

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

Радиофизический факультет

УТВЕРЖДАЮ:
Декан

__А. Г. Коротаев

Рабочая программа дисциплины

Оптика атмосферы

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 общетехнические знания, методы математического анализа и моделирования в инженерной деятельности, связанной с проектированием и конструированием, технологиями производства оптоэлектроники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов.

ПК-2 Способен к анализу, расчёту, проектированию и конструированию в соответствии с техническим заданием типовых систем, приборов, деталей и узлов оптоэлектроники на схемотехническом и элементном уровнях, в том числе с использованием систем автоматизированного проектирования.

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 общетехнические знания в профессиональной деятельности

ИОПК 1.3 Умеет применять знания естественных наук в инженерной практике

ИПК 2.1 Разрабатывает функциональные и структурные схемы оптоэлектроники, определяет физические принципы действия устройств в соответствии с техническими требованиями с использованием теоретических методов и программных средств проектирования и конструирования

ИПК 2.2 Разрабатывает, реализует и применяет в профессиональной деятельности различные численные методы, в том числе реализованные в готовых библиотеках при решении конкретных оптических задач.

ИПК 2.3 Разрабатывает проектно-конструкторскую и техническую документацию на всех этапах жизненного цикла оптических, оптико-электронных приборов в соответствии с требованиями технического задания, стандартов качества, надёжности, безопасности и технологичности с использованием систем автоматизированного проектирования

2. Задачи освоения дисциплины

1. Сформировать у обучающихся необходимый объем знаний в области взаимодействия оптических волн со средой;
2. познакомить с вопросами распространения оптических волн в атмосфере;
3. обучить методикам проведения научных исследований по распространению лазерного излучения в атмосфере;
4. научить применять законы распространения оптических волн при разработке устройств, работающих через атмосферу;
5. изучить основные природные явления в атмосфере, требующие их учета при создании ОЭС, работающих через атмосферу;
6. научить пользоваться технической и научной литературой в отечественных и зарубежных источниках информации по исследованию природных сред (атмосфера, океан, земная поверхность).

3. Место дисциплины в структуре образовательной программы

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

Дисциплина относится к части образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений, предлагается обучающимся на выбор. Дисциплина входит в модуль Модуль. Физические основы дистанционного зондирования.

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

Шестой семестр, экзамен

5. Входные требования для освоения дисциплины

Для успешного освоения дисциплины требуются результаты обучения по следующим дисциплинам: Математический анализ, Физика, Аналитическая геометрия, Линейная алгебра, Введение в специальность. Основы оптики, Физическая оптика, Прикладная оптика, Фотометрия.

6. Язык реализации

Русский

7. Объем дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 з.е., 108 часов, из которых:

-лекции: 30 ч.

в том числе практическая подготовка: 36 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

8. Содержание дисциплины, структурированное по темам

Тема 1. Строение атмосферы

Происхождение атмосферы. Общая характеристика планеты Земля. Форма Земли. Принципы деления атмосферы на слои. Верхняя граница атмосферы. Понятие о воздушных массах и фронтах. Атмосферный озон O_3 . Газовый состав атмосферы. Распределение водяного пара и озона в атмосфере. Изменение давления и температуры с высотой. Аэрозольные частицы в атмосфере. Концентрация аэрозольных частиц. Пограничный слой атмосферы. Слой турбулентного перемешивания. Тропосфера и стратосфера. Средняя атмосфера. Спектр размеров частиц. Глобальная модель распределения частиц по размерам. Характеристика частиц дымки, капель туманов, облаков и дождя. Антропогенное загрязнение атмосферы. Источники загрязнения. Критерии качества атмосферного воздуха и последствия загрязнения атмосферы. Загрязнение атмосферы в городах и промышленных районах. Фоновое загрязнение атмосферы и пограничный перенос примесей. Моделирование и расчет загрязнения атмосферы.

