
Rodzaj przedmiotu	specjalnościowy
Język wykładowy	polski
Koordynator	dr inż. Ewa Bobko
Imię i nazwisko osoby prowadzącej / osób prowadzących	dr inż. Ewa Bobko

\* -opcjonalnie, zgodnie z ustaleniami w Jednostce

**1.1. Formy zajęć dydaktycznych, wymiar godzin i punktów ECTS**

Semestr (nr)	Wykł.	Ćw.	Konw.	Lab.	Sem.	ZP	Prakt.	Inne (jakie?)	Liczba pkt. ECTS
6	15			15					4

**1.2. Sposób realizacji zajęć**

- zajęcia w formie tradycyjnej  
 zajęcia realizowane z wykorzystaniem metod i technik kształcenia na odległość

**1.3 Forma zaliczenia przedmiotu (z toku) (egzamin, zaliczenie z oceną, zaliczenie bez oceny)**

- Wykład – egzamin  
Laboratoria – zaliczenie z oceną

**2. WYMAGANIA WSTĘPNE**

Znajomość analizy matematycznej, podstaw fizyki kwantowej, termodynamiki statystycznej, konieczność zaliczenia przedmiotu Fizyka Ciała Stałego.
---

### 3. CELE, EFEKTY UCZENIA SIĘ, TREŚCI PROGRAMOWE I STOSOWANE METODY DYDAKTYCZNE

#### 3.1 Cele przedmiotu

C1	Zapoznanie studentów z nowoczesnym sformułowaniem praw transportu elektronowego, na których opierają się działanie nanotranzystorów, nanodrutów i kropek kwantowych a także przyszłe zastosowanie struktur grafenowych oraz układów spintronicznych.
C2	zapoznanie studentów z sposobami modelowania komputerowego własności elektrycznych nanoukładów za pomocą metod numerycznych algebry macierzowej i nierównowagowej funkcji Greena (NEGF), bez potrzeby wykonywania złożonych obliczeń analitycznych.
C3	Przedmiot ma zapewnić zrozumienie podstaw fizycznych działania współczesnych przyrządów nanoelektroniki i zrozumienie jak różnorodne efekty, związane z mechaniką kwantową i termodynamiką nierównowagową, wpływają na ich konstrukcję.
C4	Ma też wykształcić umiejętność rozpoznawania warunków w których, przy wytwarzaniu, obrazowaniu i konstrukcji nowoczesnych nanostruktur dla potrzeb nanoelektroniki, należy uwzględnić zjawiska korelacyjne, tzn. związane z oddziaływaniem elektron-elektron i elektron-fonon.

#### 3.2 Efekty uczenia się dla przedmiotu

EK (efekt uczenia się)	Treść efektu uczenia się zdefiniowanego dla przedmiotu Student:	Odniesienie do efektów kierunkowych <sup>1</sup>
EK_01	ma uporządkowaną i podbudowaną teoretycznie wiedzę ogólną w zakresie chemii, fizyki i ich technicznych zastosowań niezbędną do rozumienia i opisu podstawowych zjawisk fizycznych oraz rozumienia roli fizyki w różnych obszarach techniki i technologii.	K_W02
EK_02	ma podstawową wiedzę w zakresie stosowania termodynamiki do opisu i modelowania procesów obróbki cieplnej, przemian fazowych, dyfuzji atomów w procesach technologicznych	K_W05
EK_03	zna podstawowe metody, techniki, narzędzia i materiały do projektowania, modelowania, symulacji i wytwarzania elementów i urządzeń technicznych oraz rozwiązywania za ich pomocą prostych zagadnień technicznych i badawczych	K_W07
EK_04	potrafi posługiwać się typowymi narzędziami informatycznymi do symulacji komputerowych transportu kwantowego w nanostrukturach	K_U04
EK_05	potrafi wykorzystać poznane metody eksperymentalne, symulacje komputerowe do rozwiązania zagadnień związanych z transportem elektronowym w drutach kwantowych	K_U07

<sup>1</sup> W przypadku ścieżki kształcenia prowadzącej do uzyskania kwalifikacji nauczycielskich uwzględnić również efekty uczenia się ze standardów kształcenia przygotowującego do wykonywania zawodu nauczyciela.

EK_o6	potrafi korzystać z podstawowych metod badań struktury i własności materiałów spintronicznych, tranzystorów FET, a także innych układów niskowymiarowych	K_U15
EK_o7	rozumie potrzebę podnoszenia swoich kwalifikacji, rozumie konieczność wzbogacania swojej wiedzy i umiejętności do zmian zachodzących w technice i technologii	K_Ko1
EK_o8	potrafi pracować zespołowo; rozumie odpowiedzialność za działania własne i innych osób	K_Ko4

### 3.3 Treści programowe

#### A. Problematyka wykładu

Treści merytoryczne:
Pojęcia podstawowe: zjawiska transportu jako zjawiska nierównowagowe, tranzystor FET jako podstawowy element nanoelektroniki, transport dyfuzyjny i droga swobodna, prawo Ohma i prawo Joule'a, dyssypacja energii, rozpraszanie elastyczne i nieelastyczne, transport balistyczny.
Transport w układach niskowymiarowych: dlaczego płynie prąd, rozkład Fermiego, przewodnictwo, gęstość stanów, zależności dyspersyjne: kwadratowa (półprzewodniki), liniowa (grafen), gęstość nośników prądu, kwantyzacja przewodnictwa, równanie dyfuzji dla transportu balistycznego, dryft czy dyfuzja? Równanie Boltzmanna
Transport w nanostrukturach: oddziaływanie z klasycznymi (makroskopowymi) kontaktami, rola elektrostatyki, blokada kulombowska, potencjały samouzgodnione, charakterystyki I-V nanotranzystora, prąd nasycenia, złącza p-n, zjawiska termoelektryczne, współczynnik Seebeck'a, oddziaływanie z fononami, fononowy transport ciepła, przewodnictwo cieplne, formuła Landauera, efekt Halla
Spintronika: zawór spinowy, niedopasowanie modów elektrycznych i spinowych oraz opór złącza ferromagnetyk-półprzewodnik, potencjały spinowe, spinowy moment obrotowy (spin torque), polaryzatory i analizatory spinowe, spinowe hamiltoniany, wektory i spinory, precesja.
Najważniejsze koncepcje i odkrycia: formuła Kubo, relacje Onsagera, kwantowy efekt Halla, spinowy efekt Halla, izolatory topologiczne, efekt Kondo w kropkach kwantowych.

