

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»
(Новосибирский государственный университет, НГУ)

Физический факультет
Кафедра общей физики



УТВЕРЖДАЮ
 Декан ФФ, д.ф.-м.н
 В.Е.Блинов
 2022 г.

Рабочая программа дисциплины

ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

направление подготовки: **03.04.02 Физика**
 направленность (профиль): **все профили**

Форма обучения
Очная

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	8	9	10	11	12	13
2	144	32	32		58	18	2			2
* Всего 144 часа/4 зачетные единицы, из них: - контактная работа 68 часов										
Компетенции: ОПК-1										

Руководитель программы
 д.ф.-м.н.

И. Б. Логашенко

Новосибирск, 2022

Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.....	3
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.	3
3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу.	4
4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий.....	4
5. Перечень учебной литературы.	7
6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.....	7
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.	7
8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.	8
9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.	8
10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.	8

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Программа дисциплины «Физика конденсированного состояния» представляет собой продолжение курса физики конденсированного вещества, изучаемого студентами четвертого курса ФФ. В результате освоения этой дисциплины, обучающиеся получают знания современных разделов физики конденсированного состояния. Особое внимание при этом уделяется построению математических моделей для исследования физических явлений в неупорядоченных структурах, двумерных и трехмерных топологических изоляторах, теории переноса заряда и спина в квазиодномерных структурах. Дисциплина нацелена на формирование у обучающегося общепрофессиональной компетенции:

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
ОПК-1. Способен применять фундаментальные знания в области физики для решения научно-исследовательских задач, а также владеть основами педагогики, необходимыми для осуществления преподавательской деятельности.	ОПК - 1.1. Применяет фундаментальные знания и новейшие достижения физики для решения научно-исследовательских задач в избранной области. ОПК - 1.2. Применяет современные экспериментальные и теоретические методы, информационные технологии для решения поставленных научно-исследовательских задач.	Знать современные разделы физики конденсированного состояния: низкоразмерные микро- и нано объекты, их оптические и структурные свойства, иметь представление о современных исследованиях и достижениях в области физики конденсированного состояния, существующих проблемах и методах их решения. Уметь строить математические модели для исследования кинетических явлений в неупорядоченных структурах, двумерных и трехмерных топологических изоляторах, теории переноса заряда и спина в квазиодномерных структурах. Владеть основным математическим аппаратом, который используется для решения задач физики конденсированного состояния

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.

Дисциплина «Физика конденсированного состояния вещества» реализуется в весеннем семестре для магистрантов 1 курса, обучающихся по направлению 03.04.02 Физика и является продолжением изучения процессов в твердотельных структурах дисциплины «Физика конденсированного состояния вещества», изучаемой в бакалавриате.

Для успешного усвоения этого курса студенты должны владеть математическим аппаратом: математическим анализом, линейной алгеброй и аналитической геометрией, обыкновенными дифференциальными уравнениями и уравнениями в частных производных, теорией функций комплексного переменного, методами математической физики. Из физических дисциплин является обязательным знание основ классической и квантовой механики, электродинамики, статистической физики и термодинамики. Все эти дисциплины изучаются в бакалавриате в рамках цикла общих естественнонаучных дисциплин.

3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу.

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	8	9	10	11	12	13
2	144	32	32		58	18	2			2
* Всего 144 часа/4 зачетные единицы, из них: - контактная работа 68 часов										
Компетенции: ОПК-1										

Реализация дисциплины предусматривает практическую подготовку при проведении следующих видов занятий, предусматривающих участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью: лекции, практические занятия, консультации, самостоятельная работа студента и её контроль преподавателями с помощью домашних заданий, экзамен.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

- текущий контроль: домашние задания, контрольные работы, семестровое задание;
- промежуточная аттестация: экзамен.

Общая трудоёмкость рабочей программы дисциплины составляет 4 зачетные единицы.

