



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
ФГБОУ ВО «ИГУ»  
**Кафедра теоретической физики**



**Рабочая программа дисциплины**

Наименование дисциплины: Б1.В.ОД.6 Физика конденсированного состояния

Направление подготовки: 03.03.02 Физика

Тип образовательной программы: Академический бакалавриат

Направленность (профиль) подготовки: Физика конденсированного состояния

Квалификация (степень) выпускника: Бакалавр

Форма обучения: Очная

Согласовано с УМК физического факультета

Протокол №3 от «28» июня 2016 г.

Зам. председателя Чумак  
В.В. Чумак

Рекомендовано кафедрой:

Протокол №8  
От «13» мая 2016 г.

Зав. кафедрой Ловцов  
С.В. Ловцов

Иркутск 2016 г.

## Содержание

1. Цели и задачи дисциплины (модуля): .....	3
2. Место дисциплины в структуре ОПОП: .....	3
3. Требования к результатам освоения дисциплины (модуля): .....	3
4. Объем дисциплины и виды учебной работы.....	3
5. Содержание дисциплины (модуля) .....	4
5.1. Содержание разделов и тем дисциплины (модуля) .....	4
5.2. Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами.....	5
5.3. Разделы и темы дисциплин (модулей) и виды занятий.....	5
6. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ .....	5
7. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ.....	6
8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля): .....	6
9. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля):.....	6
10. Образовательные технологии: .....	7
11. Оценочные средства (ОС): .....	7
12. Приложение: ФОС.....	12

### 1. Цели и задачи дисциплины (модуля):

«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.

### 2. Место дисциплины в структуре ОПОП:

Дисциплина «Физика конденсированного состояния» входит в вариативную часть общенаучного цикла ОПОП. 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.

### 3. Требования к результатам освоения дисциплины (модуля):

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

ОПК-2: способностью использовать в профессиональной деятельности базовые знания фундаментальных разделов математики, создавать математические модели типовых профессиональных задач и интерпретировать полученные результаты с учетом границ применимости моделей	<b>Знать:</b> основополагающие принципы, понятия и гипотезы, лежащие в основе описания квантовых жидкостей <b>Уметь:</b> адекватно сопоставлять данный конкретный процесс способу его описания (выбор уравнения) <b>Владеть:</b> методами решения соответствующих уравнений в требуемом приближении.
ПК-1: способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин	<b>Знать:</b> основополагающие принципы, понятия и гипотезы, лежащие в основе описания квантовых жидкостей <b>Уметь:</b> адекватно сопоставлять данный конкретный процесс способу его описания (выбор уравнения) <b>Владеть:</b> методами решения соответствующих уравнений в требуемом приближении.

### 4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов / зачетных единиц	Семестры	
		7	
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	98/2,7	98	
Лекции	54/1,5	54	
Практические занятия (ПЗ)	36/1	36	
КСР	8/0,2	8	
<b>Самостоятельная работа (всего)</b>	10/0,3	10	
Контактная работа	99/2,75	99	
Вид промежуточной аттестации (экзамен)	36/1	36	
Общая трудоемкость	часы	144	
	зачетные единицы	4	

## **5. Содержание дисциплины (модуля)**

### **5.1. Содержание разделов и тем дисциплины (модуля)**

#### **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**

Термодинамическое 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 фермижидкости 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 учет взаимодействия 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. Энерге-

тическая 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.

## 5.2 Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами

№ п/п	Наименование обеспечиваемых (последующих) дисциплин	№ № разделов и тем данной дисциплины, необходимых для изучения обеспечиваемых (последующих) дисциплин
1.	Предметы теоретической физики	1,2,3,4,5,6,7

## 5.3. Разделы и темы дисциплин (модулей) и виды занятий

№ п/п	Наименование темы	Виды занятий в часах					
		Лекц.	Практ. зан.	Семина	Лаб. Зан.	СРС	Всего
1.	Тема 1	6	4	-	-	1	11
2.	Тема 2	8	4	-	-	1	13
3.	Тема 3	6	4	-	-	1	11
4.	Тема 4	6	4	-	-	1	11
5	Тема 5	4	4	-	-	1	9
6	Тема 6	4	4	-	-	1	9
7	Тема 7	8	4	-	-	1	13
8	Тема 8	4	4			1	9
9	Тема 9	8	4			2	14

