

**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Московский физико-технический институт  
(национальный исследовательский университет)»**

**УТВЕРЖДЕНО**

**Директор физтех-школы физики  
и исследований им. Ландау  
А.В. Рогачев**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Дополнительные главы физики конденсированных сред
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра фундаментальной и прикладной физики микро- и наноструктур
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 75 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 135, всего зач. ед.: 3

Программу составил: А.С. Мельников, д-р физ.-мат. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры фундаментальной и прикладной физики микро- и наноструктур  
10.04.2023

## Аннотация

Курс является специальной физической дисциплиной, необходимой для успешной профессиональной деятельности выпускников кафедры. Цель курса – дать углубленные теоретические и практические знания в области квантовой физики конденсированных сред. Задача курса – расширить кругозор студентов, познакомив их с современными направлениями в этой области и дать им необходимый теоретический аппарат и навыки для решения некоторых задач и понимания современной литературы. Студенты познакомятся с применением базовых методов теоретической физики к конкретным задачам квантовой теории твердых тел, получают представление о физике твёрдого тела как о разделе физического знания, базирующегося на квантовой теории многочастичных систем с взаимодействием. Будет разобран набор базовых задач и приемов, используемых при изучении систем с взаимодействием, таких как метод среднего поля. В курс включены разделы, иллюстрирующие ряд ярких квантовых эффектов в физике конденсированных сред, таких как локализация, мезоскопика, теория ферми – жидкости и т.д.

## 1. Цели и задачи

### Цель дисциплины

Целью дисциплины является углубленное изучение теоретических методов и подходов квантовой физики конденсированных сред, знакомство с основными известными экспериментальными фактами, а также некоторыми современными направлениями в этой области.

### Задачи дисциплины

- формирование у студентов представления о физике твёрдого тела как о разделе физического знания, базирующегося на квантовой теории многочастичных систем с взаимодействующими частицами;
- ознакомление студентов с математическим аппаратом квантовой теории многочастичных систем и с примерами применения этого аппарата в физике металлов;
- ознакомление аспирантов с квантовыми эффектами в проводимости металлов.

## 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	УК-1.3 Разрабатывает стратегию достижения поставленной цели как последовательность шагов, предвидя результат каждого из них и оценивая их влияние на внешнее окружение планируемой деятельности и на взаимоотношения участников этой деятельности
УК-2 Способен управлять проектом на всех этапах его реализации	УК-2.1 Формулирует в рамках обозначенной проблемы, цель, задачи, актуальность, значимость (научную, практическую, методическую и иную в зависимости от типа проекта), ожидаемые результаты и возможные сферы их применения
	УК-2.2 Способен прогнозировать результат деятельности и планировать последовательность шагов для достижения данного результата. Формирует план-график реализации проекта в целом и план контроля его выполнения
УК-6 Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки	УК-6.2 Оценивает свою деятельность, соотносит цели, способы и средства выполнения деятельности с её результатами
	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук

ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности
	ОПК-1.3 Понимает междисциплинарные связи в области математики и физики и способен их применять при решении задач профессиональной деятельности
ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ОПК-2.2 Способен оценивать актуальность исследований в области своей профессиональной деятельности и их практическую значимость
	ОПК-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации
ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения	ОПК-3.1 Способен анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения
	ОПК-3.2 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки (техники)
	ОПК-3.3 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений
ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий	ОПК-4.2 Способен применять знания в области физико-математических наук для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов
	ОПК-4.3 Способен аргументировано выбирать способ проведения научного исследования
ОПК-5 Способен и готов к повышению квалификации, профессиональному росту и руководству коллективом в сфере своей профессиональной деятельности, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия	ОПК-5.3 Стремится к получению новых знаний, профессиональному и личностному росту
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты
ПК-2 Способен самостоятельно или в качестве члена (руководителя) малого коллектива организовывать и проводить научные исследования и их апробацию	ПК-2.1 Способен планировать и проводить научные исследования самостоятельно или в составе научного коллектива

### 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны знать:

- приближение Хартри-Фока для описания эффектов электрон – электронного взаимодействия в твердых телах, модель Хартри-Фока для свободных электронов, основы теории экранировки в металлах, приближение Томаса – Ферми, теорию Линдхарда, осцилляции Фриделя, плазменные колебания, основные подходы теории ферми-жидкости, классическую и квантовую теорию колебаний решетки, гамильтониан Фрёлиха, основы квантового теоретического описания транспортных явлений, канонические преобразования, методы диагонализации квадратичных по операторам рождения-уничтожения гамильтонианов.

уметь:

- применять метод вторичного квантования к системам взаимодействующих частиц, рассчитывать потенциал точечного заряда в металле, электронные орбиты в твердом теле в магнитном поле, квазиклассический спектр электронов в твердом теле в магнитном поле, влияние электрон-фононного взаимодействия на электронный спектр, вклад рассеяния электронов на фононах в сопротивление, интерференционную поправку к проводимости.