- занятия лекционного типа – 32 часа;
- практические занятия – 32 часа;
- самостоятельная работа обучающегося в течение семестра, не включая период сессии – 58 часов;
- промежуточная аттестация (подготовка к сдаче экзамена, консультации и экзамен) – 22 часа.

Общая трудоёмкость рабочей программы дисциплины составляет 4 зачетные единицы, 144 академических часа. Объём контактной работы обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа, практические занятия, консультации, экзамен) составляет 68 часов.

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

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 4 зачетных единицы, 144 академических часа.

№ п/п	Раздел дисциплины	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)
			Всего	Аудиторные часы		Сам. работа в течение семестра (не включая период сессии)	
				Лекции	Практические занятия		
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Структура кристаллов Прямая и обратная решетки. Теорема Блоха.	1	7	2	2	3	
2	Фононный спектр кристаллов. Фононы в неупорядоченных средах. Локализованные состояния.	2	7	2	2	3	
3	Ангармонизм. Кристаллов. Тепловое расширение. Вклад нелинейности в теплоемкость.	3	7	2	2	3	
4	Электроны в кристаллах. Зонная теория.	4-5	16	4	4	8	
5	Функции Ванье. Приближение огибающих ВФ.	6	7	4		3	
6	Проведение контрольной. Разбор, обсуждение и решение задач	7	7		4	3	
7	Приближение эффективной массы. К-р теория возмущений.	8	8	2	2	4	
8	Взаимодействующие электроны в кристаллической решетке. Теория Ландау. Эффект Кондо.	9-10	16	4	4	8	
9	Сверхпроводимость. Сверхпроводники первого и второго рода. Вихри Абрикосова. Эффект Джозефсона.	11	8	2	2	4	
10	Электроны в низкоразмерных структурах. Жидкость Латтинжера. Квантовый эффект Холла.	12	8	2	2	4	
11	Электроны с линейным спектром: графен, топологические изоляторы.	13	8	2	2	4	
12	Электроны в неупорядоченных структурах. Теория слабой локализации. Прямая проводимость	14	8	2	2	4	
13	Спиновые структуры в магнитном поле. Модели Изинга, Гайзенберга и пр. Фазовые переходы. Магнитный момент во внешнем поле. ЭПР, ЯМР.	15	8	2	2	4	
14	Комплексная диэлектрическая проницаемость. Соотношения Крамерса-Кроннига. Скин-эффект (в т.ч. аномальный)	16	7	2	2	3	
15	Самостоятельная работа в период подготовки к промежуточной аттестации		18				18
16	Консультация перед экзаменом		2				2
17	Экзамен		2				2
Всего			144	32	32	58	22

Программа лекций (32 часа)

- Раздел 1.** Структура кристаллов Прямая и обратная решетки. Теорема Блоха. (2 часа)
- Раздел 2.** Фононный спектр кристаллов. Фононы в неупорядоченных средах. Локализованные состояния. (2 часа)
- Раздел 3.** Ангармонизм. Кристаллов. Тепловое расширение. Вклад нелинейности в теплоемкость. (2 часа)
- Раздел 4.** Электроны в кристаллах. Зонная теория. (4 часа)
- Раздел 5.** Функции Ванье. Приближение огибающих ВФ. (4 часа)
- Раздел 6.** Приближение эффективной массы. К-р теория возмущений. (2 часа)
- Раздел 7.** Взаимодействующие электроны в кристаллической решетке. Теория Ландау. Эффект Кондо. (4 часа)
- Раздел 8.** Сверхпроводимость. Сверхпроводники первого и второго рода. Вихри Абрикосова. Эффект Джозефсона. (2 часа)
- Раздел 9.** Электроны в низкоразмерных структурах. Жидкость Латтинжера. Квантовый эффект Холла (2 часа)
- Раздел 10.** Электроны с линейным спектром: графен, топологические изоляторы. (2 часа)
- Раздел 11.** Электроны в неупорядоченных структурах. Теория слабой локализации. Прыжковая проводимость (2 часа)
- Раздел 12.** Спиновые структуры в магнитном поле. Модели Изинга, Гайзенберга и пр. Фазовые переходы. Магнитный момент во внешнем поле. ЭПР, ЯМР. (2 часа)
- Раздел 13.** Комплексная диэлектрическая проницаемость. Соотношения Крамерса-Кроннига. Скин-эффект (в т.ч. аномальный) (2 часа)

