

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Радиофизический факультет

УТВЕРЖДАЮ:
Декан

А. Г. Коротаев

Рабочая программа дисциплины

Прикладная оптика

по направлению подготовки

12.03.02 Оптотехника

Направленность (профиль) подготовки :
Оптико-электронные приборы и системы

Форма обучения
Очная

Квалификация
Бакалавр

Год приема
2025

СОГЛАСОВАНО:
Руководитель ОП
И.В. Самохвалов

Председатель УМК
А.П. Коханенко

Томск – 2025

1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ОПК-1 Способен применять естественнонаучные и инженерные знания, методы математического анализа и моделирования в инженерной деятельности, связанной с проектированием и конструированием, технологиями производства оптоэлектроники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов.

УК-8 Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности в различных средах для сохранения природной среды и обеспечения устойчивого развития общества.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИОПК 1.1 Умеет применять знания математики в профессиональной деятельности при моделировании и проектировании;

ИОПК 1.2 Умеет применять инженерные знания в профессиональной деятельности;

ИОПК 1.3 Умеет применять знания естественных наук в инженерной практике;

ИУК 8.3 Обеспечивает безопасные и / или комфортные условия труда на рабочем месте.

2. Задачи освоения дисциплины

– Освоить соответствующий математический аппарат и обеспечить получение знаний основных принципов построения и функционирования базовых типов оптических систем.

– Научиться применять понятийный аппарат и законы оптики для решения практических задач профессиональной деятельности, связанной с проектированием и конструированием, технологиями производства оптоэлектроники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов.

3. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к Блоку 1 «Дисциплина (модули)».

Дисциплина относится к части образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений, является обязательной для изучения.

4. Семестр(ы) освоения и форма(ы) промежуточной аттестации по дисциплине

Пятый семестр, экзамен

5. Входные требования для освоения дисциплины

Для успешного освоения дисциплины требуются результаты обучения по следующим дисциплинам: «Математический анализ», «Физика», «Основы оптики», «Теория вероятностей и математическая статистика», «Векторный и тензорный анализ».

6. Язык реализации

Русский

7. Объем дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 6 з.е., 216 часов, из которых:

- лекции: 50 ч.
- лабораторные: 36 ч.
- практические занятия: 18 ч.
- практическая подготовка: 36 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

8. Содержание дисциплины, структурированное по темам

Тема 1. Основы геометрической оптики и теории аберраций

Краткое содержание темы. Основные законы и положения геометрической оптики. Гомоцентрический и астигматический пучки. Оптическая длина пути. Принцип Ферма. Дисперсия света. Оптическое стекло и его постоянные.

Тема 2. Преломление лучей света сферической поверхностью

Краткое содержание темы. Центрированная оптическая система. Меридиональная и сагиттальная плоскости. Правила знаков: для отрезков; для углов. Инвариант Аббе для сферической поверхности. Параксиальные лучи. Уравнение нулевого луча. Переднее и заднее фокусные расстояния. Формула Ньютона. Уравнение нулевого луча для сферического зеркала (Формула сферического зеркала).

Тема 3. Теория идеальной оптической системы (ИОС)

Краткое содержание темы. Основные предположения теории идеальной оптической системы (ИОС). Кардинальные точки системы (передний и задний фокусы системы, главные точки; фокальные плоскости, главные плоскости). Графическое построение изображений с использованием свойств кардинальных точек. Основные формулы для сопряжённых точек ИОС. Основные характеристики ИОС: линейное и угловое увеличение ИОС; узловые точки и узловые плоскости ИОС; продольное увеличение ИОС. Двухкомпонентная ИОС с общей осью симметрии: исходные параметры двухкомпонентной ИОС; положение переднего и заднего фокусов двухкомпонентной ИОС; положение главных плоскостей двухкомпонентной ИОС; линейно увеличение двухкомпонентной ИОС. Схема расчёта хода лучей через многокомпонентную ИОС. Расчёт параметров телескопической (афокальной) ИОС. Расчёт параметров оптической системы микроскопа. Определение фокусных расстояний преломляющих поверхностей: одна преломляющая поверхность; система двух преломляющих поверхностей (линза); сферическое зеркало. Классификация оптических систем (диоптрические, катоптрические, катодиоптрические) и т. д.

Тема 4. Ограничение пучков в оптических системах.

