

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

(факультет / институт / филиал)

УТВЕРЖДЕНО  
Решением ученого совета ННГУ  
протокол от  
« 31 » мая 2023 г. № 6

## **Рабочая программа дисциплины**

Оптические свойства кристаллов

(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования

Бакалавриат

Направление подготовки / специальность

03.03.02 - Физика

Направленность образовательной программы

Физика конденсированного состояния

Форма обучения

очная

(очная / очно-заочная / заочная)

Нижний Новгород – 2023

## 1. Место дисциплины «Оптические свойства кристаллов» в структуре ООП

Дисциплина «Оптические свойства кристаллов» относится к дисциплинам по выбору вариативной части профессионального цикла основной образовательной программы по направлению 03.03.02 – Физика, профиль подготовки «Кристаллофизика» и изучается на 4 году обучения в 8 семестре. Данный курс читается отдельно, но дополняет базовый курс «Физика анизотропных сред», читаемый студентам 4 курса. Студенты должны быть готовы использовать полученные в этой области знания, как при изучении смежных дисциплин, так и в профессиональной деятельности по физической кристаллографии.

Для усвоения данного курса необходимо освоить некоторые модули (дисциплины) в рамках образовательной программы бакалавра по направлению Физика: общая физика (теория колебаний и волн, оптика); математические дисциплины в объёме, преподаваемом на физическом факультете университета (математический анализ, векторная и тензорная алгебра, линейная алгебра); физика анизотропных сред; кристаллография.

Данный курс является традиционным компонентом фундаментального классического образования физика-кристаллографа.

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

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-1. Способен использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин	ПК-1. Способен использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин ОПК 1.2 Умеет использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин ОПК 1.3 Иметь навыки использования специализированных знаний в области физики для освоения профильных физических дисциплин	Знать: теоретические основы методов описания явлений в оптически анизотропных средах и исследования характеристик соответствующих материалов, а также основные технические характеристики и возможности экспериментального оборудования и способов сбора и анализа экспериментальных данных, используемых для исследования оптически анизотропных сред. Уметь: выбирать методы и оборудование для исследования оптически анизотропных сред, адекватные особенностям исследуемых материалов и целям их исследования,	Контрольная работа	Экзамен: Контрольные вопросы Задания

		<p>формулировать цели и задачи конкретного оптического эксперимента,</p> <p>модифицировать схему эксперимента или развивать метод исследования с учетом нестандартных ситуаций или результатов.</p> <p>Владеть: навыками физического эксперимента, навыками сборки и юстировки оптических схем, включающих оптическое и иное вспомогательное и измерительное оборудование, навыками сбора, визуализации, анализа и обработки экспериментальных данных с использованием современных средств.</p>		
--	--	---	--	--

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	<b>очная</b>
<b>Общая трудоемкость, з.е.</b>	<b>5</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>180</b>
в том числе	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	
- занятия лекционного типа	26
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	26
- КСР	36
самостоятельная работа	90
<b>Промежуточная аттестация</b>	<b>экзамен</b>

Содержание дисциплины «Оптические свойства кристаллов»

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего (часы)	В том числе				Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них				
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего	
	8 семестр очное					
Электромагнитные волны в прозрачных кристаллах. Явление двупреломления. Описание оптических свойств анизотропных сред.	35	6	6		12	23
Методы исследования оптических свойств анизотропных сред, поляризация света	35	6	6		12	23
Влияние внешних воздействий на оптические свойства анизотропных сред	37	7	7		14	23
Оптическая активность и нелинейно-оптические свойства кристаллов	37	7	7		14	23
В т.ч.текущий контроль	2					
Промежуточная аттестация – экзамен						

Содержание разделов дисциплины.

1. Электромагнитные волны в прозрачных кристаллах. Явление двупреломления. Описание оптических свойств анизотропных сред. Понятие анизотропной среды. Предмет кристаллооптики. Электромагнитные волны в прозрачных диэлектрических немагнитных кристаллах. Тензор диэлектрической непроницаемости среды. Двупреломление света. Понятие оптически анизотропной среды. Оптическая индикатриса. Классификация кристаллов по симметрии оптической индикатрисы, её связь с симметрией кристаллов. Оптические оси. Главные показатели преломления. Дисперсия показателей преломления и оптических осей, её особенности в зависимости от симметрии кристалла. Обыкновенная и необыкновенная волны в оптически одноосном кристалле. Принцип взаимности для волн и лучей. Лучевая скорость и показатель преломления луча. Эллипсоид Френеля.

