

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Факультет нано- и биомедицинских технологий

УТВЕРЖДАЮ:  
Проректор по учебно-методической работе,



профессор  
Е.Г. Елина

20 16 г.

Рабочая программа дисциплины  
Кристаллография и кристаллофизика

Направление подготовки бакалавриата  
11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»

Профили подготовки бакалавриата  
«Микро- и наноэлектроника, диагностика нано- и биомедицинских систем»  
«Физика и технология твердотельных электронных микро- и наноструктур»  
«Приборы микро- и наноэлектроники, методы измерения микро- и наносистем»

Квалификация (степень) выпускника  
Бакалавр

Форма обучения  
очная

Саратов, 2016 г.

## **1. Цели освоения дисциплины**

Целью освоения дисциплины «Кристаллография и кристаллофизика» является формирование у студентов комплекса профессиональных знаний и умений (владений) по физическим свойствам кристаллов, закономерностям физических явлений, связанным с симметрией кристаллов и их атомной структурой.

Задачами освоения дисциплины являются:

- формирование и углубление знаний о симметрии кристаллических много-гранников и кристаллических структур;
- формирование умений теоретически исследовать физические свойства кристаллов в зависимости от их симметрии;
- владение методами описания физических свойств кристаллов с помощью тензоров и матриц;
- формирование знаний об основных экспериментальных методах исследования кристаллических структур и физических свойств кристаллов и практического использования физических эффектов в кристаллах.

## **2. Место дисциплины в структуре ОП бакалавриата**

Дисциплина «Кристаллография и кристаллофизика» относится к вариативной части блока Б1 «Дисциплины (модули)» и изучается студентами дневного отделения факультета нано- и биомедицинских технологий СГУ, обучающимися по направлению 11.03.04 «Электроника и микроэлектроника», в течение 5 учебного семестра. Материал дисциплины опирается на ранее приобретенные студентами знания по физике, математике, химии, термодинамике, теоретическим основам электротехники и подготавливает студентов к изучению в последующих семестрах таких дисциплин как «Физика полупроводников», «Квантовая теория твёрдого тела», «Материалы электронной техники и наноэлектроники», «Микроэлектроника и наноэлектроника», «Твердотельная электроника», «Квантовая и оптическая электроника», «Основы сенсорики» а также ряда дисциплин при продолжении обучения в магистратуре.

## **3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины**

В результате освоения дисциплины «Кристаллография и кристаллофизика» формируются следующие компетенции: ОПК-1 ОПК-2.

ОПК-1. Способность представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики.

ОПК-2. Способность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат.

В результате освоения дисциплины обучающийся студент должен:

- знать основные электрические, магнитные и оптические свойства твердых тел;
- уметь теоретически исследовать физические свойства кристаллов в зависимости от их симметрии;
- владеть методами описания физических свойств кристаллов с помощью тензоров и матриц и сведениями о методах экспериментального исследования структуры кристаллов.

#### 4. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетные единицы, 144 часа.

№ п\п	Раздел дисциплины	Се- мestr	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятель- ную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Формы текущего контроля успе- ваемости (по не- делям семестра) Формы проме- жуточной атте- стации (по сeme- стром)
				Лек	Лаб	Пр	CPC	
1.	Введение	5	1	1				
2.	Симметрия кристалли- ческих многогранников	5	1-3	5			2	Проверка выполне- ния заданий само- стоятельной работы
			1-2			4		
3.	Симметрия структуры кристаллов	5	4-5	4			2	Проверка выполне- ния заданий само- стоятельной работы
			3-4			4		
4.	Физические свойства кристаллов и их сим- метрия	5	6-7	4			4	Проверка выполне- ния заданий само- стоятельной работы
			5-6			2		
5.	Физические свойства кристаллов, описывае- мые тензорами первого ранга	5	8	2			5	Проверка выполне- ния заданий само- стоятельной работы
			7-8			4		
6.	Физические свойства кристаллов, описывае- мые тензорами 2-го ранга	5	9-11	6			5	Проверка выполне- ния заданий само- стоятельной работы
			9-10			4		
7.	Физические свойства кристаллов, описывае- мые тензорами 3-го ранга	5	12-13	4			6	Проверка выполне- ния заданий само- стоятельной работы
			11-12			4		
8.	Физические свойства кристаллов, описывае- мые тензорами 4-го ранга	5	14-15	4			8	Проверка выполне- ния заданий само- стоятельной рабо- ты.
			13-15			6		
9.	Основные методы ис-	5	16-17	4			8	Проверка выполне-