владеть:

- основными представлениями о концепции квазичастиц, нулевом звуке в ферми-жидкости, спиновых волнах в ферми-жидкости, взаимодействии света с твердыми телами, ангармонических эффектах в кристаллах, электрон-фононном взаимодействии, обменном взаимодействии и его роли в ферромагнетиках, теории рассеяния рентгеновского излучения в кристаллах, теории слабой локализации, мезоскопике, теории Ландауэра, теории Ландау фазовых переходов II рода, флуктуациях параметра порядка.

#### 4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

##### 4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Взаимодействующие электроны в металлах	4			10
2	Элементы теории Ферми-жидкости	4			10
3	Электроны в кристаллах в сильных магнитных полях	4			10
4	Электрон-фононное взаимодействие	4			10
5	Элементы квантовой теории твердых тел	4			10
6	Введение в физику квантового транспорта	4			10
7	Элементы флуктуационной теории фазовых переходов	6			15
Итого часов		30			75
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		135 час., 3 зач.ед.			

##### 4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 2 (Весенний)

###### 1. Взаимодействующие электроны в металлах

В приближении Хартри-Фока будут рассмотрены экранирующие свойства газа электронов, взаимодействующих по закону Кулона. Будет определена энергия когезии в металлах в приближении свободных электронов. В рамках теории Линдхарда будет определена диэлектрическая проницаемость металла и будет рассмотрено экранирование точечного заряда электронами в различных предельных случаях (приближение Томаса-Ферми, предел низких температур с выводом осцилляций Фриделя). Будут рассмотрены некоторые следствия нестационарной теории Линдхарда: плазменные колебания и затухание Ландау в металлах.

## 2. Элементы теории Ферми-жидкости

Будут изложены основы теории Ферми-жидкости. Будет рассмотрена магнитная восприимчивость ферми-жидкости, а также нулевой звук и спиновые волны в ферми-жидкости.

## 3. Электроны в кристаллах в сильных магнитных полях

Тема включает изучение следующих вопросов и разделов.

Квазиклассическое приближение. Магнитный пробой. Парамагнетизм Паули и диамагнетизм Ландау. Расчет осцилляций магнитного момента в эффекте де Гааза – ван Альфена. Эффект Шубникова – де Гааза.

## 4. Электрон-фононное взаимодействие

Предполагается введение в квантовую теорию фононов и электрон-фононного взаимодействия. Будет рассмотрено изменение спектра электронов в результате взаимодействия с фононами. Будет выведен закон Блоха-Грюнвальда для добавки к сопротивлению металла, вызванной электрон-фононным взаимодействием.

## 5. Элементы квантовой теории твердых тел

Тема включает изучение следующих вопросов и разделов.

Вторичное квантование. Бозе- и Ферми- частицы. Примеры вторично-квантованных гамильтонианов. Электрон во внешнем потенциале. Взаимодействующие электроны. Гамильтониан сильной связи. Модель Хаббарда. Фононы. Электрон-фононное взаимодействие. Гамильтониан Фрёлиха. Взаимодействующие бозе-частицы. Частицы и дырки (античастицы). Квадратичные по операторам рождения-уничтожения гамильтонианы. Диагонализация. Канонические преобразования. О технике функций Грина в физике конденсированных сред.

## 6. Введение в физику квантового транспорта

Будут получены оценки интерференционных поправок к проводимости металла (слабая локализация), в том числе – в присутствии магнитного поля. Будет рассмотрен эффект Ааронова-Бома в металлическом кольце. Будет изложена теория Ландауэра для кондактанса квантового точечного контакта и теория квантовой локализации в одномодовом проводе.

## 7. Элементы флуктуационной теории фазовых переходов

Будет изложена теория Ландау фазовых переходов второго рода, а также теория Гинзбурга-Ландау для пространственно-неоднородных состояний. Будет разобран метод расчёта флуктуаций параметра порядка и будет получен критерий применимости теории Ландау.

## 5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Учебная аудитория, доска, при необходимости мультимедиапроектор и экран.

