Квантовая теория многих тел

Lecturers:
Роман Полозков

Language:
English

Credit points:
6 з.е.

Monitoring type:
Экзамен

Educational Program:
Нанофотоника
2 семестр
Гибридные материалы
2 семестр
Квантовые материалы
2 семестр
Компьютерное моделирование квантовых и нанофотонных систем
2 семестр

Prerequisites:
Электродинамика
Квантовая механика
Математическая физика
Общая физика

Lectures (a.h)*	Practice (a.h)	Labs (a.h)
28	28	
*1 academic hour = 45 minutes		

Курс дает представление о современных методах теории многих тел и их применении для описания структуры, динамических характеристик и процессов в многочастичных системах, таких как атомы, молекулы, атомные кластеры, наноструктуры, твердые тела.

Курс начинается с рассмотрения систем невзаимодействующих частиц - бозонов и фермионов, их статистики, а также трудностей использования традиционной теории возмущений при учете взаимодействия между частицами. Далее обсуждаются традиционные одночастичные методы, такие как метод Томаса-Ферми, приближение локальной плотности, приближение Хартри-Фока. Большое внимание уделяется теории функционала плотности, в частности, приближение локальной плотности, как широко используемой в расчетах многоэлектронных систем. В последующей части курса подробно рассматриваются полевые методы теории многих тел: вторичное квантование, представление взаимодействия, операторы поля, функции Грина, диаграммная техника. Последняя часть курса посвящена применению диаграммной техники Фейнмана и Голдстоуна для расчетов структуры и процессов взаимодействия систем многих тел с электромагнитным полем и другими частицами.

The course presents the modern methods of many-body theory and it applications to describe the structure, dynamic properties and processes in many-particle systems like atoms, molecules, atomic clusters, nanostructures, condensed matter.

The course starts with the consideration of the systems of independent particles – bosons and fermions, their statistic and the difficulties of application of the traditional perturbation theory to take into account the interaction between particles. Then the single-particle approaches like the Thomas-Fermi method, the Local Density Approximation (LDA), the Hartree-Fock approximation, are discussed. The essential attention is paid to the Density Functional Theory, in particular to the LDA, which is widely used in calculations of many-electron systems. The next part of the course considers the field theory methods in many-body theory in details: second quantization, interaction representation, field operators, Greene functions, and diagram technique. The part of course is devoted to the application of the Feynman and Goldstone diagram technique to the calculations of structure and processes of interaction of many-body systems with electromagnetic field and incident particles.

Course content

Детальное описание курса с разбиением по лекциям/семинарам/практикам:

Структура курса

	Тема	Тип занятий
1	Введение в квантовую задачу многих тел. Пути решения: канонические преобразования, теория возмущений, методы квантовой теории поля.	Лекция + семинар
2	Многоэлектронный атом. Пример: основное состояние атома гелия. Спин и принцип Паули: симметрия волновых функций, детерминант Слэтера, матричные элементы от однодетерминантных волновых функций.	Лекция + семинар
3	Метод самосогласованного среднего поля. Приближения Хартри и Хартри-фока.	Лекция + семинар
4	Электронный газ в приближении Хартри-Фока.	Лекция + семинар
5	Электронный газ в приближении Хартри-Фока.	Лекция + семинар
6	Теория функционала плотности: приближение локальной плотности, обобщенная градиентная аппроксимация, гибридные функционалы.	Лекция + семинар
7	Вторичное квантование.	Лекция + семинар
8	Теория представлений: представление Шредингера, представление Гейзенберга и представление взаимодействия. S-матрица. Адиабатическая гипотеза.	Лекция + семинар
9	Введение в формализм функций Грина: 1) Определение пропагатора. Запаздывающая и опережающая функции Грина, спектральное представление, полюса функции Грина. 2) Уравнение для функции Грина, математическое определение. 3) Функция Грина свободной частицы.	Лекция + семинар
10	Одночастичная функция Грина в системе взаимодействующих частиц. Теорема Гелл-Манна и Лоу. Теорема Вика.	Лекция + семинар
11	Диаграммы Фейнмана для функции одночастичной Грина. Диаграммная техника в координатном и импульсном пространстве.	Лекция + семинар
12	Уравнение Дайсона для функции одночастичной Грина. Собственно-энергетическая часть. Диаграммное представление приближения Хартри-Фока.	Лекция + семинар
13	Теорема Голдстоуна и диаграммная техника Голдстоуна. Приближение Тамма-Данкова. Приближение случайных фаз с обменом.	Лекция + семинар
14	Двухчастичная функция Грина. Уравнения Хедина. GW приближение. Уравнение Бете-Солпитера.	Лекция + семинар

