

STUDIA I STOPNIA
KARTA KURSU (realizowanego w module specjalności)
...Fizyka materii...
(nazwa specjalności)

Nazwa	Mechanika kwantowa
Nazwa w j. ang.	<i>Quantum mechanics</i>

Kod		Punktacja ECTS*	6
-----	--	-----------------	---

Koordynator	dr hab. T. Dobrowolski	Zespół dydaktyczny dr hab. T. Dobrowolski dr Dawid Nałęcz
-------------	------------------------	---

Opis kursu (cele kształcenia)

Zapoznanie studentów z formalizmem mechaniki kwantowej oraz wypracowanie sprawności rachunkowej przy opisie układów kwantowych.

Warunki wstępne

Wiedza	Znajomość pojęć z zakresu algebry i analizy matematycznej oraz podstawowych pojęć z zakresu mechaniki kwantowej.
Umiejętności	Biegłość rachunkowa w zakresie podstaw mechaniki kwantowej. Umiejętności posługiwania się aparatem matematycznym nabytym w ramach analizy matematycznej.
Kursy	Analiza Matematyczna 1,2,3, Metody Matematyczne Fizyki, Mechanika Kwantowa – wstęp

Efekty kształcenia

	Efekt kształcenia dla kursu	Odniesienie do efektów dla specjalności (określonych w karcie programu studiów dla modułu specjalnościowego)
Wiedza	<p>W_01 Zna podstawowe pojęcia służące do opisu stanów układów kwantowych. Wie na czym polega probabilistyczny charakter mechaniki kwantowej. Zna podstawowe własności operatorów hermitowskich.</p> <p>W_02 Wie co to są obserwabla zgodne (równocześnie mierzalne). Wie co to jest zupełny układ obserwabli zgodnych opisujących dany układ kwantowy oraz wie jak należy rozumieć pojęcie reprezentacji w mechanice kwantowej. Wie, że komutator jest miarą nieprzemienności operatorów, zna jego podstawowe własności a także zna zasadę nieoznaczoności. Wie jakie stany minimalizują tę zasadę.</p>	<p>K_W01,</p> <p>K_W01, K_W03, K_W08,</p>

W_03	Wie, że równanie Schrödingera opisujące ewolucję stanu dowolnego układu kwantowego. Rozumie, że ewolucja izolowanego układu kwantowego jest całkowicie deterministyczna.	K_W01, K_W03,
W_04	Wie w jaki sposób można przedstawić operator ewolucji czasowej w przypadku, gdy są znane wszystkie stany stacjonarne układu kwantowego. Rozumie jakie znaczenie dla ewolucji (izolowanego układu kwantowego) posiada jego hamiltonian.	K_W01, K_W03, K_W09,
W_05	Zna równanie określające szybkość zmian w czasie wartości średniej dowolnej obserwabli – zna również twierdzenie Ehrenfesta. Zna zasadę nieoznaczoności czas – energia.	K_W01, K_W03, K_W08,
W_06	Potrafi opisać obroty w przestrzeni Potrafi wyprowadzić relacje komutacji między składowymi całkowitego momentu pędu. Wie, że do całkowitego momentu pędu układu wnoszą wkład orbitalny i spinowy moment pędu. Wie jak wyglądają operatory spinu. Zna macierze Pauliego. Potrafi omówić doświadczenie Sterna – Gerlacha. Wie w jaki sposób dodajemy momenty pędu.	K_W01, K_W03, K_W09,
W_07	Wie, że istnieją dwa typy cząstek identycznych: bozony i fermiony oraz że stany, które opisują takie cząstki są odpowiednio symetryczne i antysymetryczne względem przestawiania dowolnych dwóch cząstek. Wie w jaki sposób wiąże się statystyka ze spinem cząstek. Zna przybliżenie Hartree, zasadę wykluczania Pauliego. Potrafi wyjaśnić strukturę tablicy okresowej pierwiastków (atomów).	K_W01, K_W03, K_W09,
W_08	Zna stacjonarny rachunek zaburzeń. Potrafi wyjaśnić efekty Zeemana i Starka pierwszego i drugiego rzędu. Wie na czym polega metoda wariacyjna, potrafi przy jej pomocy wyznaczyć: ograniczenie na energie stanu podstawowego oraz znaleźć przybliżony wektor tego stanu. Zna twierdzenie o wiriale. Wie kiedy można stosować przybliżenie Borna – Oppenheimera. Zna twierdzenie Hellmana – Feynmana. Zna przybliżenie WKB, wie kiedy można je stosować. Potrafi omówić znaczenie punktów powrotu oraz przybliżone wyrażenia na poziomy energetyczne układów w jednym i w trzech wymiarach.	K_W01, K_W03, K_W08,
W_09	Zna rachunek zaburzeń zależnych od czasu. Potrafi wyznaczyć szybkość przejść kwantowych, zna złotą regułę Fermiego. Wie jak stosować formalizm w przypadku ciągłego pasma energetycznego stanów końcowych. Wie jak opisać zaburzenie monochromatyczne a także potrafi opisać absorpcję i emisję wymuszoną promieniowania. Wie kiedy można stosować przybliżenie adiabatyczne. Wie czym są fazy dynamiczna i niedynamiczna. Wie czym jest faza Berry'ego. Potrafi opisać zachowanie się spinu w wolno zmiennym polu magnetycznym.	K_W01, K_W03, K_W09,

