МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ФГБОУ ВО «ИГУ»
Кафедра теоретической физики

УТВЕРЖДАЮ
Декан физического факультета
_____/Н.М. Буднев
«31» марта 2022 г

Рабочая программа дисциплины

Наименование дисциплины: Б1.В.01 Физика конденсированного состояния

Направление подготовки: 03.03.02 Физика

Направленность (профиль) подготовки: Фундаментальная физика

Квалификация (степень) выпускника: Бакалавр

Форма обучения: Очная

Согласовано с УМК физического факультета
Протокол №33 от «31» марта 2022 г.

Председатель _____
Н.М.Буднев

Рекомендовано кафедрой:
Протокол № 6
От «03» марта 2022 г.

И.о. зав. кафедрой _____
С.В. Ловцов

Иркутск 2022 г.

Содержание

I. Цели и задачи дисциплины....3
II. Место дисциплины в структуре ОПОП....3
III. Требования к результатам освоения дисциплины....3
IV. Содержание и структура дисциплины (модуля)....3
4.1. Содержание дисциплины, структурированное по темам, с указанием видов учебных занятий и отведенного на них количества академических часов....4
4.2. План внеаудиторной самостоятельной работы обучающихся по дисциплине....4
4.3. Содержание учебного материала....4
4.3.1. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ....6
4.3.2. Перечень тем (вопросов), выносимых на самостоятельное изучение студентами в рамках самостоятельной работы (СРС)....6
4.4. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов....7
4.5. Примерная тематика курсовых работ....7
V. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины....7
а) список литературы....7
б) периодические издания - нет....7
в) список авторских методических разработок - нет....7
г) базы данных, информационно-справочные и поисковые системы....7
VI. Материально-техническое обеспечение дисциплины....8
VII. Образовательные технологии....8
VIII. Оценочные материалы для текущего контроля и промежуточной аттестации....8
Приложение: фонд оценочных средств

I. Цели и задачи дисциплины

«Физика конденсированного состояния» является одной из обобщающих физических дисциплин и предполагает знание основ классической механики, теории поля, нерелятивистской квантовой механики, термодинамики и статистической физики, а также основ всех разделов высшей математики.

Цели курса

Целью курса «Физика конденсированного состояния» является ознакомление с основными идеями и предпосылками, лежащими в основе описания и природы квантовых жидкостей. Показать причины, обуславливающие изменение многих физических свойств кристаллических твердых тел, включая нанокристаллическое состояние. Показать междисциплинарный характер физики твердого тела и ее прикладных аспектов. Возбудить интерес аспирантов к синтезу знаний, полученных в курсах общей, теоретической физики и физики конденсированного состояния.

Задачи курса

Выработать у специалиста навыки практического использования методов, предназначенных для математического моделирования и описания поведения квантовых жидкостей, имеющих бесконечное число степеней свободы.

II. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Физика конденсированного состояния» относится к дисциплинам, формируемым участниками образовательного процесса. Изучение разделов курса предполагает использование полученных основных знаний, умений и компетенций на последующем уровне образования. Для изучения дисциплины, необходимы знания и умения из читаемой на младших курсах дисциплин Теоретической физики.

III. Требования к результатам освоения дисциплины

Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Компетенция	ПК-1: Способен использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин.
Индикаторы компетенции	ИДК$_{пк\ 1.1}$ Применяет физико-математический аппарат в сфере своей профессиональной деятельности
Результаты обучения	*Знает*: основополагающие принципы, понятия и гипотезы, лежащие в основе описания квантовых жидкостей. *Умеет*: адекватно сопоставлять данный конкретный процесс способу его описания (выбор уравнения). *Владеет*: методами решения соответствующих уравнений в требуемом приближении.

IV. Содержание и структура дисциплины (модуля)

Объем дисциплины составляет 5 зачетных единиц, 180 часов, в том числе 99 часов контактной работы.

Занятия проводятся только в очной форме обучения с применением дистанционного контроля самостоятельной работы студентов через ЭИОС факультета. Электронной и дистанционной форм обучения не предусматривается.

