

### OPIS PRZEDMIOTU/MODUŁU KSZTAŁCENIA (SYLABUS)

1.	Nazwa przedmiotu/modułu w języku polskim Teoria wielu ciał
2.	Nazwa przedmiotu/modułu w języku angielskim Theory of Many-Body Systems
3.	Jednostka prowadząca przedmiot Wydział Fizyki i Astronomii
4.	Kod przedmiotu/modułu 24-FZ-S2-E1-TWC
5.	Rodzaj przedmiotu/modułu ( <i>obowiązkowy lub fakultatywny</i> ) <i>fakultatywny</i>
6.	Kierunek studiów Fizyka
7.	Poziom studiów ( <i>I lub II stopień lub jednolite studia magisterskie</i> ) II stopień, PhD
8.	Rok studiów ( <i>jeśli obowiązuje</i> ) 1.
9.	Semestr ( <i>zimowy lub letni</i> ) zimowy
10.	Forma zajęć i liczba godzin Wykłady – 30 godzin, ćwiczenia – 30 godzin
11.	Imię, nazwisko, tytuł/stopień naukowy osoby prowadzącej zajęcia Janusz Jędrzejewski, dr hab.
12.	Wymagania wstępne w zakresie wiedzy, umiejętności i kompetencji społecznych dla przedmiotu/modułu oraz zrealizowanych przedmiotów – Zna podstawy algebry liniowej i analizy matematycznej i rachunku prawdopodobieństwa [K_W01, K_W02, K_W03]. – Zna na poziomie podstawowym mechanikę kwantową i fizykę statystyczną [K_W06]. – Posługuje się rachunkiem różniczkowym i całkowym i elementarnym rachunkiem operatorów [K_U02, K_U03, K_U04] – Zna język angielski w stopniu umożliwiającym bierne korzystanie z tekstów literaturowych [K_U18].
13.	Cele przedmiotu

	Wprowadzenie do nierelatywistycznej mechaniki kwantowej układów zbudowanych z wielu identycznych cząstek kwantowych, w tym do formalizmu „drugiego kwantowania”. Przygotowanie do studiowania zaawansowanych zagadnień z kwantowej fizyki statystycznej i kwantowej teorii materii skondensowanej.	
14.	<p>Zakładane efekty kształcenia</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ma rozszerzoną wiedzę z zakresu kwantowej fizyki statystycznej i metod kwantowej teorii materii skondensowanej.</li> <li>Potrafi użyć poznane metody matematyczne do rozwiązywania zagadnień fizycznych kwantowej teorii materii skondensowanej o średnim stopniu złożoności.</li> <li>Zna przykładowe modele kwantowej teorii materii skondensowanej.</li> <li>Ma ogólną wiedzę o kierunkach rozwoju i najnowszych odkryciach w dziedzinie kwantowej teorii materii skondensowanej.</li> <li>Potrafi wykorzystać wiedzę z fizyki i matematyki do badania, wyjaśniania i modelowania zjawisk fizycznych, umie uzasadnić założenia i uproszczenia oraz zakres stosowalności przyjętego modelu, wykorzystuje zaawansowane metody matematyczne do jego analizy.</li> <li>•</li> </ul>	<p>K2_W01</p> <p>K2_W02</p> <p>K2_W03</p> <p>K2_W06</p> <p>K2_U04</p>
15.	<p>Treści programowe</p> <p>I. Konstrukcja przestrzeni stanów i obserwabli układów wielocząstkowych o stałej liczbie cząstek</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- przestrzenie stanów jednocząstkowych; okresowe warunki brzegowe i baza fal płaskich</li> <li>- iloczyn tensorowy przestrzeni stanów jednocząstkowych</li> <li>- zagadnienie na stany i wartości własne w iloczynie tensorowym;</li> <li>- konstrukcja stanów układów wielowymiarowych ze stanów układów jednowymiarowych</li> <li>- konstrukcja stanów układów wielocząstkowych ze stanów jednocząstkowych</li> <li>- cząstki identyczne w mechanice klasycznej i w mechanice kwantowej; degeneracja wymierna i niejednoznaczność przewidywań teorii pomiaru</li> <li>- operatory permutacji (własności)</li> <li>- obserwable układu wielu cząstek, ich prawo transformacji względem permutacji;</li> <li>- symetryczne obserwable wielocząstkowe; obserwable jednociąłowe i dwuciąłowe w przestrzeni o zadanej liczbie cząstek</li> <li>- podprzestrzenie stanów zupełnie symetrycznych i zupełnie antysymetrycznych; postać iloczynu skalarnego wektorów z tych podprzestrzeni, rzutniki ortogonalne na te podprzestrzenie</li> <li>- bazy w podprzestrzeniach stanów zupełnie symetrycznych i zupełnie antysymetrycznych;</li> <li>- reprezentacja liczb obsadzeń, działanie obserwabli jednociąłowych na wektory w reprezentacji liczb obsadzeń</li> </ul>	

