

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:

ФИО: Исаев Игорь Магомедович

Должность: Проректор по безопасности и общим вопросам

Дата подписания: 02.08.2023 12:37:01

Уникальный программный ключ:

d7a26b9e8ca85e98ac3de2ab454b4659d961f749

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

«Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

Рабочая программа дисциплины (модуля)

Quantum Electronic Properties of Nanosystems / Квантовая механика и статистика наночастиц

Закреплена за подразделением

Кафедра теоретической физики и квантовых технологий

Направление подготовки

03.04.02 ФИЗИКА

Профиль

Quantum Physics for Advanced Materials Engineering/ Квантовая физика для современной инженерии материалов

Квалификация

Магистр

Форма обучения

очная

Общая трудоемкость

4 ЗЕТ

Часов по учебному плану

144

Формы контроля в семестрах:

в том числе:

экзамен 3

аудиторные занятия

51

курсовая работа 3

самостоятельная работа

66

часов на контроль

27

Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	3 (2.1)		Итого	
	Неделя			
Вид занятий	УП	РП	УП	РП
Лекции	17	17	17	17
Практические	34	34	34	34
Итого ауд.	51	51	51	51
Контактная работа	51	51	51	51
Сам. работа	66	66	66	66
Часы на контроль	27	27	27	27
Итого	144	144	144	144

Программу составил(и):

дфмн, профессор, Мухин Сергей Иванович

Рабочая программа

Quantum Electronic Properties of Nanosystems / Квантовая механика и статистика наночастиц

Разработана в соответствии с ОС ВО:

Самостоятельно устанавливаемый образовательный стандарт высшего образования - магистратура Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» по направлению подготовки 03.04.02 ФИЗИКА (приказ от 02.04.2021 г. № 119 о.в.)

Составлена на основании учебного плана:

03.04.02 ФИЗИКА, 03.04.02_МФ3-22-3А.plx Quantum Physics for Advanced Materials Engineering/ Квантовая физика для современной инженерии материалов, утвержденного Ученым советом ФГАОУ ВО НИТУ "МИСиС" в составе соответствующей ОПОП ВО 22.09.2022, протокол № 8-22

Утверждена в составе ОПОП ВО:

03.04.02 ФИЗИКА, Quantum Physics for Advanced Materials Engineering/ Квантовая физика для современной инженерии материалов, утвержденной Ученым советом ФГАОУ ВО НИТУ "МИСиС" 22.09.2022, протокол № 8-22

Рабочая программа одобрена на заседании

Кафедра теоретической физики и квантовых технологий

Протокол от 23.06.2022 г., №7/22

Руководитель подразделения Дфмн, профессор, Мухин Сергей Иванович

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ

1.1	Цель дисциплины – формирование компетенций в соответствии с учебным планом, а также ознакомить студентов с:
1.2	развитием теории электронных квантовых явлений в наносистемах: применением теории случайных гамильтоновых матриц Вигнера-Дайсона в исследовании термодинамики нанокластеров,
1.3	фазовыми переходами Пайерлса в квазиодномерных проводниках и фазовыми переходами Изинга и Березинского-Костерлица-Таулеса в двумерных системах,
1.4	теорией флуктуаций спина в одномерной цепочке Изинга,
1.5	теорией Ландауэра квантования проводимости квантового точечного контакта.
1.6	Задачи дисциплины определены научить:
1.7	Основным понятиям, законам и методам квантовой механики и физики фазовых переходов в многочастичных низкоразмерных системах и наночастицах;
1.8	Умению анализировать физическую картину распределения квантовых уровней энергии электронов в металлических наночастицах;
1.9	Решать конкретные задачи по вычислению температурных, полевых и частотных зависимостей термодинамических и кинетических характеристик наночастиц, представляющих
1.10	фундаментальный интерес для физики наносистем и имеющих прикладное значение.

