

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Смирнов Сергей Николаевич  
Должность: врио ректора  
Дата подписания: 19.10.2023 08:08:35  
Уникальный программный ключ:  
69e375c64f7e975d4e8830e7b4fcc2ad1bf35f08

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет»



Утверждаю:

Руководитель ООП

 И.А. Каплунов

«30» мая 2023 г.

Рабочая программа дисциплины (с аннотацией)

**Акустооптика**

Направление подготовки

03.04.03. Радиоп физика

профиль

Физика и технология материалов и устройств радиоэлектроники

Для студентов

2 курса очной формы обучения

Составитель: к.ф.-м.н. Третьяков С.А.



Тверь, 2023

## **I. Аннотация**

### **1. Цель и задачи дисциплины**

*Целями освоения дисциплины* является изучение физических основ взаимодействия световых волн с распространяющимися в прозрачных телах звуковыми волнами, изучение теоретических, экспериментальных и технических аспектов явления дифракции света на ультразвуковых волнах в кристаллах.

*Задачами освоения дисциплины* является получение знаний в отработке методов расчета геометрии светозвукопроводов акустооптических устройств; базирующиеся на векторных диаграммах; освоении приёмов изготовления светозвукопроводов, напыления связующих слоев, присоединения пьезопреобразователей и работы с дефлекторами, модуляторами и фильтрами оптического излучения.

### **2. Место дисциплины в структуре ООП**

Дисциплина «Акустооптика» относится к разделу Б1.В.01 части учебного плана ООП, формируемой участниками образовательных отношений. Акустооптика изучается в 3 семестре и имеет логические и содержательно – методические взаимосвязи со всеми дисциплинами профессиональных модулей всех частей ООП. Для освоения дисциплины от слушателей требуются предварительные знания и навыки из курсов: общего курса физики, курсов теоретической механики, электродинамики, квантовой механики, физики твердого тела и оптики диэлектриков и полупроводников, а также математических дисциплин дифференциального и интегрального исчисления, линейной алгебры, векторного анализа, методов математической физики.

Дисциплина «Акустооптика» обеспечивает прохождение практик. Полученные знания в последующем используются при выполнении выпускной квалификационной работы, а также в дальнейшей трудовой деятельности.

**3. Объем дисциплины:** 4 зачетных единиц, 144 академических часов, в том числе:

**контактная аудиторная работа:** лекции 26 часов, лабораторные работы 26 часов;

**самостоятельная работа:** 92 часа, в том числе контроль 27 часов.

#### **4. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы**

Планируемые результаты освоения образовательной программы (формируемые компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине
ПК-2. Способен проводить разработку и внедрение современных технологических процессов, освоение нового оборудования	ПК-2.1. Проводит измерение электрофизических параметров формируемых функциональных материалов и изделий электроники, анализирует результаты; ПК-2.2. Оперировать технологическим и измерительным оборудованием, организует контроль за работой оборудования
ПК-3. Способен обеспечить функционирование радиоэлектронных комплексов	ПК-3.1. Проводит испытание и тестирование радиоэлектронных комплексов, мониторинг их технического состояния; ПК-3.2. Анализирует информацию о качестве функционирования радиоэлектронных комплексов, вносит предложения по улучшению эксплуатационных характеристик радиоэлектронных комплексов

