

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»**

Физический факультет

УТВЕРЖДЕНО
решением Ученого совета ННГУ
протокол № 10 от 02.12.2024 г.

Рабочая программа дисциплины

Физика твердого тела

Уровень высшего образования
Бакалавриат

Направление подготовки / специальность
03.03.02 - Физика

Направленность образовательной программы
Физика конденсированного состояния

Форма обучения
очная

г. Нижний Новгород

2025 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.1.04 Физика твердого тела относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

| Формируемые компетенции (код, содержание компетенции) | Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции | | Наименование оценочного средства | |
|--|---|---|------------------------------------|------------------------------|
| | Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора) | Результаты обучения по дисциплине | Для текущего контроля успеваемости | Для промежуточной аттестации |
| <i>ПК-2: Способен применять профессиональные знания и умения, полученные при освоении профильных дисциплин, в научно-исследовательской деятельности, при реализации научно-исследовательских, научно-инновационных и практических проектов</i> | <i>ИД ПК-2: Демонстрация способности применять профессиональные знания и умения, полученные при освоении профильных дисциплин, в научно-исследовательской деятельности, при реализации научно-исследовательских, научно-инновационных и практических проектов</i> | <i>ИД ПК-2: Знает фундаментальные законы природы и основные физические и математические законы применительно к физике конденсированного состояния</i> | <i>Задания</i> | <i>Экзамен: Задачи</i> |

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

| | |
|--|---------------|
| | очная |
| Общая трудоемкость, з.е. | 6 |
| Часов по учебному плану | 216 |
| в том числе | |
| аудиторные занятия (контактная работа): | |
| - занятия лекционного типа | 64 |
| - занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы) | 64 |
| - КСР | 2 |
| самостоятельная работа | 50 |
| Промежуточная аттестация | 36 Экзамен |

3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

| Наименование разделов и тем дисциплины | Всего (часы) | в том числе | | | |
|--|--------------|--|--|-------------|---|
| | | Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них | | | Самостоятельная работа обучающегося, часы |
| | | Занятия лекционного типа | Занятия семинарского типа (практические занятия/лабораторные работы), часы | Всего | |
| 0 Ф 0 | 0 Ф 0 | 0 Ф 0 | 0 Ф 0 | 0 Ф 0 | |
| 1.Изучение дислокаций в кристаллах со структурой алмаза | 22 | 8 | 8 | 16 | 6 |
| 2. Определение удельного сопротивления полупроводника четырехзондовым методом и определение знака носителей заряда | 22 | 8 | 8 | 16 | 6 |
| 3. Исследование температурной зависимости электропроводности и термоэлектродвижущей силы в полупроводниках | 24 | 8 | 8 | 16 | 8 |
| 4. Исследование параметров высокотемпературных сверхпроводников | 22 | 8 | 8 | 16 | 6 |
| 5. Поляризация диэлектриков | 22 | 8 | 8 | 16 | 6 |
| 6. Пьезоэлектрические свойства твердых тел | 22 | 8 | 8 | 16 | 6 |
| 7. Кривая намагничивания ферро- и ферромагнетиков | 22 | 8 | 8 | 16 | 6 |
| 8. Определение температуры Кюри ферро-магнитных сплавов | 22 | 8 | 8 | 16 | 6 |
| Аттестация | 36 | | | | |
| КСР | 2 | | | 2 | |
| Итого | 216 | 64 | 64 | 130 | 50 |

Содержание разделов и тем дисциплины

1.Изучение дислокаций в кристаллах со структурой алмаза.

Понятие дислокаций. Контур и вектор Бюргерса. Свойства дислокаций. Методы выявления дислокаций.

2. Определение удельного сопротивления полупроводника четырехзондовым методом и определение знака носителей заряда.

Принцип четырехзондового метода определения удельного сопротивления полупроводника. Явление термо-эдс в полупроводниках. Применение метода термо-эдс для определения типа проводимости.

3. Исследование температурной зависимости электропроводности и термоэлектродвижущей силы в полупроводниках.

Параметры, определяющие проводимость полупроводника, и их зависимость от температуры.

Температурная зависимость термо-эдс в полупроводниках, ее связь с механизмами проводимости.

4. Исследование параметров высокотемпературных сверхпроводников.

Основные свойства сверхпроводников. Принципы теории БКШ. Особенности ВТСП.

5. Поляризация диэлектриков.

Механизмы поляризации диэлектриков, их частотные зависимости. Уравнение Клаузиуса-Мосотти.