2. МЕСТО В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Блок ОП:		Б1.В.ДВ.03
2.1	Требования к предварительной подготовке обучающегося:	
2.1.1	Electron Theory of Metals / Электронная теория металлов	
2.1.2	Electronic Properties of Quantum Confined Semiconductor Heterostructures / Электронные свойства квантово-ограниченных полупроводниковых гетероструктур	
2.1.3	Foreign Language (English / Russian) / Иностранный язык (Английский / Русский)	
2.1.4	Scientific research / Научно-исследовательская практика	
2.1.5	Project Management / Управление проектами	
2.2	Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:	
2.2.1	Master's Thesis / Преддипломная практика	
2.2.2	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы	

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ФОРМИРУЕМЫМИ КОМПЕТЕНЦИЯМИ

ОПК-1: Способен применять фундаментальные знания в области физики, знания в междисциплинарных областях для решения научно-исследовательских задач, а также владеть основами педагогики, необходимыми для осуществления преподавательской деятельности
Знать:
ОПК-1-31 Основные понятия, законы и методы квантовой механики и физики фазовых переходов в многочастичных низкоразмерных системах и наночастицах.
УК-3: Способен использовать различные методы ясного и недвусмысленного формулирования своих выводов, знаний и обоснований для специализированной и неспециализированной аудиторий в национальном и международном контекстах, организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели
Уметь:
УК-3-У1 Уметь анализировать физическую картину распределения квантовых уровней энергии электронов в металлических наночастицах.
ПК-3: Способен проводить экспериментальные и теоретические исследования физических процессов, в том числе, в рамках научно-исследовательских, опытно-технологических или опытно-конструкторских работ выполняемых в рамках тематик организаций
Владеть:
ПК-3-В1 Находить решения конкретных задач по вычислению температурных, полевых и частотных зависимостей термодинамических и кинетических характеристик наночастиц, представляющих фундаментальный интерес для физики наносистем и имеющих прикладное значение.

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ								
Код занятия	Наименование разделов и тем /вид занятия/	Семестр / Курс	Часов	Формируемые индикаторы компетенций	Литература и эл. ресурсы	Примечание	КМ	Выполняемые работы
	Раздел 1. Статистика электронных спектров в металлических нанокластерах/Electron spectra statistics in metal nanoclusters							
1.1	Квантовый размерный эффект; Дискретность собственных значений гамильтоновой матрицы электрона в металлическом кластере; Концепция случайных гамильтоновых матриц электронов в нанокластерах; Теория гауссовских ансамблей гамильтоновых матриц Вигнера-Дайсона. /Quantum size effect; Discreteness of the eigenvalues of the Hamiltonian matrix of an electron in a metal cluster; The concept of random Hamiltonian matrices of electrons in nanoclusters; The theory of Gaussian ensembles of Hamiltonian Wigner-Dyson matrices. /Лек/	3	1	ОПК-1-31	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1			
1.2	Геометрические корреляции уровней энергии и теорема Портера; Элементы симметрии гамильтоновой матрицы; Эффективное отталкивание между случайными энергетическими уровнями электронов в нанокластерах. /Geometric correlations of energy levels and Porter's theorem; Symmetry elements of the Hamiltonian matrix; Effective repulsion between random energy levels of electrons in nanoclusters. /Лек/	3	1	ОПК-1-31 УК-3-У1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1			

1.3	<p>Переход от ортогонального ансамбля случайных гамильтоновых матриц к унитарному ансамблю при постепенном увеличении магнитного поля; Точное решение Мехты для двухточечной корреляционной функции в магнитном поле; Баллистические и диффузионные пределы характера движения электронов в нанокластерах./Transition from an orthogonal ensemble of random Hamiltonian matrices to a unitary ensemble with a gradual increase in the magnetic field; Mehta's exact solution for a two-point correlation function in a magnetic field; Ballistic and diffusion limits of the nature of electron motion in nanoclusters. /Лек/</p>	3	1	ОПК-1-31	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1			
1.4	<p>Решение задач, вывод теоретических соотношений и доказательство теорем. /Solving problems, deriving theoretical relations and proving theorems. /Пр/</p>	3	6	ОПК-1-31 УК-3-У1 ПК-3-В1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1			
	<p>Раздел 2. Термодинамические свойства металлических нанокластеров/Thermodynamic properties of metal nanoclusters</p>							
2.1	<p>Статсумма нанокластера с эквидистантными уровнями энергии; Удельная теплоемкость и магнитная восприимчивость нанокластера с равноотстоящими уровнями энергии в случаях четного и нечетного числа электронов. /Partition sum of a nanocluster with equidistant energy levels; The specific heat capacity and magnetic susceptibility of a nanocluster with equally spaced energy levels in cases of even and odd number of electrons. /Лек/</p>	3	1	ОПК-1-31 УК-3-У1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1			

