

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова  
филиал МГУ в г. Севастополе  
факультет естественных наук  
кафедра физики и геофизики



**УТВЕРЖДАЮ**



Севастополе  
О.А. Шпырко  
20\_\_ г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

**Наименование дисциплины (модуля):**

**Физика конденсированного состояния вещества**

*код и наименование дисциплины (модуля)*

**Уровень высшего образования:**  
*специалитет*

**Направление подготовки:**  
**03.05.02 Фундаментальная и прикладная физика**

*(код и название направления/специальности)*

**Направленность (профиль) ОПОП:**  
**общий**

*(если дисциплина (модуль) относится к вариативной части программы)*

**Форма обучения:**  
**очная**

*очная, очно-заочная*

Рабочая программа рассмотрена  
на заседании кафедры физики и геофизики  
протокол №4 от «21» июня 2023 г.  
Заведующий кафедрой

(К.В. Показеев)

(подпись)

Рабочая программа одобрена  
Методическим советом  
Филиала МГУ в г. Севастополе  
Протокол №6 от «28» июня 2023 г.

(Л.И. Теплова)

(подпись)

Севастополь, 2023

Рабочая программа дисциплины (модуля) разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по специальности 03.05.02 «Фундаментальная и прикладная физика», утвержденным приказом МГУ от 29 декабря 2018 года № 1780 (в редакции приказа МГУ от 10 июня 2021 года № 609, от 7 октября 2021 года № 1048, от 21 декабря 2021 года № 1404), приказами об утверждении изменений в ОС МГУ от 29 мая 2023 года № 700, от 29 мая 2023 года № 702, от 29 мая 2023 года № 703

Год (годы) приема на обучение: с 2020



*курс – 4*

*семестры – 8*

*зачетных единиц – 2*

*академических часов – 34, в т.ч.*

*лекций – 34 часа*

*практических занятий – нет*

*Форма промежуточной аттестации:*

*зачет в 8 семестре*

## **1. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО.**

Дисциплина «Физика конденсированного состояния» является базовым курсом, закладывающим основы для усвоения более узких специальных курсов.

## **2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия (если есть).**

Успешное освоение дисциплин по высшей математике и общей физике.

## **3. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с требуемыми компетенциями выпускников.**

Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю):

Знать:

понятия:

- Кристаллическая структура
- Структура реальных кристаллов
- Энергетические зоны (начальные представления)
- Колебания кристаллической решетки
- Упругие свойства кристаллов
- Электронный газ
- Электрон в кристаллическом периодическом поле. Энергетические зоны.

Уметь:

- Определять тепловые свойства твердых тел.

Владеть:

- Классификацией кристаллов.

Иметь опыт:

- Исследования природы рассмотренных явлений.
- Ориентирования в математическом аппарате, их описывающем.
- Представления возможных приложений изученных эффектов.

## **4. Формат обучения – контактный.**

**5. Объем дисциплины (модуля)** составляет 2 з. е., в том числе 34 академических часа, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (аудиторная нагрузка), 38 академических часов на самостоятельную работу обучающихся.