Umiejętności	Efekt kształcenia dla kursu	Odniesienie do efektów dla specjalności (określonych w karcie programu studiów dla modułu specjalnościowego)
	U_01 Potrafi stosować formalizm mechaniki kwantowej do rozmaitych układów kwantowych.	K_U01, K_U02,
	U_02 Potrafi krytycznie analizować wyniki obliczeń oraz wie z jakich przybliżeń można korzystać w danej sytuacji.	K_U01, K_U02, K_U03, K_U07
	U_03 Zna podstawowe czasopisma naukowe, w których może znaleźć wyniki tych badań, które go interesują.	K_U01, K_U02,
	U_04 Potrafi korzystać z literatury naukowej w tym także z anglojęzycznej.	K_U01, K_U02,
	U_05 Śledzi na bieżąco, krytycznie i ze zrozumieniem, literaturę dotyczącą tych zagadnień naukowych, którymi się zajmuje.	K_U01, K_U02,

Kompetencje społeczne	Efekt kształcenia dla kursu	Odniesienie do efektów dla specjalności (określonych w karcie programu studiów dla modułu specjalnościowego)
	K_01 Zna ograniczenia własnej wiedzy i rozumie potrzebę dalszego kształcenia, potrafi samodzielnie wyszukiwać informacje w literaturze, także w językach obcych.	K_K01, K_K04, K_K05
	K_02 Potrafi precyzyjnie formułować pytania, służące pogłębieniu własnego zrozumienia danego tematu lub odnalezieniu brakujących elementów rozumowania.	K_K01, K_K02, K_K03, K_K04, K_K05
	K_03 Potrafi pracować zespołowo; rozumie konieczność systematycznej pracy nad wszelkimi projektami, które mają długofalowy charakter.	K_K01
	K_04 Rozumie i docenia znaczenie uczciwości intelektualnej w działaniach własnych i innych osób; postępuje etycznie.	K_K01

Organizacja													
Forma zajęć	Wykład (W)	Ćwiczenia w grupach											
		A		K		L		S		P		E	
Liczba godzin	30	30											

--	--	--	--	--	--	--	--

Opis metod prowadzenia zajęć

Podczas wykładów preferowane są metody aktywizujące i motywujące: metody dyskusji, intuicyjne przedstawianie pojęć abstrakcyjnych oraz historyczne sytuacje problemowe, które doprowadziły do wyłonienia się danej koncepcji lub teorii; motywujące są wzmianki o zastosowaniach fizycznych poszczególnych pojęć. Podczas ćwiczeń preferowana jest dyskusja samodzielnie rozwiązywanych problemów związanych z tematyką wykładów.

Formy sprawdzania efektów kształcenia

	E – learning	Gry dydaktyczne	Ćwiczenia w szkole	Zajęcia terenowe	Praca laboratoryjna	Projekt indywidualny	Projekt grupowy	Udział w dyskusji	Referat	Praca pisemna (esej)	Egzamin ustny	Egzamin pisemny	Inne
W01	x							x			x		
W02	x							x			x		
W03	x							x			x		
W04	x							x			x		
W05	x							x			x		
W06	x							x			x		
W07	x							x			x		
W08	x							x			x		
W09	x							x			x		
U01								x		x	x		
U02								x		x	x		
U03								x		x	x		
U04								x		x	x		
U05								x		x	x		
K01								x			x		
K02								x			x		
K03								x			x		
K04								x			x		