2.2	<p>Основные принципы теории Горькова и Элиашберга; Приближенные методы расчета удельной тепловой и магнитной восприимчивости нанокластера при случайном распределении уровней энергии в низкотемпературном пределе. /Basic principles of the theory of Gorkov and Eliashberg; Approximate methods for calculating the specific thermal and magnetic susceptibility of a nanocluster with a random distribution of energy levels in the low-temperature limit. /Лек/</p>	3	1	ОПК-1-31 УК-3-У1	Л1.1 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1			
2.3	<p>Усреднение по распределениям Вигнера-Дайсона-Мехты и Пуассона в магнитном поле; Экспериментальное наблюдение кроссовера в поведении термодинамических характеристик нанокластеров. /Averaging over Wigner-Dyson-Mehta and Poisson distributions in a magnetic field; Experimental observation of a crossover in the behavior of the thermodynamic characteristics of nanoclusters. /Лек/</p>	3	1	ОПК-1-31 УК-3-У1	Л1.1 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1			
2.4	<p>Решение задач, вывод теоретических соотношений и доказательство теорем. /Solving problems, deriving theoretical relations and proving theorems. /Пр/</p>	3	6	ПК-3-В1 УК-3-У1 ОПК-1-31	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1			
	<p>Раздел 3. Переходы металл-изолятор в квазиодномерных проводниках/Metal-insulator transitions in quasi-one-dimensional conductors</p>							

3.1	<p>Метод уравнений Боголюбова-де Женна Гамильтониан Фрелиха с электрон-фононным взаимодействием в одномерной проводящей цепочке атомов; Удвоение периода цепочки атомов и фазовый переход Пайерлса в одномерном проводнике в состоянии с волной зарядовой плотности (ВЗП). /Method of Bogolyubov-de Gennes equations Frohlich Hamiltonian with electron-phonon interaction in a one-dimensional conducting chain of atoms; Period doubling of a chain of atoms and the Peierls phase transition in a one-dimensional conductor in a state with a charge density wave (CDW). /Лек/</p>	3	2	ОПК-1-31	Л1.1 Л1.2Л2.2Л3. 1 Э1			
-----	---	---	---	----------	--------------------------------	--	--	--

3.2	<p>Теория фазового перехода Келдыша и Копаева в состоянии с волной зарядовой плотности (ВЗП) в полуметаллах; Переходы металл-изолятор с образованием волны спиновой плотности (ВСП); Связанные ВСП и ВЗП переходы в модели Хаббарда с отталкиванием - аналитическое решение типа "полосатой фазы" в квазиодномерном пределе слабой связи, и близком к половинному заполнению электронной зоны; Теория Горькова и Лебеда о снижении размерности электронного спектра и формировании магнитно-индуцированного фазового перехода в состоянии с ВСП. /The theory of phase transition by Keldysh and Kopayev in a state with a charge density wave (CDW) in semimetals; Metal-insulator transitions with the formation of a spin density wave (SDW); Coupled CDW and CDW transitions in the Hubbard model with repulsion - an analytical solution of the "striped phase" type in the quasi-one-dimensional weak-coupling limit, and close to half-filling of the electron band; The theory of Gorkov and Lebed on the reduction of the dimension of the electronic spectrum and the formation of a magnetically induced phase transition to a state with an SDW. /Лек/</p>	3	2	ОПК-1-31	Л1.1Л2.2Л3. 1 Э1			
3.3	<p>Решение задач, вывод теоретических соотношений и доказательство теорем. /Solving problems, deriving theoretical relations and proving theorems. /Пр/</p>	3	6	ОПК-1-31 ПК-3-В1	Л1.1 Л1.2Л2.2Л3. 1 Э1			
	<p>Раздел 4. Магнитные фазовые переходы в низкоразмерных системах/Magnetic phase transition in lowdimensional systems</p>							

