

POLITECHNIKA KRAKOWSKA IM. TADEUSZA KOŚCIUSZKI

KARTA PRZEDMIOTU

obowiązuje studentów rozpoczynających studia w roku akademickim 2021/2022

Wydział Inżynierii Materiałowej i Fizyki

Kierunek studiów: Nanotechnologie i Nanomateriały

Profil: Praktyczny

Forma studiów: stacjonarne

Kod kierunku: NtiNm

Stopień studiów: I

Specjalności: Inżynieria nanostruktur

1 INFORMACJE O PRZEDMIOCIE

NAZWA PRZEDMIOTU	Wstęp do mechaniki kwantowej
NAZWA PRZEDMIOTU W JĘZYKU ANGIELSKIM	Introduction to quantum mechanics
KOD PRZEDMIOTU	WIMiF NTINM pIS C4 21/22
KATEGORIA PRZEDMIOTU	Przedmioty kierunkowe
LICZBA PUNKTÓW ECTS	3.00
SEMESTRY	3

2 RODZAJ ZAJĘĆ, LICZBA GODZIN W PLANIE STUDIÓW

SEMESTR	WYKŁAD	ĆWICZENIA	LABORATORIUM	LABORATORIUM KOMPUTERO- WE	SEMINARIUM	PROJEKT
3	30	15	0	0	0	0

3 CELE PRZEDMIOTU

Cel 1 Zapoznanie studentów z podstawami fizyki kwantowej

Cel 2 Zapoznanie studentów z podstawami mechaniki kwantowej

Cel 3 Zapoznanie studentów z metodami rozwiązywania równania Schroedingera dla wybranych potencjałów

Cel 4 Zapoznanie studentów z metodą rozwiązywania równania Schroedingera dla atomu wodoru

Cel 5 Zapoznanie studentów ze spinem w mechanice kwantowej

Cel 6 Zapoznanie studentów z wpływem pola magnetycznego na atom wodoru

4 WYMAGANIA WSTĘPNE W ZAKRESIE WIEDZY, UMIEJĘTNOŚCI I INNYCH KOMPETENCJI

1 Zaliczenie kursu matematyki oraz fizyki ogólnej

5 EFEKTY KSZTAŁCENIA

EK1 Wiedza Student potrafi wskazać fakty doświadczalne sprzeczne z mechaniką klasyczną

EK2 Umiejętności Student potrafi wyprowadzić przesunięcie comptonowskie

EK3 Wiedza Student potrafi wyjaśnić podstawy formalizmu mechaniki kwantowej

EK4 Umiejętności Student potrafi rozwiązać równanie Schroedingera dla kilku potencjałów

EK5 Wiedza Student potrafi wyjaśnić technikę operatorów drabinkowych

EK6 Umiejętności Student potrafi rozwiązać problem własny operatora kwadratu momentu pędu oraz składowej jego składowej z-towej

EK7 Wiedza Student rozumie konsekwencje komutacji operatorów hermitowskich

EK8 Umiejętności Student potrafi rozwiązać równanie Schroedingera dla atomu wodoru

EK9 Wiedza Student potrafi uzasadnić wprowadzenie operatora spinu w mechanice kwantowej

EK10 Umiejętności Student potrafi rozwiązać równanie Schroedingera dla atomu wodoru w polu magnetycznym

6 TREŚCI PROGRAMOWE

ĆWICZENIA		
LP	TEMATYKA ZAJĘĆ OPIS SZCZEGÓŁOWY BLOKÓW TEMATYCZNYCH	LICZBA GODZIN
C1	Wyprowadzenie przesunięcia Comptona	2
C2	Przypomnienie własności przestrzeni Hilberta. Udowadnianie hermitowskości kilku operatorów	3
C3	Obliczanie komutatorów	3
C4	Rozwiązywanie równania Schroedingera dla wybranych potencjałów	7

