

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Сердитова Наталья Евгеньевна
Должность: проректор по образовательной деятельности
Дата подписания: 21.08.2025 10:48:07
Уникальный программный ключ:
6cb002877b2a1ea640fdebb0cc541e4e05322d13

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

Утверждаю:

Руководитель ООП

Е.В. Барабанова

«26» июня 2025 г.



Рабочая программа дисциплины (с аннотацией)

Акустооптика

Направление подготовки

03.04.03. Радиофизика

профиль

Физика и технология материалов и устройств радиоэлектроники

Для студентов

2 курса очной формы обучения

Составитель: к.ф.-м.н. Третьяков С.А.

Тверь, 2025

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. Оперирует 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	
1. Качественное описание акустооптической дифракции. 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
2. Векторные диаграммы. 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
3. Дифракция плоской световой волны в режиме Рамана-Ната. 3.1. Уравнения Максвелла для среды, возмущенной ультразвуковой волной. 3.2. Расходимости световой и звуковой волн.	12	2		2		8
4. Дифракция плоской световой волны. Режим Брэгга. 4.1. Уравнения связанных волн. 4.2. Вывод формулы для интенсивности дифракционной волны.	12	2		2		8
5. Коэффициент акустооптического качества. 5.1. Тензор диэлектрической непроницаемости. 5.2. Тензор упругооптических коэффициентов. 5.3. Наведённая оптическая неоднородность.	15	4		4		7
6. Теория дифракции расходящейся световой волны. 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
7. Акустооптические материалы и	11	2		2		7

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

III. Образовательные технологии

Учебная программа-наименование разделов и тем	Вид занятия	Образовательные технологии
1. Качественное описание акустооптической дифракции. 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>
2. Векторные диаграммы. 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>
3. Дифракция плоской световой волны в режиме Рамана-Ната. 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>
4. Дифракция плоской световой волны. Режим Брэгга. 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>
5. Коэффициент акустооптического качества. 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.		
6. Теория дифракции расходящейся световой волны. 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>
7. Акустооптические материалы и элементы акустооптических устройств. 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>
8. Акустооптические устройства. 8.1. Модуляторы. 8.2. Дефлекторы. 8.3. Фильтры.	<i>Лекция</i>	<i>Активное слушание. Групповое решение задач. Самостоятельное изучение теоретического материала</i>
9. Применение акустооптических устройств. 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;	1. Указать правильные утверждения: 2. а) Фотоупругие константы безразмерны. 3. б) В слабом поле интенсивность отклоненного поля пропорциональна акустической константе. 4. в) При дифракции Брэгга свет испытывает только фазовые возмущения. 5. г) В отсутствие акустического возмущения ($\Delta\epsilon=0$) уравнения связанных волн становятся независимыми. д) В формуле Гордона H – это длина a /о – взаимодействие.	☐ Задание выполнено полностью – 10 баллов; ☐ Задание выполнено частично, с замечаниями - 7 баллов; ☐ Задание выполнено с ошибками - 5 баллов; неуд. – менее 5 баллов «3» 5 баллов - «4» 7 баллов - «5» 10 баллов
ПК-2.2. Оперирует технологическим и измерительным оборудованием, организует контроль за работой оборудования	Рассчитать угол дифракции лазерного излучения, проходящего через кристалл парателлурита в направлении оптической оси, если известны частота ультразвуковых колебаний и длина волны излучения. Рассчитать угол Брэгговского синхронизма	☐ Задание выполнено полностью – 10 баллов; ☐ Задание выполнено частично, с замечаниями - 7 баллов; ☐ Задание выполнено с ошибками - 5 баллов; неуд. – менее 5 баллов «3» 5 баллов - «4» 7 баллов - «5» 10 баллов

	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.	☐ Задание выполнено полностью – 10 баллов; ☐ Задание выполнено частично, с замечаниями - 7 баллов; ☐ 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.	☐ Задание выполнено полностью – 10 баллов; ☐ Задание выполнено частично, с замечаниями - 7 баллов; ☐ 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. Лентовский, В. В. Оптическое материаловедение : учебное пособие / В. В. Лентовский, Т. Н. Князева, Д. Л. Федоров. — Санкт-Петербург : БГТУ "Военмех" им. Д.Ф. Устинова, 2021. — 48 с. — ISBN 978-5-907324-43-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/220247>

3. 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.

4. 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

Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows

Adobe Acrobat Reader

Google Chrome

OpenOffice

Notepad++

Origin 8.1 Sr2

Многофункциональный редактор ONLYOFFICE

VLC media player

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;

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 акустоотике – десятки кГц.

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

д) Для a/o – 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 a/o 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 Ω 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
Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, Лекционная аудитория № 28 (170002 Тверская обл., г. Тверь, Садовый пер., д. 35)	1 Экран настенный Screen Media 153x203 2. Комплект учебной мебели на 24 посадочных места 3. Меловая доска 4. ПК 5. проектор EPSON EB-X05 с потолочным креплением	Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows Adobe Acrobat Reader Google Chrome Notepad++ Многофункциональный редактор ONLYOFFICE OpenOffice
Студенческое конструкторское	1. Микротвердомер	Kaspersky Endpoint Security

бюро № 41 (170002 Тверская обл., г. Тверь, Садовый пер., д. 35)	ПМТ-3 2. Объект-микрометр ОМО 3. Компьютер+монитор Intei Original LGA1155 Core i5-3470+AOC 23" e2370Sd 4. Прессик минералогический ручной ПМП-П 5. Системный блок AS P4 6. Сканер HP SJ G4010 A4 7. Спектрометр ИКС-29 8. Вольтметр селективный В6-9 9. Газовый лазер ЛГН-118-3В 10. Принтер HP LJ P 1005 11. Комплекс оборудования для проведения оптических измерений 12. Монитор BenQ 13. тепловизор FLIR T250	10 для Windows Adobe Acrobat Reader Google Chrome OpenOffice Notepad++ Origin 8.1 Sr2 Многофункциональный редактор ONLYOFFICE VLC media player
---	---	---

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.			