

<b>KARTA OPISU MODUŁU KSZTAŁCENIA</b>		
Nazwa modułu/przedmiotu <b>Fizyka kwantowa</b>		Kod <b>1010401231010421140</b>
Kierunek studiów <b>Fizyka Techniczna</b>	Profil kształcenia (ogólnoakademicki, praktyczny) <b>ogólnoakademicki</b>	Rok / Semestr <b>2 / 3</b>
Ścieżka obieralności/specjalność <b>-</b>	Przedmiot oferowany w języku: <b>polski</b>	Kurs (obligatoryjny/obieralny) <b>obligatoryjny</b>
Stopień studiów: <b>I stopień</b>	Forma studiów (stacjonarna/niestacjonarna) <b>stacjonarna</b>	
Godziny Wykłady: <b>2</b> Ćwiczenia: <b>1</b> Laboratoria: <b>1</b> Projekty/seminaria: <b>-</b>		Liczba punktów <b>5</b>
Status przedmiotu w programie studiów (podstawowy, kierunkowy, inny) <b>kierunkowy</b>		(ogólnouczelniany, z innego kierunku) <b>z danego kierunku</b>
Obszar(y) kształcenia i dziedzina(y) nauki i sztuki		Podział ECTS (liczba i %)
<b>Odpowiedzialny za przedmiot / wykładowca:</b>		
dr Gustaw Szawiola, doc. email: gustaw.szawiola@put.poznan.pl tel. +48 61 6653231 Wydział Fizyki Technicznej ul. Piotrowo 3 60-965 Poznań		
<b>Wymagania wstępne w zakresie wiedzy, umiejętności, kompetencji społecznych:</b>		
1	<b>Wiedza:</b>	Wiedza zgodna z kierunkowymi efektami kształcenia 1 i 2 sem. kierunku fizyka techniczna, w zakresie fizyki eksperymentalnej, podstaw matematyki wyższej i statystyki pomiaru fizycznego.
2	<b>Umiejętności:</b>	Umiejętności zgodne z kierunkowymi efektami kształcenia 1 i 2 sem. kierunku fizyka techniczna, w zakresie: 1) fizyki eksperymentalnej: mechaniki i elektromagnetyzmu, optyki geometrycznej i falowej, 2) podstaw matematyki wyższej: algebry liniowej, algebry liczb zespolonych, rachunku różniczkowego i całkowego z elementami liniowych równań różniczkowych i równania Laplace'a, 3) podstaw metrologii.
3	<b>Kompetencje społeczne</b>	Student potrafi aktywnie angażować się w rozwiązywanie postawionych problemów z zakresu fizyki, samodzielnie rozwijać i poszerzać swoje kompetencje oraz współpracować w ramach zespołu wykazując odpowiedzialność za pracę własną i za efekty pracy zespołu.
<b>Cel przedmiotu:</b>		
1. Przekazanie studentom wiedzy dotyczącej: podstawowych struktur, zjawisk i eksperymentów kwantowych, ich elementarnego matematycznego opisu i metod analizy w ujęciu macierzowym i falowym. 2. Rozwijanie u studentów umiejętności: i) budowy modeli prostych struktur i zjawisk kwantowych, implementacji wybranych modeli w środowisku komputerowej algebry symbolicznej (AS); ii) analitycznego i symbolicznego (AS) rozwiązywania podstawowych problemów stawianych w ramach budowanych modeli i interpretacji otrzymanych wyników i eksperymentów kanonu fizyki kwantowej. 3. Kształtowanie u studentów konstruktywnej postawy w relacji fizyka kwantowa - technika-człowiek.		
<b>Efekty kształcenia i odniesienie do kierunkowych efektów kształcenia</b>		
<b>Wiedza:</b>		
1. Student objaśnia zasady opisu stanu kwantowego, pomiaru fizycznego i reprezentacji wielkości fizycznych w elementarnym ujęciu macierzowym i falowym. - [K_W01, K_W04] 2. Student formułuje równanie Schrödingera zależne od czasu i objaśnia algorytm konstrukcji jego rozwiązania jako superpozycję rozwiązań dla stanów stacjonarnych. - [K_W01, K_W04] 3. Student wskazuje podstawowe układy i zjawiska kwantowe oraz charakteryzuje je ilościowo i jakościowo w oparciu o rozwiązanie równania Schrödingera. - [K_W04, K_W11]		
<b>Umiejętności:</b>		