WYKŁAD		
LP	TEMATYKA ZAJĘĆ OPIS SZCZEGÓŁOWY BLOKÓW TEMATYCZNYCH	LICZBA GODZIN

WYKŁAD		
LP	TEMATYKA ZAJĘĆ OPIS SZCZEGÓŁOWY BLOKÓW TEMATYCZNYCH	LICZBA GODZIN
W1	Podstawy doświadczalne fizyki kwantowej - promieniowanie ciała doskonale czarnego, efekt fotoelektryczny, efekt Comptona	2
W2	Hipoteza de Broglie'a i zasada nieoznaczoności Heisenberga	2
W3	Pojęcie operatora hermitowskiego, przestrzeni Hilberta, warunku zupełności i ortonormalności	1
W4	Postulaty mechaniki kwantowej - funkcja stanu, reguły Jordana, równanie stanu (równanie Schrodingera), problem własny operatorów hermitowskich, wartości średnie operatorów	4
W5	Problem własny kwadratu operatora momentu pędu	4
W6	Rozwiązanie równania Schroedingera dla: - cząstki swobodnej i cząstki w studni potencjalnej, - bariery potencjalnej: efekt tunelowy i Ramsauera, - oscylatora harmonicznego, atomu wodoru	6
W7	Atomy wieloelektronowe - stan podstawowy, nierozróżnialność cząstek, symetria funkcji falowej, zakaz Pauliego	4
W8	Model kwantowomechaniczny elektronów swobodnych (studnia trójwymiarowa) - poziom Fermiego, gęstość stanów	3
W9	Operator spinu i atom wodoru w polu magnetycznym	4

7 NARZĘDZIA DYDAKTYCZNE

N1 Wykłady

N2 Zadania tablicowe

N3 Konsultacje

8 OBCIĄŻENIE PRACĄ STUDENTA

FORMA AKTYWNOŚCI	ŚREDNIA LICZBA GODZIN NA ZREALIZOWANIE AKTYWNOŚCI
Godziny kontaktowe z nauczycielem akademickim, w tym:	
Godziny wynikające z planu studiów	45
Konsultacje przedmiotowe	5
Egzaminy i zaliczenia w sesji	5
Godziny bez udziału nauczyciela akademickiego wynikające z nakładu pracy studenta, w tym:	
Przygotowanie się do zajęć, w tym studiowanie zalecanej literatury	20
Opracowanie wyników	15
Przygotowanie raportu, projektu, prezentacji, dyskusji	0
SUMARYCZNA LICZBA GODZIN DLA PRZEDMIOTU WYNIKAJĄCA Z CAŁEGO NAKŁADU PRACY STUDENTA	90
SUMARYCZNA LICZBA PUNKTÓW ECTS DLA PRZEDMIOTU	3.00

9 SPOSOBY OCENY

OCENA FORMUJĄCA

F1 Kolokwium

F2 Odpowiedź ustna

F3 Zadanie tablicowe

OCENA PODSUMOWUJĄCA

P1 Egzamin pisemny

P2 Egzamin ustny

P3 Zaliczenie pisemne

P4 Średnia ważona ocen formujących

KRYTERIA OCENY

EFEKT KSZTAŁCENIA 1	
NA OCENĘ 2.0	Student nie zna podstaw doświadczalnych mechniki kwantowej - nie potrafi wskazać żadnego doświadczenia sprzecznego z mechaniką klasyczną
NA OCENĘ 3.0	Student potrafi omówić jedno wybrane przez siebie przykładowe doświadczenie

NA OCENĘ 3.5	Student potrafi przedstawić efekt fotoelektryczny
NA OCENĘ 4.0	Student potrafi omówić promieniowanie ciała doskonale czarnego
NA OCENĘ 4.5	Student potrafi omówić doświadczenie Davissona-Germera
NA OCENĘ 5.0	Student potrafi omówić wszystkie omawiane doświadczenia i pokazać na czym polega sprzeczność z mechaniką klasyczną
EFEKT KSZTAŁCENIA 2	
NA OCENĘ 2.0	Student nie zna efektu Comptona
NA OCENĘ 3.0	Student potrafi omówić podstawy doświadczalne efektu Comptona
NA OCENĘ 3.5	Student potrafi zapisać równanie na zachowanie energii w efekcie Comptona
NA OCENĘ 4.0	Student potrafi zapisać równanie na zachowanie pędu w efekcie Comptona
NA OCENĘ 4.5	Student potrafi zapisać układ równań na wielkości wyznaczone
NA OCENĘ 5.0	Student potrafi wyprowadzić formułę na przesunięcie comptonowskie i przedstawić poprawną interpretację fizyczną
EFEKT KSZTAŁCENIA 3	
NA OCENĘ 2.0	Student nie zna postulatów mechaniki kwantowej
NA OCENĘ 3.0	Student zna I postulat mechaniki kwantowej
NA OCENĘ 3.5	Student zna I i II postulat mechaniki kwantowej
NA OCENĘ 4.0	Student zna I, II i III postulat mechaniki kwantowej
NA OCENĘ 4.5	Student zna I, II, III i IV postulat mechaniki kwantowej
NA OCENĘ 5.0	Student zna wszystkie postulaty mechaniki kwantowej
EFEKT KSZTAŁCENIA 4	
NA OCENĘ 2.0	Student nie potrafi rozwiązać równania Schroedingera dla żadnego przykładu
NA OCENĘ 3.0	Student potrafi rozwiązać równanie Schroedingera dla cząstki swobodnej
NA OCENĘ 3.5	Student potrafi rozwiązać równanie Schroedingera dla cząstki w jednowymiarowej studni potencjalnej
NA OCENĘ 4.0	Student potrafi rozwiązać równanie Schroedingera dla cząstki w jednowymiarowej studni potencjalnej i wyjaśnić pochodzenie kwantowania energii
NA OCENĘ 4.5	Student potrafi rozwiązać równanie Schroedingera dla cząstki w potencjale typu skończonej jednowymiarowej bariery
NA OCENĘ 5.0	Student potrafi rozwiązać równanie Schroedingera dla cząstki w potencjale typu skończonej jednowymiarowej bariery i obliczyć współczynnik transmisji

