

Nazwa	Mechanika kwantowa 2
Nazwa w j. ang.	<i>Quantum mechanics 2</i>

Kod		Punktacja ECTS*	5
-----	--	-----------------	---

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. Wskazanie problemów oraz nowych kierunków badań.

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, Mechanika Kwantowa I

Efekty kształcenia

	Efekt kształcenia dla kursu	Odniesienie do efektów kierunkowych
Wiedza	W_01 Student jest świadom, że kwantowanie kanoniczne nie jest jedynym sposobem uzyskania opisu układu kwantowego. Wie, że istnieją układy kwantowe nie mające swoich odpowiedników klasycznych. Wie na czym polega probabilistyczny charakter mechaniki kwantowej. Zna podstawowe własności operatorów hermitowskich w tym rozkład spektralny operatora hermitowskiego. Wie kiedy stan układu kwantowego opisujemy przy pomocy operatora gęstości.	K_W01,
	W_02 Wie co to jest zupełny układ obserwabli zgodnych opisujących dany układ kwantowy oraz wie jak należy rozumieć pojęcie reprezentacji w mechanice kwantowej. Zna różne postacie zasady nieoznaczoności w tym podstawowe postacie multiplikatywne oraz addytywne, postacie proste oraz odwrotne tej zasady. Wie, że istnieją relacje silniejsze od zasady nieoznaczoności Heizenberga. Wie jakie stany minimalizują tę zasadę. Zna pojęcie stanów inteligentnych.	K_W01, K_W02, K_W04,

	<p>W_03 Zna niezależną od reprezentacji postać równania Schrödingera opisującego ewolucję stanu dowolnego układu kwantowego oraz wie jak wygląda formalne rozwiązanie tego równania. Rozumie, że ewolucja izolowanego układu kwantowego jest całkowicie deterministyczna.</p> <p>W_04 Wie w jaki sposób można przedstawić operator ewolucji czasowej. Wie jak działa operator uporządkowania chronologicznego. Zna postacie operatora ewolucji w przypadku gdy hamiltonian układu nie zależy jawnie od czasu, zależy od czasu lecz hamiltoniany w różnych chwilach czasu komutują ze sobą oraz gdy hamiltoniany w różnych chwilach czasu nie komutują ze sobą. Wie czym jest funkcja Greena dla równania Schrödingera.</p> <p>W_05 Zna równanie określające szybkość zmian w czasie wartości średniej dowolnej obserwacji. Zna interpretacje zasady nieoznaczoności dla czasu oraz energii. Wie kiedy mamy do czynienia z symetrią układu kwantowego a także wie w jaki sposób są realizowane przekształcenia symetrii. Zna podstawowe własności operatorów unitarnych. Wie w jaki sposób transformują się obserwacje pod działaniem przekształceń symetrii. Wie czym są generatory symetrii ciągłych. Zna podstawowe twierdzenia dotyczące przekształceń symetrii i potrafi wykazać, że ewolucja czasowa nie wyprowadza stanu układu kwantowego z podprzestrzeni własnej generatora symetrii oraz wie jakie to ma konsekwencje. Wie, że generatory symetrii są całkami ruchu.</p> <p>W_06 Wie, że generatorami przesunięć w przestrzeni są składowe pędu całkowitego układu natomiast generatorem przesunięć w czasie jest operator energii całkowitej układu czyli hamiltonian. Wie, że mimo iż wszystkie przewidywania mechaniki kwantowej doskonale się zgadzają z wynikami doświadczeń, to interpretacja tej teorii wciąż jest niezadowolająca. Zna standardową interpretację kopenhaską. Wie jakie są podstawowe klasy interpretacji mechaniki kwantowej. Zna interpretację wielu światów Everetta. Wie na czym polega dekoherencja.</p> <p>W_07 Potrafi opisać obroty w przestrzeni. Wie, że generatorami obrotów przestrzennych są składowe całkowitego momentu pędu układu. Wiedząc, że moment pędu jest wielkością wektorową potrafi wyprowadzić relacje komutacji między składowymi całkowitego momentu pędu. Wie, że do całkowitego momentu pędu układu wnoszą wkład orbitalny i spinowy moment pędu. Wykorzystując relacje komutacji potrafi wyznaczyć multiplikatory momentu pędu. Wie jak wyglądają operatory spinu. Zna macierze Pauliego. Potrafi omówić doświadczenie Sterna – Gerlacha. Wie w jaki sposób dodajemy momenty pędów a także wie jak wyznaczać współczynniki Clebscha – Gordana. Zna formalizm grupy SU(2). Zna twierdzenie Wignera - Eckarta i jego znaczenie.</p>	<p>K_W01, K_W03,</p> <p>K_W01, K_W02, K_W04,</p> <p>K_W01, K_W02, K_W04,</p> <p>K_W01, K_W02, K_W04,</p> <p>K_W01, K_W02, K_W04,</p>
--	--	--