2. Методы исследования оптических свойств анизотропных сред, поляризация света. Поляризация света. Вектор Стокса. Сфера Пуанкаре. Поляризаторы. Фазовые пластинки. Общий алгоритм определения состояния поляризации света. Наблюдение оптических свойств прозрачных кристаллов в параллельном свете в плоском полярископе, случай скрещенных и параллельных поляризаторов. Круговой полярископ. Метод компенсации для измерения разности хода волн в двупреломляющем кристалле, виды компенсаторов (кварцевый клин, компенсатор Берека-Никитина, компенсатор Бабинье-Солейля, азимутальный компенсатор Сенармона). Поляризационный микроскоп и его возможности. Коноскопический метод наблюдения оптических свойств кристаллов. Определение угла между оптическими осями двuosного кристалла. Определение оптического знака одноосных кристаллов с помощью коноскопического метода и кварцевого клина.

### 3. Влияние внешних воздействий на оптические свойства анизотропных сред.

Феноменологическое описание влияния внешних воздействий на оптические свойства анизотропной среды; анализ на основе принципа Кюри. Пьезооптический и упругооптический эффекты. Упругооптические модуляторы света. Электрооптический эффект и электрооптические модуляторы Керра и Поггеля. Истинный и ложный электрооптические эффекты (оценка вклада пьезоэлектрической фотоупругой составляющей).

4. Оптическая активность и нелинейно-оптические свойства кристаллов. Оптическая активность кристаллов. Псевдотензор гирации. Вращение плоскости поляризации. Искусственная оптическая активность, эффект Фарадея. Нелинейно-оптические свойства кристаллов, их связь с симметрией среды. Направления фазового синхронизма в кристаллах.

Список лабораторных работ:

1. Измерение силы двулучепреломления в кристаллах.
2. Интерференционные явления в кристаллах в параллельном свете.
3. Исследование оптических свойств кристаллов коноскопическим методом.
4. Исследование механических напряжений в кристаллах оптическим методом.
5. Поляризационно-оптический метод изучения анизотропии.
6. Статистический метод анализа изображений оптических неоднородностей кристаллов.
7. Распространение света в неоднородной среде. Термооптический метод определения коэффициента температуропроводности прозрачных материалов.
8. Исследование эффекта термоиндуцированного двулучепреломления в кристалле KDP.
9. Исследование микрослоистой структуры кристалла KDP с помощью фазово-контрастного метода.
10. Вращение плоскости поляризации в кристаллах.
11. Оценка нелинейно-оптической восприимчивости кристаллов на порошковых образцах.

## **4. Образовательные технологии**

Занятия по дисциплине проходят в лекционной форме, далее излагаемый на лекциях теоретический материал закрепляется и отрабатывается в ходе выполнения лабораторного практикума. Самостоятельная работа включает в себя выполнение домашних заданий и теоретическую подготовку к занятиям по материалам лекций и рекомендованной литературе, приведенной в конце данной программы. В ходе лабораторного практикума применяется компьютерная техника, как для считывания и оцифровки сигналов с измерительной аппаратуры, так и для применения современных методов обработки данных.

## **5. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов.**

Самостоятельная работа студентов предусматривает теоретическую подготовку к выполнению лабораторных работ, изучение рекомендованной литературы и подготовку к экзамену.

Оценочные средства для контроля текущей успеваемости включают в себя устный опрос на лабораторных занятиях, контроль протоколов лабораторных работ и отчетов по лабораторным работам, а также оценки результатов решения физических задач на практических заданиях.

Для проведения промежуточной аттестации по итогам освоения отдельных разделов дисциплины «Оптические свойства кристаллов» используются задачи и нижеприведенные вопросы.

### Вопросы для контроля:

1. Опишите явление двулучепреломления света в анизотропной среде.
2. Что такое оптическая индикатриса и как её можно использовать для определения

- возможных оптических волн, их поляризации и показателей преломления, при распространении света вдоль заданного направления в кристалле?
3. Что такое оптические оси кристалла?
  4. Как зависит симметрия оптических свойств (индикатрисы) от симметрии кристалла? Что такое главные показатели преломления?
  5. В чём заключается принцип взаимности волн и лучей в оптически анизотропной среде?
  6. Дайте общее определение поляризации света, опишите элементарные (простейшие) виды поляризации. Каковы способы их получения и анализа?
  7. В чём заключается метод компенсации при измерении разности хода, вызванной двупреломлением?
  8. Напишите уравнения пьезооптического, упругооптического и электрооптического эффектов. Опишите взаимосвязь соответствующих материальных тензоров с симметрией среды (кристалла). Дайте описание линейного электрооптического эффекта на каком-нибудь типичном примере (например, в кристалле KDP при приложении поля вдоль оптической оси).
  9. Что такое пространственная дисперсия?
  10. Дайте феноменологическое описание нелинейно-оптических свойств кристаллов. Почему возбуждение второй гармоники невозможно в centrosymmetric среде? Как реализуется фазовый синхронизм в кристаллах?