6. Пьезоэлектрические свойства твердых тел.

Причины появления пьезоэффекта. Резонанс на пьезокристаллах.

7. Кривая намагничивания ферро- и ферромагнетиков.

Доменная структура ферро- и ферромагнетиков. Процессы, происходящие доменной структуре при

перемагничивании.

8. Определение температуры Кюри ферромагнитных сплавов.

Обменное взаимодействие в ферромагнетиках. Модель усредненного обменного поля.

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

Описания к лабораторным работам:

1. Изучение дислокаций в кристаллах со структурой алмаза.
2. Определение удельного сопротивления полупроводника четырех-зондовым методом и определение знака носителей заряда.
3. Исследование температурной зависимости электропроводности и термоэлектродвижущей силы в полупроводниках.
4. Исследование параметров высокотемпературных сверхпроводников.
5. Поляризация диэлектриков.
6. Пьезоэлектрические свойства твердых тел.
7. Кривая намагничивания ферро- и ферримагнетиков.
8. Определение температуры Кюри ферро-магнитных сплавов.

5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:

5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Задания) для оценки сформированности компетенции ПК-2:

1. Доказать эквивалентность двух вариантов записи интерференционного уравнения:

и ,

где \mathbf{G} – вектор обратной решетки кристалла, \mathbf{g} – направляющие косинусы, λ – длина волны, \mathbf{k} – волновой вектор, \mathbf{r} .

1. Показать, что решетки ГЦК и ОЦК являются взаимно обратными.

1. Исходя из принципа плотнейшей упаковки, оценить максимальный радиус атомов, способных создать твердый раствор внедрения в цинке без образования химических связей. Цинк имеет ГПУ-решетку, минимальное межатомное расстояние – 0,266 нм.

1. Монокристаллический слиток кремния в форме длинного цилиндра длиной L и радиуса r упруго растягивается в направлении $\langle 100 \rangle$. Получить численные значения модуля Юнга и коэффициента Пуассона. Использовать следующие значения упругих коэффициентов: $C_{11}=16,74 \times 10^{11}$ дин/см², $C_{12}=6,52 \times 10^{11}$ дин/см², $C_{44}=7,96 \times 10^{11}$ дин/см².
1. Монокристалл германия в виде длинного параллелепипеда, ребра которого ориентированы в направлении $\langle 100 \rangle$, зажат между массивными держателями при комнатной температуре, а затем нагрет до 500 °С. Определить компоненты тензора упругих напряжений. Деформацией держателей пренебречь. Использовать следующие данные: упругие коэффициенты $C_{11}=12,98 \times 10^{11}$ дин/см², $C_{12}=4,88 \times 10^{11}$ дин/см², $C_{44}=6,37 \times 10^{11}$ дин/см²; коэффициент линейного расширения $\alpha=5,92 \times 10^{-6}$ град.⁻¹.
1. Температура Дебая для золота равна $\theta=165$ К. Используя приближение Дебая для теплоемкости, оценить скорость звука.
1. Показать, что металлический литий является парамагнетиком. Считать, что концентрация атомов лития $N_{Li}=6 \times 10^{22}$ см⁻³, радиус 1s-орбит принять равным $a_0=0,053$ нм.
1. Тангенс угла диэлектрических потерь некоего диэлектрика на частоте 100 кГц имеет значение 10^{-3} , статическая диэлектрическая проницаемость $\epsilon=2,5$. Определить удельную эффективную проводимость и емкость этого материала для частоты 100 кГц.

Критерии оценивания (оценочное средство - Задания)

| Оценка | Критерии оценивания |
|------------|---|
| зачтено | Студент владеет материалом, правильно отвечает на вопросы |
| не зачтено | Студент не владеет материалом, путается в терминах |

5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

Шкала оценивания сформированности компетенций

| Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций) | плохо | неудовлетворительно | удовлетворительно | хорошо | очень хорошо | отлично | превосходно |
|--|---|--|--|---|--|---|--|
| | не зачтено | | | зачтено | | | |
| <u>Знания</u> | Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа | Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки | Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок | Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок | Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок | Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет. | Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки. |
| <u>Умения</u> | Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа | При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки | Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме | Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами | Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами | Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме | Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов |
| <u>Навыки</u> | Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа | При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки | Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами | Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами | Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов | Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов | Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач |

Шкала оценивания при промежуточной аттестации

| Оценка | | Уровень подготовки |
|---------|-------------|--|
| зачтено | превосходно | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой |

| | | |
|-------------------|----------------------------|--|
| | отлично | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично». |
| | очень хорошо | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо» |
| | хорошо | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо». |
| | удовлетворительно | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно» |
| не зачтено | неудовлетворительно | Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно». |
| | плохо | Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо» |

5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-2

1. Используя построение Эвальда, доказать справедливость соотношения:

,
где \vec{k} – волновой вектор, \vec{G} – вектор обратной решетки кристалла.