Kryteria oceny	<p>BARDZO DOBRY Student posiada wiedzę i umiejętności wymienione w punktach W1 – W09, U1 – U5 oraz kompetencje K1 – K4 i wykazuje samodzielność, operatywność i twórcze podejście w ich stosowaniu w procesie edukacyjnym.</p> <p>DOBRY Student posiada wiedzę i umiejętności wymienione w punktach W1 – W09, U1 – U5 oraz kompetencje K1 – K4. Wykorzystuje je w procesie edukacyjnym według wskazówek nauczyciela akademickiego.</p> <p>DOSTATECZNY Student posiada wiedzę i umiejętności wymienione w punktach W1 – W09, U1 – U5 oraz kompetencje K1 – K4. Stosuje je w procesie edukacyjnym według szczegółowych instrukcji nauczyciela akademickiego.</p>
----------------	---

	<p>NIEDOSTATECZNY</p> <p>Student nie opanował wiedzy wymienionej w punktach W1 – W09 ani nie osiągnął większości wspomnianych umiejętności i kompetencji.</p>
--	---

Uwagi	<p>Ocena końcowa jest oceną odpowiedzi na egzaminie ustnym.</p> <p>Warunkiem przystąpienia do egzaminu jest uzyskanie zaliczenia z ćwiczeń. Zaliczenie to jest wynikiem oceny odpowiedzi ustnych oraz kolokwium.</p>
-------	--

Treści merytoryczne (wykaz tematów)

- 1) Podstawy formalizmu mechaniki kwantowej
 - a) Przestrzeń funkcji falowych jako przestrzeń Hilberta
 - b) Operatory liniowe na przestrzeni funkcji falowych
 - c) Obserwable i ich reprezentacja poprzez operatory hermitowskie
 - d) Wyniki pomiarów i ich prawdopodobieństwa
 - e) Wartości oczekiwane obserwabli
 - f) Operatory położenia i pędu
 - g) Kanoniczne kwantowanie układów mechanicznych
 - h) Relacje komutacji
- 2) Zasada nieoznaczoności
 - a) Warunki minimalizacji zasady nieoznaczoności
 - b) Zasada nieoznaczoności położenie - pęd oraz energia – czas
- 3) Równanie Schrödingera
 - a) Zachowanie normy wektora stanu
 - b) Równanie Schrödingera dla układu zachowawczego
 - c) Ewolucja stanu stacjonarnego
 - d) Ewolucja wartości oczekiwanej obserwabli
 - e) Twierdzenie Ehrenfesta
 - f) Granica klasyczna
- 4) Oscylator harmoniczny
 - a) Stacjonarne równanie Schrödingera dla oscylatora harmonicznego
 - b) Funkcje własne oraz stany energetyczne oscylatora harmonicznego
- 5) Kwantowa teoria momentu pędu
 - a) Orbitalny moment pędu
 - b) Relacje komutacji operatorów krętu
 - c) Ogólny operator moment pędu
 - d) Zagadnienie własne dla operatorów całkowitego krętu oraz trzeciej składowej
 - e) Orbitalny moment pędu w reprezentacji położeniowej we współrzędnych kartezyjskich oraz konstrukcja harmonik sferycznych
- 6) Stany stacjonarne w potencjale centralnym
 - a) Hamiltonian kwantowo-mechaniczny dla cząstki w potencjale o symetrii sferycznej
 - b) Separacja zmiennych, zupełny zbiór obserwabli komutujących
 - c) Radialne równanie Schrödingera