	следования структуры кристаллов				6		ния заданий самостоятельной работы
	Итого:	5	17	34	34	40	Экзамен (36 ч.)

## Содержание дисциплины

**1. Введение.** Кристаллография и кристаллофизика, их место в системе наук, изучающих твердые тела. Кристаллы и квазикристаллы. Новое определение кристалла.

### **Раздел 2. Симметрия кристаллических многогранников.**

Симметрия, периодичность и закономерность структуры - основные характеристики кристаллического состояния вещества.

Элементы симметрии кристаллических многогранников.

Матричное представление симметрических операций. Преобразование осей кристаллофизической системы координат, компонент вектора и координат точки.

Кристаллографические категории, сингонии и системы осей координат.

Точечные группы симметрии кристаллов. Предельные группы симметрии Кюри.

Символы узлов (точек), рядов (направлений) и граней (плоскостей) в кристаллическом многограннике. Индексы Миллера для плоскости.

### **Раздел 3. Симметрия структуры.**

Структура кристаллов и пространственная решетка. Решетки Браве.

Элементы симметрии кристаллических структур. Пространственные группы симметрии.

Обратная решетка. Основные свойства обратной решетки. Основные формулы структурной кристаллографии.

### **Раздел 4. Физические свойства идеальных кристаллов и симметрия.**

Основной закон кристаллофизики (принцип Неймана). Принцип суперпозиции симметрий (принцип Кюри).

### **Раздел 5. Физические свойства кристаллов, описываемые тензором первого ранга.**

Прямой пироэлектрический эффект в кристаллах. Ограничения, налагаемые симметрией кристалла. Указательная поверхность пироэлектрического эффекта. Обратный пироэлектрический эффект. Применение прямого и обратного пироэффектов.

### **Раздел 6. Физические свойства кристаллов, описываемые тензорами второго ранга.**

Прямые и обратные тензоры второго ранга. Основные свойства. Материальные и полевые тензоры второго ранга. Полярные и аксиальные тензоры второго ранга. Примеры. Приведение тензоров к главным осям, методы приведения.

Симметрия полярных тензоров второго ранга. Характеристическая поверхность второго порядка для тензора второго ранга, ее геометрические образы и симметрия. Группы симметрии полярных тензоров второго ранга.

Тензоры диэлектрической проницаемости и непроницаемости кристаллов. Описание распространения света в анизотропных кристаллах с помощью оптических индикаторов.

Тензоры механических напряжений и деформаций как примеры полевых симметричных тензоров второго ранга.

Аксиальные тензоры второго ранга и их симметрия.

К проблеме симметрии тензоров второго ранга. Принцип Онсагера.

### **Раздел 7. Физические свойства кристаллов, описываемые тензорами третьего ранга.**

Прямой пьезоэлектрический эффект в кристаллах. Симметрия тензора пьезоэлектрических констант.

Пьезоэлектрический эффект в кристаллах кварца. Характеристическая поверхность продольного пьезоэлектрического эффекта в кварце, ее симметрия.

Обратный пьезоэффект в кристаллах, рассмотрение на примере кристаллов кварца. Применение пьезоэффектов.

Линейный электрооптический эффект (эффект Покельса) в кристаллах. Симметричные ограничения эффекта. Примеры рассмотрения, применение. Фоторефрактивный эффект в кристаллах и его применение.