EFEKT KSZTAŁCENIA 5	
NA OCENĘ 2.0	Student nie zna techniki operatorów drabinkowych
NA OCENĘ 3.0	Student potrafi zdefiniować operatory drabinkowe L_+ i L_-
NA OCENĘ 3.5	Student potrafi policzyć komutator L_x i L_y
NA OCENĘ 4.0	Student potrafi policzyć komutator L_2 i L_z
NA OCENĘ 4.5	Student potrafi wyrazić operator L_2 za pomocą operatorów L_+ i L_-
NA OCENĘ 5.0	Student potrafi zastosować technikę operatorów drabinkowych do operatora L_+ i L_-
EFEKT KSZTAŁCENIA 6	
NA OCENĘ 2.0	Student nie potrafi rozwiązać problemu własnego kwadratu operatora momentu pędu oraz jego składowej z-towej
NA OCENĘ 3.0	Student potrafi rozwiązać problem własny składowej z-towej operatora momentu pędu
NA OCENĘ 3.5	Student potrafi zapisać problem własny kwadratu operatora momentu pędu i jego składowej z-towej korzystając z techniki operatorów drabinkowych
NA OCENĘ 4.0	Student potrafi pokazać, że operatory L_+ i L_- zwiększają i obniżają liczbę kwantową m odpowiednio o jeden
NA OCENĘ 4.5	Student potrafi wykazać, że istnieje maksymalna i minimalna liczba kwantowa m
NA OCENĘ 5.0	Student potrafi rozwiązać problem własny kwadratu operatora momentu pędu i jego składowej z-towej z pełną dyskusją
EFEKT KSZTAŁCENIA 7	
NA OCENĘ 2.0	Student nie zna definicji operatorów hermitowskich
NA OCENĘ 3.0	Student zna pojęcie promienia w przestrzeni Hilberta
NA OCENĘ 3.5	Student zna pojęcie promienia w przestrzeni Hilberta i potrafi go powiązać z funkcją stanu
NA OCENĘ 4.0	Konsekwencje fizyczne komutacji i braku komutacji operatorów hermitowskich
NA OCENĘ 4.5	Student potrafi wykazać, że komutacja operatorów hermitowskich implikuje wspólną bazę funkcji własnych
NA OCENĘ 5.0	Student potrafi wykazać, że komutacja operatorów hermitowskich implikuje wspólną bazę funkcji własnych i pokazać implikacje tego faktu
EFEKT KSZTAŁCENIA 8	
NA OCENĘ 2.0	Student nie potrafi zapisać równania Schroedingera dla atomu wodoru