	W_08 Wie jak opisywać układy złożone. Zna pojęcie iloczynu tensorowego przestrzeni stanów. Wie czym jest iloczyn tensorowy operatorów a także zna iloczyn Kroneckera macierzy. Zna twierdzenie Schmidta o kanonicznym rozkładzie wektora stanu układu złożonego z dwóch podukładów. Wie kiedy taki stan jest stanem splątany. Wie, że istnieją dwa typy cząstek identycznych: bozony i fermiony i 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.	K_W01, K_W02, K_W04,
	W_09 Potrafi przedyskutować zjawisko splątania kwantowego, nierówności Bella. Zna istotę paradoksu EPR. Wie czym jest bit kwantowy bramka kwantowa, komputer kwantowy oraz wie w jaki sposób splątanie kwantowe jest wykorzystywane do obliczeń kwantowych. Wie na czym polega gęste kodowanie oraz teleportacja kwantowa.	K_W01, K_W02, K_W04,
	W_10 Zna pojęcia algebry Heisenberga oraz algebry z gradacją. Zna własności bozonowych oraz fermionowych operatorów kreacji i anihilacji. Wie czym różnią się bozony od fermionów oraz jakim statystykom podlegają oba rodzaje cząstek. Wie na czym polega transformacja supersymetrii. Potrafi określić własności stanów koherentnych.	K_W01, K_W02, K_W04,
	W_11 Wie co to są pomiary bezkontaktowe. Rozumie problem testowania bomb Elitzura-Vaidmana	K_W01, K_W02, K_W04,
	W_12 Potrafi omówić eksperymenty kwantowe z "opóźnionym w czasie" wymazywaniem informacji.	K_W01, K_W02, K_W04,

	Efekt kształcenia dla kursu	Odniesienie do efektów kierunkowych
Umiejętności	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_U06
	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 kierunkowych
	K_01 Zna ograniczenia własnej wiedzy i rozumie potrzebę dalszego kształcenia, potrafi samodzielnie wyszukiwać informacje w literaturze, także w językach obcych.	K_K01, K_K06, K_K07
	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_K07
	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		
W10	x							x			x		
W11	x							x			x		
W12	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 – W12, 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 – W12, 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 – W12, U1 – U5 oraz kompetencje K1 – K4. Stosuje je w procesie edukacyjnym według szczegółowych instrukcji nauczyciela akademickiego.</p> <p>NIEDOSTATECZNY Student nie opanował wiedzy wymienionej w punktach W1 – W12 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.</p>
-------	---

ZAGADNIENIA –MECHANIKA KWANTOWA II

- 1) Doświadczenia fundamentalne oraz podstawy formalizmu mechaniki kwantowej
 - a. Doświadczenia polaryzacyjne, a struktura wektorowa przestrzeni stanów fizycznych.
 - b. Przestrzeń Hilberta jako model przestrzeni stanów fizycznych.
 - c. Doświadczenia interferencyjne, a reguły obliczania prawdopodobieństw w układach mikroskopowych.
 - d. Własności operatorów reprezentujących obserwable na przestrzeni stanów fizycznych.
- 2) Pomiar w mechanice kwantowej.
 - a. Redukcja wektora stanu.
 - b. Równoczesna mierzalność.
 - c. Relacje nieoznaczoności (relacje multiplikatywne oraz addytywne, relacje odwrócone, stany inteligentne, reprezentacja Weyla kanonicznych relacji komutacji).
- 3) Transformacje na przestrzeni stanów fizycznych.
 - a. Transformacje unitarne, a natura probabilistyczna mechaniki kwantowej.
 - b. Niezmienniki transformacji unitarnych.
- 4) Operatory położenia i ich relacje komutacji.
- 5) Operator translacji przestrzennych.
 - a. Generatory translacji i ich własności.
 - b. Relacje komutacji operatorów położenia i generatorów translacji.
 - c. Operator położenia i generator translacji w reprezentacji położenia.
 - d. Interpretacja generatorów translacji jako składowych operatora pędu.
 - e. Funkcje własne operatora pędu w reprezentacji położenia.
 - f. Operatory położenia i pędu w reprezentacji:
 - i. położeniowej,
 - ii. pędowej.
 - g. Przejsie pomiędzy reprezentacjami: położeniową i pędową.
 - h. Niejednoznaczność określenia bazy na przykładzie reprezentacji położeniowej.
- 6) Operator obrotu.
 - a. Operator obrotu w reprezentacji położenia.
 - b. Interpretacja generatorów obrotów jako składowych operatora krętu orbitalnego.
 - c. Wyznaczenie w sposób niezależny od reprezentacji relacji komutacji dla generatorów obrotu.
 - d. Zagadnienie własne dla operatora kwadratu krętu oraz jego trzeciej składowej.
 - e. Spin - macierze spinowe dla cząstek o spinie 0, $\frac{1}{2}$, 1.
- 7) Operator translacji czasowych.
 - a. Opis ewolucji układu kwantowego
 - b. Interpretacja generatora translacji czasowych jako hamiltonianu.
 - c. Równanie Schrödingera.
 - d. Operator ewolucji
 - i. gdy hamiltonian jawnie nie zależy od czasu.
 - ii. gdy hamiltonian zmienia się w czasie oraz hamiltoniany w różnych chwilach czasu komutują ze sobą.
 - iii. gdy hamiltonian zmienia się w czasie lecz hamiltoniany w różnych chwilach