#### **5. Форма промежуточной аттестации и семестр прохождения**

Экзамен в 3 семестре

**6. Язык преподавания:** русский.

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

**1. Для студентов очной формы обучения**

Учебная программа – наименование разделов и тем	Всего (час.)	Контактная работа (час.)				Самостоятельная работа, в том числе Контроль (час.)
		Лекции		Лабораторные работы		
		всего	в т.ч. ПП	всего	в т.ч. ПП	
<b>1. Качественное описание акустооптической дифракции.</b> 1.1. История возникновения акустооптики. 1.2. Дифракция Брэгга. 1.3. Дифракция Рамана-Ната. 1.4. Критерий перехода между режимами Брэгга и Рамана-Ната	11	2		2		7
<b>2. Векторные диаграммы.</b> 2.1. Вывод угловых соотношений при дифракции Брэгга. 2.2. Трехчастичное фотон-фононное взаимодействие 2.3. Виды векторных диаграмм при изотропной и анизотропной дифракции	11	2		2		7
<b>3. Дифракция плоской световой волны в режиме Рамана-Ната.</b> 3.1. Уравнения Максвелла для среды, возмущенной ультразвуковой волной. 3.2. Расходимости световой и звуковой волн.	12	2		2		8
<b>4. Дифракция плоской световой волны. Режим Брэгга.</b> 4.1. Уравнения связанных волн. 4.2. Вывод формулы для интенсивности дифракционной волны.	12	2		2		8
<b>5. Коэффициент акустооптического качества.</b> 5.1. Тензор диэлектрической непроницаемости. 5.2. Тензор упругооптических коэффициентов. 5.3. Наведённая оптическая неоднородность.	15	4		4		7
<b>6. Теория дифракции расходящейся световой волны.</b> 6.1. Угловые спектры падающей и дифрагированной волн. 6.2. Распределения поля в дальней зоне при различных расходимостях света и звука. 6.3. Поляризация дифрагированного света.	15	4		4		7
<b>7. Акустооптические материалы и</b>	11	2		2		7

элементы акустооптических устройств. 7.1. Пьезопреобразователи. 7.2. Формирующая оптика. 7.3. Согласующие цепочки.					
<b>8. Акустооптические устройства.</b> 8.1. Модуляторы. 8.2. Дефлекторы. 8.3. Фильтры.	15	4		4	7
<b>9. Применение акустооптических устройств.</b> 9.1. Акустооптические процессоры. 9.2. Анализ излучений звезд. 9.3. Вывод видеоинформации из ЭВМ на большой экран.	15	4		4	7
<b>экзамен</b>	27				27
<b>итого</b>	144	26		26	92

### III. Образовательные технологии

Учебная программа-наименование разделов и тем	Вид занятия	Образовательные технологии
<b>1. Качественное описание акустооптической дифракции.</b> 1.1. История возникновения акустооптики. 1.2. Дифракция Брэгга. 1.3. Дифракция Рамана-Ната. 1.4. Критерий перехода между режимами Брэгга и Рамана-Ната	<i>Лекции,</i>	<i>Активное слушание. Групповое решение задач. Самостоятельное изучение теоретического материала</i>
<b>2. Векторные диаграммы.</b> 2.1. Вывод угловых соотношений при дифракции Брэгга. 2.2. Трехчастичное фотон-фононное взаимодействие 2.3. Виды векторных диаграмм при изотропной и анизотропной дифракции	<i>Лекции,</i>	<i>Активное слушание. Групповое решение задач. Самостоятельное изучение теоретического материала</i>
<b>3. Дифракция плоской световой волны в режиме Рамана-Ната.</b> 3.1. Уравнения Максвелла для среды, возмущенной ультразвуковой волной. 3.2. Расходимости световой и звуковой волн.	<i>Лекция, лабораторные работы</i>	<i>Активное слушание. Групповое решение задач. Самостоятельное изучение теоретического материала</i>
<b>4. Дифракция плоской световой волны. Режим Брэгга.</b> 4.1. Уравнения связанных волн. 4.2. Вывод формулы для интенсивности дифракционной волны.	<i>Лекция, лабораторные работы</i>	<i>Активное слушание. Групповое решение задач. Самостоятельное изучение теоретического материала</i>
<b>5. Коэффициент акустооптического качества.</b> 5.1. Тензор диэлектрической непроницаемости.	<i>Лекция, лабораторные работы</i>	<i>Активное слушание. Групповое решение задач. Самостоятельное изучение теоретического материала</i>

