



# Nanostruktury nadprzewodzące w nauce i technice

## Karta opisu przedmiotu

### Informacje podstawowe

<b>Kierunek studiów</b> Przedmioty innowacyjne	<b>Cykl dydaktyczny</b> 2023/2024	
<b>Specjalność</b> Wszystkie	<b>Kod przedmiotu</b> POGPIS.B1000000.60c9a1b825ea7.23	
<b>Jednostka organizacyjna</b> Przedmioty ogólne	<b>Języki wykładowe</b> polski	
<b>Poziom kształcenia</b> Dowolny poziom	<b>Obligatoryjność</b> Do wyboru	
<b>Forma studiów</b> Stacjonarne	<b>Blok zajęciowy</b> Przedmioty ogólne	
<b>Profil studiów</b> Ogólnoakademicki	<b>Przedmiot powiązany z badaniami naukowymi</b> Tak	
<b>Koordinator przedmiotu</b>	Michał Nowak	
<b>Prowadzący zajęcia</b>	Michał Nowak, Michał Zegrodnik	
<b>Okres</b> Semestr zimowy	<b>Forma zaliczenia</b> Zaliczenie	<b>Liczba punktów ECTS</b> 3
	<b>Forma prowadzenia i godziny zajęć</b> Wykład: 15 Ćwiczenia laboratoryjne: 15	

## Cele kształcenia dla przedmiotu

C1	Podstawowym celem modułu jest teoretyczne zapoznanie studentów z fizyką nanoukładów nadprzewodzących. Celem jest przekazanie wiedzy z zakresu funkcjonowania nanourządzeń, metod ich wytwarzania, zastosowań w innowacyjnej technologii (komputery kwantowe, nowoczesne układy pomiarowe) i badaniach podstawowych (fazy topologiczne, egzotyczne kwazicząstki).
C2	Celem przedmiotu jest wprowadzenie studentów do numerycznych symulacji nanourządzeń nadprzewodzących [przykład: <a href="http://acmin.agh.edu.pl/didactics/SCNano/Andreev_reflection.html">http://acmin.agh.edu.pl/didactics/SCNano/Andreev_reflection.html</a> ], które będą pozwalały na intuicyjne zrozumienie zasad funkcjonowania i fizyki leżącej u podstaw działania nanostruktur.

## Efekty uczenia się dla przedmiotu

Kod	Efekty w zakresie	Kierunkowe efekty uczenia się	Metody weryfikacji
<b>Wiedzy - Student zna i rozumie:</b>			
W1	podstawy zjawiska nadprzewodnictwa i kwantowo-mechaniczny opis funkcjonowania nanostruktur		Aktywność na zajęciach, Wykonanie ćwiczeń laboratoryjnych, Egzamin, Sprawozdanie, Studium przypadków
W2	metody wytwarzania i metody eksperymentalnej charakteryzacji nanostruktur		Egzamin
W3	zastosowania nanostruktur nadprzewodzących w technice i badaniach naukowych		Aktywność na zajęciach, Wykonanie ćwiczeń laboratoryjnych, Egzamin, Sprawozdanie, Studium przypadków
W4	podstawy prowadzenia symulacji numerycznych w języku Python		Aktywność na zajęciach, Wykonanie ćwiczeń laboratoryjnych, Sprawozdanie, Studium przypadków
<b>Umiejętności - Student potrafi:</b>			
U1	wyjaśnić zjawiska obserwowane w nanostrukturach nadprzewodzących		Aktywność na zajęciach, Wykonanie ćwiczeń laboratoryjnych, Egzamin, Sprawozdanie, Studium przypadków
U2	przewidzieć własności nanostruktur za pomocą samodzielnie przygotowanych symulacji numerycznych		Aktywność na zajęciach, Wykonanie ćwiczeń laboratoryjnych, Sprawozdanie, Studium przypadków
<b>Kompetencji społecznych - Student jest gotów do:</b>			
K1	kompetentnego wyjaśnienia roli nadprzewodnictwa w obecnej technologii oraz wyzwań stojących przed rozwojem tej dziedziny		Egzamin

## Treści programowe zapewniające uzyskanie efektów uczenia się dla modułu zajęć

Zajęcia będą obejmowały niezbędny formalizm teoretyczny oraz komputerowe ćwiczenia laboratoryjne. Nacisk zostanie

położony na omówienie głównych efektów eksperymentalnych z zakresu fizyki nanostruktur, a następnie przeprowadzenie obliczeń numerycznych, które zobrazują dyskutowane zjawiska. Wybrane problemy mają być rozwiązywane jako ćwiczenia obliczeniowe z wykorzystaniem pakietu Kwant (<https://kwant-project.org/>).

