

**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**



**Рабочая программа дисциплины**

**ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ВЕЩЕСТВА**

Направление подготовки: **03.03.02 Физика**  
 Направленность (профиль): **Общая и фундаментальная физика**

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 | Консультации в период занятий | Лабораторные занятия |  |   | Консультации                                   | Зачет | Дифференцированный зачет | Экзамен |
| 1  | 2           | 3  | 4                    | 5                             | 6                    | 7  | 8   | 9  | 10    | 11                       | 12      |
| 7  | 144         | 32   | 32                   |                               |                      | 56   | 18  | 4  |       |                          | 2       |
| всего 144 часов/ 4 зачетные единицы<br>из них:<br>- контактная работа 70 часов<br>Компетенции: ОПК-1 |             |  |                      |                               |                      |  |   |  |       |                          |         |

Ответственный за образовательную программу  
 д.ф.-м.н., проф.

С. В. Цыбуля

Новосибирск, 2022

## Содержание

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

**Аннотация**  
**к рабочей программе дисциплины «Физика конденсированного состояния вещества»**  
**Направление: 03.03.02 Физика**  
**Направленность (профиль): Общая и фундаментальная физика**

Программа курса «**Физика конденсированного состояния вещества**» составлена в соответствии с требованиями СУОС к уровню бакалавриата по направлению подготовки **03.03.02 Физика, направленность «Общая и фундаментальная физика»**, а также задачами, стоящими перед Новосибирским государственным университетом по реализации Программы развития НГУ. Дисциплина реализуется на физическом факультете Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет» (Новосибирский государственный университет, НГУ) кафедрой общей физики.

Программа дисциплины предусматривает получение студентами базовых знаний по физике конденсированного состояния вещества. Особое внимание при этом уделяется способам создания и изучения электронных, оптических и структурных свойств микро- и нанообъектов, физико-химии и атомной инженерии поверхности.

Дисциплина нацелена на формирование у выпускника общепрофессиональной компетенций:

| Результаты освоения образовательной программы (компетенции)  | Индикаторы   | Результаты обучения по дисциплине  |
|--|--|--|
| <p><b>ОПК-1.</b> Способен применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности</p> | <p><b>ОПК-1.1.</b> Применяет математический аппарат, теоретические и методологические основы математических дисциплин для решения профессиональных задач в области физики и смежных с ней областях.</p> <p><b>ОПК -1.2.</b> Использует теоретические основы базовых разделов математических и естественнонаучных дисциплин при решении профессиональных задач в области физики и смежных с ней областях.</p> <p><b>ОПК-1.4</b> Использует терминологию и понятийный аппарат базовых физико-математических дисциплин.</p> | <p><b>Знать</b> базовые разделы физики конденсированного состояния, физики металлов, диэлектриков и полупроводников; элементарные возбуждения, электронные и оптические процессы в этих материалах, а также микроструктурах на их основе, а также математический аппарат для решения конкретной задачи физики конденсированного состояния.</p> <p><b>Уметь</b> объяснять причинно-следственные связи физических процессов, разбираться в используемых методах исследований в области физики конденсированного состояния вещества; подбирать математический аппарат для решения конкретной физической задачи; формулировать задачи для теоретических расчетов и производить оценочные расчеты эффективности того или иного физического явления.</p> |

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: лекции, практические занятия, консультации, самостоятельная работа студента и её контроль преподавателями с помощью заданий, экзамен.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

- текущий контроль успеваемости: домашние задания, контрольная работа
- промежуточная аттестация: экзамен.

Общая трудоемкость рабочей программы дисциплины составляет **4** зачетные единицы/ **144** академических часа.

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

Программа дисциплины «Физика конденсированного состояния вещества» представляет собой начальный курс физики конденсированного вещества. В результате освоения этой дисциплины, обучающиеся получают базовых знаний по физике конденсированного состояния вещества. Особое внимание при этом уделяется способам создания и изучения электронных, оптических и структурных свойств микро- и нанообъектов, физико-химии и атомной инженерии поверхности.