5.2. Тензор упругооптических коэффициентов. 5.3. Наведённая оптическая неоднородность.		
<b>6. Теория дифракции расходящейся световой волны.</b> 6.1. Угловые спектры падающей и дифрагированной волн. 6.2. Распределения поля в дальней зоне при различных расходимостях света и звука. 6.3. Поляризация дифрагированного света.	<i>Лекция, лабораторные работы</i>	<i>Активное слушание. Групповое решение задач. Самостоятельное изучение теоретического материала</i>
<b>7. Акустооптические материалы и элементы акустооптических устройств.</b> 7.1. Пьезопреобразователи. 7.2. Формирующая оптика. 7.3. Согласующие цепочки.	<i>Лекция, лабораторные работы</i>	<i>Активное слушание. Групповое решение задач. Самостоятельное изучение теоретического материала</i>
<b>8. Акустооптические устройства.</b> 8.1. Модуляторы. 8.2. Дефлекторы. 8.3. Фильтры.	<i>Лекция</i>	<i>Активное слушание. Групповое решение задач. Самостоятельное изучение теоретического материала</i>
<b>9. Применение акустооптических устройств.</b> 9.1. Акустооптические процессоры. 9.2. Анализ излучений звезд. 9.3. Вывод видеoinформации из ЭВМ на большой экран.	<i>Лекция</i>	<i>Активное слушание. Групповое решение задач. Самостоятельное изучение теоретического материала</i>

Процесс обучения включает аудиторные занятия, текущий контроль полученных знаний, использование различных форм научно-исследовательской деятельности студентов, самостоятельную работу, а так же проведение промежуточного контроля.

Выработка профессиональных навыков и умений предполагает широкое использование в ходе образовательного процесса интерактивных методик обучения. Использование активных методов обучения имеет целью конструктивное вовлечение студентов в учебный процесс, активизацию учебно-познавательной деятельности. Активные методы обучения предполагают деловое сотрудничество, взаимодействие, обмен информацией, более глубокое усвоение материала, понимание сущности изучаемых явлений, и как результат – получение соответствующих знаний, умений и навыков, формирование компетенций.

#### IV. Оценочные материалы для проведения текущей и промежуточной аттестации

*Форма проведения промежуточного контроля:* студенты, освоившие программу курса «Акустооптика» могут сдать экзамен по итогам семестровой аттестации согласно «Положению о промежуточной аттестации (экзаменах и зачетах) обучающихся по программам высшего образования ТвГУ» (протокол №11 от 28 апреля 2021 г.).

##### Для проведения текущей и промежуточной аттестации:

Результат (индикатор)	Типовые контрольные задания	Показатели и критерии оценивания, шкала оценивания
ПК-2.1. Проводит измерение электрофизических параметров формируемых функциональных материалов и изделий электроники, анализирует результаты;	<p>1. Указать правильные утверждения:</p> <p>2. а) Фотоупругие константы безразмерны.</p> <p>3. б) В слабом поле интенсивность отклоненного поля пропорциональна акустической константе.</p> <p>4. в) При дифракции Брэгга свет испытывает только фазовые возмущения.</p> <p>5. г) В отсутствие акустического возмущения (<math>\Delta\epsilon=0</math>) уравнения связанных волн становятся независимыми.</p> <p>д) В формуле Гордона <math>H</math> – это длина <math>a/o</math> – взаимодействие.</p>	<p><input type="checkbox"/> Задание выполнено полностью – 10 баллов;</p> <p><input type="checkbox"/> Задание выполнено частично, с замечаниями - 7 баллов;</p> <p><input type="checkbox"/> Задание выполнено с ошибками - 5 баллов;</p> <p>неуд. – менее 5 баллов</p> <p>«3» 5 баллов -</p> <p>«4» 7 баллов -</p> <p>«5» 10 баллов</p>
ПК-2.2. Оперрует технологическим и измерительным оборудованием, организует контроль за работой оборудования	<p>Рассчитать угол дифракции лазерного излучения, проходящего через кристалл парателлурита в направлении оптической оси, если известны частота ультразвуковых колебаний и длина волны излучения.</p> <p>Рассчитать угол Брэгговского синхронизма</p>	<p><input type="checkbox"/> Задание выполнено полностью – 10 баллов;</p> <p><input type="checkbox"/> Задание выполнено частично, с замечаниями - 7 баллов;</p> <p><input type="checkbox"/> Задание выполнено с ошибками - 5 баллов;</p> <p>неуд. – менее 5 баллов</p> <p>«3» 5 баллов -</p> <p>«4» 7 баллов -</p> <p>«5» 10 баллов</p>