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- postulat symetryzacji jako rozwiązanie problemu degeneracji wymiennej, nierozróżnialność identycznych cząstek kwantowych; bozony i fermiony,</li> <li>- fizyczne stany układu kwantowych cząstek identycznych</li> <li>- zastosowanie: własności stanu podstawowego układu bozonów i fermionów o zadanej liczbie cząstek (zjawiska degeneracji obu układów, gęstości energii w obu układach jako funkcje gęstości cząstek, dwuciałowe rozkłady prawdopodobieństwa)</li> </ul> <p>II. Konstrukcja przestrzeni stanów i obserwabli układów wielocząstkowych o zmiennej liczbie cząstek</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- przestrzeń Focka (struktura liniowa, iloczyn skalarny, baza)</li> <li>- obserwabla w przestrzeni Focka; operator liczby cząstek</li> <li>- operatory kreacji i anihilacji cząstek w stanach jednocząstkowych, reguły komutacji (antykomutacji) tych operatorów</li> <li>- konstrukcja stanów o zadanej liczbie cząstek w zadanych stanach jednocząstkowych z próżni; działanie operatorów kreacji i anihilacji na stany w reprezentacji liczb obsadzeń</li> <li>- postać operatora jednociłowego wyrażonego przez operatory kreacji i anihilacji; operatory liczby cząstek, energii kinetycznej i energii potencjalnej w polu zewnętrznym (reprezentacja pędowa)</li> <li>- ciągłe symetrie w przestrzeni Focka; translacje w czasie i przestrzeni, obroty, cechowanie (generatory tych przekształceń); działanie na operatory kreacji i anihilacji</li> <li>- dyskretne symetrie w przestrzeni Focka; inwersja przestrzenna i odwrócenie strzałki czasu; działanie na operatory kreacji i anihilacji</li> <li>- zachowanie liczby cząstek (test)</li> <li>- postać operatora dwuciałowego wyrażonego przez operatory kreacji i anihilacji; operator energii potencjalnej pochodzącej od translacyjnie niezmienniczego i niezależnego od spinu potencjału dwucząstkowego (reprezentacja pędowa)</li> <li>- zredukowana, jednociłowa macierz gęstości; definicja, własności, interpretacja statystyczna, postać gdy operator gęstości jest rzutnikiem na stan w reprezentacji liczb obsadzeń (w szczególności gdy ten stan jest morzem Fermiego)</li> <li>- zredukowana, dwuciałowa macierz gęstości; definicja, własności, interpretacja statystyczna, postać gdy operator gęstości jest rzutnikiem na stan w reprezentacji liczb obsadzeń (w szczególności gdy ten stan jest morzem Fermiego)</li> <li>- statystyka Fermiego-Diraca jako źródło oddziaływania efektywnego między fermionami; korelacje dwuciałowe w swobodnym gazie fermionowym w przestrzeni rzeczywistej, korelacyjna "dziura Fermiego"</li> <li>- iloczyn normalny operatorów, połączenia (kontrakcje), twierdzenie Wicka-Blocha-De Dominicisa dla stanu Gibbsa swobodnego układu cząstek kwantowych w wielkim zespole kanonicznym; wartości oczekiwane iloczynów dwóch operatorów kreacji i anihilacji w stanie próżniowym i w stanie Gibbsa swobodnego układu cząstek kwantowych w wielkim zespole kanonicznym</li> </ul> <p>2</p> <p>III. Zastosowanie formalizmu "drugiego kwantowania": modele typu modelu BCS, model Hubbarda</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- stany wariacyjne BCS (własności)</li> <li>- przekształcenie Bogolubowa (własności nowych operatorów)</li> <li>- połączenia (kontrakcje) w stanie wariacyjnym BCS</li> <li>- hamiltonian zredukowany</li> <li>- równanie na przerwę</li> <li>- hamiltoniany typu modelu Hubbarda</li> <li>- magnetyzm elektronów wędrownych</li> <li>para- i ferro-magnetyzm w modelu Hubbarda</li> </ul>
16.	<p>Zalecana literatura (<i>podręczniki</i>)</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. C. Cohen-Tannoudji, B. Diu, F. Laloe, <i>Quantum Mechanics</i>, John Wiley and Sons.</li> <li>2. Ph. A. Martin, F. Rothen, <i>Many-Body Problems and Quantum Field Theory</i>. An</li> </ol>