### **Раздел 8. Физические свойства кристаллов, описываемые тензорами 4-го ранга.**

Квадратичный электрооптический эффект (эффект Керра) в кристаллах.

Примеры рассмотрения, применение.

Пьезооптический эффект (эффект фотоупругости) в кристаллах. Примеры рассмотрения. Упругие свойства кристаллов, тензорное рассмотрение, применение.

### **Раздел 9. Основные методы исследования структуры кристаллов.**

Дифракция рентгеновских (электронных) лучей в кристаллах. Уравнение Вульфа-Брэгга. Общее интерференционное уравнение Лауэ, его интерпретация с помощью сферы Эвальда. Связь общего интерференционного уравнения Лауэ с уравнением Вульфа - Брэгга.

Условия Лауэ для дифракции рентгеновских (электронных) лучей в кристалле.

Интенсивность дифракционных максимумов. Правила погасаний (непогасаний).

Основные методы рентгеноструктурного анализа. Метод Лауэ. Методы вращения и колебания (качания). Метод порошков (метод Дебая - Шеррера). Другие методы исследования структуры кристаллов. Электронография. Электронная микроскопия. Квазикристаллография.

### **Примерная тематика практических занятий (семинаров)**

1. Элементы симметрии кристаллических многогранников.
2. Матричное представление симметрических операций.
3. Элементы симметрии кристаллических структур.
4. Изучение основных типов кристаллических структур.
5. Основной закон кристаллофизики (принцип Неймана). Примеры.
6. Принцип суперпозиции симметрий (принцип Кюри). Примеры.

7. Прямой и обратный пироэлектрические эффекты и их применение.
8. Приведение тензоров второго ранга к главным осям.
9. Тензоры второго ранга. Электрические свойства кристаллов.
10. Оптические свойства кристаллов (оптические индикатрисы). Влияние внешних воздействий.
11. Пьезоэлектрический эффект в кристаллах. Тензорное описание.
12. Линейный электрооптический эффект (эффект Покельса) в кристаллах. Тензорное описание.
13. Квадратичный электрооптический эффект (эффект Керра) в кристаллах. Тензорное описание.
14. Пьезооптический эффект (эффект фотоупругости) в кристаллах. Тензорное описание.

## **5. Образовательные технологии**

В преподавании дисциплины «Кристаллография и кристаллофизика» используются следующие образовательные технологии:

- Исследовательские методы в обучении
- Проблемное обучение

В процессе обучения предусматривается широкое использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий: адресация аудитории вопросов и коллективный поиск ответов на них в форме дискуссий, встречи с известными специалистами и экспертами.

При проведении практических (семинарских) занятий в активной форме проводится детальный анализ физических свойств кристаллов в зависимости от симметрии последних в соответствии с приведенным выше списком тем (по выбору преподавателя).

### **Условия обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья:**

- предоставление инвалидам по зрению или слабовидящим возможностей использовать крупноформатные наглядные материалы;
- организация коллективных занятий в студенческих группах с целью оказания помощи в получении информации инвалидам и лицам с ограниченными возможностями по здоровью;
- проведение индивидуальных коррекционных консультаций для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья.
- использование индивидуальных графиков обучения
- использование дистанционных образовательных технологий

## **6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.**

Самостоятельная внеаудиторная работа студентов по дисциплине проводится в течение всего семестра и заключается в чтении и изучении литературы, подготовке к лекциям, практическим (семинарским) занятиям, в выполнении заданий лектора, работе в библиотеке, в сети Интернет.

Рекомендуется:

- для качественного усвоения материала лекций разбирать вопросы, излагаемые в каждой очередной лекции, до следующей лекции; по некоторым (трудным) деталям консультироваться у лектора, читать соответствующую литературу;
- при подготовке к семинарским занятиям пользоваться рекомендациями преподавателя, ведущего семинары, готовить краткие конспекты по вопросам тем, изучать рекомендуемую основную и дополнительную литературу;
- задания, которые даются лектором во время лекции по отдельным вопросам, должны выполняться в обязательном порядке, качество их выполнения проверять во время экзамена.