## 6. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ

№ п/п	№ 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	ОПК-2, ПК-1
2.	Тема 2	Фононы в кристаллах	4	Задание на семинаре в виде задачи	ОПК-2, ПК-1
3.	Тема 3	Фононная теплоемкость твердых тел	4	Задание на семинаре в виде задачи	ОПК-2, ПК-1
4.	Тема 4	Сверхтекучесть.	4	Задание на семинаре в виде задачи	ОПК-2, ПК-1
5.	Тема 5	Квантовые вихревые нити	4	Задание на семинаре в виде задачи	ОПК-2, ПК-1
6.	Тема 6	Электрон в кристаллической решётке	4	Задание на семинаре в виде задачи	ОПК-2, ПК-1
7.	Тема 7	Сверхпроводимость	4	Задание на семинаре в виде задачи	ОПК-2, ПК-1
8	Тема 8	Ферромагнетики и антиферромагнетики	4	Задание на семинаре в виде задачи	ОПК-2, ПК-1
9	Тема 9	Функция Грина	4	Задание на семинаре в виде задачи	ОПК-2, ПК-1

## 7. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ

Учебным планом не предусмотрено написание курсовых работ (проектов)

## 8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля):

### а) 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.)

### б) 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)

*Сверено с №5 415*

в) 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 «Рукопт» - 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;

## **9. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля):**

Учебная аудитория с доской для проведения лекционных и практических занятий. Использование глобальной компьютерной сети позволяет обеспечить доступность интернет-ресурсов и реализовать самостоятельную работу студентов. При необходимости – мультимедийный проектор, офисное оборудование для оперативного размножения иллюстративного и раздаточного материала.

## **10. Образовательные технологии:**

При изучении данной дисциплины используются следующие образовательные технологии:

1. Лекции.
2. Практические занятия.

## **11. Оценочные средства (ОС):**

Фонд оценочных средств представлен в приложении.

11.1. Оценочные средства для входного контроля: не требуются.

11.2. Оценочные средства 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.

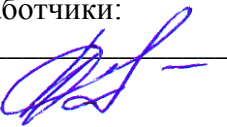
## **Примерный перечень вопросов и заданий к экзамену**

1. Представление чисел заполнения. Волновая функция в представлении чисел заполнения. Соответствие со Шредингерской формулировкой квантовой механики.
2. Операторы рождения и уничтожения.
3. Гамильтониан системы взаимодействующих частиц в импульсном пространстве.
2. Вторичное квантование волновых функций. Гамильтониан системы взаимодействующих 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 заполнения. Представление вторичного квантования для динамических переменных. Операторы рождения и уничтожения.
5. Принцип тождественности одинаковых частиц в квантовой механике. Антисимметричная 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 вторичного квантования.
9. Преобразование Боголюбова операторов рождения и уничтожения. Условия возникновения 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 сверхтекучести для бозе-жидкости.
12. Сверхтекучая и нормальная компонента жидкости. Связь нормальной компоненты жидкости с газом нормальных возбуждений. Фононная и ротонная плотности
13. Распределение скорости сверхтекучей компоненты вокруг вихревой нити произвольной 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 спинами 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.
18. Функция Лагранжа для одномерной цепочки атомов. Функция Гамильтониана. Квантование (переход к квантовой механике). Переход к операторам рождения и уничтожения. Фононы. Основное и возбужденное состояние
19. Уравнения движения для гейзенберговских операторов и их свойства. Гамильтониан системы взаимодействующих частиц. Функция Грина.
20. Связь функции Грина с матрицей плотности, распределение частиц по импульсам Функция Грина в импульсном представлении
21. Определение энергетического спектра по функции Грина. Функция Грина идеального Ферми-газа. Вычисление термодинамических величин с помощью функции Грина.
22. Диагонализация гамильтониана БКШ. Энергия основного состояния. Энергетическая щель. Спектр возбужденных состояний, оценка длины корреляции. Температурная зависимость энергетической щели.

Разработчики:



доцент кафедры теоретической физики

С.В. Ловцов

Программа рассмотрена на заседании кафедры теоретической физики

«13» мая 2016 г.

Протокол № 8 Зав. кафедрой



С.В. Ловцов

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

**Лист согласования, дополнений и изменений  
на 2017/2018 учебный год**

К рабочей программе дисциплины Б1.В.ОД.6 Физика конденсированного состояния по направлению 03.03.02 Физика профилю Физика конденсированного состояния

В рабочую программу дисциплины вносятся следующие дополнения: нет дополнений.

Изменения одобрены Ученым советом физического факультета,  
протокол №8 от 19.06.2017 г.

Зав. кафедрой теоретической физики



С.В. Ловцов