На практическую подготовку отводится 34 аудиторных часа.

Форма промежуточной аттестации: экзамен.

4.1. Содержание дисциплины, структурированное по темам, с указанием видов учебных занятий и отведенного на них количества академических часов

№ п/п	Раздел дисциплины/ темы	Семестр	Всего часов	Из них практическая подготовка обучающихся	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу обучающихся , практическую подготовку и трудоемкость (в часах)				Формы текущего контроля успеваемости; Форма промежуточной аттестации *(по семестрам)*
					Контактная работа преподавателя с обучающимися			Самостоятельная работа	
					Лекции	Семинарские /практические /лабораторные занятия	Консультации		
1	1-9	7	180	17	50	34	1	55	Практическое задание; экзаменационные билеты
Итого:			180	17	50	34	1	55	

4.2. План внеаудиторной самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Семестр	Название раздела, темы	Самостоятельная работа обучающихся			Оценочное средство	Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы
		Вид самостоятельной работы	Сроки выполнения	Трудоемкость (час.)		
7	Тема 1-9	Задание в виде задачи	После пройденных тем	55	Демонстрация готовых решений	Источники из основной и дополнительной литературы по теме практических занятий; Образовательные ресурсы, доступные по логину и паролю, предоставляемым Научной библиотекой ИГУ.

4.3. Содержание учебного материала

Содержание разделов и тем дисциплины

1. **Вторичное квантование**

Представление чисел заполнения. Волновая функция в представлении чисел заполнения. Соответствие со Шредингеровской формулировкой квантовой механики. Операторы рождения и уничтожения. Гамильтониан системы взаимодействующих частиц в импульсном пространстве. Вторичное квантование волновых функций. Гамильтониан системы взаимодействующих частиц в координатном представлении. Оператор плотности числа частиц.

Принцип тождественности одинаковых частиц в квантовой механике. Симметричная волновая функция для бозе-систем. Понятие чисел заполнения. Волновая функция системы в представлении чисел заполнения. Представление вторичного квантования для динамических переменных. Операторы рождения и уничтожения. Квантованные волновые функции. Представление Боголюбова для аддитивных, бинарных, …, s-кратных динамических величин. Представление Гейзенберга для квантованных волновых функций.

2. Фононы в кристаллах

Фононы в одномерном кристалле. Потенциальная энергия одномерной цепочки атомов. Переход к коллективным переменным. Функция Лагранжа для одномерной цепочки атомов. Функция Гамильтониана. Квантование (переход к квантовой механике). Переход к операторам рождения и уничтожения. Фононы. Основное и возбужденное состояние.

3. Фононная теплоемкость твердых тел.

Свободная энергия фононного газа. Вычисление свободной энергии в частных случаях: а) низкие температуры; б) высокие температуры; в) средние температуры (приближения Эйнштейна и Дебая, температура Дебая, фононная теплоемкость).

4. Сверхтекучесть. Квантовая жидкость. Спектры бозевского типа.

Конденсация Бозе-Эйнштейна. Модельный гамильтониан в приближении парного взаимодействия для бозе-системы в представлении вторичного квантования. Подход Боголюбова в анализе почти идеального бозе-газа с конденсатом. Вывод спектра элементарных возбуждений данной системы. Преобразование Боголюбова операторов рождения и уничтожения. Диагонализация гамильтониана взаимодействий. Условия возникновения сверхтекучести в почти идеальном бозе-газе. Распределение атомов по импульсу в данной системе. Понятие волновой функции конденсата и плотности потока конденсата.

Понятие сверхтекучести квантовой жидкости. Условие возникновения сверхтекучести для бозе-жидкости. Сверхтекучая и нормальная компонента жидкости. Связь нормальной компоненты жидкости с газом нормальных возбуждений. Фононная и ротонная плотности.