Дисциплина нацелена на формирование у выпускника общепрофессиональной компетенций:

| Результаты освоения образовательной программы (компетенции)  | Индикаторы   | Результаты обучения по дисциплине  |
|--|--|--|
| <p><b>ОПК-1.</b> Способен применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности</p> | <p><b>ОПК-1.1.</b> Применяет математический аппарат, теоретические и методологические основы математических дисциплин для решения профессиональных задач в области физики и смежных с ней областях.</p> <p><b>ОПК -1.2.</b> Использует теоретические основы базовых разделов математических и естественнонаучных дисциплин при решении профессиональных задач в области физики и смежных с ней областях.</p> <p><b>ОПК-1.4</b> Использует терминологию и понятийный аппарат базовых физико-математических дисциплин.</p> | <p><b>Знать</b> базовые разделы физики конденсированного состояния, физики металлов, диэлектриков и полупроводников; элементарные возбуждения, электронные и оптические процессы в этих материалах, а также микроструктурах на их основе, а также математический аппарат, математический аппарат для решения конкретной задачи физики конденсированного состояния.</p> <p><b>Уметь</b> объяснять причинно-следственные связи физических процессов, разбираться в используемых методах исследований в области физики конденсированного состояния вещества; подбирать математический аппарат для решения конкретной физической задачи; формулировать задачи для теоретических расчетов и производить оценочные расчеты эффективности того или иного физического явления.</p> |

## 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.

Дисциплина «Физика конденсированного состояния вещества» реализуется в осеннем семестре 4-го курса для бакалавров, обучающихся по направлению **03.03.02 Физика, направленность «Общая и фундаментальная физика»**. Программа обучения предусматривает получение обучающимися базовых знаний по физике конденсированного состояния, а также материаловедения.

Учебный курс «Физика конденсированного состояния вещества» является начальным курсом изучения процессов в твердотельных структурах. Для успешного усвоения основ теории студенты должны владеть математическим аппаратом: математическим анализом, линейной алгеброй и аналитической геометрией, обыкновенными дифференциальными уравнениями и уравнениями в частных производных. Из физических дисциплин является обязательным знание основ классической и квантовой механики, электродинамики, статистической физики и термодинамики. Все эти дисциплины изучаются на младших курсах в рамках цикла общих естественнонаучных дисциплин.

**3. Трудоемкость 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 | Консультации в период занятий | Лабораторные занятия |  |   | Консультации                                   | Зачет | Дифференцированный зачет | Экзамен |
| 1  | 2           | 3  | 4                    | 5                             | 6                    | 7  | 8   | 9  | 10    | 11                       | 12      |
| 7  | 144         | 32   | 32                   |                               |                      | 56   | 18  | 4  |       |                          | 2       |
| всего 144 часов/ 4 зачетные единицы<br>из них:<br>- контактная работа 70 часов<br>Компетенции: ОПК-1 |             |  |                      |                               |                      |  |   |  |       |                          |         |

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: лекции, практические занятия, консультации, самостоятельная работа студента и её контроль преподавателями с помощью домашних заданий и контрольной работы, экзамен.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

- текущий контроль успеваемости: домашние задания, контрольная работа.
- промежуточная аттестация: экзамен.

Общая трудоемкость 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 – 56 часов;
- промежуточная аттестация (подготовка к сдаче экзамена, консультации и экзамен) – 24 часа;

Общая трудоемкость рабочей программы дисциплины составляет 4 зачетные единицы, 144 академических часа. Объём контактной работы обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа, практические занятия, консультации, экзамен) составляет 72 часа.

