

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

УТВЕРЖДЕНО

**и.о. директора физтех-школы
физики и исследований им.
Ландау**

А.А. Воронов

Рабочая программа дисциплины (модуля)

по дисциплине:	Упорядоченные многочастичные состояния в конденсированных средах
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра электродинамики сложных систем и нанофотоники
курс:	1
квалификация:	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 15 час.

семинары: 45 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 30 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составил: А.В. Рожков, д-р физ.-мат. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры электродинамики сложных систем и нанофотоники 04.06.2020

Аннотация

Цель курса – предложить слушателям введение в раздел физики конденсированного состояния, посвященный изучению упорядоченных многочастичных состояний, спонтанно возникающих в кристаллических телах. В рамках курса излагаются базовые подходы и методы теоретического анализа таких состояний, представляются экспериментальные методы изучения упорядочения в конденсированных средах.

К концу семестра предполагается, что слушатели познакомятся с современным состоянием экспериментальных исследований упорядоченных состояний в твердых телах, узнают о наиболее активно исследуемых видах упорядоченных состояний и о методах их регистрации, приобретут знания о наиболее распространенных теоретических методах моделирования упорядоченных состояний и о понятийном аппарате, используемом для описания спонтанного нарушения симметрии.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

Освоение студентами фундаментальных знаний об упорядоченных многочастичных состояниях, спонтанно возникающих в кристаллических телах, а также изучение базовых подходов и методов теоретического анализа таких состояний, ознакомление с экспериментальными методами изучения упорядочения в конденсированных средах.

Задачи дисциплины

- формирование базовых знаний и представлений о современном состоянии исследований упорядоченных состояний в конденсированных средах;
- на основе общефизической и общетеоретической подготовки студентов выработать единый подход к пониманию спонтанного нарушения симметрии в многочастичных системах;
- изучить основные механизмы возникновения спонтанного упорядочения;
- обучение студентов навыкам применения полученных знаний для решения базовых задач, связанных с упорядоченными электронными состояниями;
- формирование подходов к выполнению студентами своих исследований в рамках выпускных работ на степень магистра, расширение общенаучного кругозора.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
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-2.3 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
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-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- современное состояние экспериментальных исследований упорядоченных состояний в твердых телах;
- наиболее активно исследуемые виды упорядоченных состояний и методы их регистрации;
- наиболее распространенные теоретические модели упорядоченных состояний;
- понятийный аппарат, используемый для описания спонтанного нарушения симметрии.

уметь:

- анализировать экспериментальные фазовые диаграммы;
- анализировать модели описания упорядоченных состояний;
- строить фазовые диаграммы для многопараметрических систем.

владеть:

- базовыми навыками работы с профессиональной информацией.

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	Спонтанное нарушение симметрии на примере волны зарядовой плотности. Многообразие систем с волной зарядовой плотности.	2	6		4
2	Общее понятие спонтанно нарушенной симметрии.	1	3		4
3	Упорядоченные состояния в конденсированных средах.	2	6		4
4	Экспериментальные методы изучения упорядоченных состояний.	2	6		4
5	Теория Ландау фазовых переходов второго рода.	2	6		4
6	Свободная энергия Ландау для множественных упорядоченных фаз. Понятие конкурирующих и сосуществующих фаз.	2	6		4
7	Краткий обзор микроскопической теории и соответствующего понятийного аппарата.	2	6		2
8	Современное состояние исследований упорядоченных состояний.	2	6		4
Итого часов		15	45		30
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

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

Семестр: 1 (Осенний)

1. Спонтанное нарушение симметрии на примере волны зарядовой плотности. Многообразие систем с волной зарядовой плотности.

На примере волны зарядовой плотности проиллюстрировать сущность спонтанного нарушения симметрии. Установить связь между формальной теоретико-групповой и общефизической сторонами явления. Привести и обсудить примеры волны зарядовой плотности в кристаллах.

2. Общее понятие спонтанно нарушенной симметрии.

Формально ввести математический аппарат, применяемый для описания спонтанного нарушения симметрии. Ввести понятия основного состояния гамильтониана, группы симметрий гамильтониана, группы симметрий основного состояния. Проиллюстрировать неэквивалентность групп симметрий гамильтона и основного состояния.

3. Упорядоченные состояния в конденсированных средах.

Привести примеры различных типов спонтанного нарушения симметрии, а также примеры наиболее очевидных экспериментальных проявлений нарушения симметрии. Рассмотреть волны зарядовой и спиновой плотности, ферромагнетизм, нематичность, сверхпроводимость.

4. Экспериментальные методы изучения упорядоченных состояний.

Привести примеры различных методов экспериментальных исследований состояний со спонтанно нарушенной симметрией (дифракционные спектроскопии, термодинамические измерения, транспортные измерения, одноэлектронные спектроскопические методы, и другие). Прямые и непрямые методы регистрации нарушения симметрии.

5. Теория Ландау фазовых переходов второго рода.

Ввести понятие параметра порядка, свободной энергии Ландау. Установить связь между теорией Ландау и теоретико-групповым формализмом. Проанализировать простейшие свойства фазового перехода, описываемого теорией Ландау.