5. Квантовые вихревые нити

Термоденамическое равновесие вращающегося тела. Вращающийся гелий II. Термодинамическое условие возникновения вихревой нити в сверхтекучей компоненте гелия II во вращающемся сосуде. Квантование Онсагера вихревой нити. Распределение скорости сверхтекучей компоненты вокруг вихревой нити произвольной формы. Критическая скорость углового вращения. Предел твердотельного вращения сверхтекучей компоненты. Понятие вихревых колец как особого типа элементарных возбуждений гелия II. Скорость движения и закон дисперсии для вихревого кольца произвольного радиуса.

6. Электрон в кристаллической решётке.

Электрон в периодическом поле. Теорема Блоха. Энергетический спектр. Концепция ферми-жидкости Ландау. Поверхность Ферми в металле. Общий вид кинетического уравнения. Решение кинетического уравнения для изотропного металла в приближении упругих столкновений. Электро- и теплопроводность.

7. Сверхпроводимость

Вырожденный «почти идеальный» Ферми-газ с притяжением между частицами. Правильный учетвзаимодействия частиц с противоположными импульсами и спинами в исходном гамильтониане. Переход к новым операторам рождения и уничтожения квазичастиц. Вариационный принцип Боголюбова. Диагонализация гамильтониана. Энергия основного состояния. Энергетическая щель. Спектр возбужденных состояний, оценка длины корреляции. Температурная зависимость энергетической щели. Теплоемкость.

8. Ферромагнетики и антиферромагнетики.

Макроскопические характеристики магнитных веществ. Магнитный диполь. Намагниченность. Восприимчивость. Кривая намагничивания. Классификация магнетиков. Диамагнетики. Парамагнетики. Ферромагнетики. Атомная магнитная структура кристаллов. Антиферромагнетики. Ферримагнетики. Основное состояние антиферромагнетика. Магнитная структура. Магнитная подрешетка. Виды магнитных структур. Метод молекулярного поля в теории антиферромагнетизма. Магнонный спектр.

9. Функция Грина макроскопической системы.

Уравнения движения для гейзенберговских операторов и их свойства. Гамильтониан системы взаимодействующих частиц. Функция Грина. Связь функции Грина с матрицей плотности, распределение частиц по импульсам Функция Грина в импульсном представлении. Нормировка функции Грина. Определение энергетического спектра по функции Грина. Функция Грина идеального Ферми-газа. Вычисление термодинамических величин с помощью функции Грина. Функция Грина в представлении взаимодействия.

4.3.1. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ

№	№ раздела и темы дисциплины (модуля)	Наименование семинаров, практических и лабораторных работ	Трудоемкость (часы)	Оценочные средства	Формируемые компетенции
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
1.	Тема 1	Вторичное квантование	4	Задание на семинаре в виде задачи	ПК-1
2.	Тема 2	Фононы в кристаллах	4	Задание на семинаре в виде задачи	ПК-1
3.	Тема 3	Фононная теплоемкость твердых тел	4	Задание на семинаре в виде задачи	ПК-1
4.	Тема 4	Сверхтекучесть.	4	Задание на семинаре в виде задачи	ПК-1
5.	Тема 5	Квантовые вихревые нити	2	Задание на семинаре в виде задачи	ПК-1
6.	Тема 6	Электрон в кристаллической решётке	4	Задание на семинаре в виде задачи	ПК-1
7.	Тема 7	Сверхпроводимость	4	Задание на семинаре в виде задачи	ПК-1
8	Тема 8	Ферромагнетики и антиферромагнетики	4	Задание на семинаре в виде задачи	ПК-1
9	Тема 9	Функция Грина	4	Задание на семинаре в виде задачи	ПК-1

4.3.2. Перечень тем (вопросов), выносимых на самостоятельное изучение студентами в рамках самостоятельной работы (СРС)

№ нед	Тема	Вид самостоятельной работы	Задание	Рекомендуемая литература	Часы
1	Вторичное квантование	Внеаудиторная, решение задач	Чтение основной и дополнительной литературы	Источники из основной и дополнительной литературы по теме практических занятий	10
2	Фононы в кристаллах	Внеаудиторная, решение задач	Чтение основной и дополнительной литературы		10