**6. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий.**

**6.1. Структура дисциплины (модуля) по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий.**

| Наименование разделов и тем дисциплины (модуля),<br><br>Форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю) | Номинальные трудозатраты обучающегося                                                                       |                            | Всего академических часов | Форма текущего контроля успеваемости (наименование) |                                                         |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|---------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
|                                                                                                               | Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем)<br>Виды контактной работы, академические часы |                            |                           |                                                     | Самостоятельная работа обучающегося, академические часы |
|                                                                                                               | Занятия лекционного типа*                                                                                   | Занятия семинарского типа* |                           |                                                     |                                                         |
| Кристаллическая структура.                                                                                    | Консультации, 1                                                                                             | Решение задач, 1           | 3                         | 5                                                   | -                                                       |
| Структура реальных кристаллов.                                                                                | Консультации, 2                                                                                             | Решение задач, 2           | 4                         | 8                                                   | -                                                       |
| Энергетические зоны (начальные представления).                                                                | Консультации, 2                                                                                             | Решение задач, 2           | 4                         | 8                                                   | -                                                       |
| Классификация кристаллов.                                                                                     | Консультации, 2                                                                                             | Решение задач, 2           | 3                         | 7                                                   | Контрольная работа                                      |
| Колебания кристаллической решетки.                                                                            | Консультации, 2                                                                                             | Решение задач, 2           | 3                         | 7                                                   | -                                                       |
| Упругие свойства кристаллов.                                                                                  | Консультации, 2                                                                                             | Решение задач, 2           | 4                         | 8                                                   | -                                                       |
| Тепловые свойства тв. тел.                                                                                    | Консультации, 2                                                                                             | Решение задач, 2           | 4                         | 8                                                   | -                                                       |
| Электронный газ.                                                                                              | Консультации, 2                                                                                             | Решение задач, 2           | 3                         | 7                                                   | Контрольная работа                                      |
| Электрон в кристаллическом периодическом поле.<br>Энергетические зоны.                                        | Консультации, 2                                                                                             | Решение задач, 2           | 4                         | 8                                                   | -                                                       |
| Другие виды самостоятельной работы (при наличии):<br>например, курсовая работа, творческая работа (эссе)      | -                                                                                                           | -                          | -                         | -                                                   | -                                                       |
|                                                                                                               | 17                                                                                                          | 17                         | 32                        | 66                                                  |                                                         |
| Промежуточная аттестация (зачет)                                                                              |                                                                                                             |                            | 6                         |                                                     |                                                         |
| Итого                                                                                                         |                                                                                                             |                            |                           | 72                                                  |                                                         |

## 6.2. Содержание разделов (тем) дисциплины.

| № п/п  | Наименование разделов (тем) дисциплины                | Содержание разделов (тем) дисциплин                                                                                                                                                                                                                                                     |
|--------|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Лекции |                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 1.     | <b>Кристаллическая структура.</b>                     | История становления ФТТ. Кристаллическая решетка и базис. Симметрия кристаллической решетки. Решетки Браве. Индексы узлов, направлений и плоскостей. Исследования кристаллической структуры методом рентгеновской дифракции.                                                            |
| 2.     | <b>Структура реальных кристаллов.</b>                 | Тепловые колебания. Точечные дефекты: дефекты по Френкелю. Точечные дефекты: дефекты по Шоттки. Точечные дефекты: примеси. Линейные дефекты: краевые дислокации. Линейные дефекты: винтовые дислокации. Линейные дефекты: свойства дислокаций. Поверхностные дефекты. Объемные дефекты. |
| 3.     | <b>Энергетические зоны (начальные представления).</b> | Энергетические уровни свободных атомов. Принцип Паули. Образование зон при сближении атомов. Заполнение зон электронами. Диэлектрики. Полупроводники. Проводники.                                                                                                                       |
| 4.     | <b>Классификация кристаллов.</b>                      | Молекулярные кристаллы. Ионные кристаллы. Ковалентные кристаллы. Металлические кристаллы. Энергия связи в молекулярных кристаллах. Энергия связи в ионных кристаллах. Энергия связи в ковалентных кристаллах. Энергия связи в металлических кристаллах.                                 |
| 5.     | <b>Колебания кристаллической решетки.</b>             | Колебания линейной одноатомной цепочки. Колебания линейной атомной цепочки с двухатомным базисом. Колебания трехмерного кристалла. Спектр нормальных колебаний решетки. Квантовый характер колебаний. Фононы.                                                                           |
| 6.     | <b>Упругие свойства кристаллов.</b>                   | Механические напряжения. Деформации. Закон Гука. Упругие постоянные.                                                                                                                                                                                                                    |
| 7.     | <b>Тепловые свойства твердых тел.</b>                 | Теплоемкость твердых тел. Закон Дюлонга-Пти. Теория теплоемкости Эйнштейна. Теория теплоемкости Дебая. Анггармонические эффекты. Тепловое расширение твердых тел. Решеточная теплопроводность.                                                                                          |
| 8.     | <b>Электронный газ.</b>                               | Электроны в металле. Классическая модель газа свободных электронов Друде. Энергетические уровни свободных электронов в кристалле. Вырожденный электронный газ. Распределение Ферми-Дирака. Теплоемкость электронного газа. Электропроводность и теплопроводность                        |