	для заданного вида кристалла и заданной частоты ультразвука	
ПК-3.1. Проводит испытание и тестирование радиоэлектронных комплексов, мониторинг их технического состояния;	Произвести сборку акустооптической системы. Произвести настройку ВЧ-генератора.	<input type="checkbox"/> Задание выполнено полностью – 10 баллов; <input type="checkbox"/> Задание выполнено частично, с замечаниями - 7 баллов; <input type="checkbox"/> Задание выполнено с ошибками - 5 баллов; неуд. – менее 5 баллов «3» 5 баллов - «4» 7 баллов - «5» 10 баллов
ПК-3.2. Анализирует информацию о качестве функционирования радиоэлектронных комплексов, вносит предложения по улучшению эксплуатационных характеристик радиоэлектронных комплексов	1. Измерить значения дифракционной эффективности акустооптического устройства. 2. Зарегистрировать температурные поля в акустооптическом устройстве посредством тепловизора.	<input type="checkbox"/> Задание выполнено полностью – 10 баллов; <input type="checkbox"/> Задание выполнено частично, с замечаниями - 7 баллов; <input type="checkbox"/> Задание выполнено с ошибками - 5 баллов; неуд. – менее 5 баллов «3» 5 баллов - «4» 7 баллов - «5» 10 баллов

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

### 1) Рекомендуемая литература

#### *а) основная литература:*

1. Куприянова Г.С. Практическая квантовая радиофизика [Электронный ресурс] : учебное пособие / Г.С. Куприянова. — Электрон. текстовые данные. — Калининград: Балтийский федеральный университет им. Иммануила Канта, 2008. — 128 с. — 978-5-88874-855-8. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/23868.html>
2. Молчанов В.Я., Китаев Ю.И., Колесников А.И., Нарвер В.Н., Розенштейн А.З., Солодовников Н.П., Шаповаленко К.Г. Теория и практика современной акустооптики. М.: МИСиС. 2015. 459с.
3. А.А. Блистанов. Кристаллы квантовой и нелинейной оптики. М. 2000.

#### *б) дополнительная литература*



1. Четверикова, А.Г. Кристаллография: учебное пособие / А.Г. Четверикова ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Оренбургский государственный университет». - Оренбург : Оренбургский государственный университет, 2012. - 104 с. : ил., схем., табл. - Библиогр.: с. 85-87. ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=260745>
  2. Басалаев, Ю.М. Кристаллофизика и кристаллохимия : учебное пособие / Ю.М. Басалаев ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Кемеровский государственный университет». - Кемерово : Кемеровский государственный университет, 2014. - 403 с. : ил. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-8353-1712-7 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=278304>
  3. Молчанов В.Я. Интеллектуальные акустооптические системы адаптивного управления спектральными амплитудами и фазами фемтосекундных импульсов мощных лазерных комплексов. //Вестник РФФИ. 2012. №1(73). с.134-140.
  4. Молчанов В.Я., Чижиков С.И., Юшков К.Б. Двухкаскадная акустооптическая дисперсионная линия задержки для фемтосекундных лазеров. //Квантовая электроника. 2011. Т.41. №8. с.675-676.
  5. Voloshinov V.B., Gupta N. Ultraviolet-visible imaging acousto-optic tunable filters in KDP. //Appl. Opt. 2004. V.43. №19. p.3901-3909.
  6. Magdich L.N., Molchanov V.Ya. Acoustooptic Devices and Their Application. New York: Gordon and Breach Science Pub. 1989. 238p.
- 2) Программное обеспечение
    - а) Лицензионное программное обеспечение
    - б) Свободно распространяемое программное обеспечение

программное обеспечение – IR-researcher, собственные программное обеспечение кафедры прикладной физики Plotex (для 24-разрядного АЦП), Avideo (обработка поляризационно-оптических изображений). Математические программы Maple, TableCurve2D, TableCurve3D, Origin.

3) Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1. ЭБС «ZNANIUM.COM» [www.znanium.com](http://www.znanium.com);

2. ЭБС «Университетская библиотека онлайн» <https://biblioclub.ru/>;

3. ЭБС «Лань» <http://e.lanbook.com>

4) Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

## **VI. Методические материалы для обучающихся по освоению дисциплины**

**Текущий контроль успеваемости** проводится в виде тестов

### ***Типовые тесты***

#### *Вариант 1*

Указать правильные утверждения:

- а) Фотоупругие константы безразмерны.
- б) В слабом поле интенсивность отклоненного поля пропорциональна акустической константе.
- в) При дифракции Брэгга свет испытывает только фазовые возмущения.
- г) В отсутствие акустического возмущения ( $\Delta\epsilon=0$ ) уравнения связанных волн становятся независимыми.
- д) В формуле Гордона  $H$  – это длина  $a/o$  – взаимодействие.

#### *Вариант 2*

Указать неправильные утверждения:

- а) Акустическая мощность пропорциональна квадрату скорости звука.
- б) В состав согласующих цепочек всегда входят индуктивности.

в) Типичные частоты ультразвука в акустооптике – десятки кГц.

г) Дифракция Рамана-Ната наблюдается на низких звуковых частотах и при не слишком большой длине взаимодействия.

д) Для а/о – фильтров используются только оптически-изотропные кристаллы.

### *Вариант 3*

#### Указать правильные утверждения:

а) Стекла обладают низкими значениями акустооптического качества  $M_2$ .

б) Светозвукопровод (СПЗ) всегда имеет форму прямоугольного параллелепипеда.

в) В одноосных отрицательных кристаллах, используемых в а/о фильтрах, падающий и дифрагированный лучи и звуковая волна направлены перпендикулярно оптической оси.

г) Фотоупругие константы образуют тензор третьего ранга.

д) Верхним пределом для слабого поля является эффективность  $\eta=40\%$ .

### *Вариант 4*

#### Указать неправильные утверждения:

а) При слабом взаимодействии распределение поля дифрагированного света в дальней зоне совпадает с дифракционным распределением поля падающего света.

б) Акустооптические модуляторы могут использоваться для импульсного вывода излучения из резонатора.

в) Разрешение дефлектора обратно пропорционально его апертуре.

г) При низких значениях безразмерного параметра  $Q \ll 1$  наблюдается дифракция Брегга.

д) В анизотропных средах наблюдается только анизотропная дифракция.

### *Вариант 5*

Указать правильные утверждения:

- а) Процесс дифракции света на ультразвуковой волне можно представить как трехчастичное фотон-фононное взаимодействие.
- б) Типичные значения для числа разрешаемых однокоординатным дефлектором световых позиций – десятки тысяч.
- в) Пьезооптические коэффициенты безразмерны.
- г) Основная операция, выполняемая акустооптическими процессами – свертка двух сигналов: исследуемого и опорного.
- д) Перетяжка  $w_0$  соответствует радиусу светового пучка, для которого амплитуда излучения падает по сравнению с центром пучка в два раза.

*Вариант 6*

Указать неправильные утверждения

- а) Частота света в  $m$ -ном максимуме за счет эффекта Доплера сдвинута относительно частоты падающего света на величину, пропорциональную акустической частоте  $\Omega$  и равна  $\omega_m = \omega + m\Omega$ .
- б) Для присоединения пьезопреобразователей к СПЗ используется в том числе и холодная диффузионная сварка в вакууме.
- в) Пьезооптические коэффициенты имеют порядок  $0,1 \text{ см}^2/\text{дин}$ .
- г) Эффективность а/о – дифракции одинаковым образом зависит от коэффициента  $M_2$  и длины взаимодействия.
- д) Быстродействие фильтра определяется временем прохождения звуковой волны через область взаимодействия со светом.

*Вариант 7*

Указать правильные утверждения:

- а) Акустооптические дефлекторы (АОД) работают со световыми пучками, расходимость которых значительно меньше расходимости звукового поля.
- б) Максимальная прозрачность а/о – фильтра достигается при условии  $\Delta \bar{k} = 0$

в) Фотоупругие константы имеют порядок  $10^{-11}$ - $10^{-13}$ .