### Перечень заданий самостоятельной работы, предлагаемых студентам в ходе чтения лекций.

1. Точечные группы симметрии. Предельные группы симметрии (группы Кюри).

2. Пространственные группы симметрии. Обратная решетка, ее основные свойства.

3. Принцип суперпозиции симметрий (принцип Кюри).

Кристаллофизическая система осей координат. Матричное представление симметрических операций.

4. Пироэлектрические кристаллы. Их применение.

5. Прямые и обратные тензоры 2-го ранга. Полярные и аксиальные тензоры.

Материальные и полевые тензоры. Тензоры механических напряжений и деформаций.

6. Симметрия тензора пьезоэлектрических констант. Продольный пьезоэффект в кварце. Линейный электрооптический эффект (эффект Покельса) в кристаллах и его применение.

7. Пьезооптический эффект в кристаллах.

Упругие свойства кристаллов. Тензоры упругих модулей, влияние симметрии на них.

8. Основные методы исследования структуры кристаллов.

Интенсивность дифракционных максимумов. Структурная амплитуда. Правила погасаний (непогасаний). Электронография. Нейтронография. Электронная микроскопия.

Кроме того, при реализации программы данной дисциплины студентам предлагается выполнить реферат. Темы рефератов, предлагаемых студентам, соответствуют содержанию дисциплины «Кристаллография и кристаллофизика».

Примерный перечень предлагаемых тем рефератов:

- Жидкие кристаллы и их применение в электронике.
- Электрооптические свойства жидких кристаллов.
- Квазикристаллы, основные свойства, применение.
- Фотонные кристаллы, свойства, применение.

Рефераты выполняются под руководством преподавателя и должны содержать элементы литературного обзора по теме, анализа в соответствии с конкретной спецификой выбранной темы. Рефераты следует выполнять в течение всего семестра с периодическим обсуждением результатов с преподавателем.

Промежуточная аттестация проводится в форме экзамена (5-й семестр).

**Вопросы для проведения промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины**

1. Элементы симметрии кристаллических многогранников. Точечные группы симметрии. Предельные группы Кюри.
2. Символы узлов (точек), рядов (направлений) и граней (плоскостей) в кристаллическом многограннике. Индексы Миллера для плоскости.
3. Структура кристаллов и кристаллическая решетка. Типы ячеек Бравэ.
4. Элементы симметрии кристаллических структур. Пространственные группы симметрии.
5. Обратная решетка, её значение для кристаллографии и физики твердого тела.
6. Физические свойства идеальных кристаллов и их симметрия. Принцип Неймана, примеры.
7. Физические свойства кристаллов и их симметрия. Принцип суперпозиции симметрий (принцип Кюри), примеры.
8. Прямой и обратный пироэлектрические эффекты в кристаллах. Ограничения, налагаемые симметрией кристалла. Применение эффектов.
9. Физические свойства кристаллов, описываемые тензорами 2-го ранга. Материальные и полевые тензоры 2-го ранга. Приведение тензоров к главным осям, методы приведения.
10. Тензоры диэлектрической проницаемости и непроницаемости кристаллов. Описание распространения света в кристаллах с помощью оптических индикаторов.

11. Тензоры механических напряжений и деформаций как примеры полевых симметричных тензоров 2-го ранга.
12. Прямой пьезоэлектрический эффект в кристаллах, его симметрийные ограничения, применение.
13. Обратный пьезоэлектрический эффект в кристаллах, его симметрийные ограничения, применение.
14. Линейный электрооптический эффект (эффект Поккельса) в кристаллах, его симметрийные ограничения и применение.
15. Квадратичный электрооптический эффект (эффект Керра) в кристаллах, его симметрийные ограничения и применение.
16. Пьезооптический эффект (эффект фотоупругости) в кристаллах, его симметрийные ограничения и применение.
17. Упругие свойства кристаллов, тензорное описание, применение.
18. Дифракция рентгеновских (электронных) лучей в кристалле. Уравнение Вульфа-Брэгга.
19. Дифракция рентгеновских (электронных) лучей в кристаллах. Условия Лауэ для дифракции.
20. Основные методы рентгеноструктурного анализа кристаллов.