Программа практических занятий (32 часа)

- Занятие 1.** Структура кристаллов Прямая и обратная решетки. (2 часа)
- Занятие 2.** Фононы в неупорядоченных средах. Локализованные состояния (2 часа)
- Занятие 3.** Тепловое расширение твердых тел. Ангармонизм. Вклад нелинейности в теплоемкость
- Занятие 4.** Эффект Мессбауэра (2 часа)
- Занятие 5.** Электроны в кристаллах. Зонная теория. Функции Ванье. (2 часа)
- Занятие 6.** Приближение огибающих ВФ. Гран условия на огибающие при прохождении электроном границы раздела. (2 часа)
- Занятие 7.** К-р теория возмущений. (2 часа)
- Занятие 8.** Взаимодействующие электроны в кристаллической решетке. Теория Ландау. (2 часа)
- Занятие 9.** Эффект Кондо. (2 часа)
- Занятие 10.** Сверхпроводимость. Сверхпроводники первого и второго рода. Вихри Абрикосова. Эффект Джозефсона. (2 часа)
- Занятие 11.** Электроны в низкоразмерных структурах. Жидкость Латтинжера. Квантовый эффект Холла (2 часа)
- Занятие 12.** Электроны с линейным спектром: графен, топологические изоляторы (2 часа)
- Занятие 13.** Электроны в неупорядоченных структурах. Теория слабой локализации. Прыжковая проводимость и пр. (2 часа)
- Занятие 14.** Спиновые структуры в магнитном поле. Модели Изинга, Гайзенберга и пр. (2 часа)
- Занятие 15.** Фазовые переходы. Магнитный момент во внешнем поле. ЭПР, ЯМР. (2 часа)
- Занятие 16.** Комплексная диэлектрическая проницаемость. Соотношения Крамерса-Кроннига. Скин-эффект (в т.ч. аномальный) (2 часа)

Самостоятельная работа студентов (76 часов)

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Подготовка к практическим занятиям, решение задач	55
Подготовка к контрольной работе	3
Подготовка к экзамену	18

5. Перечень учебной литературы.

5.1. Основная литература

1. Займан Дж. Принципы теории твердого тела. М.: Мир, 1974
2. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. М.: Наука, 1978

5.2. Дополнительная литература

1. Ансельм А.И. Введение в теорию полупроводников. М.: Наука, 1978.
2. Кузнецов Е.А., Шапиро Д.А. Методы математической физики: курс лекций, НГУ, 2011.

6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.

1. Галицкий В. М., Карнаков Б. М., Коган В. И. Задачи по квантовой механике. М.: Наука, 1981.
2. Брагинский Л. С. , Магарилл Л. И., Махмудиан М. М., Погосов А. Г. , Чаплик А. В., Энтин М. В. Сборник задач по теории твердого тела. Новосибирск, НГУ, 2013.

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.

Для освоения дисциплины используются следующие ресурсы:

- электронная информационно-образовательная среда НГУ (ЭИОС);
- образовательные интернет-порталы;
- информационно-телекоммуникационная сеть Интернет.

7.1 Современные профессиональные базы данных

National Institute of Standard and Technology. NIST, <https://www-s.nist.gov>.

7.2. Информационные справочные системы

Не используются

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.

Для обеспечения реализации дисциплины используется стандартный комплект программного обеспечения (ПО), включающий регулярно обновляемое лицензионное ПО Windows и MS Office.