czasu nie komutują ze sobą.

- 8) Granica klasyczna (Twierdzenie Ehrenfesta).
- 9) Alternatywne sposoby opisu ewolucji układu kwantowego.
 - a. Obraz Schrödingera.
 - b. Obraz Heisenberga (równanie Heisenberga).
 - c. Obraz Oddziaływania (równanie ewolucji stanów i operatorów).
 - i. Szereg Dysona, operator uporządkowania chronologicznego.
 - ii. Zależny od czasu rachunek zaburzeń.
- 10) Aplikacja algebry Heisenberga oraz algebry z gradacją do rozwiązywania zagadnienia oscylatora bozonowego, fermionowego oraz supersymetrycznego,
 - a. Pojęcie supersymetrii, operator supersymetrii, superpara
 - b. Bozonowe oraz fermionowe operatory kreacji i anihilacji
 - c. Stany koherentne
- 11) Interpretacje mechaniki kwantowej
 - a. Kopenhaska
 - b. von Neumanna
 - c. Everetta
 - d. Statystyczna
 - e. Paradoks kota Schrödingera
 - f. Stany czyste oraz mieszane, operator gęstości
 - g. Dekoherencja
 - h. Teorie ukrytych parametrów
 - i. Nierówności Bella oraz CHSH
- 12) Elementy kwantowej teorii informacji
 - a. Bit kwantowy, bramka kwantowa, komputer kwantowy
 - b. Gęste kodowanie
 - c. Tw. O braku możliwości klonowania nieznanego stanu kwantowego (No-Cloning theorem),
 - d. Paradoks EPR wersja oryginalna oraz wersja Bella, stany splątane
 - e. Teleportacja stanów kwantowych
- 13) Pomiary bezkontaktowe (Interaction-free measurement) - Problem testowania bomb Elitzura-Vaidmana
- 14) Eksperymenty kwantowe z "opóźnionym w czasie" wymazywaniem informacji (delayed choice quantum eraser experiment)

Wykaz literatury podstawowej

E.H. Wichmann „Fizyka kwantowa”,
L. D. Landau, J. M. Lifszic „Mechanika kwantowa : teoria nierelatywistyczna”,
K. Zalewski „Wykłady z nierelatywistycznej mechaniki kwantowej”,
K. Zalewski „Wykłady o grupie obrotów”,
Oprac. P. C. W. Davies i J. R. Brown „Duch w atomie : dyskusja o paradoksach teorii kwantowej”

I. Białynicki – Birula, M. Cieplak, J. Kamiński „Teoria kwantów”,
 A. Sudbery „Quantum mechanics and the particle of nature”,
 P. A. M. Dirac „The Principles of 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	20
Ilość godzin pracy studenta bez kontaktu z prowadzącymi	Lektura w ramach przygotowania do zajęć	20
	Przygotowanie krótkiej pracy pisemnej lub referatu po zapoznaniu się z niezbędną literaturą przedmiotu	5
	Przygotowanie projektu lub prezentacji na podany temat (praca w grupie)	
	Przygotowanie do egzaminu	20
Ogółem bilans czasu pracy		125
1 ECTS = 30 h		5