1. Student potrafi opracować macierzowe lub falowe modele prostych układów kwantowych (dwustanowych, jednowymiarowych, jednoelektronowych) oraz dokonać implementacji wybranych modeli w programie algebry symbolicznej - [K\_U01, K\_U19]
2. Student potrafi obliczyć w ujęciu falowym i macierzowym: amplitudę prawdopodobieństwa, prawdopodobieństwo otrzymania wyniku pomiaru kwantowego, elementy macierzowe operatora, wartość oczekiwaną wielkości fizycznych w prostych układach kwantowych, metodami analitycznymi oraz komputerowej algebry symbolicznej. - [K\_U09, K\_U19]
3. Student potrafi rozwiązywać zagadnienie własne podstawowych wielkości fizycznych, w szczególności niezależne od czasu równanie Schrödingera dla prostych układów kwantowych, metodami analitycznymi oraz komputerowej algebry symbolicznej. - [K\_U09, K\_U19]
4. Student potrafi zastosować metody przybliżone (stacjonarny rachunek zaburzeń i metodę wariacyjną) do analizy struktury energetycznej prostego układu kwantowego. - [K\_U19, K\_U09]
5. Student potrafi wykonać symulację prostych zagadnień dynamiki kwantowej (układów dwustanowych i układów jednowymiarowych) oraz obliczyć prawdopodobieństwo przejścia indukowane zaburzeniem okresowym w tych układach. - [K\_U19, K\_U09]

#### Kompetencje społeczne:

1. Student potrafi konstruktywnie wyrażać podstawowe opinie dotyczące roli fizyki kwantowej w rozwoju stosowanych współcześnie technologii i jej potencjału innowacyjnego. - [K\_K09]

#### Sposoby sprawdzenia efektów kształcenia

Ocena formująca:

(Ć+W) Bieżąca ocena krótkich sprawdzianów lub quizów z poprzednich zajęć.

(LK) Bieżąca ocena sprawozdań, krótkich sprawdzianów lub quizów z poprzednich zajęć.

Ocena podsumowująca:

(Ć) Ocena ćwiczeń =  $5,0 \times (4/5 \text{ procentowej oceny kolokwium końcowego} + 1/5 \text{ oceny procentowej oceny formującej z ćwiczeń})$ .  
Warunkiem zaliczenia jest uzyskanie minimalnej oceny procentowej 50%.

(LK) Ocena laboratorium komputerowego =  $5,0 \times (3/5 \text{ procentowej oceny wykonania ćwiczeń laboratoryjnych (na podstawie oceny sprawozdań)} + 2/5 \text{ oceny sprawdzianu końcowego})$ . Warunkiem zaliczenia jest wykonanie minimum 6 ćwiczeń i uzyskanie końcowej oceny pozytywnej.

(E) Ocena egzaminu =

$= 5,0 \times [\text{ocena procentowa pisemnego egzaminu końcowego (złożonego z dwóch części : testowej (50\% oceny) i problemowej (50\% oceny))} + \text{bonifikata (1/5 (średnia ocena procentowa ćwiczeń + ocena procentowa laboratorium komputerowego))}]$ .

Warunkiem przystąpienia do egzaminu jest uzyskanie pozytywnej oceny z ćwiczeń i laboratorium.

#### Treści programowe

(W-wykład, Ć-ćwiczenia, LK-laboratorium komputerowe)

I. Dyskretny układ dwustanowy - opis stanu kwantowego, macierzowa reprezentacja wielkości fizycznych, (matematyczne preliminaria).

1.(W) Amplituda prawdopodobieństwa i wektorowy opis stanu kwantowego w notacji Diraca.

2.(W) Kwantowy pomiar a macierzowa reprezentacja wielkości fizycznych na przykładzie obserwabli spinowych. Zasada nieoznaczoności Heisenberga.

3.(LK) Matematyczne preliminaria z zastosowaniem pakietu algebry symbolicznej(AS): liczby zespolone, wektory, macierze, równania algebraiczne, różniczkowe równania liniowe.

4.(Ć) Obliczanie amplitud prawdopodobieństwa w różnych bazach. Wyznaczanie wartości własnych, wektorów własnych i wartości oczekiwanych w przedstawieniu macierzowym.

5.(LK) Rozwiązywanie zagadnienia własnego macierzy reprezentujących wielkości fizyczne i transformacja tych macierzy z bazy do bazy z zastosowaniem pakietu AS.

II. Dynamika układów dyskretnych, unitarność ewolucji w czasie układów kwantowych.

1.(W) Stany stacjonarne i unitarna ewolucja w czasie układów dwustanowych indukowana hamiltonianem niezależnym od czasu. (w obrazie Schrödingera i Heisenberga).

2.(W) Przejścia rezonansowe w układach dwustanowych.

3.(Ć) Wyznaczanie prawdopodobieństwa przejścia, wartości oczekiwanych w ewoluujących w czasie układach dwustanowych.

4.(LK) Symulacja precesji spinu z zastosowaniem pakietu AS.

III. Falowe sformułowanie mechaniki kwantowej- proste układy jednowymiarowe.

1.(W) Funkcja falowa i gęstość prawdopodobieństwa. Operatory pędu i położenia w przedstawieniu położeniowym. Zasada nieoznaczoności Heisenberga dla pędu i położenia. Równanie Schrödingera i stany stacjonarne.

2.(W) Stany związane a stany rozproszeniowe w prostych zagadnieniach jednowymiarowych. Równanie ciągłości prądu prawdopodobieństwa i równanie Ehrenfesta. Tunelowanie cząstki przez barierę potencjału.