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

Дисциплина «Физика конденсированного состояния» представляет собой курс, читаемый на 4-ом курсе физического факультета НГУ в седьмом семестре. Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетные единицы, 144 академических часов.

| № п/п | Раздел дисциплины | Неделя семестра | Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах) |                 |  | Консультации пед. | Промежуточная аттестация в час. |
|-------|-------------------|-----------------|--|-----------------|--|-------------------|---------------------------------|
|       |                   |                 | Всего  | Аудиторные часы |  |                   |                                 |
|       |                   |                 |  |                 |  |                   |                                 |

|    |   |      |    | Лекции | Практические занятия | Сам. работа в течение семестра (не включая период сессии) | ред эк-заме-ном (часов) |    |
|----|---|------|----|--------|----------------------|---|-------------------------|----|
| 1  | 2   | 3    | 4  | 5      | 6                    | 7   |                         | 8  |
| 1  | Структура твердых тел: кристаллы, квазикристаллы, аморфные материалы, стекла.   | 1    | 8  | 2      | 2                    | 4   |                         |    |
| 2  | Прямая и обратная решетки. Теорема Блоха.   | 2    | 8  | 2      | 2                    | 4   |                         |    |
| 3  | Фононы в кристаллах. Спектр 1D, 2D, 3D. Фононный спектр графена.  | 3-4  | 12 | 4      | 4                    | 4   |                         |    |
| 4  | Электроны в кристаллах. Метод слабой и сильной связи. Электронный спектр графена.   | 5-6  | 15 | 4      | 4                    | 7   |                         |    |
| 5  | Элементарные возбуждения в твердых телах: плазмоны, экситоны, поляроны, поляритоны.   | 7    | 8  | 2      | 2                    | 4   |                         |    |
| 6  | Проведение контрольной. Разбор, обсуждение и решение задач  | 8    | 6  | 2      | 2                    | 2   |                         |    |
| 7  | Электроны в магнитном поле. Циклотронный резонанс. Магноны. Классический и квантовый эффекты Холла. Дробный квантовый эффект Холла. | 9-10 | 15 | 4      | 4                    | 7   |                         |    |
| 8  | Фазовые переходы в твердых телах. Переход Мотта. Переход Пайерлса. Гамильтониан Гинзбурга-Ландау.                                   | 11   | 8  | 2      | 2                    | 4   |                         |    |
| 9  | Физика неупорядоченных сред. Переход Андерсена..  | 12   | 8  | 2      | 2                    | 4   |                         |    |
| 10 | Кинетика электронов. Электрон-фононное взаимодействие.  | 13   | 8  | 2      | 2                    | 4   |                         |    |
| 11 | Физика квантовых жидкостей: сверхтекучесть, сверхпроводимость.  | 14   | 8  | 2      | 2                    | 4   |                         |    |
| 12 | Оптика полупроводников, в т.ч. квантовых точек и полупроводниковых наноструктур.  | 15   | 8  | 2      | 2                    | 4   |                         |    |
| 13 | Физика точечных контактов. Квантование кондактанса. Эффект Кулоновской блокады.   | 16   | 8  | 2      | 2                    | 4   |                         |    |
| 14 | Самостоятельная работа в период подготовки к промежуточной аттестации   | 17   |    |        |                      |   |                         | 18 |
|    | Экзамен   |      |    |        |                      |   | 4                       | 2  |

|  |              |  |            |           |           |           |          |           |
|--|--------------|--|------------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|
|  | <b>Всего</b> |  | <b>144</b> | <b>32</b> | <b>32</b> | <b>56</b> | <b>4</b> | <b>20</b> |
|--|--------------|--|------------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|