## 6. Перечень рекомендуемой литературы

### Основная литература

1. Принципы теории твердого тела [Текст]/Дж. Займан, -М., Мир, 1966
2. Физика твердого тела [Текст] : в 2 т. Т. 1 / Н. Ашкрофт, Н. Мермин ; пер. с англ. А. С. Михайлова ; под ред. М. И. Каганова .— М. : Мир, 1979 .— 399 с.
3. Физика твердого тела [Текст] : в 2 т. Т. 2 : [учеб. пособие для вузов] / Н. Ашкрофт, Н. Мермин ; пер. с англ. К. И. Кугеля, А. С. Михайлова ; под ред. М. И. Каганова .— М. : Мир, 1979 .— 424 с.
4. Основы теории металлов [Текст] : учеб. руководство / А. А. Абрикосов .— М. : Наука, 1987 .— 520 с.
5. Квантовая теория твердых тел [Текст] : учеб. пособие для вузов / Ч. Киттель ; пер. с англ. А. А. Гусева .— М. : Наука, 1967 .— 491 с.
6. Функции Грина. Задачи и решения [Текст], [учебник для вузов] / Л. С. Левитов, А. В. Шитов, М., Физматлит, 2003
7. Методы квантовой теории поля в статистической физике [Текст]/А. А. Абрикосов, Л. П. Горьков, И. Е. Дзялошинский, Ин-т теорет. физики им. Л. Д. Ландау, -М., Физматгиз, 1962
8. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц, т. 3,5,9,10, курс "Теоретическая физика", М., Наука, 1976.
9. В.Я. Демиховский, Г. Вугальтер, Физика квантовых низкоразмерных структур, Изд. ННГУ, 2005.

### Дополнительная литература

1. Квантовая теория магнетизма [Текст] = Quantum theory of magnetism/Р. Уайт, -М., Мир, 1985

## 7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

Не используются

## 8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

Не предусмотрено.

## 9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Студент, изучающий дисциплину, должен, с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике. В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения и понятия, уметь применять полученные знания для решения различных задач.

Успешное освоение курса требует:

- посещения всех занятий, предусмотренных учебным планом по дисциплине;
- ведения конспекта занятий;
- напряжённой самостоятельной работы студента.

Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала, подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения;
- решение задач, предлагаемых студентам на занятиях;
- подготовку к выполнению заданий текущей и промежуточной аттестации.

Показателем владения материалом служит умение без конспекта отвечать на вопросы по темам дисциплины.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями преподавателю.

Возможен промежуточный контроль знаний студентов в виде решения задач в соответствии с тематикой занятий.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

**по направлению:** Прикладные математика и физика  
**профиль подготовки:** Общая и прикладная физика  
Физтех-школа физики и исследований им. Ландау  
кафедра фундаментальной и прикладной физики микро- и наноструктур  
**курс:** 1  
**квалификация:** магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Экзамен

**Разработчик:** А.С. Мельников, д-р физ.-мат. наук



## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	УК-1.3 Разрабатывает стратегию достижения поставленной цели как последовательность шагов, предвидя результат каждого из них и оценивая их влияние на внешнее окружение планируемой деятельности и на взаимоотношения участников этой деятельности
УК-2 Способен управлять проектом на всех этапах его реализации	УК-2.1 Формулирует в рамках обозначенной проблемы, цель, задачи, актуальность, значимость (научную, практическую, методическую и иную в зависимости от типа проекта), ожидаемые результаты и возможные сферы их применения
	УК-2.2 Способен прогнозировать результат деятельности и планировать последовательность шагов для достижения данного результата. Формирует план-график реализации проекта в целом и план контроля его выполнения
УК-6 Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки	УК-6.2 Оценивает свою деятельность, соотносит цели, способы и средства выполнения деятельности с её результатами
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук
	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности
	ОПК-1.3 Понимает междисциплинарные связи в области математики и физики и способен их применять при решении задач профессиональной деятельности
ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ОПК-2.2 Способен оценивать актуальность исследований в области своей профессиональной деятельности и их практическую значимость
	ОПК-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации
ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения	ОПК-3.1 Способен анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения
	ОПК-3.2 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки (техники)
	ОПК-3.3 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений
ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области	ОПК-4.2 Способен применять знания в области физико-математических наук для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов

физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий	ОПК-4.3 Способен аргументировано выбирать способ проведения научного исследования
ОПК-5 Способен и готов к повышению квалификации, профессиональному росту и руководству коллективом в сфере своей профессиональной деятельности, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия	ОПК-5.3 Стремится к получению новых знаний, профессиональному и личностному росту
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты
ПК-2 Способен самостоятельно или в качестве члена (руководителя) малого коллектива организовывать и проводить научные исследования и их апробацию	ПК-2.1 Способен планировать и проводить научные исследования самостоятельно или в составе научного коллектива

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Дополнительные главы физики конденсированных сред» обучающийся должен:

### знать:

- приближение Хартри-Фока для описания эффектов электрон – электронного взаимодействия в твердых телах, модель Хартри-Фока для свободных электронов, основы теории экранировки в металлах, приближение Томаса – Ферми, теорию Линдхарда, осцилляции Фриделя, плазменные колебания, основные подходы теории ферми-жидкости, классическую и квантовую теорию колебаний решетки, гамильтониан Фрёлиха, основы квантового теоретического описания транспортных явлений, канонические преобразования, методы диагонализации квадратичных по операторам рождения-уничтожения гамильтонианов.