NA OCENĘ 3.0	Student potrafi policzyć komutator hamiltonianu atomu wodoru i kwadratu operatora momentu pędu
NA OCENĘ 3.5	Student potrafi zapisać równanie Schroedingera dla atomu wodoru we współrzędnych sferycznych
NA OCENĘ 4.0	Student potrafi rozseparować równanie Schroedingera na część kątową i radialną
NA OCENĘ 4.5	Student potrafi rozwiązać równanie radialne Schroedingera
NA OCENĘ 5.0	Student potrafi podać pełne rozwiązanie równania Schroedingera dla atomu wodoru i przeprowadzić dyskusję rozwiązań
EFEKT KSZTAŁCENIA 9	
NA OCENĘ 2.0	Student nie potrafi uzasadnić potrzeby wprowadzenia operatora spinu
NA OCENĘ 3.0	Student potrafi opisać doświadczenie Sterna-Gerlacha
NA OCENĘ 3.5	Student potrafi uzasadnić potrzebę wprowadzenia reprezentacji macierzowej dla operatora spinu
NA OCENĘ 4.0	Student potrafi przeprowadzić konstrukcję macierzową operatora spinu
NA OCENĘ 4.5	Student potrafi pokazać własności macierzy Pauliego
NA OCENĘ 5.0	Student potrafi przeprowadzić konstrukcję macierzową operatora spinu i pokazać własności macierzy Pauliego
EFEKT KSZTAŁCENIA 10	
NA OCENĘ 2.0	Student nie potrafi wyrazić operatora momentu magnetycznego za pomocą operatora spinu
NA OCENĘ 3.0	Student potrafi skonstruować wyraz w hamiltonianie odpowiedzialny za sprzężenie operatora momentu magnetycznego z polem magnetycznym
NA OCENĘ 3.5	Student potrafi zapisać równanie Schroedingera dla atomu wodoru w polu magnetycznym
NA OCENĘ 4.0	Student potrafi wykorzystać rozwiązanie równania Schroedingera dla atomu wodoru bez pola magnetycznego do obecnego problemu
NA OCENĘ 4.5	Student potrafi podać rozwiązanie równania Schroedingera dla atomu wodoru w polu magnetycznym
NA OCENĘ 5.0	Student potrafi podać rozwiązanie równania Schroedingera dla atomu wodoru w polu magnetycznym i wytłumaczyć efekt Zeemana w słabym polu magnetycznym

10 MACIERZ REALIZACJI PRZEDMIOTU

EFEKT KSZTAŁCENIA	ODNIESIENIE DANEGO EFEKTU DO SZCZEGÓŁOWYCH EFEKTÓW ZDEFINIOWANYCH DLA PROGRAMU	CELE PRZEDMIOTU	TREŚCI PROGRAMOWE	NARZĘDZIA DYDAKTYCZNE	SPOSOBY OCENY
EK1	K1_W02	Cel 1	W1	N1 N2 N3	F1 F2 F3 P1 P2 P3 P4
EK2	K1_U10	Cel 1	C1	N1 N2 N3	F1 F2 F3 P1 P2 P3 P4
EK3	K1_W02	Cel 2	C2 W2 W3 W4	N1 N2 N3	F1 F2 F3 P1 P2 P3 P4
EK4	K1_U07	Cel 3	C4 W5	N1 N2 N3	F1 F2 F3 P1 P2 P3 P4
EK5	K1_W02	Cel 4	W3 W4 W5	N1 N2 N3	F1 F2 F3 P1 P2 P3 P4
EK6	K1_U07	Cel 4	W4 W5	N1 N2 N3	F1 F2 F3 P1 P2 P3 P4
EK7	K1_W02	Cel 2 Cel 3 Cel 4	W6	N1 N2 N3	F1 F2 F3 P1 P2 P3
EK8	K1_U07	Cel 4	C4	N1 N2 N3	F1 F2 F3 P1 P2 P3 P4
EK9	K1_W02	Cel 5	W7 W8 W9	N1 N2 N3	F1 F2 F3 P1 P2 P3 P4
EK10	K1_U07	Cel 6	C4	N1 N2 N3	F1 F2 F3 P1 P2 P3 P4

11 WYKAZ LITERATURY

LITERATURA PODSTAWOWA

[1] | **R. Shankar** — *Mechanika kwantowa*, Warszawa, 2006, PWN

[2] | **K. Wódkiewicz, J.B. Brojan, J. Mostowski** — *Zbiór zadań z mechaniki kwantowej*, Warszawa, 1978, PWN

LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA

[1] | **L.I. Schiff** — *Mechanika kwantowa*, Warszawa, 1977, PWN

12 INFORMACJE O NAUCZYCIELACH AKADEMICKICH

OSOBA ODPOWIEDZIALNA ZA KARTĘ

prof. dr hab. Włodzimierz Wójcik (kontakt: wwojcik@pk.edu.pl)

OSOBY PROWADZĄCE PRZEDMIOT

1 prof. dr hab. Włodzimierz Wójcik (kontakt: wwojcik@pk.edu.pl)

2 dr Robert Gębarowski (kontakt: rgebarowski@pk.edu.pl)

13 ZATWIERDZENIE KARTY PRZEDMIOTU DO REALIZACJI

(miejscowość, data)

(odpowiedzialny za przedmiot)

(dziekan)

PRZYJMUJĘ DO REALIZACJI (data i podpisy osób prowadzących przedmiot)

.....
.....