Список номеров задач для контроля (Источник: Переломова Н.В., Тагиева М.М. Задачник по кристаллофизике: Учебное пособие /Под ред. М.П. Шаскольской. – 2-е изд., перераб. – М.: Наука. 1982. – 288 с.):

2.8, 2.9, 2.11, 2.12, 2.13, 2.14, 2.17, 2.19, 2.20, 2.22, 2.23, 2.28, 2.36, 4.29, 9.6-9.39, 10.7-10.19, 11.13-11.38

## 6. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине - в приложении

**6.1** Перечень компетенций выпускников образовательной программы с указанием результатов обучения (знаний, умений, владений), характеризующих этапы их формирования, описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования

(ПК-1) способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин

Индикаторы компетенции	ОЦЕНКИ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ						
	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний	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	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки

	вследствие отказа обучающегося от ответа.			ошибок.	ых ошибок		и.
<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 незначительными 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 владения материалом . 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 оценок по проценту правильно выполненных контрольных заданий	0 – 20 %	20 – 50 %	50 – 70 %	70-80 %	80 – 90 %	90 – 99 %	100%

## 6.2 Описание шкал оценивания

### Критерии оценок зачета:

Оценка *отлично* – исчерпывающее владение программным материалом, понимание сущности рассматриваемых процессов и явлений, твёрдое знание основных положений

дисциплины, умение применять концептуальный аппарат при анализе актуальных проблем. Логически последовательные, содержательные, конкретные ответы на все вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы, свободное владение источниками. Практическая часть курса успешно выполнена.

Оценка *хорошо* – достаточно полные знания программного материала, правильное понимание сути вопросов, знание определений, умение формулировать тезисы и аргументы. Ответы последовательные и в целом правильные, хотя допускаются неточности, поверхностное знакомство с отдельными теориями и фактами, достаточно формальное отношение к рекомендованным для подготовки материалам. Практическая часть курса успешно выполнена.

Оценка *удовлетворительно* – фрагментарные знания, расплывчатые представления о предмете. Ответ содержит как правильные утверждения, так и ошибки, возможно, грубые. Испытуемый плохо ориентируется в учебном материале, не может устранить неточности в своем ответе даже после наводящих вопросов. Практическая часть курса успешно выполнена.

Оценка *неудовлетворительно* – отсутствие ответа хотя бы на один из основных вопросов, либо грубые ошибки в ответах, полное непонимание смысла проблем, не достаточно полное владение терминологией. Практическая часть курса не выполнена или выполнена не в полном объеме.

### **6.3 Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по модулю, характеризующих этапы формирования компетенций.**

Для оценивания результатов обучения в виде знаний используются следующие процедуры и технологии:

- индивидуальное собеседование,
- письменные ответы на вопросы.

Для оценивания результатов обучения в виде умений и владений используются следующие процедуры и технологии: практические контрольные задания. Типы практических контрольных заданий:

- установление последовательности (описать алгоритм выполнения действия),
- указать возможное влияние факторов на последствия реализации умения и т.д.

### **6.4 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения, характеризующих этапы формирования компетенций и (или) для итогового контроля сформированности компетенции. (В приложении)**

### **6.5 Методические материалы, определяющие процедуры оценивания. (В приложении)**

### **6. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине. (в приложении)**

## **7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины «Оптические свойства кристаллов»**

а) основная литература:

1. Най Дж. Физические свойства кристаллов и их описание с помощью тензоров и матриц. Пер. с англ. 2-е изд. М.: Мир, 1967.

библиотека ННГУ: <http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=97358> (5 экз)



в электронных библиотеках:

<http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/books/Naj1960ru.djvu>

Сиротин Ю.И., Шаскольская М.П. Основы кристаллофизики. 2-е изд. - М.: Наука, 1979. - 640 с.

библиотека ННГУ: <http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=99234> (7 экз)

<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=473219> (14 экз)

2. Кристаллография: Лабораторный практикум /Под ред. проф. Е.В. Чупрунова. Уч. пособие для вузов. – М.: Изд-во физико-математической литературы, 2005. – 412 с.

библиотека ННГУ: <http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=46674> (20 экз)

3. Переломова Н.В., Тагиева М.М. Задачник по кристаллофизике: Учебное пособие /Под ред. М.П. Шаскольской. – 2-е изд., перераб. – М.: Наука. 1982. – 288 с.

библиотека ННГУ: <http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=99231> (4 экз),

<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=99232> (10 экз)

б) дополнительная литература:

1. Меланхолин Н.М. Методы исследования оптических свойств кристаллов. – М.: Наука, 1970. – 155 с.

библиотека ННГУ: <http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=98976> (4 экз)

2. Вустер У. Практическое руководство по кристаллофизике. – М.: Наука, 1958. – 163 с.

