Załącznik nr 1.5 do Zarządzenia Rektora UR nr 61/2025

SYLABUS

DOTYCZY CYKLU KSZTAŁCENIA *2025-2027*
(skrajne daty)
Rok akademicki 2026/2027

1. PODSTAWOWE INFORMACJE O PRZEDMIOCIE

Nazwa przedmiotu	Komputery kwantowe
Kod przedmiotu*	
nazwa jednostki prowadzącej kierunek	Wydział Nauk Ścisłych i Technicznych
Nazwa jednostki realizującej przedmiot	Wydział Nauk Ścisłych i Technicznych
Kierunek studiów	Inżynieria materiałowa
Poziom studiów	studia drugiego stopnia
Profil	ogólnoakademicki
Forma studiów	stacjonarna
Rok i semestr/y studiów	II rok, 2 semestr
Rodzaj przedmiotu	kierunkowy I do wyboru
Język wykładowy	polski
Koordynator	Dr inż. Ewa Bobko
Imię i nazwisko osoby prowadzącej / osób prowadzących	Dr inż. Ewa Bobko, dr Krzysztof Kucab

** -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**
2	15	15							**2**

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- zaliczenie bez oceny,
Ćwiczenia- zaliczenie z oceną.

2.WYMAGANIA WSTĘPNE

Znajomość podstaw fizyki klasycznej, analizy matematycznej i algebry liniowej, 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 fizyki kwantowej, na których opierają się działanie i zastosowania nano-obiektów, struktur niskowymiarowych i komputerów kwantowych.
C2	Zapoznanie studentów z sposobami modelowania komputerowego efektów kwantowych za pomocą metod numerycznych algebry macierzowej i symbolicznej, bez potrzeby wykonywania złożonych obliczeń analitycznych.
C3	Zrozumienie podstaw fizycznych aparatu pojęciowego mechaniki kwantowej oraz zrozumienie różnorodnych efektów, związanych z koherencją funkcji falowej i kwantyzacją energii, zachodzącymi w nanoskali.
C4	Wykształcenie umiejętności rozpoznawania warunków w których, przy wytwarzaniu, obrazowaniu i konstrukcji nowoczesnych nanostruktur w ramach metod inżynierii materiałowej, należy uwzględnić zjawiska kwantowe. W szczególności omówione będą zasadnicze założenia konstrukcji komputera kwantowego oraz praktyczne realizacje podstawowego elementu komputera kwantowego – tzw.„qubitu”.

3.2 Efekty uczenia się dla przedmiotu

EK (efekt uczenia się)	Treść efektu uczenia się zdefiniowanego dla przedmiotu	Odniesienie do efektów kierunkowych
EK_01	Student/Studentka zna i rozumie w pogłębionym zakresie wybrane zagadnienia metod matematycznych, fizyki kwantowej i fizyki ciała stałego niezbędnych do rozumienia i ilościowego opisu zjawisk i procesów technologicznych oraz posługiwania się aparatem matematycznym w opisie i modelowaniu zjawisk i procesów fizycznych oraz chemicznych związanych z inżynierią materiałową, charakteryzuje główne metody rachunkowe i obliczeniowe	K_W01
EK_02	Student/Studentka zna i rozumie rozszerzone i pogłębione zagadnienia z zakresu: budowy materii, metodyki badań struktury i właściwości fizycznych oraz zastosowania w technologii wytwarzania nowoczesnych materiałów. Dodatkowo zna i rozumie tendencje rozwoju technologii materiałowych oraz powiązania innych kierunków studiów z inżynierią materiałową, nowymi materiałami i nanotechnologią	K_W02 K_W06

EK_03	Student/Studentka potrafi korzystać z przekazu słownego i graficznego treści nauczania; potrafi pozyskiwać informacje, dokonywać ich interpretacji, a także wyciągać wnioski oraz formułować i uzasadniać opinie pozwalające powiązać podstawy teorii z zastosowaniami inżynierskimi	K_U01
EK_04	Student/Studentka potrafi dokonać doboru urządzeń, metod, technik i materiałów do zastosowań inżynierskich, z uwzględnieniem nowych technologii, w zależności od struktury, własności i warunków użytkowania. Student/Studentka rozwija krytyczne myślenie dzięki wiedzy o zjawiskach kwantowych, które często wydają się paradoksalne i sprzeczne ze zdrowym rozsądkiem, zachowuje otwartość na nowe rozwiązanie i potrzebę racjonalnej analizy zjawisk na podstawie faktów doświadczalnych i możliwość wykorzystania nowych osiągnięć (technik i technologii) w zakresie inżynierii materiałowej	K_U06 K_U012
EK_05	Student/Studentka rozwija kreatywność oraz odwagę formułowania nieszablonowych wniosków i nowatorskich opinii, docenia konieczność pracy zespołowej	K_K01 K_K03