### Программа практических занятий (32 часа)

1. Кристаллография: основные понятия.
2. Колебания решетки. Линейная цепочка с 1 атомом в элементарной ячейке. Задачи [4.1, 4.3-4.5]
3. Колебания решетки. Линейная цепочка с двумя атомами в элементарной ячейке. Показать, что частота связанного состояния, если оно существует, находится в запрещенной зоне.
4. Квантование колебаний одномерной решетки. Определить средний квадрат смещения атома в решетке. Решить ту же задачу используя теорему вириала. Продемонстрировать расходимость в 1D и 2D. Задача [4.17].
5. Теплоемкость кристаллической решетки. Задача [4.9]. Определить вклад в теплоемкость от нижней фононной ветви графена  $\omega = \beta k^2$ . Обсудить температурную зависимость.
6. Разбор, обсуждение и решение задач контрольной работы.
7. Электрон в периодическом поле. Задачи [7.1, 7.2]. Приближения сильной и слабой связи в потенциале  $U(x) = U_0 \cos gx$ ,  $g = 2\pi/a$  и модели Кроннига-Пенни.
8. Взаимодействие между электронами. Экранирование (в том числе двумерными электронами) Задачи [13.1, 13.4].
9. Электрон-электронное взаимодействие. Плазмоны (в том числе поверхностные и в двумерном слое). Задачи [20.6, 20.8]
10. Электрон-фононное взаимодействие. Различные механизмы: деформационный потенциал, оптические фононы пьезоэффект. Задачи [12.1-12.4]
11. Магнетизм твердых тел: Ферро- и антиферромагнетизм.
12. Кинетическое уравнение Больцмана. Приближение времени релаксации
13. Проводимость металлов. В модели Друде и в приближении времени релаксации для кинетического уравнения Больцмана.
14. Электроны в магнитном поле. Эффект Холла. Магнетосопротивление.
15. Оптика полупроводников. Межзонное и примесное поглощение, люминесценция
16. Электроны в двумерной системе. Квантовый эффект Холла.

В ходе практических занятий решаются и задаются домашние задачи из сборника [1] п.6 настоящей программы.

### Самостоятельная работа студентов (74 часа)

| Перечень занятий на СРС                           | Объем, час |
|---|------------|
| Подготовка к практическим занятиям, решение задач | 54         |
| Подготовка к контрольным работам                  | 2          |
| 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. Абрикосов А.А. Основы теории металлов М. Наука 1997



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

1. 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.
2. Галицкий В. М., Карнаков Б. М., Коган В. И. Задачи по квантовой механике. М.: Наука, 1981.

## **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**

Не используются.

### **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 вещества» 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 преподавателем при решении задач студентом, обсуждаются идеи и способы решения задач. Результаты текущего контроля служат основанием для выставления оценок в ведомость контрольной недели на факультете.

### **Промежуточная аттестация**

Освоение компетенций оценивается согласно шкале оценки уровня сформированности компетенции. Положительная оценка по дисциплине выставляется в том случае, если заявленная компетенция ОПК-1 сформирована не ниже порогового уровня в части, относящейся к формированию способности использовать специализированные знания в области физики конденсированного состояния вещества в профессиональной деятельности.

Окончательная оценка работы студента в течение семестра происходит на экзамене. Экзамен проводится в конце семестра в экзаменационную сессию по билетам в устной форме. Вопросы билета подбираются таким образом, чтобы проверить уровень сформированности компетенций ОПК-1.

Итоги промежуточной аттестации (экзамена) оцениваются по пятибалльной шкале:

Для получения оценки **«отлично»** необходимо развернуто ответить на оба вопроса. Также надо ответить на дополнительные вопросы по всей дисциплине (продвинутый уровень освоения компетенций).

Для получения оценки **«хорошо»** нужно ответить на оба вопроса билета. Допускается несколько несущественных ошибок. Необходимо также ответить на дополнительные вопросы, имеющие принципиальное значение для данной дисциплины (базовый уровень освоения компетенций).

Для получения оценки **«удовлетворительно»** за ответы на вопросы, содержащиеся в билете, необходимо:

- ответить хотя бы на один вопрос в билете по теории. Необходимо также ответить на дополнительные вопросы, имеющие принципиальное значение для изученной дисциплины (пороговый уровень освоения компетенций).

Оценка **«неудовлетворительно»** ставится, когда уровень усвоения компетенций не сформирован.

## Соответствие индикаторов и результатов освоения дисциплины

Таблица 10.1

| Индикатор  | Результат обучения по дисциплине  | Оценочные средства                      |
|--|---|---|
| <b>ОПК-1.1.</b> Применяет математический аппарат, теоретические и методологические основы математических дисциплин для решения профессиональных задач в области физики и смежных с ней областях. | <b>Знать</b> базовые разделы физики конденсированного состояния, физики металлов, диэлектриков и полупроводников; элементарные возбуждения, электронные и оптические процессы в этих материалах, а также микроструктурах на их основе, а также математический аппарат, математический аппарат для решения конкретной задачи физики конденсированного состояния. | Опрос<br>Контрольная работа<br>Экзамен. |
| <b>ОПК -1.2.</b> Использует теоретические основы базовых разделов мате-  | <b>Уметь</b> объяснять причинно-следственные связи физических процес-   | Опрос<br>Контрольная работа<br>Экзамен. |