	<p><i>Introduction</i>, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2002.</p> <p>3. H. Bruus, K. Flensberg, <i>Many-Body Quantum Theory in Condensed Matter Physics</i>, Oxford University Press 2004.</p> <p>4. R. Shankar, <i>Principles of Quantum Mechanics</i>, Kluwer Academic Publishers, 1994, 2004. <i>Mechanika kwantowa</i>, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2007.</p> <p>5. R. P. Feynman, <i>Wykłady z Mechaniki Statystycznej</i>, PWN, Warszawa 1980.</p> <p>6. J. Łopuszański, A. Pawlikowski, <i>Fizyka Statystyczna</i>, PWN, Warszawa 1987.</p> <p>7. A. S. Dawydow, <i>Mechanika Kwantowa</i>, PWN, Warszawa 1967.</p> <p>8. K. Zalewski, <i>Wykłady z nierelatywistycznej mechaniki kwantowej</i>, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1997.</p>																													
17.	<p>Forma zaliczenia poszczególnych komponentów przedmiotu/modułu, sposób sprawdzenia osiągnięcia zamierzonych efektów kształcenia:</p> <p>wykład: dwuczęściowy egzamin: część I. - pytania teoretyczne, część druga - zadania konwersatorium: sprawdziany pisemne i odpowiedzi przy tablicy</p>																													
18.	<p>Język wykładowy angielski</p>																													
19.	<p>Obciążenie pracą studenta</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Forma aktywności studenta</th> <th>Średnia liczba godzin na zrealizowanie aktywności</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Godziny zajęć (wg planu studiów) z nauczycielem:</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>- wykład:</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>- ćwiczenia:</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>- laboratorium:</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>- inne:</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Praca własna studenta np.:</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>- przygotowanie do zajęć:</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>- opracowanie wyników:</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>- czytanie wskazanej literatury:</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>- napisanie raportu z zajęć:</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>- przygotowanie do egzaminu:</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>Suma godzin</td> <td>150</td> </tr> <tr> <td>Liczba punktów ECTS</td> <td>6</td> </tr> </tbody> </table>		Forma aktywności studenta	Średnia liczba godzin na zrealizowanie aktywności	Godziny zajęć (wg planu studiów) z nauczycielem:	30	- wykład:	30	- ćwiczenia:	-	- laboratorium:	-	- inne:	-	Praca własna studenta np.:	30	- przygotowanie do zajęć:	-	- opracowanie wyników:	30	- czytanie wskazanej literatury:	-	- napisanie raportu z zajęć:	30	- przygotowanie do egzaminu:	30	Suma godzin	150	Liczba punktów ECTS	6
Forma aktywności studenta	Średnia liczba godzin na zrealizowanie aktywności																													
Godziny zajęć (wg planu studiów) z nauczycielem:	30																													
- wykład:	30																													
- ćwiczenia:	-																													
- laboratorium:	-																													
- inne:	-																													
Praca własna studenta np.:	30																													
- przygotowanie do zajęć:	-																													
- opracowanie wyników:	30																													
- czytanie wskazanej literatury:	-																													
- napisanie raportu z zajęć:	30																													
- przygotowanie do egzaminu:	30																													
Suma godzin	150																													
Liczba punktów ECTS	6																													