Краткое содержание темы. Диафрагмы и их роль в ОС. Апертурная (действующая) диафрагма. Входной и выходной зрачки (их расположение на оптической оси). Главные лучи. Полевая диафрагма. Виньетирование. Ограничение пучков в простейших оптических системах: а) лупа; б) фотографический объектив; в) зрительная труба Кеплера; г) зрительная труба Галилея.

Глаз, как оптическая система. Изображение пространственно-протяжённых объектов: а) проективное изображение; б) плоскость наведения; в) ортоскопическое изображение. Нерезкость изображения на плоскости. Глубина изображаемого пространства.

Тема 5. Аберрации оптических систем

Краткое содержание темы. Условия получения идеального изображения: а) изображение точки, расположенной на оптической оси (уравнение анаберрационной поверхности); б) изображение отрезков (закон косинусов); в) определение (понятие) аберраций оптических систем. Сферическая аберрация: а) каустика; б) продольная сферическая аберрация; в) сферическая аберрация положительных и отрицательных линз. Кома: а) меридиональная кома и её мера; б) условие синусов; в) апланатическое изображение; г) условие изопланатизма. Астигматизм и кривизна поля изображения. Дисторсия. Хроматические аберрации: хроматические аберрации положения изображения, увеличения; б) способы ахроматизации тонких линз.

9. Текущий контроль по дисциплине

Текущий контроль по дисциплине проводится путем контроля посещаемости, проведения контрольных работ, тестов по лекционному материалу, выполнения домашних заданий и фиксируется в форме контрольной точки не менее одного раза в семестр.

Контрольные вопросы для самостоятельной работы.

1. Сформулировать законы геометрической оптики
2. Гомоцентрический и астигматический пучки
3. Оптическая длина пути
4. Принцип Ферма
5. Центрированная оптическая система
6. Правила знаков: для отрезков, для углов
7. Инвариант Аббе для сферической поверхности
8. Параксиальные лучи
9. Уравнение нулевого луча.
10. Переднее и заднее фокусные расстояния ОС
11. Формула Ньютона
12. Дать определение идеальной оптической системе (ИОС)
13. Основные предположения теории ИОС
14. Кардинальные точки системы
15. Сопряжённые точки, отрезки, плоскости ИОС
15. Графическое построение изображений с использованием свойств кардинальных точек
16. Формула Ньютона для сопряжённых точек ИОС
17. Линейное или поперечное увеличение ИОС
18. Формула Гаусса для отрезков на оси ИОС
19. Уравнения Лагранжа - Гельмгольца (первого и второго рода)
20. Оптическая сила системы (сходимость пучка лучей)
21. Угловое увеличение ИОС
22. Узловые точки и узловые плоскости ИОС
23. Продольное увеличение ИОС
24. Дать определение и нарисовать схему двухкомпонентной ИОС с общей осью симметрии
25. Как определить положение переднего и заднего фокусов двухкомпонентной ИОС?
26. Как определить положение главных плоскостей двухкомпонентной ИОС?
27. Линейное увеличение двухкомпонентной ИОС
28. Схема расчёта хода лучей через многокомпонентную ИОС
29. Пояснить схему расчёта параметров телескопической (афокальной) ИОС
30. Пояснить схему расчёта параметров оптической системы микроскопа
31. Как определить фокусные расстояния сферической преломляющей поверхности?
32. Как определить фокусное расстояние сферического зеркала?
33. Чем отличаются оптические системы: диоптрические, катоптрические, катодиоптрические?
33. Что такое диафрагма и её роль в оптических системах?
34. Апертурная (действующая) диафрагма
35. Дать определение входного и выходного зрачков ОС
36. Какие лучи называют главными, крайними?
36. Как определить: какая диафрагма в оптической системе является полевой?
37. Что такое виньетирование?
38. Как происходит ограничение пучков света в лупе?
38. Как происходит ограничение пучков света в фотографическом объективе?
38. Как происходит ограничение пучков света в зрительной трубе Кеплера?
39. Как происходит ограничение пучков света в зрительной трубе Галилея?

40. Нарисовать эквивалентную оптическую систему глаза.
41. Как изображаются пространственно-протяжённые объекты ОС?
42. Что такое плоскость наведения?
43. Дать определение понятию «ортоскопическое изображение»
43. Почему изображения пространственно протяжённых объектов не могут быть стигматическими?
44. Что такое глубина изображаемого пространства?
45. Что такое аберрации оптических систем?
46. Как получить выражение для анаберрационной преломляющей поверхности?
48. Сферическая аберрация (продольная, поперечная) и что такое каустика?
49. Чем отличается сферическая аберрация положительных и отрицательных линз?
49. Кома: меридиональная кома и её мера, условие синусов, апланатическое изображение, условие изопланатизма
50. В чём заключается астигматизм и кривизна поля изображения?
51. Дисторсия: причина, виды дисторсии.
52. Дать определение хроматических аберраций и объяснить физическую природу?
53. Перечислить способы ахроматизации тонких линз.