4.1	<p>Модель Изинга на двумерной квадратной решетке; Точное решение Онзагера для ферромагнитного фазового перехода в двумерной модели Изинга; Степенное поведение температурной зависимости термодинамических величин; Критические степенные показатели двумерной модели Изинга. /Ising model on a two-dimensional square lattice; Onsager's exact solution for the ferromagnetic phase transition in the 2D Ising model; Power-law behavior of the temperature dependence of thermodynamic quantities; Critical exponents of the two-dimensional Ising model. /Лек/</p>	3	2	ОПК-1-31	Л1.1 Л1.2Л2.2Л3. 1 Э1			
4.2	<p>Фазовый переход Березинского, Костерлица и Таулесса (БКТ) в двумерной XY-модели теорема Мермина-Вагнера-Хоэнберга; Диссоциация пар вихрь-антивихрь и критерий перехода в упорядоченное состояние в теории БКТ. /Phase transition of Berezinsky, Kosterlitz and Thouless (BKT) in the two-dimensional XY-model Mermin-Wagner-Hohenberg theorem; Dissociation of vortex-antivortex pairs and the criterion of transition to an ordered state in the BKT theory. /Лек/</p>	3	1	ОПК-1-31	Л1.1 Л1.2Л2.2Л3. 1 Э1			
4.3	<p>Спиновые колебания в одномерной цепочке Изинга; Точное решение для статсуммы и корреляционной длины как функций от температуры; Фазовый переход в дальний порядок на цепочке Изинга при абсолютном нуле. /Spin oscillations in a one-dimensional Ising chain; Exact solution for partition function and correlation length as functions of temperature; Phase transition to long-range order on the Ising chain at absolute zero. /Лек/</p>	3	1	ОПК-1-31 УК-3-У1	Л1.1 Л1.2Л2.2Л3. 1 Э1			

4.4	Решение задач, вывод теоретических соотношений и доказательство теорем. /Solving problems, deriving theoretical relations and proving theorems. /Пр/	3	8	ОПК-1-31 УК-3-У1 ПК-3-В1	Л1.1 Л1.2Л2.2Л3. 1 Э1			
	Раздел 5. Квантовый транспорт: теория Ландауэра/Quantum transport; Landauer's theory							
5.1	Основные принципы теории квантового транспорта Ландауэра; Сопротивление идеального квантового провода, формула Ландауэра-Бутикера; Суммирование поперечных квантовых мод электрического тока через баллистическую квантовую проволоку, формула Ландауэра; Электропроводность квантовой проволоки. /Basic principles of Landauer's theory of quantum transport; Resistance of an ideal quantum wire, Landauer-Boutiker formula; Summation of transverse quantum modes of electric current through a ballistic quantum wire, Landauer's formula; Electrical conductivity of quantum wire. /Лек/	3	2	ОПК-1-31	Л1.1 Л1.2Л2.2Л3. 1 Э1			
5.2	Матрица рассеяния и теория Ландауэра для квантового точечного контакта; Экспериментальная реализация; Адиабатический точечный контакт; Ступенчатая структура энергетической зависимости коэффициента пропускания через потенциальный барьер. /Scattering matrix and Landauer theory for quantum point contact; Experimental implementation; Adiabatic point contact; Step structure of the energy dependence of the transmittance through the potential barrier. /Лек/	3	1	ОПК-1-31	Л1.1 Л1.2Л2.2Л3. 1 Э1			

5.3	Решение задач, вывод теоретических соотношений и доказательство теорем. /Solving problems, deriving theoretical relations and proving theorems. /Пр/	3	6	ОПК-1-31 ПК-3-В1	Л1.1 Л1.2Л2.2Л3. 1 Э1			
	Раздел 6. контрольная работа/control paper							
6.1	Контрольная работа: решение задач по разделам курса 1-2 /Solving problems in sections of the course 1-2 /Пр/	3	2	ОПК-1-31 УК-3-У1 ПК-3-В1	Л1.1Л2.2Л3. 1 Э1			
	Раздел 7. Курсовая работа/Course essay							
7.1	Освоение учебных материалов по разделам 1-5. Написание отчета по курсовой работе. /Development of educational materials in sections 1-5. Writing a coursework report. /Ср/	3	66	ОПК-1-31 УК-3-У1 ПК-3-В1	Л1.1 Л1.3Л2.2Л3. 1 Л3.2 Э1			

5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

5.1. Контрольные мероприятия (контрольная работа, тест, коллоквиум, экзамен и т.п), вопросы для самостоятельной подготовки