3	Фононная теплоемкость твердых тел	Внеаудиторная, решение задач	Чтение основной и дополнительной литературы		10
4	Сверхтекучесть.	Внеаудиторная, решение задач	Чтение основной и дополнительной литературы		10
5	Квантовые вихревые нити	Внеаудиторная, решение задач	Чтение основной и дополнительной литературы		10
6	Электрон в кристаллической решётке	Внеаудиторная, решение задач	Чтение основной и дополнительной литературы		5

4.4. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов

В разделе 4.3.2 студентам для самостоятельного углубленного изучения дисциплины (параллельно с лекциями) предлагаются задачи по изучаемым разделам. Предполагается, что студент самостоятельно изучит дополнительные параграфы по пройденной теме, представленные в литературе из п. 5, а затем решит предложенные задачи. Оценка самостоятельной работы студентов проводится на практических занятиях.

4.5. Примерная тематика курсовых работ

Учебным планом не предусмотрено написание курсовых работ.

V. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) список литературы

основная литература

1. Епифанов, Г. И. Физика твердого тела [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Г. И. Епифанов. - Москва : Лань, 2011. - 288 с. - Режим доступа: ЭБС "Издательство "Лань". - Неогранич. доступ. - ISBN 978-5-8114-1001-9
2. Савельев, И.В. Курс общей физики. В 3-х тт. Т.3. Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела [Электронный ресурс] : учеб. пособие: / И. В. Савельев. - Москва: Лань, 2011. – 318 с. - Режим доступа: ЭБС "Издательство "Лань". - Неогранич. доступ. - ISBN978-5-8114-1211-2
3. Коткин, Г. Л. Лекции по статистической физике: учеб. пособие для студ. вузов / Г. Л. Коткин. - М. ; Ижевск: Регуляр. и хаотич. динамика, 2006. - 189 с. - ISBN 5-93972-257-1 (20 экз.)

дополнительная литература

1. Ландау, Л. Д. Теоретическая физика: учеб. пособие для студ. физ. спец. ун-тов: В 10 т. / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. - 2-е изд., испр. и доп. - М. : Наука. Физматлит.
Т. 9 : Статистическая физика, Ч. 2: Теория конденсированного состояния / Е. М. Лифшиц, Л. П. Питаевский. - 2000. - 493 с. - ISBN5020152781 (нф А564331)
2. Абрикосов, А. А. Основы теории металлов / А.А. Абрикосов. - М. : Наука, 1987. - 519 с. (нф А340129)

б) периодические издания - нет

в) список авторских методических разработок - нет

г) базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

http://library.isu.ru/ - Научная библиотека ИГУ;

Образовательные ресурсы, доступные по логину и паролю, предоставляемым Научной библиотекой ИГУ:

https://isu.bibliotech.ru/ - ЭЧЗ «БиблиоТех»;

http://e.lanbook.com - ЭБС «Издательство «Лань»;

http://rucont.ru - ЭБС «Руконт» - межотраслевая научная библиотека, содержащая оцифрованные книги, периодические издания и отдельные статьи по всем отраслям знаний, а также аудио-, видео-, мультимедиа софт и многое другое;

http://ibooks.ru/ - ЭБС «Айбукс»- интернет ресурсы в свободном доступе;

VI. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Учебная аудитория для проведения занятий. На лекциях могут использоваться мультимедийные средства: проектор, переносной экран, ноутбук. Использование глобальной компьютерной сети позволяет обеспечить доступность интернет-ресурсов и реализовать самостоятельную работу студентов. На факультете имеется компьютеризированная аудитория, предназначенная для самостоятельной работы, с неограниченным доступом в Интернет.

VII. Образовательные технологии

Задачи изложения и изучения дисциплины реализуются в следующих формах деятельности:

- лекции, нацеленные на получение необходимой информации, и ее использование при решении практических задач;
- практические занятия, направленные на активизацию познавательной деятельности студентов и приобретения ими навыков решения практических и проблемных задач;
- консультации –еженедельно для всех желающих студентов;
- самостоятельная внеаудиторная работа направлена на приобретение навыков самостоятельного решения задач по дисциплине;
- текущий контроль за деятельностью студентов осуществляется на практических занятиях

VIII. Оценочные материалы для текущего контроля и промежуточной аттестации

Фонд оценочных средств представлен в приложении.