Примеры задач для практических занятий

1. Определить размер изображения, образованного линзой, если предмет имеет размер $y = 10$ мм и находится перед линзой на расстоянии 120 мм. Фокусное расстояние линзы $f' = 60$ мм.
2. Предмет имеет размер $y = 10$ мм, изображение $y' = -40$ мм. Определить фокусное расстояние тонкой линзы, если расстояние между предметом и изображением 500 мм.
3. Тонкая линза имеет $f' = 100$ мм. Предмет расположен в бесконечности. Апертурная диафрагма диаметром 10 мм расположена перед линзой на расстоянии 20 мм. Определить диаметр выходного зрачка и его расстояние от объектива.
4. Предмет имеет размер $y = 24$ мм, изображение $y' = -120$ мм. Определить фокусное расстояние тонкой линзы, если расстояние между предметом и изображением 600 мм.
5. Оптическая система состоит из двух компонентов, расположенных на расстоянии $d = 100$ мм, фокусное расстояние первого компонента $f_1' = -50$ мм, второго компонента $f_2' = 50$ мм. Определить фокусное расстояние всей системы.
6. Тонкая линза имеет фокусное расстояние $f' = 50$ мм. Позади линзы на расстоянии 20 мм установлена апертурная диафрагма диаметром 10 мм. Найти размер и положение входного и выходного зрачков.
7. Изображение Солнца сфокусировано на листе бумаги с помощью линзы с фокусным расстоянием 50 мм и световым диаметром 10 мм. Определить диаметр изображения и освещённость, полагая, что яркость Солнца $L_{\text{Солн}} = 1,5 \cdot 10^9$ Кд/м², а его угловой диаметр $2\omega = 30'$. Коэффициент пропускания линзы принять $\tau = 0,9$.
8. Предмет находится в передней фокальной плоскости лупы с $f' = 25$ мм. Каково видимое увеличение лупы?

Примерные темы семинарских занятий

- Основные законы геометрической оптики. Полное внутренне отражение и его техническое применение.
- Плоские зеркала. Изображение в плоском зеркале. Отражение от нескольких плоских зеркал. Плоскопараллельная пластинка.
- Отражательные призмы. Классификация призм. Призмы с одним отражением. Призмы с двумя и тремя отражениями. Расчет призм. Призмы с крышей.
- Сферические и асферические зеркала. Формулы идеальной оптической системы для зеркал. Анаберрационные зеркальные поверхности.

- Оптические системы для диапроекции. Типы конденсоров.
- Глаз. Видимое увеличение. Видимое увеличение лупы. Видимое увеличение при фотографировании и проекции.

Темы лабораторных занятий

- Глаз как оптическая система
- Определение фокусного расстояния лупы
- Определение размеров мелкого предмета с помощью микроскопа
- Определение размеров удаленного предмета с помощью зрительной трубы
- Определение размеров предмета с помощью фотографического объектива

10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации

Экзамен в пятом семестре проводится в устной форме по билетам. Продолжительность экзамена 1,5 часа.

Экзаменационный билет состоит из двух вопросов по двум темам дисциплины. Вопросы в экзаменационном билете проверяют ИОПК 1.1, ИОПК-1.2, ИОПК 1.3. Ответы на вопросы даются в развернутой форме.

Уровень сформированности ИУК 8.3 оценивается в процессе защиты отчетов по лабораторным работам, как формы текущего контроля. **Успешная защита отчетов по лабораторным работам** является основанием для допуска обучающегося к промежуточной аттестации по данной дисциплине.

Примеры экзаменационных билетов к устному экзамену:

Экзаменационный билет № N1

1. Центрированная оптическая система. Меридиональная и сагиттальная плоскости. Инвариант Аббе для сферической поверхности. Параксиальные лучи.
2. Эквивалентная оптическая система глаза и её характеристики. Разрешающая способность глаза (как её оценить).

Экзаменационный билет № N2

1. Преломление луча света сферической поверхностью. Уравнение нулевого луча. Переднее и заднее фокусные расстояния. Формула Ньютона.
2. Сферическая абберрация (определение): продольная и поперечная сферические абберрации; сферическая абберрация положительных и отрицательных линз; каустика.