Код КМ	Контрольное мероприятие	Проверяемые индикаторы компетенций	Вопросы для подготовки
КМ1	Экзамен /Exam	ОПК-1-31;УК-3-У1;ПК-3-В1	<ol style="list-style-type: none"> 1. Квантовый размерный эффект и дискретность собственных значений гамильтоновой матрицы электрона в металлическом кластере. 2. Понятие о случайных гамильтоновых матрицах электронов в нанокластерах. Теория гауссовых ансамблей гамильтоновых матриц Вигнера-Дайсона. 3. Геометрические корреляции энергетических спектров и теорема Портера об универсальности функции распределения собственных значений случайной гамильтоновой матрицы при унитарных преобразованиях. 4. Эффективное отталкивание между случайными уровнями энергии электрона в нанокластере (якобиан Портера). Степенной показатель функции распределения уровней в ортогональных, унитарных и симплектических ансамблях. 5. Статистическая сумма и температурная зависимость теплоемкости нанокластеров с двумя уровнями энергии распределенными по Вигнеру-Дайсону для ортогональных ансамблей. 6. Удвоение периода цепочки и фазовый переход Пайерлса металл-изолятор в квазиодномерном проводнике, в состоянии с волной зарядовой плотности, ВЗП. 7. Спиновые флуктуации (спиновые волны) в ферромагнетике при низких температурах. Закон дисперсии спиновых волн в ферромагнетике в решеточной модели Гайзенберга. 8. Температурная зависимость теплоемкости ферромагнетика при низких температурах- закон Блоха (вывод средней энергии возбужденного состояния ферромагнетика с помощью функции распределения Планка. 9. Гриновская функция одномерного гармонического осциллятора. Общее решение

		<p>неоднородных уравнений движения осциллятора с внешней вынуждающей силой с помощью функции Грина изолированной системы.</p> <p>10. Свободная энергия и теплоемкость квантового гармонического осциллятора: высокие и низкие температуры. (Мнимая часть функции Грина и спектр энергий квантового осциллятора.) /</p> <p>1. Quantum size effect and discreteness of eigenvalues of the electron Hamiltonian matrix in metal cluster.</p> <p>2. The concept of random Hamiltonian matrices of electrons in nanoclusters. Gaussian Ensemble Theory Hamiltonian Wigner-Dyson matrices.</p> <p>3. Geometric correlations of energy spectra and Porter's theorem on the universality of a function distribution of eigenvalues of a random Hamiltonian matrix under unitary transformations.</p> <p>4. Effective repulsion between random energy levels of an electron in a nanocluster (Porter's Jacobian). Power exponent of the level distribution function in orthogonal, unitary and symplectic ensembles.</p> <p>5. Partition function and temperature dependence of the heat capacity of nanoclusters with two energy levels distributed according to Wigner-Dyson for orthogonal ensembles.</p> <p>6. Period doubling of the chain and the Peierls phase transition of a metal-insulator in a quasi-one-dimensional conductor to a state with a charge density wave, CDW.</p> <p>7. Spin fluctuations (spin waves) in a ferromagnet at low temperatures. The dispersion law for spin waves in a ferromagnet in a lattice the Heisenberg model.</p> <p>8. Temperature dependence of the heat capacity of a ferromagnet at low temperatures - Bloch's law (the derivation of the average energy of the excited state ferromagnet using the Planck distribution function.</p> <p>9. Green's function of a one-dimensional harmonic oscillator. Common decision non-homogeneous equations of motion of an oscillator with an external driving force with using the Green's function of an isolated system.</p> <p>10. Free energy and heat capacity of a quantum harmonic oscillator: high and low temperatures. (The imaginary part of the Green's function and the energy spectrum of the quantum oscillator.)</p>
--	--	--

5.2. Перечень работ, выполняемых по дисциплине (модулю, практике, НИР) - эссе, рефераты, практические и расчетно-графические работы, курсовые работы, проекты и др.

По курсу предусмотрена 1 контрольная работа для проверки знаний и умений по разделам курса, включая компетенции УК-7.3-У1; УК-7.3-В1; ПК-1.1-У1,2; УК-7.1-В1, УК-7.1-У1, ПК-1.1-В2, ПК-1.1-В1

Пример задач для контрольной работы:

1. Calculate the heat capacity of an ensemble of two-level systems with three electrons with spin $1/2$. Assume that the distance between the levels does not depend on the spin projection on the quantization axis z , and is distributed according to the Wigner-Dyson law in the orthogonal Gaussian ensemble, with the average distance between the levels $D \gg T$, where T is the temperature. Considering possible options for filling the lower and upper energy levels, take into account the Pauli principle.
2. Calculate the heat capacity of an ensemble of two-level systems with two electrons with spin $1/2$. Assume that the distance between the levels does not depend on the spin projection on the quantization axis z , and is distributed according to the Wigner-Dyson law in the orthogonal ensemble, with the average distance between the levels $D \gg T$, where T is the temperature. Considering possible options for filling the lower and upper energy levels, take into account the Pauli principle.
3. Calculate the magnetic susceptibility of an ensemble of two-level systems with one electron with spin $1/2$ in an external magnetic field H . Assume that the energy levels of the 1st electron in a magnetic field paramagnetically depend on the spin projection on the quantization axis z $\pm 1/2$ and the gap between the levels is distributed according to the Wigner-Dyson law in a unitary Gaussian ensemble, with the average distance between the levels $D \gg T$, where T is the temperature.

Список тем для курсовых работ (УК-7.3-У1; УК-7.3-В1; ПК-1.1-У1,2; УК-7.1-В1):

1. Calculation of the heat capacity and magnetic susceptibility of a nanocluster with equidistant energy levels with an even and odd number of electrons (in the approximation of a two-level system)
2. Averaging in the limit of low temperatures of the heat capacity and magnetic susceptibility of a nanocluster in the approximation of a two-level system in the Wigner-Dyson distribution.
3. Two-level correlation function R_2 in the Pandey-Mehta representation for a unitary ensemble of random Hamiltonian matrices in different magnetic fields. Limiting cases of strong and weak fields.
4. Averaging the thermodynamic characteristics of nanoparticles with a two-point correlation function R_2 in the Pandey-Mehta representation for a unitary Gaussian ensemble of random Hamiltonian matrices R_2 .

5.3. Оценочные материалы, используемые для экзамена (описание билетов, тестов и т.п.)

Пример структуры экзаменационного билета:

1. Фундаментальный теоретический вопрос по статистике случайных энергетических уровней в наночастицах.
2. Фундаментальный теоретический вопрос по термодинамике перехода Пайерлса металл-изолятор в квазиодномерном проводнике, в состоянии с волной зарядовой плотности (ВЗП).

Пример экзаменационного билета в Приложении. /

An example of the structure of an exam ticket:

1. Fundamental theoretical question on the statistics of random energy levels in nanoparticles.
2. Fundamental theoretical question on the thermodynamics of the Peierls transition of a metal-insulator in a quasi-one-dimensional conductor to a state with a charge density wave (CDW).

An example of an examination ticket is in the Appendix.

5.4. Методика оценки освоения дисциплины (модуля, практики. НИР)

Оценка	Критерии оценивания на экзамене
5	«Отлично» Обучающийся глубоко и содержательно раскрывает ответ на каждый теоретический вопрос, не допустив ошибок. Ответ носит развернутый и исчерпывающий характер
4	«Хорошо» Обучающийся в целом раскрывает теоретические вопросы, однако ответ хотя бы на один из них не носит развернутого и исчерпывающего характера
3	«Удовлетворительно» Обучающийся в целом раскрывает теоретические вопросы и допускает ряд неточностей
	Обучающийся фрагментарно раскрывает содержание теоретических вопросов, допускает значительные неточности
2	«Неудовлетворительно» Обучающийся не знает ответов на поставленные теоретические вопросы
Оценивание решения задач контрольной работы	
Оценка	Критерии оценивания
5	«Отлично» Обучающийся выполняет полное и аргументированное решение задачи
4	«Хорошо» Обучающийся выполняет полное решение задачи, но не может аргументировать свое решение
3	«Удовлетворительно» Обучающийся в целом правильно решает задачу, но не может аргументировать свое решение
	Обучающийся правильно понимает способ решения задачи, но допускает ошибки при решении задачи
2	«Неудовлетворительно» Обучающийся не может решить задачу

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ**6.1. Рекомендуемая литература****6.1.1. Основная литература**

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л1.1	Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М., Питаевский Л. П.	Т. 10: Физическая кинетика	Библиотека МИСиС	, 1979
Л1.2	Левич В. Г., Вдовин Ю. А., Мямлин В. А., Левич В. Г.	Т. 2: Квантовая механика. Квантовая статистика и физическая кинетика	Библиотека МИСиС	, 1971
Л1.3	Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М.	Т.5: Статистическая физика	Библиотека МИСиС	, 1964