г) Коэффициент акустооптического качества  $M_2$  безразмерен.

д) Составляющие углового спектра, распространяющиеся в направлениях  $|\alpha| > \pi/2$ , затухают

При выполнении лабораторной работы главным является знание и понимание того, что предстоит сделать, как это можно осуществить с помощью данного оборудования, и умение объяснить физику процессов и явлений, изучаемых в работе.

Приступив к работе, следует строго соблюдать указанный порядок выполнения экспериментальной и расчетной частей работы. Особенно важно строго соблюдать все установленные в лаборатории правила техники безопасности.

При защите лабораторной работе на основе полученных экспериментальных данных, проведенных расчетов и погрешности необходимо дать толкование физических процессов, которые протекали в эксперименте.

**Промежуточная аттестация** проводится в форме экзамена.

Контрольные вопросы к экзамену:

1. Явление акустооптического взаимодействия. Дифракция Рамана - Ната и Брэгга.
2. Распределение дифрагированного поля в дальней зоне.
3. Коэффициент акустооптического качества  $M_2$ .
4. Распределение светового поля в дальней зоне при сильном и слабом акустооптическом взаимодействии.
5. Решение волнового уравнения для дифракции Рамана-Ната и Брэгга.
6. Виды векторных диаграмм.
7. Критерий перехода между режимами Рамана-Ната и Брэгга.
8. Дифракция при гауссовом распределении амплитуды светового поля.
9. Трехчастичное фотон-фононное взаимодействие. Векторные диаграммы.
10. Дифракция при гауссовом распределении амплитуды светового поля.

11. Дифракция плоской световой волны. Режим Брэгга.
12. Зависимость эффективности дифракции от расходимости света и звука.
13. Эффективность акустооптического устройства. Акустооптические материалы.
14. Теория дифракции расходящейся световой волны. Случай произвольного распределения светового поля.

## VII. Материально-техническое обеспечение

Наименование специальных* помещений	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
Учебно-научная лаборатория радиоэлектроники и микроэлектроники № 25 (170002 Тверская обл., г. Тверь, Садовый пер., д. 35)	1. ПК Pentium 4 2 Компьютер Intel Original LGA1155 Core i5-3470, монитор AOC 23" e2370Sd 3 Компьютер iRU Corp 510 I5-2400/4096/500/G210-512/DVD-RW/W7S/монитор E-Machines E220HQVB 21.5" 4 Принтер Samsung лазерный (2 шт) 5 Спектрометр ИКС-29 6 Программно-аппаратный комплекс для микроанализа и морфологического анализа поверхности (микроскоп) 7 Дифрактометр рентгеновский ДСО-2 для уточнения ориентации монокристаллов 8 Электронно-оптический комплекс для анализа морфологии кристаллов NanoMap-1000WLI 9 Измеритель магнитной индукции 10 Испытатель транзисторов и диодов Л2-54 11. Линия волновод	Microsoft Windows 10 Enterprise - Акт на передачу прав №785 от 06.08.2021 г. MS Office 365 pro plus - Акт на передачу прав №1051 от 05.08.2020 г. Kaspersky Endpoint Security для Windows - Акт на передачу прав №1842 30.11.2020 Архиватор 7-Zip - бесплатно Acrobat Reader DC - бесплатно Google Chrome – бесплатно Unreal Commander - бесплатно Почта Outlook - бесплатно Origin 8.1 Sr2 - договор №13918/M41 от 24.09.2009 с ЗАО «СофтЛайн Трейд»;

Акустооптический дефлектор, акустооптический фильтр, источники излучения, ВЧ-генератор, тепловизионная техника, оптические элементы, оптический стол, оптические измерительные приборы.

### **VIII. Сведения об обновлении рабочей программы дисциплины**

№ п.п.	Обновленный раздел рабочей программы дисциплины	Описание внесенных изменений	Реквизиты документа, утвердившего изменения
1.			
2.			