|   |  |  |
|---|--|--|
| математических и естественнонаучных дисциплин при решении профессиональных задач в области физики и смежных с ней областях. | сов, разбираться в используемых методах исследований в области физики конденсированного состояния вещества; подбирать математический аппарат для решения конкретной физической задачи; формулировать задачи для теоретических расчетов и производить оценочные расчеты эффективности того или иного физического явления. |  |
| <b>ОПК-1.4</b> Использует терминологию и понятийный аппарат базовых физико-математических дисциплин.                        |  |  |

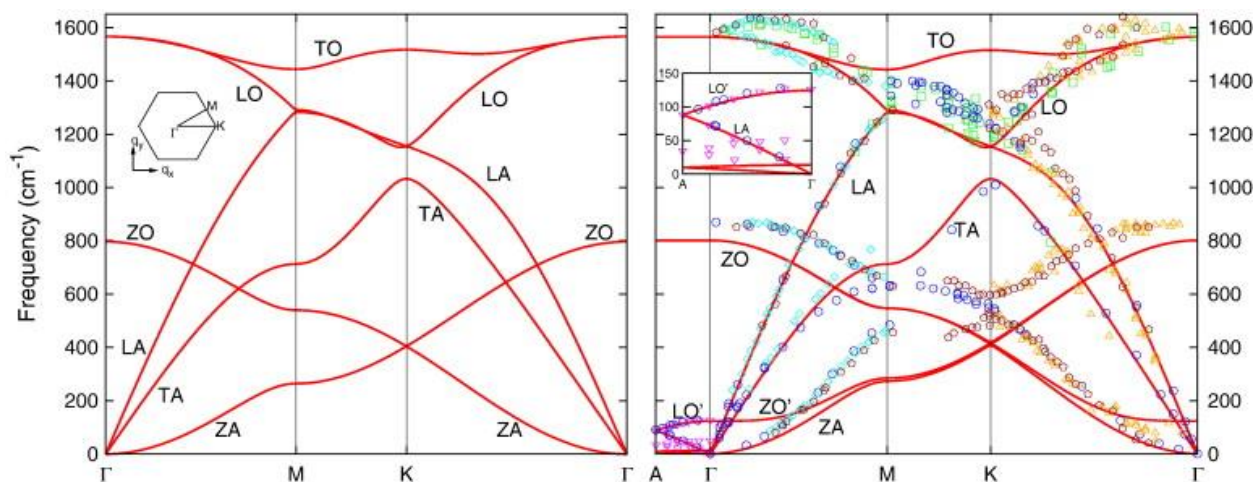
**Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине «Физика конденсированного состояния вещества».**

**Таблица 10.2**

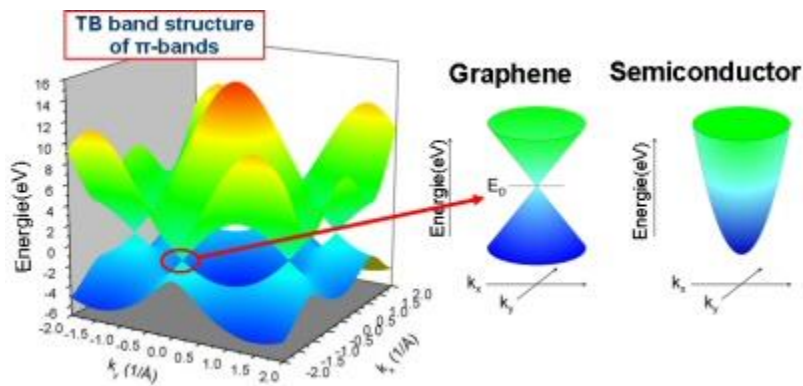
| Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций) | Критерии оценивания результатов обучения | Уровень освоения компетенции   |   |  |   |
|---|--|--|---|--|---|
|   |  | Не сформирован (0 баллов)  | Пороговый уровень (3 балла)   | Базовый уровень (4 балла)  | 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- 1.4  | 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 работы и материалы, необходимые для оценки результатов обучения

### Примерная контрольная работа:



1. На Рис. 1 Показан фонный спектр графена. Нижняя ZA мода  $\omega = \beta k^2$  ( $\beta = 6 \times 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$ ) соответствует колебаниям в направлении, перпендикулярном плоскости листа. Предполагая наличие только этой ветви, определить фонную теплоемкость графена при низких температурах.