## **7. Данные для учета успеваемости студентов в БАРС**

Таблица 1. Таблица максимальных баллов по видам учебной деятельности в семестре.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Семестр	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Самостоятельная работа	Автоматизированное тестирование	Другие виды учебной деятельности	Промежуточная аттестация	Итого
5	20	0	20	20	0	10	30	100

### **5 семестр**

#### ***Программа оценивания учебной деятельности студента***

##### **Лекции**

Посещаемость:

- не более 50% от числа занятий в семестре – 0 баллов,
- от 51% до 60% – 1-3 балла;
- от 61% до 70% – 4-5 балла;
- от 71% до 80% – 6-7 баллов;
- от 81% до 90% – 8-9 баллов;
- не менее 91% занятий – 10 баллов.

Активность – от 0 до 10 баллов

### **Лабораторные занятия**

Не предусмотрены

### **Практические занятия:**

- Правильное самостоятельное выполнение не менее 91% заданий – 20 баллов
- от 61% до 90% заданий – 15-19 баллов
- от 31% до 60% заданий – 5-14 баллов
- менее 30% заданий – 0-4 балла

### **Самостоятельная работа**

- Правильное выполнение не менее 91% заданий на самостоятельную работу – 20 баллов
- Выполнение от 61% до 90% заданий – 15-19 баллов
- Выполнение от 31% до 60% заданий – 5-14 баллов
- Выполнение менее 30% заданий – 0-4 балла

### **Автоматизированное тестирование**

Не предусмотрено.

### **Другие виды учебной деятельности:**

Реферат - от 0 до 10 баллов

### **Промежуточная аттестация (экзамен)**

Ранжирование ответов студентов при проведении промежуточной аттестации:  
ответ на «отлично» – **21-30 баллов**

ответ на «хорошо» – **11-20 баллов**

ответ на «удовлетворительно» – **6-10 баллов**

неудовлетворительный ответ. – **0-5 баллов**

Таким образом, максимально возможная сумма баллов за все виды учебной деятельности студента за один семестр по дисциплине «Кристаллография и кристаллофизика» составляет 100 баллов

Пересчет полученной студентом суммы баллов по дисциплине «Кристаллография и кристаллофизика» в оценку, выставляемую в экзаменационную ведомость и зачётную книжку, осуществляется в соответствии с таблицей 2:

Таблица 2. Пересчет полученной студентом суммы баллов по дисциплине в оценку.

86 - 100 баллов	«отлично»
70 - 85 баллов	«хорошо»
50 - 69 баллов	«удовлетворительно»
меньше 50 баллов	«неудовлетворительно»

## **8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### **а) Основная литература:**

1. Шалимова К. В. Физика полупроводников: учебник. - 4-е изд., стер. - Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар : Лань, 2010. – 390 с. (43 экз.)
2. Шалимова К. В. Физика полупроводников [Электронный ресурс]: учебник. - 4-е изд., стер. - СПб.; М. ; Краснодар : Лань, 2010. – 390 с. ЭБС "ЛАНЬ"  
URL: [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_cid=25&pl1\\_id=648](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=648)
3. Введение в теорию полупроводников: учеб. пособие / А. И. Ансельм. - 3-е изд., стер. - СПб. ; М. ; Краснодар : Лань, 2008. – 618 с. (В НБ СГУ 41 экз)
4. Введение в теорию полупроводников [Электронный ресурс] : учеб. пособие / А. И. Ансельм. - Москва : Лань", 2016. - 618 с. – Гриф НМС МО. – ЭБС «ЛАНЬ»
5. Курс макроскопической кристаллофизики [Электронный ресурс] : учебное пособие для вузов / Сонин А. С. - Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2006. - 256 с. -ЭБС "ЛАНЬ"