### Nakład pracy studenta

Rodzaje zajęć studenta	Średnia liczba godzin* przeznaczonych na zrealizowane aktywności
Wykład	15
Ćwiczenia laboratoryjne	15
Przygotowanie do zajęć	25
Dodatkowe godziny kontaktowe	5
Przygotowanie projektu, prezentacji, pracy pisemnej, sprawozdania	28
Egzamin lub kolokwium zaliczeniowe	2
<b>Łączny nakład pracy studenta</b>	<b>Liczba godzin</b> 90
<b>Liczba godzin kontaktowych</b>	<b>Liczba godzin</b> 30

\* godzina (lekcyjna) oznacza 45 minut

### Treści programowe

Lp.	Treści programowe	Efekty uczenia się dla przedmiotu	Formy prowadzenia zajęć
1.	Wstęp do fundamentalnych zjawisk związanych z fizyką ciała stałego. Wstęp do transportu elektronowego i podstaw nadprzewodnictwa.  Podstawy symulacji numerycznych w języku Python z wykorzystaniem pakietu Kwant. Realizacja prostych przykładów dotyczących struktury pasmowej, transportu elektronów oraz symulacji nadprzewodnictwa.	W1, W4	Wykład, Ćwiczenia laboratoryjne

2.	<p>Opis metod eksperymentalnych, metod wytwarzania nanostruktur nadprzewodzących oraz ich zastosowań w nauce i technice. Wyjaśnienie funkcjonowania fundamentalnych układów takich jak: złącze półprzewodnik-nadprzewodnik, w którym elektrony konwertowane są na pary Coopera, złącza Josephsona, które służą za najczulsze układy do mierzenia pola magnetycznego, układy nadprzewodzące służące do poszukiwań egzotycznych kwazicząstek Majorany, kubity nadprzewodzące.</p> <p>Realizacja symulacji numerycznych pozwalających intuicyjnie zrozumieć dyskutowane na wykładzie zjawiska. Zapoznanie się z aparaturą pomiarową dostępną w ACMiN służącą do wytwarzania i pomiarów nanostruktur.</p>	W2, W3, W4, U1, U2, K1	Wykład, Ćwiczenia laboratoryjne
----	---	------------------------	---------------------------------

## Informacje rozszerzone

### Metody i techniki kształcenia:

Mini wykład, Dyskusja, Studium przypadku (Case study), Praca grupowa, Metoda projektowa (Project based learning)

Rodzaj zajęć	Metody zaliczenia	Warunki zaliczenia przedmiotu
Wykład	Egzamin	Z wagą 40% do finalnej oceny
Ćwiczenia laboratoryjne	Aktywność na zajęciach, Wykonanie ćwiczeń laboratoryjnych, Sprawozdanie, Studium przypadków	Z wagą 60% do finalnej oceny

### Dodatkowy opis

Zajęcia prowadzone będą w laboratorium komputerowym ACMiN. Studenci uczestniczyć będą w wykładzie, a następnie w ramach ćwiczeń, przygotowywać będą symulacje komputerowe dotyczące dyskutowanych zjawisk. Po zakończonych zajęciach student będzie przygotowywał sprawozdanie opisujące wykonane obliczenia.

### Warunki i sposób zaliczenia poszczególnych form zajęć, w tym zasady zaliczeń poprawkowych, a także warunki dopuszczenia do egzaminu

Studenci zaliczać będą poszczególne zajęcia przygotowując sprawozdania. Warunkiem dopuszczenia do egzaminu jest pozytywna ocena 80% sprawozdań.