#### B. Problematyka ćwiczeń laboratoryjnych

Treści merytoryczne:
Podstawy rachunku macierzowego w środowisku obliczeniowym MATLAB/Octave. Zmienne i funkcje numeryczne. Definiowanie wektorów kolumnowych i wierszowych, definiowanie macierzy. Podstawowe operacje (mnożenie, transpozycja, symboliczne operacje na macierzach.
Model nanotranzystora: własności funkcji Fermiego, kwantyzacja przewodnictwa, blokada kulombowska, efekty termoelektryczne
Struktura pasmowa: metoda ciasnego wiązania (TB), struktura pasmowa grafenu, dyspersja liniowa (Diraca), odbicie Kleina.

Metoda nierównowagowej funkcji Greena: Klasyczne i kwantowa dynamika, równanie Schrodingera, model 1-wymiarowy, model 2-wymiarowy, nierównowagowa funkcja Greena (NeGF), transport w grafenie, kwantowy efekt Halla

### 3.4 Metody dydaktyczne

Wykład: prezentacja multimedialna

Laboratoria: praca w laboratorium, ćwiczenia rachunkowe, zajęcia w grupach, projekt.

## 4. METODY I KRYTERIA OCENY

### 4.1 Sposoby weryfikacji efektów uczenia się

Symbol efektu	Metody oceny efektów uczenia się (np.: kolokwium, egzamin ustny, egzamin pisemny, projekt, sprawozdanie, obserwacja w trakcie zajęć)	Forma zajęć dydaktycznych (w, ćw, ...)
EK_01	Obserwacja w trakcie zajęć, kolokwium, egzamin	W, Lab.
EK_02	Obserwacja w trakcie zajęć, kolokwium, egzamin	W, Lab.
EK_03	Obserwacja w trakcie zajęć, kolokwium, egzamin	W, Lab.
EK_04	Obserwacja w trakcie zajęć, kolokwium, egzamin	W, Lab.
EK_05	Obserwacja w trakcie zajęć, kolokwium, egzamin	W, Lab.
EK_06	Obserwacja w trakcie zajęć, kolokwium, egzamin	W, Lab.
EK_07	Obserwacja w trakcie zajęć	Lab.
EK_08	Obserwacja w trakcie zajęć	Lab.

### 4.2 Warunki zaliczenia przedmiotu (kryteria oceniania)

Zaliczenie przedmiotu potwierdzi stopień osiągnięcia przez studenta zakładanych efektów uczenia się. Weryfikacja osiąganych efektów uczenia się kontrolowana jest na bieżąco w trakcie realizacji zajęć. Ocena uzyskana z zaliczenia przedmiotu pozwoli ocenić stopień osiągniętych efektów.

Wykład zlicza się na podstawie większej niż 60% frekwencji oraz pozytywnie zdanego egzaminu.

Egzamin – egzamin pisemny lub ustny, skala ocen:

60%-70% punktów – dostateczny

70%-75% punktów – plus dostateczny dobry

76%-83% punktów – dobry

84%-90% punktów – plus dobry

91%-100% punktów – bardzo dobry

Ocena końcowa z laboratorium, to średnia z dwóch kolokwii, gdzie ocena kolokwii to:  
 60%-70% punktów – dostateczny  
 70%-75% punktów – plus dostateczny dobry  
 76%-83% punktów – dobry  
 84%-90% punktów – plus dobry  
 91%-100% punktów – bardzo dobry

## 5. CAŁKOWITY NAKŁAD PRACY STUDENTA POTRZEBNY DO OSIĄGNIĘCIA ZAŁOŻONYCH EFEKTÓW W GODZINACH ORAZ PUNKTACH ECTS

Forma aktywności	Średnia liczba godzin na zrealizowanie aktywności
Godziny kontaktowe wynikające z harmonogramu studiów	30
Inne z udziałem nauczyciela akademickiego (udział w konsultacjach, egzaminie)	3
Godziny niekontaktowe – praca własna studenta (przygotowanie do zajęć, egzaminu, napisanie referatu itp.)	72
SUMA GODZIN	105
<b>SUMARYCZNA LICZBA PUNKTÓW ECTS</b>	<b>4</b>

*\* Należy uwzględnić, że 1 pkt ECTS odpowiada 25-30 godzin całkowitego nakładu pracy studenta.*

## 6. PRAKTYKI ZAWODOWE W RAMACH PRZEDMIOTU

wymiar godzinowy	Nie dotyczy
zasady i formy odbywania praktyk	Nie dotyczy

## 7. LITERATURA

Literatura podstawowa: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. S. Datta, Lessons from Nanoelectronics , World Scientific, Singapore 2012.</li> <li>2. S. Datta, Quantum transport: Atom to transistor, Cambridge University Press, New York 2006 – udostępnia prowadzący</li> </ol>
Literatura uzupełniająca:

Akceptacja Kierownika Jednostki lub osoby upoważnionej