Использование специализированного программного обеспечения для изучения дисциплины не требуется.

9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.

Для реализации дисциплины «Физика конденсированного состояния» используются специальные помещения:

1. Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, групповых консультаций, текущего контроля, промежуточной аттестации.

2. Помещения для самостоятельной работы обучающихся.

Учебные аудитории укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду НГУ.

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине для обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется согласно «Порядку организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в Новосибирском государственном университете».

10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

10.1 Порядок проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине

Текущий контроль

Текущий контроль осуществляется на практических занятиях путем проверки домашних заданий, семестрового задания и проведения контрольных работ.

Промежуточная аттестация

Окончательная оценка по дисциплине происходит на экзамене. Экзамен проводится в экзаменационную сессию по билетам в устной форме. Вопросы билета подбираются таким образом, чтобы проверить уровень сформированности компетенции ОПК-1. Освоение компетенций оценивается согласно шкале оценки уровня сформированности компетенции. Положительная оценка по дисциплине выставляется в том случае, если заявленные компетенции сформированы не ниже порогового уровня в части, относящейся к формированию способности использовать специализированные знания в области физики конденсированного состояния вещества в профессиональной деятельности.

Соответствие индикаторов и результатов освоения дисциплины

Таблица 10.1

Индикатор	Результат обучения по дисциплине	Оценочные средства
ОПК - 1.1. Применяет фундаментальные знания и новейшие достижения физики для решения научно-исследовательских задач в избранной области.	Знать современные разделы физики конденсированного состояния: низкоразмерные микро- и нано объекты, их оптические и структурные свойства, иметь представление о современных исследованиях и достижениях в области физики конденсированного состояния, существующих проблемах и методах их решения.	Вопросы по материалам предыдущих лекций, проверка домашних заданий, экзамен.
ОПК - 1.2. Применяет современные экспериментальные и теоретические методы, информационные технологии для решения поставленных научно-исследовательских задач.	Уметь строить математические модели для исследования кинетических явлений в неупорядоченных структурах, двумерных и трехмерных топологических изоляторах, теории переноса заряда и спина в квазиодномерных структурах. Владеть основным математическим аппаратом, который используется для решения задач физики конденсированного состояния.	Вопросы по материалам предыдущих лекций, проверка домашних заданий, экзамен.

10.2 Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине «Физика конденсированного состояния вещества».

Таблица 10.2

Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения	Уровень освоения компетенции			
		Не сформирован (0 баллов)	Пороговый уровень (3 балла)	Базовый уровень (4 балла)	Продвинутый уровень (5 баллов)
1	2	3	4	5	6
ОПК-1.1	Полнота знаний	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имеют место грубые ошибки.	Демонстрирует общие знания базовых понятий по темам/разделам дисциплины. Допускается значительное количество негрубых ошибок.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Допускается несколько негрубых/несущественных ошибок. Не отвечает на дополнительные вопросы.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Свободно и аргументированно отвечает на дополнительные вопросы.

ОПК 1.2	Наличие умений	Отсутствие минимальных умений. Не умеет решать стандартные задачи. Имеют место грубые ошибки.	Продемонстрированы частично основные умения. Решены типовые задачи. Допущены негрубые ошибки.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания с негрубыми ошибками или с недочетами.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания в полном объеме без недочетов и ошибок.
ОПК 1.2	Наличие навыков (владение опытом)	Отсутствие владения материалом по темам/разделам дисциплины. Нет навыков в решении стандартных задач. Наличие грубых ошибок.	Имеется минимальный набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач без ошибок и недочетов. Продемонстрированы знания по решению нестандартных задач.