|                 |                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                 |                                                                            | металлов. Закон Видемана-Франца.                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 9.              | <b>Электрон в кристаллическом периодическом поле. Энергетические зоны.</b> | Волновые функции на границе первой зоны Бриллюэна. Происхождение энергетической щели. Теорема Блоха. Функции Блоха. Модель Кронига-Пенни. Эффективная масса электронов в кристалле.                                                                                                     |
| <b>Семинары</b> |                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 1.              | <b>Кристаллическая структура.</b>                                          | Решетки Браве. Индексы узлов, направлений и плоскостей. Исследования кристаллической структуры методом рентгеновской дифракции.                                                                                                                                                         |
| 2.              | <b>Структура реальных кристаллов.</b>                                      | Тепловые колебания. Точечные дефекты: дефекты по Френкелю. Точечные дефекты: дефекты по Шоттки. Точечные дефекты: примеси. Линейные дефекты: краевые дислокации. Линейные дефекты: винтовые дислокации. Линейные дефекты: свойства дислокаций. Поверхностные дефекты. Объемные дефекты. |
| 3.              | <b>Энергетические зоны (начальные представления).</b>                      | Принцип Паули. Заполнение зон электронами.                                                                                                                                                                                                                                              |
| 4.              | <b>Классификация кристаллов.</b>                                           | Энергия связи в молекулярных кристаллах. Энергия связи в ионных кристаллах. Энергия связи в ковалентных кристаллах. Энергия связи в металлических кристаллах.                                                                                                                           |
| 5.              | <b>Колебания кристаллической решетки.</b>                                  | Колебания линейной одноатомной цепочки. Колебания линейной атомной цепочки с двухатомным базисом. Колебания трехмерного кристалла. Спектр нормальных колебаний решетки.                                                                                                                 |
| 6.              | <b>Упругие свойства кристаллов.</b>                                        | Механические напряжения. Деформации. Закон Гука. Упругие постоянные.                                                                                                                                                                                                                    |
| 7.              | <b>Тепловые свойства твердых тел.</b>                                      | Теплоемкость твердых тел. Ангармонические эффекты. Тепловое расширение твердых тел. Решеточная теплопроводность.                                                                                                                                                                        |
| 8.              | <b>Электронный газ.</b>                                                    | Энергетические уровни свободных электронов в кристалле. Вырожденный электронный газ. Распределение Ферми-Дирака. Теплоемкость электронного газа. Электропроводность и теплопроводность металлов.                                                                                        |
| 9.              | <b>Электрон в кристаллическом периодическом поле. Энергетические зоны.</b> | Волновые функции на границе первой зоны Бриллюэна. Функции Блоха. Модель Кронига-Пенни. Эффективная масса электронов в кристалле.                                                                                                                                                       |

**7. Фонд оценочных средств (ФОС) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю).**

**7.1. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости.**

Система промежуточного контроля знаний включает зачет, проводимый в устной форме в конце шестого семестра.

## 7.2 Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации.

- для зачета

Вопросы, выносимые на зачет.