2. На Рис. 2 показана электронная зонная структура графена. Фермиевская скорость  $v_F$  вблизи точки Дирака ( $E = \hbar v_F \sqrt{k_x^2 + k_y^2}$ ) равна  $10^6 \text{ м/с}$ . Определить электронную теплоемкость графена при низких температурах.
3. В приближении сильной связи определить спектр электронов в квадратной (2D) решетке.

### Пример экзаменационного билета

1. Типы кристаллических решеток. Решетки Бравэ.
2. Зонная структура графена. Топологические изоляторы.

Форма экзаменационного билета представлена на рисунке

|  |
|--|
| <p>МИНОБРНАУКИ РОССИИ</p> <p><b>Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования</b></p> <p><b>«Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»</b></p> <p><b>(Новосибирский государственный университет, НГУ)</b></p> <p><b>Физический факультет</b></p> |
| <p><b>ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № _____</b></p>  |
| <p>1.</p> <p>2.</p>  |
| <p>Составитель _____ /Л. С. Брагинский/</p> <p style="text-align: center;">(подпись)</p> <p>« ____ » _____ 20 г.</p>   |

Рисунок 5.1 Форма экзаменационного билета

**Вопросы к экзамену:**

1. Структура жидких и твердых тел. Твердые тела: кристаллические, аморфные, поликристаллические, квазикристаллические
2. Типы кристаллических решеток. Решетки Бравэ.
3. Прямая и обратная решетки. Свойства обратной решетки
4. Теорема Блоха
5. Колебания решетки. Фононный спектр решетки с одним атомом в элементарной ячейке
6. Колебания решетки. Фононный спектр решетки с двумя атомами в элементарной ячейке
7. Квантование решеточных мод. Фононы
8. Теплоемкость кристаллической решетки
9. Дифракция на решетке
10. Электроны в кристаллической решетке. Модель почти свободных электронов
11. Электроны в кристаллической решетке. Модель сильной связи
12. Статистика электронов в кристалле. Электронный вклад в теплоемкость
13. Зонная структура кристаллов. Металлы, полуметаллы, диэлектрики, полупроводники.
14. Зонная структура графена. Топологические изоляторы.
15. Элементарные возбуждения в твердых телах. Экситоны, плазмоны.
16. Спин во внешнем поле. Магноны.
17. Оптические свойства твердых тел. Поглощение света в полупроводниках.
18. Кинетическое уравнение Больцмана. Электропроводность
19. Кинетическое уравнение Больцмана. Теплопроводность.
20. Кинетическое уравнение Больцмана. Приближение времени релаксации. Рассеяние на кулоновской примеси.
21. Кинетическое уравнение Больцмана. Приближение времени релаксации. Рассеяние на фононах.
22. Электроны в магнитном поле. Эффект Холла. Циклотронный резонанс. Магнетосопротивление.
23. Электроны в квантующем магнитном поле. Уровни Ландау.
24. Фазовые переходы в твердых телах. Теория Ландау. Ферромагнетизм.
25. Фазовые переходы в твердых телах. Теория Ландау. Переходы в сегнетоэлектриках

26. Фазовые переходы в твердых телах. Переходы Мотта, Андерсена, Пайерлса.
27. Квантовая Бозе-жидкость. Сверхтекучесть.
28. Квантовая Ферми-жидкость. Сверхпроводимость. Модель БКШ.

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 программы по дисциплине  
«Физика конденсированного состояния вещества»  
по направлению подготовки 03.03.02 Физика  
Профиль «Общая и фундаментальная физика»**

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