



Superconducting nanostructures in science and technology

Course description sheet

Basic information

Field of study Innovation courses Major All Organisational unit AGH University Database of Electives Study level University database of electives Form of study Full-time studies Profile General academic		Didactic cycle 2024/2025 Course code UBPOPIS.A100000.12908.24 Lecture languages Polish Mandatoriness Elective Block General Modules Course related to scientific research Yes
Course coordinator	Michał Nowak	
Lecturer	Michał Nowak, Michał Zegrodnik	
Period Winter semester	Method of verification of the learning outcomes Completing the classes Activities and hours Lectures: 15 Laboratory classes: 15	Number of ECTS credits 3

Goals

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	The aim of the course is to introduce students to numerical simulations of superconducting nanodevices [example: http://bit.do/SCnano], which will allow them to understand their functioning and underlying physics.

Course's learning outcomes

Code	Outcomes in terms of	Learning outcomes prescribed to a field of study	Methods of verification
Knowledge - Student knows and understands:			
W1	podstawy zjawiska nadprzewodnictwa i kwantowo-mechaniczny opis funkcjonowania nanostruktur		Activity during classes, Execution of laboratory classes, Examination, Report, Case study
W2	metody wytwarzania i metody eksperymentalnej charakteryzacji nanostruktur		Examination
W3	zastosowania nanostruktur nadprzewodzących w technice i badaniach naukowych		Activity during classes, Execution of laboratory classes, Examination, Report, Case study
W4	podstawy prowadzenia symulacji numerycznych w języku Python		Activity during classes, Execution of laboratory classes, Report, Case study
Skills - Student can:			
U1	wyjaśnić zjawiska obserwowane w nanostrukturach nadprzewodzących		Activity during classes, Execution of laboratory classes, Examination, Report, Case study
U2	przewidzieć własności nanostruktur za pomocą samodzielnie przygotowanych symulacji numerycznych		Activity during classes, Execution of laboratory classes, Report, Case study
Social competences - Student is ready to:			
K1	kompetentnego wyjaśnienia roli nadprzewodnictwa w obecnej technologii oraz wyzwań stojących przed rozwojem tej dziedziny		Examination

Program content ensuring the achievement of the learning outcomes prescribed to the module

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/>).

Student workload

Activity form	Average amount of hours* needed to complete each activity form
Lectures	15
Laboratory classes	15

Preparation for classes	25
Contact hours	5
Preparation of project, presentation, essay, report	28
Examination or final test/colloquium	2
Student workload	Hours 90
Workload involving teacher	Hours 30

* hour means 45 minutes

Program content

No.	Program content	Course's learning outcomes	Activities
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	Lectures, Laboratory classes
2.	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 Josepha, które służą za najczulsze układy do mierzenia pola magnetycznego, układy nadprzewodzące służące do poszukiwań egzotycznych kwazicząstek Majorany, kubity nadprzewodzące. Realizacja symulacji numerycznych pozwalających intuicyjnie zrozumieć dyskutowane na wykładzie zjawiska. Zapoznanie się z aparaturą pomiarową dostępną w ACMiN służącą do wytwarzania i pomiarów nanostruktur.	W2, W3, W4, U1, U2, K1	Lectures, Laboratory classes

Extended information/Additional elements

Teaching methods and techniques :

Project Based Learning, Group work, Case study, Discussion, Lectures

Activities	Methods of verification	Credit conditions
Lectures	Examination	Z wagą 40% do finalnej oceny

Activities	Methods of verification	Credit conditions
Lab. classes	Activity during classes, Execution of laboratory classes, Report, Case study	Z wagą 60% do finalnej oceny

Additional info

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

Conditions and the manner of completing each form of classes, including the rules of making retakes, as well as the conditions for admission to the exam

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

Method of determining the final grade

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 częściowe z wykonywanych na ćwiczeniach i opracowywanych symulacji komputerowych.

Manner and mode of making up for the backlog caused by a student justified absence from classes

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

Prerequisites and additional requirements

Znajomość podstaw fizyki kwantowej
Podstawowa umiejętność programowania

Rules of participation in given classes, indicating whether student presence at the lecture is obligatory

Obecność na zajęciach jest obowiązkowa.

Literature

Obligatory

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

Optional

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

Scientific research and publications

Research

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.

Publications

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. Spałek, Phys. Rev. B 103, 144511 (2021)