\*objaśnienie symboli:

K (przed podkreśleniem) - kierunkowe efekty kształcenia

W - kategoria wiedzy

U - kategoria umiejętności

K (po podkreśleniu) - kategoria kompetencji społecznych

01, 02, 03 i kolejne - numer efektu kształcenia



## COURSE/MODULE DESCRIPTION (SYLLABUS)

1.	Course/module Theory of Many-Body Systems	
2.	University department Faculty of Physics and Astronomy	
3.	Course/module code 24-FZ-S2-E1-TWC	
4.	Course/module type – mandatory (compulsory) or elective (optional) optional	
5.	University subject (programme/major) Physics	
6.	Degree: ( <i>master, bachelor</i> ) Master, PhD	
7.	Year: 1st	
8.	Semester ( <i>autumn, spring</i> ) autumn	
9.	Form of tuition and number of hours Lectures – 30 hours, classes – 30 hours	
10.	Name, Surname, academic title Janusz Jędrzejewski, dr hab.	
11.	Initial requirements (knowledge, skills, social competences) regarding the course/module and its completion First courses on Linear Algebra, Statistical Physics and Quantum Mechanics completed	
12.	Objectives Introduction to nonrelativistic quantum mechanics of systems composed of many identical quantum particles, in particular to the so called second quantization formalism. Preparation for studying advanced topics in quantum statistical physics and quantum condensed-matter theory.	
13.	Learning outcomes	Outcome symbols, <i>e.g.</i> : K2_W01  K2_W02  K2_W03

		<p>K2_W06</p> <p>K2_U04</p>
14.	<p>Contents :</p> <p>I. States and observables of systems of many quantum particles with fixed particle number</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• identical quantum particles, exchange degeneracy and paradoxes of quantum-measurement theory</li> <li>• states and observables of systems of many identical quantum particles</li> <li>• completely symmetric and completely antisymmetric states, occupation number representation</li> <li>• symmetrization postulate, indistinguishability of quantum identical particles, bosons and fermions</li> <li>• ground states of ideal gases of bosons and fermions with fixed number of particles, degeneracy phenomena</li> </ul> <p>II States and observables of systems of many quantum particles with undetermined particle number</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• the Fock space, the state of vacuum</li> <li>• observables in the Fock space, the number operator</li> <li>• creation and annihilation operators of particles in one-particle states, the canonical commutation and anticommutation relations, construction of the Fock space from the vacuum state</li> <li>• m-body observables and their representation in terms of creation and annihilation operators</li> <li>• symmetries and their action on states and observables, conservation of particle number</li> <li>• pure and mixed quantum states and their density operators, density operators of quantum Gibbs ensembles</li> <li>• expectation values of m-body observables and m-body reduced density operators</li> <li>• m-body reduced density operators of ideal gases of bosons or fermions, physical meaning of their matrix elements, the Fermi hole</li> <li>• calculation of expectation values and the Wick-Bloch-de Dominicis theorem</li> </ul> <p>III Application of the formalism</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• superconductivity and the BCS model</li> <li>• flat-band ferromagnetism and the Hubbard model</li> </ul>	