1. Кристаллическая решетка и базис.
2. Симметрия кристаллической решетки.
3. Решетки Браве.
4. Индексы узлов, направлений и плоскостей.
5. Исследования кристаллической структуры методом рентгеновской дифракции.
6. Тепловые колебания.
7. Точечные дефекты: дефекты по Френкелю.
8. Точечные дефекты: дефекты по Шоттки.
9. Точечные дефекты: примеси.
10. Линейные дефекты: краевые дислокации.
11. Линейные дефекты: винтовые дислокации.
12. Линейные дефекты: свойства дислокаций.
13. Поверхностные дефекты.
14. Объемные дефекты.
15. Энергетические уровни свободных атомов. Принцип Паули.
16. Образование зон при сближении атомов.
17. Заполнение зон электронами. Диэлектрики. Полупроводники. Проводники.
18. Молекулярные кристаллы.
19. Ионные кристаллы.
20. Ковалентные кристаллы.
21. Металлические кристаллы.
22. Энергия связи в молекулярных кристаллах.
23. Энергия связи в ионных кристаллах.
24. Энергия связи в ковалентных кристаллах.
25. Энергия связи в металлических кристаллах.
26. Колебания линейной одноатомной цепочки.
27. Колебания линейной атомной цепочки с двухатомным базисом.
28. Колебания трехмерного кристалла.
29. Спектр нормальных колебаний решетки.
30. Квантовый характер колебаний. Фононы.
31. Механические напряжения.
32. Деформации.
33. Закон Гука. Упругие постоянные.
34. Теплоемкость твердых тел. Закон Дюлонга-Пти.
35. Теория теплоемкости Эйнштейна.
36. Теория теплоемкости Дебая.
37. Ангармонические эффекты. Тепловое расширение твердых тел.
38. Решеточная теплопроводность.
39. Электроны в металле. Классическая модель газа свободных электронов Друдэ.
40. Энергетические уровни свободных электронов в кристалле.
41. Вырожденный электронный газ. Распределение Ферми-Дирака.
42. Теплоемкость электронного газа.
43. Электропроводность и теплопроводность металлов. Закон Видемана-Франца.
44. Волновые функции на границе первой зоны Бриллюэна.
45. Происхождение энергетической щели.
46. Теорема Блоха. Функции Блоха.
47. Модель Кронига-Пенни.
48. Эффективная масса электронов в кристалле.

| ШКАЛА И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ результатов обучения (РО) по дисциплине (модулю) |                                      |                                                          |                                                                                                             |                                                                 |
|------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| Оценка<br>РО и соответствующие<br>виды оценочных средств                     | Не зачтено                           | Зачтено                                                  |                                                                                                             |                                                                 |
| <b>Знания</b><br><i>(домашние задания)</i>                                   | Отсутствие знаний                    | Фрагментарные знания                                     | Общие, но не структурированные знания                                                                       | Сформированные систематические знания                           |
| <b>Умения</b><br><i>(контрольные работы)</i>                                 | Отсутствие умений                    | В целом успешное, но не систематическое умение           | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение (допускает неточности непринципиального характера) | Успешное и систематическое умение                               |
| <b>Навыки</b><br><b>(владения, опыт деятельности)</b><br><i>(зачет)</i>      | Отсутствие навыков (владений, опыта) | Наличие отдельных навыков (наличие фрагментарного опыта) | В целом, сформированные навыки (владения), но используемые не в активной форме                              | Сформированные навыки (владения), применяемые при решении задач |

## 8. Ресурсное обеспечение:

### – Перечень основной и дополнительной литературы.

1. Епифанов Г.И. Физика твердого тела / Г.И. Епифанов. – 4-е изд., стер. – М.: Лань, 2011. – 288 с.
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика: в 10 т. Т 3 / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – 5-е изд. стер. – М.: Физматлит, 2001. – 808 с.
3. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика: в 10 т. Т 9, ч. 2 / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – 4-е изд. стер. – М.: Физматлит, 2004. – 496 с.

### – Описание материально-технического обеспечения.

Учебный кабинет №174, (33,21 м<sup>2</sup>)  
 Учебных столов – 9 шт., стульев – 19 шт.,  
 3-х створчатая доска для мела – 1 шт.,  
 Стол для преподавателя – 1 шт.

## 9. Соответствие результатов обучения по данному элементу ОПОП результатам освоения ОПОП указано в общей характеристике ОПОП.

## 10. Язык преподавания русский.

## 11. Преподаватель (преподаватели).

Доктор физико-математических наук, профессор Марк Борисович Стругацкий.

## 12. Автор (авторы) программы.

Старший преподаватель кафедры физики и геофизики, руководитель образовательной программы по направлению подготовки 03.03.02 «Физика» Андрей Валерьевич Сулимов.