3.(Ć) Analiza prostych jednowymiarowych układów kwantowych.

4.(LK) Graficzna i numeryczna analiza zagadnienia własnego energii cząstki w skończonej studni potencjału z zastosowaniem pakietu AS.

IV. Zaawansowane układy jednowymiarowe.

1.(W) Kwantowy oscylator harmoniczny w ujęciu algebraicznym, stany koherentne.

2.(W) Cząstka w polu periodycznego potencjału. Symetria translacyjna.

3.(Ć) Analiza podstawowych właściwości kwantowego oscylatora harmonicznego i cząstki w polu periodycznego potencjału.

4.(LK) Analiza właściwości kwantowego oscylatora harmonicznego z zastosowaniem pakietu AS.

V. Układy o symetrii rotacyjnej dwu- i trójwymiarowe.

1.(W) Moment pędu w reprezentacji macierzowej. Orbitalny moment pędu.

2.(W) Stany związane w potencjale o symetrii rotacyjnej. Zagadnienie własne atomu jednoelektronowego

3.(Ć) Analiza podstawowych właściwości orbitalnego momentu pędu. Badanie podstawowych właściwości rozwiązania zagadnienia własnego energii cząstki w polu potencjału o symetrii obrotowej.

4.(LK) Wyznaczanie czynnika radialnego funkcji falowej cząstki w polu potencjału sferycznie symetrycznego. Zastosowanie metody wariacyjnej.

VI. Układy złożone: kwantowe splątanie, dodawanie momentu pędu, kwantowy opis stanów fermionów i bozonów.

1.(W) Kwantowy opis stanów układów złożonych, splątanie kwantowe i nierówność Bella. Kwantowe dodawanie momentów pędu, współczynniki Clebscha - Gordana.

2.(W) Funkcje falowe i statystyka kwantowa układów fermionów i bozonów. Zagadnienie własne jednowymiarowego łańcucha sprzężonych cząstek (oscylatorów harmonicznym lub cząstek o spinie  $1/2$ ).

3.(Ć) Obliczanie amplitud prawdopodobieństwa w układach złożonych. Rozwiązywanie zagadnienia własnego energii dwóch elektronów (fermionów) (dwóch sprzężonych układów o spinie  $1/2$ ).

4.(LK) Rozwiązywanie zagadnienia własnego wypadkowego momentu pędu i energii w układach o sprzężonych momentach pędu.

VII. Metody przybliżone ? oddziaływanie z klasycznym polem elektromagnetycznym.

1.(W) Rachunek zaburzeń niezależny od czasu- oddziaływanie spin orbita, zjawisko Starka i Zeemana dla atomu jednoelektronowego.

2.(W) Rachunek zaburzeń zależny od czasu, przejścia indukowane zaburzeniem periodycznie oscylującym w czasie. Złota reguła Fermiego.

3.(Ć) Zastosowanie rachunku zaburzeń do analizy prostych zaburzonych układów kwantowych: oscylatora anharmonicznego, oddziaływania spin-orbita i efektu Zeemana w atomie jednoelektronowym.

4.(LK) Badanie dynamiki prostych układów kwantowych pod wpływem periodycznego zaburzenia. Obliczanie prawdopodobieństwa przejść i czasów życia.

#### Literatura podstawowa:

1. David McIntyre, Corinne A Manogue, Janet Tate Quantum Mechanics: A Paradigms Approach, Addison-Wesley, 2012
2. Feynmana wykłady z fizyki. T. 3 Wydawnictwo Naukowe PWN, 2014
3. Mark Beck Quantum Mechanics: Theory and Experiment Oxford University Press, 2012

<b>Literatura uzupełniająca:</b>		
1. Ramamurti Shankar, Mechanika kwantowa, Wydawnictwo Naukowe PWN, 2014		
2. John S. Townsend A Modern Approach to Quantum Mechanics Univ Science Books; 2 edition (February 24, 2012)		
<b>Bilans nakładu pracy przeciętnego studenta</b>		
<b>Czynność</b>	<b>Czas (godz.)</b>	
1. Wykład (W)	30	
2. Ćwiczenia (Ć)	15	
3. Laboratorium komputerowe (LK)	15	
4. Kolokwium (Ć+LK)	3	
5. Egzamin	3	
6. Konsultacje (W+Ć+LK)	4	
7. Przygotowanie do egzaminu	30	
8. Przygotowanie do LK	14	
9. Przygotowanie do ćwiczeń	14	
10. Omówienie sprawozdań LK	2	
11. Omówienie kolokwium	2	
<b>Obciążenie pracą studenta</b>		
<b>forma aktywności</b>	<b>godzin</b>	<b>ECTS</b>
Łączny nakład pracy	132	5
Zajęcia wymagające bezpośredniego kontaktu z nauczycielem	74	3
Zajęcia o charakterze praktycznym	34	1