

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 № 15 от 24.12.2025 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

2026 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
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	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	ИД ПК-2: Знает фундаментальные законы природы и основные физические и математические законы применительно к физике конденсированного состояния	Задания	Экзамен: Задачи

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, $\mathbf{a}$, $\mathbf{b}$ – 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	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными и несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продemonстрированы 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	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продemonстрирован 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, $\vec{k}^*$ – вектор обратной решетки кристалла.

1. Доказать эквивалентность двух вариантов записи интерференционного уравнения:

и $\vec{k}^* \cdot \vec{r} = 2\pi n$,
где $\vec{k}^*$ – вектор обратной решетки кристалла, $\vec{r}$ – направляющие косинусы, λ – длина волны, $\vec{k}$ – волновой вектор, n – порядок дифракции.

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 наноэлектроника", 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 23.12.2025, протокол № б/н.