Экзаменационный билет № N3

1. Идеальная оптическая система (определение). Основные положения теории ИОС. Кардинальные точки системы (передний и задний фокусы, главные точки; фокальные плоскости, главные плоскости). Графическое построение изображений с использованием свойств кардинальных точек.
2. Кома (определение): меридиональная кома и её мера; условие синусов; апланатическое изображение.

Экзаменационный билет № N4

1. Двухкомпонентная ИОС с общей осью симметрии: исходные параметры двухкомпонентной ИОС; положение переднего и заднего фокусов двухкомпонентной ИОС; положение главных плоскостей двухкомпонентной ИОС; линейно увеличение двухкомпонентной ИОС.
2. Дисторсия. Оптическая длина пути.

Экзаменационный билет № N5

1. Ограничение пучков в оптических системах. Диафрагмы и их роль в ОС. Апертурная (действующая) диафрагма. Входной зрачок (определение)
2. Хроматические абберрации: способы ахроматизации тонких линз

Результаты экзамена определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «не удовлетворительно». В соответствии с формируемыми

компетенциями ОПК-1, УК 8 и результатами освоения дисциплины ИОПК 1.1, ИОПК-1.2, ИОПК 1.3, ИУК 8.3 разработаны критерии оценок.

Компетенция	Индикатор компетенции	Критерии оценивания результатов обучения			
		Не удовлетворительно	Удовлетворительно	Хорошо	Отлично
ОПК-1 Способен применять естественнонаучные и инженерные знания, методы математического анализа и моделирования в инженерной деятельности, связанной с проектированием и конструированием, технологиями производства оптоэлектронных приборов и комплексов.	ИОПК 1.1 Умеет применять знания математики в профессиональной деятельности при моделировании и проектировании ИОПК 1.2 Умеет применять инженерные знания в профессиональной деятельности ИОПК 1.3 Умеет применять знания естественных наук в инженерной практике	Ограниченные или фрагментарные знания законов оптики, слабо сформированные навыки и умения при выполнении лабораторных работ и решении задач по оптике.	Общие, не структурированные знания законов оптики; в целом успешно применяемые навыки и умения демонстрируемые при выполнении лабораторных работ и решении практических задач по оптике. Нет чёткости в изложении фундаментальных законов и явлений в оптике.	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания основных законов оптики; успешно применяемые навыки и умения проявляемые при выполнении лабораторных работ и решении практических задач по оптике. Знает фундаментальные физические законы, описывающие оптические явления, но не уверенно их формулирует и объясняет.	Сформированные систематизированные знания основных законов оптики; успешная актуализация сформированных навыков и умений при выполнении лабораторных работ и практических заданий по дисциплине. Детально знает фундаментальные физические законы, описывающие оптические явления, уверенно их формулирует и объясняет.
УК-8 Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности в различных средах для сохранения природной среды и обеспечения устойчивого развития общества.	ИУК 8.3 Обеспечивает безопасные и / или комфортные условия труда на рабочем месте	Фрагментарные знания о создании безопасных условий труда при работе с оптическими приборами и интенсивными источниками оптического излучения.	Неполные знания о безопасных условиях труда при работе с оптическими приборами и интенсивными источниками оптического излучения.	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания о методике измерений оптических, фотометрических и электрических величин на рабочем месте.	Сформированные. системные знания о безопасных условиях труда, умение контролировать эти условия и создавать комфорт на рабочем месте.

11. Учебно-методическое обеспечение

а) Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете «Moodle» - <https://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=9940>

б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

в) Методические указания по проведению лабораторных работ, приведенные в электронном университете «Moodle» - <https://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=9940>

д) Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.

Для эффективного освоения дисциплины студентам рекомендуется:

- познакомиться со структурой курса, используя рабочую программу и электронный учебный ресурс (ЭУР);
- познакомиться с методическими рекомендациями по использованию электронного учебного курса;
- накануне занятия вспомнить материал предыдущих, используя конспекты учебного материала ЭУР (15 минут);
- накануне занятия ознакомиться с его примерным содержанием, используя учебный материал соответствующего раздела ЭУК (15 минут);
- изучать теоретический материал по конспекту и материалам, представленным в СДО Moodle (1 час в неделю);
- готовиться к практическим занятиям (1 час в неделю);
- работа с литературой в библиотеке (1 час в неделю).