Detailed content and structure with sectioning of lectures/seminars:

Структура курса

	Topic	Class type
1	Introduction to many particle problem. Briefly about different ways to solve it: canonical transformation, perturbation theory, quantum field theory methods.	Lecture + Seminar
2	The many-electron atom: example - the ground state of the helium atom. Electron spin and Pauli principle: symmetry of wave functions, determinantal wave functions, the expectation value of symmetric operator and the normalization of a determinantal wave functions.	Lecture + Seminar
3	Basics of the self-consistent mean filed theory. One-electron approximations: Hartree and Hartree-Fock.	Lecture + Seminar
4	The homogeneous electron gas in the Hartree-Fock approximation.	Lecture + Seminar
5	The density functional theory: Thomas-Fermi theory, Hohenberg-Kohn theorems, Kohn-Sham approach.	Lecture + Seminar

6	The density functional theory: the local density approximation, the generalized gradient approximation, hybrid functionals.	Lecture + Seminar
7	Second quantization. Briefly.	Lecture + Seminar
8	Time evolution picture: the Schrodinger representation, the Heisenberg representation and interaction representation. S-matrix. Adiabatic hypothesis..	Lecture + Seminar
9	Introduction to Green's function: 1) Definition as propagator. Casual, retarded and advanced Green's functions. Spectral representation, poles of Green's function. 2) Equation for Green's function, mathematical sense. 3) Green's function of free particle.	Lecture + Seminar
10	Green's function for system with interaction. Gell-Mann–Low theorem. Whick's theorem	Lecture + Seminar
11	Zero-temperature Feynman diagrams.	Lecture + Seminar
12	Dyson equation for Green's function. The self-energy. Diagrammatic representation of Hartree-Fock approach.	Lecture + Seminar
13	Goldstone's theorem and diagrammatic technic. The Tamm-Dankoff approximation. The random phase approximation with exchange.	Lecture + Seminar
14	The two-particle Green's function. The two-particle vertex. Hedin's equations. GW approximation. Bethe-Salpeter equation.	Lecture + Seminar

Recommended resources

Основная

1. В.К.Иванов, А.Н.Ипатов, Р.Г.Полозков, Квантовая теория многих тел, учебное пособие.

2. Н.Марч, У.Янг, С.Сампантхар. Проблема многих тел в квантовой механике.«Мир», М. 1969.

3. А.А.Абрикосов, А.П.Горьков, И.Е.Дзялошинский. Методы квантовой теории поля в статистической физике. Физмат, М. 1962.

4. Е.М.Лившиц, Л.П.Питаевский. Статистическая физика. Часть 2. IX том теоретической физики Ландау. «Наука», М. 1978.

5. Р.Маттук, Фейнмановские диаграммы в проблеме многих тел. «Мир», М. 1969.

6. С. Реймс, Теория многоэлектронных систем, «Мир», М. 1976.

7. G.D. Mahan, Many Particle Physics, 2000.

8. P. Coleman, Introduction to Many-Body Physics, Cambridge University Press, 2015.

Дополнительная

1. I.Lindgren, J.Morrison. Atomic many-body theory. Springer. 1982.

2. A.F.Fetter, J.D.Walecka. Quantum theory of many-particle systems. McGraw Hill Book Company. 1971.

3. А.Б.Мигдал. Качественные методы в квантовой теории. «Наука», М. 1975.

4. H. Bruus, K. Flensberg, Many-body quantum theory in condensed matter physics, 2002.

5. Д.Пайнс. Проблема многих тел. «Иностранная литература», М.1963.

6. Теория неоднородного электронного газа. Под ред. С.Лундквиста и Н.Марча. «Мир», М. 1987.

7. Д.Таулес. Квантовая механика систем многих частиц. «Мир», М. 1975.

Grading Policy

Два промежуточных зачета (в середине семестра и в конце) и экзамен.

Two intermediate attestation and final exam.