### **б) Дополнительная литература:**

1. Названов В.Ф. Введение в кристаллофизику: учебное пособие. 2-е издание, дополненное.- Саратов: Изд-во «Новый ветер», 2016. – 120с. (в НБ СГУ 5 экз.)
2. Основы физики полупроводников: учеб. пособие / Г. Г. Зегря, В. И. Перель. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 335 с. Гриф УМО (В НБ СГУ 30 экз.)
3. Названов В.Ф. Введение в кристаллофизику. – Саратов: Изд. Саратов. ун-та, 1993. – 91 с. (в НБ СГУ 11 экз.).
4. Свойства материалов. Анизотропия, симметрия, структура [Электронный ресурс] : / Ньюнхем Роберт. - Москва, Ижевск : Регулярная и хаотическая динамика, Ижевский институт компьютерных исследований, 2007. - 652 с. - ЭБС "IPRBOOKS"

### **в) Рекомендуемая литература:**

1. Шаскольская М.П. Кристаллография. 2-е изд. – М.: Высшая школа, 1976. – 391 с. (в НБ СГУ 4 экз.)
2. Переломова Н.В., Тагиева М.М. Задачник по кристаллофизике/ Под ред. М.П. Шаскольской. 2-е изд. – М.: Наука, 1982. – 288 с. (в НБ СГУ 1 экз.)

### **г) программное обеспечение и Интернет-ресурсы**

1. Windows XP Prof
2. Антивирус Касперского 6.0 для Windows Workstations
3. Microsoft Office профессиональный 2010
4. MathCad 14.0
5. Най Дж. Физические свойства кристаллов и их описание при помощи тензоров и матриц [Электронный ресурс] / Пер. с англ. – М.: Изд-во «Мир», 1960. –

- 377 с. URL: <http://www.all-library.com/obrazovanie/fizika/51745-fizicheskie-svojstva-kristallov-i-ix-opisanie-pri.html> (дата обращения: 28.08.2016).
6. Вустер У. Применение тензоров и теории групп для описания физических свойств кристаллов [Электронный ресурс]/ Пер. с англ. Под ред. Л.А. Шувалова. – М.: Мир, 1977. – 384с. URL: <http://www.twirpx.com/file/748222/> (дата обращения: 28.08.2016).
7. An Introduction to Crystal Physics/by Ervin Hartman/ [Электронный ресурс]. URL: [http://www.iucr.org/\\_data/assets/pdf\\_file/0003/14790/18.pdf](http://www.iucr.org/_data/assets/pdf_file/0003/14790/18.pdf) (дата обращения: 28.08.2016).
8. Каталог образовательных Интернет-ресурсов (<http://window.edu.ru>)

#### **9. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Занятия по дисциплине «Кристаллография и кристаллофизика» проводятся в аудиториях, оснащенных компьютерной техникой, проекторами, наглядными демонстрационными материалами (моделями кристаллических структур и пр.).

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника» и профилями подготовки «Микро- и наноэлектроника, диагностикаnano- и биомедицинских систем», «Физика и технология твердотельных электронных микро- и наноструктур», «Приборы микро- и наноэлектроники, методы измерения микро- и наносистем».

Программа разработана в 2011 г. (одобрена на заседании кафедры физики твердого тела от 18 марта 2011 г., протокол № 12).

Программа актуализирована в 2016 г. (одобрена на заседании кафедры физики твердого тела от 30 августа 2016 г., протокол № 1).

Автор профессор Назанов В.Ф.

Зав. кафедрой физики твердого тела  
профессор Д.А. Усанов

Декан факультета nano- и биомедицинских технологий  
профессор С.Б. Вениг