1.3 Treści programowe

A. Problematyka wykładu

Treści merytoryczne
1. Cząstki i fale: Fale elektromagnetyczne i fotony, falowe własności materii, doświadczenia interferencyjne Young'a , Eksperyment pierwszy – jedna szczelina otwarta, Eksperyment drugi – obie szczeliny otwarte, kwantowanie energii, efekt fotoelektryczny, Dualizm korpuskularno–falowy , zasada nieoznaczoności Heisenberga
2. Charakter zjawisk kwantowych: pojęcie amplitudy prawdopodobieństwa, pojęcie funkcji falowej jako wektora w przestrzeni stanów, zasada superpozycji, pojęcie operatora jako macierzy, operator ewolucji w czasie, liniowość mechaniki kwantowej, deterministyczny charakter zjawisk kwantowych, wyjaśnienie dlaczego wektor falowy ma składowe zespolone.
3. Operatory: układy kwantowe o dwu stanach, qubity, spin 1/2, efekt Sterna-Gerlacha, proces pomiaru kwantowego, wektory własne i wartości własne operatora, diagonalizacja macierzy, macierze hermitowskie i unitarne, zasada nieoznaczoności
4. Dynamika kwantowa: unitarna ewolucja w czasie, równanie Schroedingera, stany kwantowe cząstki swobodnej, paczki falowe i zasada nieoznaczoności, przechodzenie paczek falowych przez bariery potencjału, rozpraszanie, efekt tunelowy, oddziaływanie światła z materią, oddziaływanie układu kwantowego z otoczeniem, dekoherencja.

5. Paradoksy i współczesne zastosowania: układy złożone, oddziaływania i splątanie, paradoks kota Schroedingera, paradoks Einsteina-Podolsky'ego-Rosena, nierówności Bella i nielokalność fizyki kwantowej, komputery kwantowe i kwantowa kryptografia.
6. Komputery kwantowe: Kubity i bramki kwantowe. Twierdzenie o niemożliwości klonowania stanu kwantowego, kwantowa teleportacja, proste algorytmy kwantowe budowy komputera kwantowego.
7. Fizyczne realizacje komputerów kwantowych: Wykorzystanie jądrowego rezonansu magnetycznego (NMR), nadprzewodnictwo jako makroskopowe zjawisko kwantowe, wykorzystanie złącza Josephsona jako kubitu
8. Współczesne komputery kwantowe: Obecny stan wiedzy, zastosowanie komputerów kwantowych np. w sztucznej inteligencji, firmy zajmujące się komputerami kwantowymi.

B. Problematyka ćwiczeń

Treści merytoryczne
Fizyczne realizacje komputerów kwantowych: Wykorzystanie jądrowego rezonansu magnetycznego (NMR), nadprzewodnictwo jako makroskopowe zjawisko kwantowe, wykorzystanie złącza Josephsona jako kubitu, nanostruktury półprzewodnikowe, obliczenia kwantowe z kropkami kwantowymi, zjawisko blokady kulombowskiej, kubit ładunkowy, kubit spinowy
Komputery kwantowe: Kubity i bramki kwantowe. Twierdzenie o niemożliwości klonowania stanu kwantowego, kwantowa teleportacja, proste algorytmy kwantowe, budowa komputerów kwantowych, operowanie na komputerach kwantowych
Współczesne komputery kwantowe: Obecny stan wiedzy na temat komputerów kwantowych, realizacje komputerów kwantowych, problemy z komputerami kwantowymi, firmy zajmujące się komputerami kwantowymi.

3.4 Metody dydaktyczne

Wykład: wykład z prezentacja multimedialną
Ćwiczenia: ćwiczenia rachunkowe, zajęcia w grupach

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	Kolokwium	W, Ćw.
EK_02	Kolokwium, Praca w grupach	W, Ćw.
EK_03	Kolokwium, Obserwacja studenta w trakcie zajęć	W, Ćw.

EK_04	Kolokwium, Obserwacja studenta w trakcie zajęć	W, Ćw.
EK_05	Obserwacja studenta w trakcie zajęć	Ćw.

4.2 Warunki zaliczenia przedmiotu (kryteria oceniania)

Wykład – zaliczenie na podstawie obecności i aktywności na wykładzie.
Ćwiczenia– zaliczenie na podstawie oceny z wykonywanego w trakcie zajęć projektu oraz prezentacji wykonanego projektu. Ocena projektu będzie polegać na ocenie pracy w grupach studentów, treści merytorycznych projektu oraz konstruktywnie sformułowanych wniosków. Zaliczenie projektu następuje na podstawie zaliczenia wszystkich efektów uczenia się w trakcie pracy nad projektem.

Zaliczenie przedmiotu następuje po zaliczeniu wykładów i ćwiczeń.
Student otrzymuje ocenę niedostateczny gdy co najmniej jeden z efektów kształcenia nie został osiągnięty; Student otrzymuje ocenę dostateczny gdy podczas pracy w grupach zrealizował i przedstawił projekt, a każdy z weryfikowanych efektów został osiągnięty na poziomie co najmniej 3.0.

Stosowana skala oceniania:
dst. (51-60)% pkt.
+dst (61-70)% pkt.
db (71-80)% pkt.
+db (81-90)% pkt.
bdb (91-100)% pkt.

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

Forma aktywności	Średnia liczba godzin na zrealizowanie aktywności
Godziny 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.)	23
SUMA GODZIN	56
SUMARYCZNA LICZBA PUNKTÓW ECTS	2

** 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:

1. H. Haken, H. Ch. Wolf, Atomy i kwanty, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2002 – udostępnia prowadzący
2. Schumacher, M. Westmoreland, Quantum processes, systems, & information, Cambridge University Press, New York 2010.
3. P. Krzyżanowski, Obliczenia inżynierskie i naukowe, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2011.

Literatura uzupełniająca:

1. W. Demtroeder, Atoms, Molecules and Photons, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 2006.
2. M. Nakahara, T. Ohmi, Quantum computing, CRC Press, Taylor & Francis Press, 2008.

Akceptacja Kierownika Jednostki lub osoby upoważnionej