### уметь:

- применять метод вторичного квантования к системам взаимодействующих частиц, рассчитывать потенциал точечного заряда в металле, электронные орбиты в твердом теле в магнитном поле, квазиклассический спектр электронов в твердом теле в магнитном поле, влияние электрон-фононного взаимодействия на электронный спектр, вклад рассеяния электронов на фонах в сопротивление, интерференционную поправку к проводимости.

### владеть:

- основными представлениями о концепции квазичастиц, нулевом звуке в ферми-жидкости, спиновых волнах в ферми-жидкости, взаимодействии света с твердыми телами, ангармонических эффектах в кристаллах, электрон-фононном взаимодействии, обменном взаимодействии и его роли в ферромагнетиках, теории рассеяния рентгеновского излучения в кристаллах, теории слабой локализации, мезоскопике, теории Ландауэра, теории Ландау фазовых переходов II рода, флуктуациях параметра порядка.

## 3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

1. Найти затухание Ландау в вырожденной плазме.
2. Вычислить асимптотику потенциала точечного заряда в металле в модели Линдхарда при конечной температуре.

3. Найти электронный спектр (перенормировку скорости Ферми и показать неизменность поверхности Ферми) при учете электрон-фоонного взаимодействия с помощью феноменологического обобщения подхода Хартри-Фока.
4. Оценить квантовую поправку к проводимости для одномерного, двумерного и трёхмерного металла.
5. Оценить квантовую поправку к проводимости в магнитном поле.
6. Вычислить кондактанс баллистического канала.
7. Вычислить кондактанс канала с рассеянием на примесях.
8. Найти скачок теплоемкости при фазовом переходе второго рода в теории Ландау.
9. Проанализировать влияние внешнего поля на фазовый переход в теории Ландау. Найти восприимчивость.
10. Вычислить средний квадрат параметра порядка выше критической температуры.
11. Вычислить матричные элементы одночастичных и двухчастичных операторов, используя симметризованные и антисимметризованные волновые функции бозе- и ферми-частиц.
12. Получить оператор плотности частиц в представлении вторичного квантования.
13. Получить оператор плотности тока в представлении вторичного квантования.
14. Получить распределения Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна из распределения Гиббса.
15. Получить коммутационные соотношения для полевых операторов бозе- и ферми-частиц.
16. Оценка скорости звука в металле.
17. Получить гамильтониан фоонов в представлении вторичного квантования.
18. Найти заряд дырки в ферми-системе.
19. Диагонализировать квадратичные формы ферми- и бозе-операторов (преобразование Боголюбова).
20. Вычислить энергию электрона в модели Хартри-Фока с экранированным кулоновским взаимодействием.
21. Найти скорость нулевого звука в ферми-жидкости.

#### **4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся**

##### Перечень контрольных вопросов

1. В чем заключается приближение Хартри-Фока?
2. Изложить основные результаты теории Линдхарда.
3. Что такое магнитный пробой?
4. Объяснить физическую суть модели Хаббарда.
5. Написать гамильтониан Фрёлиха.
6. Магнитный пробой.
7. Локализация.
8. Влияние электрон-фоонного взаимодействия на электронный спектр.
9. Приближение Томаса - Ферми.
10. Нестационарная теория Линдхарда.
11. Магнитная восприимчивость ферми—жидкости.

##### Примеры контрольных заданий

1. Получить спектр в рамках модели Хартри-Фока для свободных электронов.
2. Оценить интерференционную поправку к проводимости в двумерном случае.
3. Вычислить энергию электрона в модели Хартри-Фока с экранированным кулоновским взаимодействием.
4. Вычислить кондактанс баллистического канала.
5. Найти затухание Ландау в вырожденной плазме.

##### Примеры экзаменационных билетов

###### Билет 1.

1. Нулевой звук в ферми—жидкости.

## 2. Флуктуации параметра порядка.

### Билет 2.

1. Магнитный пробой.
2. Локализация.

### Билет 3.

1. Влияние электрон-фононного взаимодействия на электронный спектр.
2. Приближение Томаса - Ферми.

### Билет 4.

1. Нестационарная теория Линдхарда.
2. Магнитная восприимчивость ферми—жидкости.

### Билет 5.

1. Приближение Хартри-Фока. Обменное взаимодействие.
2. Эффект Шубникова – де Гааза.

## Критерии оценивания

Оценка отлично 10 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 9 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 8 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо 7 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо 6 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка хорошо 5 баллов - выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно 4 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно 3 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно 2 балла - выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка неудовлетворительно 1 балл - выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

## **5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

Экзамен проводится в устной форме по билетам. В каждом билете представлено два теоретических вопроса. При проведении экзамена обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку. Опрос обучающегося не должен превышать одного астрономического часа.