### Sposób obliczania oceny końcowej

Przedmiot zakończony będzie egzaminem ustnym, na którym zweryfikowana zostanie znajomość zagadnień poruszanych na zajęciach. Ocena z egzaminu będzie wchodzić do oceny końcowej z wagą 40%. Pozostałe 60% będą to oceny cząstkowe z wykonywanych na ćwiczeniach i opracowywanych symulacji komputerowych.

### Sposób i tryb wyrównywania zaległości powstałych wskutek nieobecności studenta na zajęciach

Student nieobecny na zajęciach zapozna się z dyskutowanymi na wykładzie i ćwiczeniach materiałami na platformie UPEL oraz będzie miał możliwość przedyskutowania zagadnienia będącego przedmiotem zajęć na konsultacjach.

## Wymagania wstępne i dodatkowe

Znajomość podstaw fizyki kwantowej  
Podstawowa umiejętność programowania

## **Zasady udziału w poszczególnych zajęciach, ze wskazaniem, czy obecność studenta na zajęciach jest obowiązkowa**

Obecność na zajęciach jest obowiązkowa.

## **Literatura**

### **Obowiązkowa**

1. Yuli V. Nazarov, Yaroslav M. Blanter, "Quantum transport Introduction to Nanoscience", Cambridge University Press 2009

### **Dodatkowa**

1. J. Spalek, "Wstęp do fizyki materii skondensowanej", Warszawa: Państwowe Wydawnictwo Naukowe 2015
2. C. Kittel, "Wstęp do fizyki ciała stałego", Warszawa : Państwowe Wydawnictwo Naukowe, 1976
3. S. Datta, "Quantum Transport: Atom to Transistor", Cambridge University Press, 2005
4. M. Tinkham, "Introduction to Superconductivity", Dover Publications, 2004

## **Badania i publikacje**

### **Badania**

1. Transport elektronowy w nanostrukturach nadprzewodzących. Analiza eksperymentalnych pomiarów przewodnictwa w układach półprzewodnik-nadprzewodnik. Teoria formowania się stanów związanych Majorany w układach hybrydowych. Własności złącz Josephsona realizowanych w układach nadprzewodnik-półprzewodnik-nadprzewodnik.
2. Nadprzewodnictwo niekonwencjonalne i wysokotemperaturowe. Niekonwencjonalne stany materii (nadprzewodnictwo, fale gęstości ładunku, fale gęstości par Coopera, faza nematyczna itp.) w układach silnie skorelowanych elektronów takich jak nadprzewodniki wysokotemperaturowe, dwuwarstwy grafenowe skręcone o kąt magiczny.

### **Publikacje**

1. "Ballistic superconductivity in semiconductor nanowires", H. Zhang, Ö. Gül, S. Conesa-Boj, M. P. Nowak, M. Wimmer, K. Zuo, V. Mourik, F. K. de Vries, J. van Veen, M. W. A. de Moor, J. D. S. Bommer, D. J. van Woerkom, D. Car, S. R Plissard, E.P.A.M. Bakkers, M. Quintero-Pérez, M. C. Cassidy, S. Koelling, S. Goswami, K. Watanabe, T. Taniguchi, L. P. Kouwenhoven, Nat. Commun. 8, 16025 (2017).
2. "Single-shot fabrication of semiconducting-superconducting nanowire devices", F. Borsoi, G. P. Mazur, N. van Loo, M. P. Nowak, L. Bourdet, K. Li, S. Korneychuk, A. Fursina, J.-Y. Wang, V. Levajac, E. Memisevic, G. Badawy, S. Gazibegovic, K. van Hoogdalem, E. P. A. M. Bakkers, L. P. Kouwenhoven, S. Heedt, M. Quintero-Pérez, Adv. Funct. Mater. 2102388 (2021).
3. Superconducting dome with extended s-wave pairing symmetry in the heavily hole-overdoped copper-oxide planes, M. Zegrodnik, P. Wójcik, and J. Spalek, Phys. Rev. B 103, 144511 (2021)