15.	<p>Recommended literature:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. C. Cohen-Tannoudji, B. Diu, F. Laloe, <i>Quantum Mechanics</i>, John Wiley and Sons.</li> <li>2. Ph. A. Martin, F. Rothen, <i>Many-Body Problems and Quantum Field Theory. An Introduction</i>, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2002.</li> <li>3. H. Bruus, K. Flensberg, <i>Many-Body Quantum Theory in Condensed Matter Physics</i>, Oxford University Press 2004.</li> <li>4. R. Shankar, <i>Principles of Quantum Mechnics</i>, Kluwer Academic Publishers, 1994, 2004. <i>Mechanika kwantowa</i>, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2007.</li> <li>5. R. P. Feynman, <i>Wykłady z Mechaniki Statystycznej</i>, PWN, Warszawa 1980.</li> <li>6. J. Łopuszański, A. Pawlikowski, <i>Fizyka Statystyczna</i>, PWN, Warszawa 1987.</li> <li>7. A. S. Dawydow, <i>Mechanika Kwantowa</i>, PWN, Warszawa 1967.</li> <li>8. K. Zalewski, <i>Wykłady z nierelatywistycznej mechaniki kwantowej</i>, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1997.</li> </ol>																															
16.	<p>Ways of earning credits for the completion of a course /particular component, methods of assessing academic progress:</p> <p>lecture: written and oral exam; part I -- theoretical questions, part II -- problems class: solving problems by the blackboard, written tests</p>																															
17.	<p>Language of instruction</p> <p>English</p>																															
18.	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 70%;">Activity</th> <th style="width: 30%;">Average number of hours for the activity</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2">Hours of instruction (as stipulated in study programme) :</td> </tr> <tr> <td>- lecture:</td> <td style="text-align: center;">30</td> </tr> <tr> <td>- classes:</td> <td style="text-align: center;">30</td> </tr> <tr> <td>- laboratory:</td> <td style="text-align: center;">-</td> </tr> <tr> <td>- other:</td> <td style="text-align: center;">-</td> </tr> <tr> <td colspan="2">student's own work, e.g.:</td> </tr> <tr> <td>- preparation before class (lecture, etc.)</td> <td style="text-align: center;">30</td> </tr> <tr> <td>- research outcomes:</td> <td style="text-align: center;">-</td> </tr> <tr> <td>- reading set literature:</td> <td style="text-align: center;">-</td> </tr> <tr> <td>- writing course report:</td> <td style="text-align: center;">30</td> </tr> <tr> <td>- preparing for exam:</td> <td style="text-align: center;">-</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">30</td> </tr> <tr> <td>Hours</td> <td style="text-align: center;">150</td> </tr> <tr> <td>Number of ECTS</td> <td style="text-align: center;">6</td> </tr> </tbody> </table>		Activity	Average number of hours for the activity	Hours of instruction (as stipulated in study programme) :		- lecture:	30	- classes:	30	- laboratory:	-	- other:	-	student's own work, e.g.:		- preparation before class (lecture, etc.)	30	- research outcomes:	-	- reading set literature:	-	- writing course report:	30	- preparing for exam:	-		30	Hours	150	Number of ECTS	6
Activity	Average number of hours for the activity																															
Hours of instruction (as stipulated in study programme) :																																
- lecture:	30																															
- classes:	30																															
- laboratory:	-																															
- other:	-																															
student's own work, e.g.:																																
- preparation before class (lecture, etc.)	30																															
- research outcomes:	-																															
- reading set literature:	-																															
- writing course report:	30																															
- preparing for exam:	-																															
	30																															
Hours	150																															
Number of ECTS	6																															

\* Key to symbols:

K (before underscore) - learning outcomes for the programme  
W - knowledge



U - skills

K (after underscore) - social competences

01, 02, 03 and subsequent - consecutive number of learning outcome