6. Свободная энергия Ландау для множественных упорядоченных фаз. Понятие конкурирующих и сосуществующих фаз.

Обобщить теорию Ландау для случая нескольких параметров порядка. Изучить возможные типы взаимодействия между неэквивалентными параметрами порядка. Конкуренция и сосуществование фаз. Понятие кроссовера.

7. Краткий обзор микроскопической теории и соответствующего понятийного аппарата.

Опираясь на знания, полученные студентами в рамках курса статистической физики, проиллюстрировать возникновение волн плотности в системах со сложной поверхностью Ферми. Ввести понятие нестинга.

8. Современное состояние исследований упорядоченных состояний.

Используя современную исследовательскую литературу, рассказать о современных тенденциях в области исследований упорядоченных состояний в конденсированных средах, о новых методах и задачах.

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

Учебная аудитория, оснащенная компьютером и мультимедийным оборудованием (проектор, звуковая система). Обеспечение самостоятельной работы – доступ в Интернет, доступ к базам данных по научным журналам.

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Теоретическая физика [Текст] : в 10 т. Т. 5, Ч. 1 : Статистическая физика : учеб. пособие для ун-тов / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; под ред. Л. П. Питаевского .— 5-е изд., стереотип. — М. : Физматлит, 2001, 2002, 2005, 2010 .— 616 с.

Дополнительная литература

1. 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.
2. 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.
3. Введение в физику твердого тела [Текст] : учебник для вузов / Ч. Киттель ; пер. под ред. А. А. Гусева .— 2-е изд., стереотип. / перепеч. с изд. 1978 г. — М. : Медиа Стар, 2006 .— 792 с.

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

<http://lib.mipt.ru/catalogue/> – электронная библиотека МФТИ

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

Часть лекционных часов проходит в формате демонстрации мультимедийной презентации с помощью проектора. Для этих целей используется программа Adobe Acrobat для операционной системы Windows.

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;
- 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.

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.

Литература для самостоятельного изучения:

1. G. Gruner, Density waves in solids, Perseus Books, 2000
2. P.M. Chaikin, T.C. Lubensky, Principles of Condensed Matter Physics, Cambridge, 1995.

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 электродинамики сложных систем и нанофотоники
курс:	<u>1</u>
квалификация:	магистр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Дифференцированный зачет	
Разработчик:	А.В. Рожков, д-р физ.-мат. наук

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
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-2.3 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
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-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Упорядоченные многочастичные состояния в конденсированных средах» обучающийся должен:

знать:

- современное состояние экспериментальных исследований упорядоченных состояний в твердых телах;
- наиболее активно исследуемые виды упорядоченных состояний и методы их регистрации;
- наиболее распространенные теоретические модели упорядоченных состояний;
- понятийный аппарат, используемый для описания спонтанного нарушения симметрии.

уметь:

- анализировать экспериментальные фазовые диаграммы;
- анализировать модели описания упорядоченных состояний;
- строить фазовые диаграммы для многопараметрических систем.

владеть:

- базовыми навыками работы с профессиональной информацией.

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

1. Опишите группу симметрий волны зарядовой плотности с периодом равным $4a$, где a – элементарный период кристалла, в котором существует волна зарядовой плотности.

2. Каково основное состояние свободной частицы?

Типовая задача 1. Для заданной свободной энергии Ландау постройте фазовую диаграмму. (Пояснение: вид свободной энергии Ландау задается для конкретной учебной ситуации и может меняться в зависимости от изучаемой или обсуждаемой темы.)

Примеры контрольных заданий

1. Рассказать об основных дифракционных методах регистрации упорядоченных состояний и объяснить физические принципы их работы
2. Рассказать о термодинамических методах регистрации упорядоченных состояний и объяснить физические принципы их работы
3. Построить фазовую диаграмму для конкурирующих упорядоченных состояний

4. Построить фазовую диаграмму для ситуации с двумя параметрами порядка с одинаковой симметрией
5. Сконструировать и обосновать форму свободной энергии Ландау для системы с двумя параметрами порядка с различными группами симметрий
6. Сконструировать и обосновать форму свободной энергии Ландау для системы с двумя параметрами порядка с одинаковой группой симметрий

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

Перечень контрольных вопросов

1. Волна зарядовой плотности как пример спонтанно нарушенной симметрии
2. Назвать не менее пяти видов упорядоченных состояний, возникающих в конденсированных средах
3. Методы экспериментальных исследований упорядоченных состояний и их классификация
4. Элементы теоретико-группового формализма описания спонтанно нарушенной симметрии
5. Простейшие следствия теории Ландау фазовых переходов второго рода
6. Что такое кроссовер

Билет 1.

1. Экспериментальные методы регистрации нарушения симметрии и классификация этих методов
2. Построить фазовую диаграмму для предложенной свободной энергии Ландау

Билет 2.

1. Теоретико-групповые основы описания спонтанно нарушенной симметрии
2. Построить фазовую диаграмму для предложенной свободной энергии Ландау

Билет 3.

1. Волна зарядовой плотности в твердом теле и факторы, влияющие на ее устойчивость
2. Построить фазовую диаграмму для предложенной свободной энергии Ландау

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

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