6.1.2. Дополнительная литература

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л2.1	Браницкая Л. Л.	Теория вероятностей и математическая статистика. Разд.: Случайная величина и ее числовые характеристики: Учеб. пособие для студ. спец. 0102, 0608, 0709, 5104	Библиотека МИСиС	М.: Учеба, 2000
Л2.2	Векилов Ю. Х., Иванов И. А., Матвеева Ю. Л., др., Мухин С. И.	Электронная теория металлов: сб. задач	Библиотека МИСиС	М.: Изд-во МИСиС, 2013

6.1.3. Методические разработки

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л3.1	Векилов Ю. Х., Кузьмин Ю. М.	Квантовая и статистическая физика: Учеб. пособие для семинар. и практ. занятий для студентов спец. 0406,0604,0629	Библиотека МИСиС	М.: Учеба, 1987

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л3.2	Быкова М. Б., Гореева Ж. А., Козлова Н. С., Подгорный Д. А.	Выполнение и оформление выпускных квалификационных работ, научно-исследовательских работ, курсовых работ магистров и отчетов по практикам: метод. указания	Библиотека МИСиС	М.: [МИСиС], 2017

6.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

Э1	03.04.02 Квантовая механика и статистика наночастиц/Quantum Electronic Properties of Nanosystems(на рус. и англ.) Доступ для студентов проходящих обучение по курсу. Размещен в LMS CANVAS	https://lms.misis.ru/courses/8424
----	---	---

6.3 Перечень программного обеспечения

П.1	Лицензии ПО Windows Server CAL ALNG LicSAPk MVL DvcCAL, ПО WinEDUA3 ALNG SubsVL MVL PerUsr и PerUsr
П.2	Microsoft Office
П.3	LMS Canvas
П.4	Python

6.4. Перечень информационных справочных систем и профессиональных баз данных

И.1	Полнотекстовые российские научные журналы и статьи:
И.2	— Научная электронная библиотека eLIBRARY https://elibrary.ru/
И.3	Иностранные базы данных (доступ с IP адресов МИСиС):
И.4	— аналитическая база (индексы цитирования) Web of Science https://apps.webofknowledge.com
И.5	— аналитическая база (индексы цитирования) Scopus https://www.scopus.com/
И.6	— наукометрическая система InCites https://apps.webofknowledge.com
И.7	— научные журналы издательства Elsevier https://www.sciencedirect.com/

7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Ауд.	Назначение	Оснащение
Читальный зал №3 (Б)		комплект учебной мебели на 44 места для обучающихся, МФУ Xerox VersaLink B7025 с функцией масштабирования текстов и изображений, 8 ПК с доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus.
Любой корпус Учебная аудитория	Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа и/или для проведения практических занятий:	доска, комплект учебной мебели на 30 посадочных мест
Любой корпус Учебная аудитория	Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа и/или для проведения практических занятий:	доска, комплект учебной мебели на 30 посадочных мест

8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ

<p>Литература для самостоятельного изучения хранится на кафедре (см также файлы в Приложениях)</p> <p>Самостоятельная работа обучающихся является формой организации образовательного процесса по дисциплине, стимулирующей активность, самостоятельность и познавательный интерес студентов.</p> <p>Самостоятельная работа обучающихся предусматривает углубленное изучение разделов и тем дисциплины, основных и дополнительных источников учебной и научной литературы, подготовку докладов, выполнение курсовых работ.</p> <p>Материалы докладов, курсовых работ в дальнейшем могут быть использованы при выполнении студенческих научных исследований и стать основой для подготовки выступлений на студенческих научно-практических конференциях, участия в конкурсах.</p> <p>Самостоятельная работа направлена на поиск учебной и научной информации, развитие аналитических способностей, навыков контроля и планирования учебного времени, на выработку умений и навыков рациональной организации своей деятельности.</p> <p>Самостоятельная работа включает следующие виды деятельности:</p> <ul style="list-style-type: none"> - работа с лекционным материалом, предусматривающая проработку лекционных материалов (конспекты, презентации) и учебной литературы; - поиск (подбор) и обзор научной и учебной литературы с использованием библиотечных и электронных

- образовательных ресурсов, источников информации в сети «Интернет» по изучаемой теме дисциплины;
- освоение материала, предусмотренного для самостоятельного изучения;
 - подготовка к практическим занятиям;
 - выполнение курсовой работы;
 - подготовка к экзамену.