12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

а) основная литература:

1. Гоголева Е. М. Прикладная оптика: учебное пособие / Е. М. Гоголева, Е. П. Фарафонтова; [научный редактор И. Д. Кашеев]. — Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2016. — 184 с. — ISBN 978-5-7996-1702-8. <http://hdl.handle.net/10995/40646>

2. Заказнов, Н. П. Теория оптических систем : учебное пособие / Н. П. Заказнов, С. И. Кирюшин, В. И. Кузичев. — 4-е изд. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 448 с. — ISBN 978-5-8114-0822-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/210104> (дата обращения: 19.03.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

3. Половцев И.Г., Симонова Г.В. Оптическое приборостроение: учебное пособие для студентов вузов / под ред. И. В. Самохвалова; Том. гос. ун-т, Ин-т мониторинга климат. и экол. систем СО РАН. - Томск: Национальный исследовательский Томский государственный университет 2004. - 397 с. URL: <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000446447>

4. Агапов Н. Прикладная оптика. - Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2017. - 286 с. URL: <http://znanium.com/catalog/document?id=344709>.

5. Можаров, Г. А. Теория аберраций оптических систем : учебное пособие / Г. А. Можаров. — Санкт-Петербург : Лань, 2013. — 288 с. — ISBN 978-5-8114-1439-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/12936> (дата обращения: 19.03.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

б) дополнительная литература:

1. Задачник по прикладной оптике : [учебное пособие для вузов по направлению "Оптотехника"] /М. И. Апенко, Л. А. Запрягаева, И. С. Свешникова. М.: Высшая школа, 2003. 590 с.: ил. Изд. 2-е, перераб. и доп.

2. Бебчук Л.Г. и др. Прикладная оптика: учебное пособие / под ред. Н.П. Заказнова. – 2-е изд., стер. - СПб.: Изд-во «Лань», 2007. – 320 с.

3. Апенко М.И., Дубовик А.С. Прикладная оптика. – 2-е изд., перераб.. - М.: Наука, 1982. - 352 с.

4. Геометрическая оптика: учебное пособие / Б. П. Кошелев. Томск: Издательство Томского университета, 1989. 222 с.: ил.

5. Гвоздева Н.П., Коркина К.И. Теория и оптических систем и оптические измерения. – М.: Машиностроение, 1981. – 384 с.

6. Турыгин И.А. Прикладная оптика: Геометрическая оптика и методы расчёта оптических систем. М.: машиностроение, 1981. 432с.

7. Суханов И.И. Основы оптики. Теория оптического изображения: учебное пособие — Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2015. — 108 с. URL: <https://www.iprbookshop.ru/91641.html>.

в) ресурсы сети Интернет:

– открытые онлайн-курсы,

– электронный учебный ресурс в системе дистанционного обучения MOODLE.

13. Перечень информационных технологий

а) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

– Microsoft Office Standart 2013 Russian: пакет программ. Включает приложения: MS Office Word, MS Office Excel, MS Office PowerPoint, MS Office OneNote, MS Office Publisher, MS Outlook, MS Office Web Apps (Word Excel MS PowerPoint Outlook);

– публично доступные облачные технологии (Google Docs, Яндекс диск и т.п.).

б) информационные справочные системы:

– Электронный каталог Научной библиотеки ТГУ – <http://chamo.lib.tsu.ru/search/query?locale=ru&theme=system>

– Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ – <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Index>

– ЭБС Лань – <http://e.lanbook.com/>

– Образовательная платформа Юрайт – <https://urait.ru/>

– ЭБС ZNANIUM.com – <https://znanium.com/>

– ЭБС IPRbooks – <http://www.iprbookshop.ru/>

14. Материально-техническое обеспечение

Аудитории для проведения занятий лекционного типа.

Аудитории для проведения занятий семинарского типа, индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.

Освоение дисциплины обеспечено наличием учебной лаборатории по «ПРИКЛАДНОЙ ОПТИКЕ» на кафедре оптико-электронных систем и дистанционного зондирования НИ ТГУ, где имеются унифицированные комплексы оптических приборов, позволяющих ставить лабораторные работы по всем разделам программы, а также компьютерные рабочие места для обработки результатов и моделирования характеристик оптических приборов и систем.

Для работы с ЭУК и ресурсами сети Интернет на Радиофизическом факультете имеются компьютерные классы с рабочими местами, имеющими необходимое программное обеспечение и выход в Интернет.

15. Информация о разработчиках

Самохвалов Игнатий Викторович, докт. физ.-мат. наук, профессор, кафедры ОЭСиДЗ НИ ТГУ, профессор