- d) Liczby kwantowe oraz degeneracja zasadnicza i przypadkowa
 - e) Zagadnienie dwóch ciał
 - f) Wartości i funkcje własne Hamiltonianu
- 7) Atom wodoropodobny
- a) Kwantowo-mechaniczna teoria atomu
 - b) Rozwiązanie równania radialnego
 - c) Rzędy wielkości parametrów atomowych
 - d) Poziomy energetyczne oraz główna liczba kwantowa
- 8) Oddziaływanie z polem elektromagnetycznym
- a) Przybliżenie półklasyczne w mechanice kwantowej
 - b) Niezmienniczość hamiltonianu ze względu na transformacje cechowania
 - c) Częstka bezspinowa w jednorodnym polu magnetycznym
 - d) Interpretacja członu paramagnetycznego
 - e) Interpretacja członu diamagnetycznego
 - f) Normalny efekt Zeemana dla atomu wodoropodobnego
- 9) Opis spinu $1/2$
- a) Postulat Pauliego
 - b) Macierze Pauliego
 - c) Nierelatywistyczny opis cząstki o spinie $1/2$
 - d) Wektory stanu – spinory
 - e) Spin $1/2$ w polu magnetycznym
 - f) Pole statyczne i pole zmienne w czasie
 - g) Precesja Larmora
 - h) Oscylacje Rabiego
 - i) Widmo Mollowa
- 10) Dodawanie momentów pędu
- a) Całkowity moment pędu
 - b) Oddziaływanie spin-orbita
 - c) Dodawanie dwóch momentów pędu
 - d) Współczynniki Clebscha-Gordana i ich własności
- 11) Stacjonarny rachunek zaburzeń
- a) Rachunek zaburzeń dla stanu niezdegenerowanego
 - b) Poprawki pierwszego oraz drugiego rzędu
 - c) Rachunek zaburzeń dla stanu zdegenerowanego, macierz zaburzenia
 - d) Efekt Zeemana
 - e) Efekt Starka pierwszego i drugiego rzędu
 - f) Struktura subtelna w atomie wodoropodobnym
- 12) Metoda wariacyjna
- a) Ograniczenie na energię stanu podstawowego. Przybliżony wektor stanu.
 - b) Twierdzenie o wiriale.
 - c) Energia stanu podstawowego atomu helopodobnego
 - d) Stan podstawowy molekuly H_2
- 13) Rachunek zaburzeń z czasem
- a) Prawdopodobieństwo przejścia w pierwszym rzędzie rachunku zaburzeń
 - b) Zaburzenie harmoniczne, przybliżenie rezonansowe
 - c) Zaburzenie stałe w czasie
 - d) Szerokość rezonansu i zasada nieoznaczoności
 - e) Atom wodoru w zmiennym polu elektrycznym
 - f) Złota reguła Fermiego

- g) Pasma ciągłe stanów końcowych.
- h) Absorpcja i emisja wymuszona promieniowania.
- i) Przybliżenie adiabatyczne. Faza dynamiczna i niedynamiczna. Przypadek z degeneracją. Faza Berry'ego. Spin w wolno zmiennym polu magnetycznym.

14) Oddziaływanie atomów z falą elektromagnetyczną

- a) Gęstość modów we wnętrzu
- b) Rozkład Plancka
- c) Współczynniki Einsteina
- d) Hamiltonian oddziaływania z falą elektromagnetyczną
- e) Reguły wyboru
- f) Stosowalność rachunku zaburzeń

Wykaz literatury podstawowej

L. D. Landau, J. M. Lifszic „Mechanika kwantowa : teoria nierelatywistyczna”,
 B. Średniawa „Mechanika kwantowa”,
 K. Zalewski „Wykłady z nierelatywistycznej mechaniki kwantowej”,
 S. Brzezowski „Wstęp do mechaniki kwantowej”,
 I. Białynicki – Birula, M. Cieplak, J. Kamiński „Teoria kwantów”,
 S. Szpikowski „Podstawy mechaniki kwantowej”, Feynmana wykłady z fizyki Tom III.,
 L. W. Tarasow „Podstawy mechaniki kwantowej”,
 A. Sudbery „Quantum mechanics and the particle of nature”,
 P. A. M. Dirac „The Principles of Quantum Mechanics”,
 David J. Griffiths „Introduction to Quantum Mechanics”,

Wykaz literatury uzupełniającej

G. Auletta, M. Fortunato, G. Parisi „Quantum Mechanics” Cambridge 2009

Bilans godzinowy zgodny z CNPS (Całkowity Nakład Pracy Studenta)

Ilość godzin w kontakcie z prowadzącymi	Wykład	30
	Konwersatorium (ćwiczenia, laboratorium itd.)	30
	Pozostałe godziny kontaktu studenta z prowadzącym	30
Ilość godzin pracy studenta bez kontaktu z prowadzącymi	Lektura w ramach przygotowania do zajęć	25
	Przygotowanie krótkiej pracy pisemnej lub referatu po zapoznaniu się z niezbędną literaturą przedmiotu	10
	Przygotowanie projektu lub prezentacji na podany temat (praca w grupie)	
	Przygotowanie do egzaminu	25
Ogółem bilans czasu pracy		150
Ilość punktów ECTS w zależności od przyjętego przelicznika (1 ECTS = 25h)		6