10.3 Типовые контрольные задания и материалы, необходимые для оценки результатов обучения

Семестровое задание (выполнение в течение семестра)

1. Показать, что кристалл, имеющий четыре оси третьего порядка, образующие попарно четырехгранные углы, есть кристалл с кубической решеткой.
2. Показать, что не может существовать простая пространственная решетка с гексагональной плотной упаковкой.
3. Найти закон дисперсии для поперечных колебаний плоской квадратной решетки (период решетки, упругие константы и масса атомов известны).
4. Найти $E(k_x, k_y)$ для электрона в простой треугольной решетке в приближении сильной связи (ближайших соседей). Как изменится ответ, если учесть соседей, следующих за ближайшими.
5. Найти энергию локального уровня в одномерной цепочке δ -функций с вакансией:

$$U(x) = -g \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \delta(x + n \cdot a), \quad n \neq 0.$$

Пример контрольной работы

1. Фононный спектр одномерной решетки имеет вид

$$\omega = 2 \sqrt{\frac{\alpha}{m} \left| \sin \frac{ka}{2} \right|}.$$

Определить температурную зависимость фононной компоненты теплоемкости при низких температурах.

2. Электронный спектр одномерной решетки имеет вид

$$\varepsilon(k) = 2t \cos ka.$$

Считая уровень Ферми заданным, определить температурную зависимость электронной компоненты теплоемкости при низких температурах.

3. Электронный спектр двумерной решетки сильной связи имеет вид

$$\varepsilon(\mathbf{k}) = 2t(\cos k_x a + \cos k_y a).$$

Определить эффективную массу дна зоны проводимости. Предполагая последнюю заполненной наполовину, изобразить поверхность Ферми.

Вопросы к экзамену

1. Фононы в неупорядоченных средах.
2. Локализованные фононные состояния
3. Тепловое расширение твердых тел. Ангармонизм.
4. Вклад нелинейности в теплоемкость
5. Эффект Мессбауэра
6. Электроны в кристаллах. Зонная теория.
7. Функции Ванье.
8. Приближение огибающих волновых функций.
9. Граничные условия на огибающие при прохождении электроном границы раздела.
10. К-р теория возмущений
11. Взаимодействующие электроны в кристаллической решетке. Теория Ландау.
12. Эффект Кондо.
13. Сверхпроводимость. Модель БКШ.
14. Сверхпроводники первого и второго рода. Вихри Абрикосова.
15. Эффект Джозефсона.
16. Электроны в низкоразмерных структурах.
17. Жидкость Латтинжера.
18. Квантовый эффект Холла
19. Электроны с линейным спектром: графен,
20. Электроны с линейным спектром: топологические изоляторы
21. Электроны в неупорядоченных структурах. Теория слабой локализации.
22. Прыжковая проводимость
23. Спиновые структуры в магнитном поле.
24. Модель Изинга,
25. Модель Гайзенберга.
26. Фазовые переходы в магнетиках.
27. Магнитный момент во внешнем поле. ЭПР, ЯМР.
28. Комплексная диэлектрическая проницаемость. Соотношения Крамерса-Кроннига. Скин-эффект (в т.ч. аномальный)

Пример экзаменационного билета

1. Приближение огибающих волновых функций.
2. Модель Изинга

Форма экзаменационного билета представлена на рисунке

МИНОБРНАУКИ РОССИИ Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет» (Новосибирский государственный университет, НГУ) Физический факультет
ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № ____ 1 ____
Составитель _____ /Л. С. Брагинский/ (подпись) « ____ » _____ 20 ____ г.

Рисунок 5.1 Форма экзаменационного билета

Оценочные материалы по промежуточной аттестации, предназначенные для проверки соответствия уровня подготовки по дисциплине требованиям СУОС, хранятся на кафедре-разработчике РПД в печатном и электронном виде.

**Лист актуализации рабочей программы по дисциплине
«Физика конденсированного состояния»
по направлению подготовки 03.04.02 Физика
Направленность (профиль): все профили подготовки**

№	Характеристика внесенных изменений (с указанием пунктов документа)	Дата и № протокола Учёного совета ФФ НГУ	Подпись ответственного