1. Доказать эквивалентность двух вариантов записи интерференционного уравнения:

и ,
где \vec{G} – вектор обратной решетки кристалла, α, β, γ – направляющие косинусы, λ – длина волны, \vec{k} – волновой вектор, .

1. Показать, что решетки ГЦК и ОЦК являются взаимно обратными.

1. Исходя из принципа плотнейшей упаковки, оценить максимальный радиус атомов, способных создать твердый раствор внедрения в цинке без образования химических связей. Цинк имеет ГПУ-решетку, минимальное межатомное расстояние – 0,266 нм.

1. Оценить радиус нейтральных примесных атомов, которые могли бы разместиться в октаэдрических междоузлиях железа (ОЦК – решетка, минимальное расстояние между атомами 0,255 нм.)

1. Монокристаллический слиток кремния в форме длинного цилиндра длиной L и радиуса r упруго растягивается в направлении $\langle 100 \rangle$. Получить численные значения модуля Юнга и коэффициента Пуассона. Использовать следующие значения упругих коэффициентов: $C_{11}=16,74 \times 10^{11}$ дин/см², $C_{12}=6,52 \times 10^{11}$ дин/см², $C_{44}=7,96 \times 10^{11}$ дин/см².

1. Монокристалл кремния подвергнут всестороннему упругому сжатию по давлению $P=10^6$ Па. Используя значения упругих коэффициентов $C_{11}=16,74 \times 10^{11}$ дин/см², $C_{12}=6,52 \times 10^{11}$ дин/см², $C_{44}=7,96 \times 10^{11}$ дин/см², определить относительное изменение объема кристалла. Чему будет равен модуль всестороннего сжатия?

Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

| Оценка | Критерии оценивания |
|---------------------|--|
| превосходно | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой |
| отлично | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично» |
| очень хорошо | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо» |
| хорошо | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо». |
| удовлетворительно | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно» |
| неудовлетворительно | Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно». |
| плохо | Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо» |

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Павлов Павел Васильевич. Физика твердого тела : [учеб. пособие для вузов по специальности "Физика"]. - М. : Высшая школа, 1985. - 384 с. : ил. - 1.10., 34 экз.
2. Павлов Павел Васильевич. Физика твердого тела : учеб. для вузов, обучающихся по направлению "Физика" и специальностям "Физика и технология материалов и компонентов электронной техники", "Микроэлектроника и полупроводниковые приборы". - Н. Новгород : Изд-во ННГУ, 1993. - 491 с. - ISBN 5-230-03839-x : 5000.00., 384 экз.
3. Павлов Павел Васильевич. Физика твердого тела : учебник. - 3-е изд., стер. - М. : Высшая школа, 2000. - 494 с. - 78.54., 33 экз.

Дополнительная литература:

1. Гуртов Валерий Алексеевич. Физика твердого тела для инженеров : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлениям 210100 "Электроника и нанoeлектроника", 223200 "Техн. физика". - Изд. 2-е, испр. и доп. - М. : Техносфера, 2012. - 560 с. - (Мир физики и техники ; 2 - 27). - ISBN 978-5-94836-327-1 : 400.00., 1 экз.
2. Гуртов Валерий Алексеевич. Физика твердого тела для инженеров : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности 210101 "Физ. электроника" / науч. ред. Л. А. Алешина. - М. : Техносфера, 2007. - 520 с. - (Мир физики и техники ; 2 - 08). - ISBN 978-5-94386-141-3 : 130.00., 1 экз.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

Учебные лаборатории оснащены компьютерами с установленными программными пакетами и с доступом в сеть Интернет

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами, специализированным оборудованием: Контрольно-измерительные комплексы NI PXI
Микротвердомер ПМТ-3
Оптический микроскоп

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

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

Автор(ы): Карзанов Вадим Вячеславович, кандидат физико-математических наук, доцент.

Рецензент(ы): Бурдов Владимир Анатольевич, доктор физико-математических наук.

Заведующий кафедрой: Павлов Дмитрий Алексеевич, доктор физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 30.11.2024, протокол № б/н.