библиотека ННГУ: <http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=99222> (7 экз)

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

1. Программное обеспечение по лабораторному практикуму, прилагаемое к учебному пособию (Кристаллография: Лабораторный практикум /Под ред. проф. Е.В. Чупрунова. Уч. пособие для вузов. – М.: Изд-во физико-математической литературы, 2005. – 412 с.):

<http://phys.unn.ru/content.asp?contentid=709> (или <http://phys.unn.ru/lab>).

2. <https://www.nist.gov/pml/productsservices/physical-reference-data> - Physical Reference Data

## **7. Материально-техническое обеспечение дисциплины «Оптические свойства кристаллов»**

Материально-техническое обеспечение дисциплины «Оптические свойства кристаллов», помимо необходимого количества учебных пособий в библиотеке, а также представленного на сайте физического факультета программного обеспечения (см. п. 7в1), включает также указанное ниже оборудование, на котором проводятся лабораторные работы, перечисленные в разделе 3 (Структура и содержание дисциплины):

№п/п	Наименование лабораторной работы	Оборудование
1	Измерение силы двулучепреломления в кристаллах	Поляризационный микроскоп МИН-8, кварцевый клин, чувствительная пластинка, компенсатор Берека, образцы кристаллов.
2	Интерференционные явления в кристаллах в параллельном свете	Поляризационный микроскоп МИН-8, кварцевый клин, чувствительная пластинка, компенсатор Берека, образцы кристаллов.
3	Исследование оптических свойств кристаллов коноскопическим методом	Поляризационный микроскоп МИН-8, кварцевый клин, чувствительная пластинка, образцы кристаллов, демонстрационная установка на базе фотоувеличителя, снабжённая поляризаторами.
4	Исследование механических напряжений в кристаллах оптическим методом	Поляризационный микроскоп МИН-8, кварцевый клин, чувствительная пластинка, образцы кристаллов, демонстрационная

		установка на базе фотоувеличителя, снабжённая поляризаторами, устройство для создания механических напряжений в образцах твердых тел (кристаллах), компенсатор Берека.
5	Поляризационно-оптический метод изучения анизотропии	Гелий-неоновый лазер ЛГН-207Б, поляризаторы, компенсатор Берека, устройство для растяжения полимерных плёнок (измеряется деформация и нагрузка), оптическая скамья ОСК-2.
6	Статистический метод анализа изображений оптических неоднородностей кристаллов	Образцы кристаллов, поляризационный микроскоп МИН-8, персональный компьютер, программное обеспечение.
7	Распространение света в неоднородной среде. Термооптический метод определения коэффициента температуропроводности прозрачных материалов	Термостат UTU-2/77 (Польша), гелий-неоновый лазер ЛГН-207Б, фотодиод ФД-24К, вольтметр В7-38, установка для создания термоиндуцированной оптической неоднородности в твёрдых прозрачных образцах, персональный компьютер с платой сборки данных, программное обеспечение.
8	Исследование эффекта термоиндуцированного двупреломления в кристалле KDP	Термостат UTU-2/77 (Польша), гелий-неоновый лазер ЛГН-207Б, ФЭУ-62, блок питания ФЭУ ВСВ-2с, широкополосный усилитель тока ФЭУ, вольтметр В7-38, поляризаторы, установка для создания контролируемой термоиндуцированной оптической неоднородности в твёрдых прозрачных образцах, персональный компьютер с платой сборки данных, образцы кристаллов.
9	Исследование микрослоистой структуры кристалла KDP с помощью фазово-контрастного метода	Поляризационный микроскоп МИН-8, фазово-контрастное устройство КФ-4, установка для полировки кристаллов, образцы кристаллов, персональный компьютер, программное обеспечение.
10	Вращение плоскости поляризации в кристаллах	Поляризационный микроскоп МИН-8, кварцевый клин, чувствительная пластинка, четверть-волновая пластинка, компенсатор Берека, образцы кристаллов.
11	Оценка нелинейно-оптической восприимчивости кристаллов на порошковых образцах	Решёточный монохроматор SP-150 (Acton Research Company, США), электронный блок управления и сбора данных NCL (Acton Research Company, США), ФЭУ R-928 (Hamamatsu, Япония), детектор InGaAs (Пельтье-охлаждаемый, Acton Research Company, США), персональный компьютер, программное обеспечение Acton Research Spectra Sense, цифровой синхронный усилитель SR-810 (2 шт., Stanford Research Systems, США), твёрдотельный импульсно-периодический Nd:YAG лазер типа 2PSL-105/5QEM (Россия), оптический стол 1200×2400 мм (Россия), предметный столик с держателями порошковых кристаллических образцов.

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

Автор(ы): \_\_\_\_\_ доцент кафедры КЭФ, к.ф.-м.н. Марычев М.О.

Рецензент(ы): \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой: д.ф.-м.н., профессор Чупрунов Е.В.

Программа одобрена на заседании методической комиссии физического факультета от 20 мая 2023 года, протокол № б/н.