Форма проведения промежуточной аттестации — экзамен.

Вопросы текущего контроля:

1.Представление чисел заполнения. Волновая функция в представлении чисел заполнения.
2. Операторы рождения и уничтожения.
3. Гамильтониан системы взаимодействующих частиц в координатном представлении. 4. Оператор плотности числа частиц.
4. Представление вторичного квантования для динамических переменных.
4. Представление Гейзенберга для квантованных волновых функций.
5. Преобразование Боголюбова операторов рождения и уничтожения.
6. Диагонализация гамильтониана взаимодействий.
7. Понятие сверхтекучести квантовой жидкости. Условие возникновения сверхтекучести для бозе-жидкости.
8. Сверхтекучая и нормальная компонента жидкости.
9. Фононы в одномерном кристалле.
10.Потенциальная энергия одномерной цепочки атомов. Переход к коллективным переменным.
11. Функция Грина. Функция Грина в представлении взаимодействия.

Примерный перечень вопросов к экзамену

1. Представление чисел заполнения. Волновая функция в представлении чисел запол-нения. Соответствие со Шредингеровской формулировкой квантовой механики.
2. Операторы рождения и уничтожения.
3. Гамильтониан системы взаимодействующих частиц в импульсном пространстве.

2. Вторичное квантование волновых функций. Гамильтониан системы взаимодействую-щих частиц в координатном представлении. Оператор плотности числа частиц.
3. Принцип тождественности одинаковых частиц в квантовой механике. Симметричная волновая функция для бозе-систем.
4. Понятие чисел заполнения. Волновая функция системы в представлении чисел за-полнения. Представление вторичного квантования для динамических переменных. Опе-раторы рождения и уничтожения.
5. Принцип тождественности одинаковых частиц в квантовой механике. Антисиммет-ричная волновая функция для Ферми-систем. Понятие чисел заполнения.
Волновая функция системы в представлении чисел заполнения для Ферми-систем. Представление вторичного квантования для динамических переменных. Операторы рождения и уничтожения.
6. Конденсация Бозе-Эйнштейна.
7. Модельный гамильтониан в приближении парного взаимодействия для бозе-системы в представлении вторичного квантования.
8. Вывод спектра элементарных возбуждений для бозе-системы в представлении вторич-ного квантования.
9. Преобразование Боголюбова операторов рождения и уничтожения. Условия возникно-вения сверхтекучести в почти идеальном бозе-газе.
10. Диагонализация гамильтониана сверхтекучей системы. Понятие волновой функции конденсата и плотности потока конденсата
11. Понятие сверхтекучести квантовой жидкости. Условие возникновения сверхтеку-чести для бозе-жидкости.
12. Сверхтекучая и нормальная компонента жидкости. Связь нормальной компонен-ты жидкости с газом нормальных возбуждений. Фононная и ротонная плотности
13. Распределение скорости сверхтекучей компоненты вокруг вихревой нити произ-вольной формы. Критическая скорость углового вращения. Предел твердотельного вращения сверхтекучей компоненты.
14. Вырожденный «почти идеальный» Ферми-газ с притяжением между частицами (Модель БКШ).
15. Правильный учет взаимодействия частиц с противоположными импульсами и спи-нами в исходном гамильтониане. Переход к новым операторам рождения и уничтожения квазичастиц (Вариационный принцип Боголюбова.) для Ферми частиц.
16 Диагонализация гамильтониана Модель БКШ
17. Фононы в одномерном кристалле. Потенциальная энергия одномерной цепочки атомов. Переход к коллективным переменным.

Разработчики: доцент кафедры теоретической физики С.В. Ловцов

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.03.02 Физика.

Программа рассмотрена на заседании кафедры теоретической физики
«03» марта 2022 г.
Протокол № 6 И.о. зав. кафедрой _____ С.В. Ловцов

Настоящая программа не может быть воспроизведена ни в какой форме без предварительного письменного разрешения кафедры-разработчика программы.