

KARTA KURSU (realizowanego w specjalności)

Fizyka materii

Studia I stopnia
2020/2021

Nazwa	Mechanika kwantowa	
Nazwa w j. ang.	<i>Quantum mechanics</i>	
Koordynator	dr hab. T. Dobrowolski, prof. UP	Zespół dydaktyczny
		dr hab. T. Dobrowolski dr Dawid Nałęcz
Punktacja ECTS*	5	

Opis kursu (cele kształcenia)

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

Efekty uczenia się

	Efekt uczenia się dla kursu	Odniesienie do efektów dla specjalności (określonych w karcie programu studiów dla specjalności)
Wiedza	<p>W01 Zna podstawowe pojęcia służące do opisu stanów układów kwantowych. Wie na czym polega probabilistyczny charakter mechaniki kwantowej. Zna podstawowe własności operatorów hermitowskich.</p> <p>W02 Wie co to są obserwable 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>W03 Wie, że równanie Schrödingera opisuje ewolucję stanu dowolnego układu kwantowego. Rozumie, że ewolucja izolowanego układu kwantowego jest całkowicie deterministyczna.</p> <p>W04 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.</p> <p>W05 Zna równanie określające szybkość zmian w czasie wartości średniej dowolnej obserwabli – zna również twierdzenie Ehrenfesta. Zna zasadę nieoznaczoności czas – energia.</p> <p>W06 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.</p> <p>W07 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).</p> <p>W08 Zna stacjonarny rachunek zaburzeń. Potrafi wyjaśnić efekty Zeemana i Starka pierwszego i drugiego rzędu. Wie na czym polega metoda wariacyjna, potrafi przy jej pomocy</p>	W01, W05, W06, W09

	<p>wyznaczyć: ograniczenie na energię 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.</p> <p>W09 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 adiabaticzne. Wie czym są fazy dynamiczna i niedynamiczna. Wie czym jest faza Berry’ego. Potrafi opisać zachowanie się spinu w wolno zmiennym polu magnetycznym.</p>	
--	--	--

	Efekt uczenia się dla kursu	Odniesienie do efektów dla specjalności (określonych w karcie programu studiów dla specjalności)
Umiejętności	<p>U01 Potrafi stosować formalizm mechaniki kwantowej do rozmaitych układów kwantowych.</p> <p>U02 Potrafi krytycznie analizować wyniki obliczeń oraz wie z jakich przybliżeń można korzystać w danej sytuacji.</p> <p>U03 Zna podstawowe czasopisma naukowe, w których może znaleźć wyniki tych badań, które go interesują.</p> <p>U04 Potrafi korzystać z literatury naukowej w tym także z anglojęzycznej.</p> <p>U05 Śledzi na bieżąco, krytycznie i ze zrozumieniem, literaturę dotyczącą tych zagadnień naukowych, którymi się zajmuje.</p>	U01, U04

Kompetencje społeczne	Efekt uczenia się dla kursu	Odniesienie do efektów dla specjalności (określonych w karcie programu studiów dla specjalności)

	<p>K01 Zna ograniczenia własnej wiedzy i rozumie potrzebę dalszego kształcenia, potrafi samodzielnie wyszukiwać informacje w literaturze, także w językach obcych.</p> <p>K02 Potrafi precyzyjnie formułować pytania, służące pogłębieniu własnego zrozumienia danego tematu lub odnalezieniu brakujących elementów rozumowania.</p> <p>K03 Potrafi pracować zespołowo; rozumie konieczność systematycznej pracy nad wszelkimi projektami, które mają długofalowy charakter.</p> <p>K04 Rozumie i docenia znaczenie uczciwości intelektualnej w działaniach własnych i innych osób; postępuje etycznie.</p>	K01, K02, K03, K04, K05
--	---	-------------------------

Organizacja											
Forma zajęć	Wykład (W)	Ćwiczenia w grupach									
		A		K		L		S		P	
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 uczenia się

	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		
W02								X			X		
W03								X			X		
W04								X			X		
W05								X			X		
W06								X			X		
W07								X			X		
W08								X			X		
W09								X			X		
U01								X		X	X		
U02								X		X	X		
U03								X		X	X		
U04								X		X	X		
U05								X		X	X		
K01								X					
K02								X					
K03								X					
K04								X					

Kryteria oceny	<p>BARDZO DOBRY Student posiada wiedzę i umiejętności wymienione w punktach W01-W09, U01-U05 oraz kompetencje K01 – K04 i wykazuje samodzielność, operatywność i twórcze podejście w ich stosowaniu w procesie edukacyjnym.</p> <p>DOBRY Student posiada wiedzę i umiejętności wymienione w punktach W01 – W09, U01 – U05 oraz kompetencje K01 – K04. Wykorzystuje je w procesie edukacyjnym według wskazówek nauczyciela akademickiego.</p> <p>DOSTATECZNY Student posiada wiedzę i umiejętności wymienione w punktach W01 – W09, U01 – U05 oraz kompetencje K01 – K04. Stosuje je w procesie edukacyjnym według szczegółowych instrukcji nauczyciela akademickiego.</p> <p>NIEDOSTATECZNY Student nie opanował wiedzy wymienionej w punktach W01 – 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 kartezjańskich 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) Cząstka 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 Rabięgo
 - 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 wirale.
 - c) Energia stanu podstawowego atomu helopodobnego
 - d) Stan podstawowy molekuly H₂
- 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 adiabaticzne. 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 wnęce
 - 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	15
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	20
	Przygotowanie projektu lub prezentacji na podany temat (praca w grupie)	
	Przygotowanie do egzaminu	30
Ogółem bilans czasu pracy		150
Ilość punktów ECTS w zależności od przyjętego przelicznika (1ECTS = 30h)		5