Тема 2. Радиационные процессы в атмосфере

Спектральное пропускание (поглощение). Коэффициент поглощения. Функция пропускания, функция поглощения, интегральное поглощение. Закономерности поглощения оптической радиации отдельной линией и группами перекрывающихся линий. Модели полос поглощения. Модель Эльзасера. Статистическая модель. Комбинированная модель. Квазистатистическая модель. Общие выводы. Общая характеристика спектров поглощения атмосферными газами. Действительные и кажущиеся отклонения от закона Бугера. Молекулярное рассеяние света в атмосфере. Теория Рэлея. Излучение диполя. Необходимость усовершенствования теории Рэлея. Решение уравнений Максвелла и материальных уравнений. Учет оптической анизотропии молекул. Абсолютные значения прозрачности атмосферы. Рассеяние оптических волн сферическими частицами (рассеяние Ми). Физические принципы рассеяния на частице. Исходные уравнения и граничные условия. Потенциалы Дебая. Уравнения для потенциалов. Решение для дифрагированных полей и интенсивностей. Общие выводы. Коэффициенты рассеяния, поглощения, ослабления. Матрица рассеяния. Фактор эффективности рассеяния и его физический смысл. Частные случаи теории рассеяния света сферической частицей. Рассеяние оптических волн системой многих частиц в случае разреженной среды. Объемный коэффициент рассеяния. Границы применимости закона Бугера. Когерентное и не когерентное рассеяние. Волновой подход к решению задачи рассеяния на системе частиц. Интенсивность рассеянного пучка.

Тема 3. Видимость в атмосфере

Закон Вебера-Фехнера. Понятие контрастной яркости. Световоздушное уравнение. Уравнение пассивного зондирования атмосферы. Уравнение дальности видимости реальных объектов. Метеорологическая дальность видимости. Видение лазерных пучков.

Тема 4. Оптика атмосферного аэрозоля

Оптические характеристики аэрозоля. Оптические модели атмосферной дымки. Туманы, облака и гидрозоли. Вертикальный ход характеристик рассеяния. Модель аэрозольной атмосферы. Микрофизические и оптические характеристики дождя и снега.

Тема 5. Атмосферные явления, связанные с естественными оптическими сигналами

Рефракция оптических волн в атмосфере. Виды и типы рефракции. Уравнение траектории луча для сферически-слоистой атмосферы. Земная рефракция на аклонных трассах. Земная рефракция на горизонтальных трассах. Случайная рефракция. Спектральная зависимость оптической рефракции. Миражи. Оптические явления в атмосфере. Радуга. Сумерки. Гало. Венцы. Заря. Глория. Электрооптические эффекты в аэрозольной атмосфере при распространении излучения. Преломление света ледяными кристаллами. Преломление света каплями воды.

Тема 6. Атмосферная радиация (атмосферные фоновые помехи)

Фон рассеянного атмосферой солнечного излучения. Собственное излучение атмосферы. Люминесценция и резонансное рассеяние. Резонансная флуоресценция атмосферы. Уходящее длинноволновое излучение. Уходящее коротковолновое излучение. Альbedo системы земная поверхность – атмосферы. Отражение оптического излучения земной поверхностью. Радиационный баланс атмосферы.

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.

Примеры контрольных вопросов для самостоятельной работы:

1. Запишите выражения для характеристик поглощения оптически волн газовой средой: коэффициент поглощения, спектральное пропускание (поглощение), функция пропускания (поглощения), интегральное поглощение. Поясните их физический смысл.
2. В чем причина действительного и кажущегося отклонения от закона Бугера?
3. В чем различие Релевской и современной теории рассеяния оптических волн в атмосфере?
4. Опишите физические принципы рассеяния оптических волн на частице. Что объединяет теорию Релея и Ми.
5. Какие физические процессы лежат в основе образования 22° и 46° – градусных гало?
6. Объясните возникновение в атмосфере столбов света над источниками.
7. Как образуется радуга?
8. Что является причиной собственного и теплового свечения атмосферы?
9. Объясните резонансную флуоресценцию атмосферы.
10. Сформулируйте закон Вебера-Фехнера и понятие о контрасте яркостей.

10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации

Экзамен в шестом 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, ИПК 2.1, ИПК 2.2, ИПК 2.3. Ответы на вопросы даются в развернутой форме.

Решение задач и ответы на вопросы тестов по программе дисциплины является основанием для допуска обучающегося к экзамену по данной дисциплине.

Примеры вопросов к устному экзамену:

1. Газообразные и аэрозольные источники загрязнения атмосферы.
2. Закон Бугера в поглощающей и рассеивающей среде и границы его применимости.
3. Микрофизические и оптические характеристики дымок, туманов, облаков Дождя и снега.
4. Назовите основные особенности молекулярного рассеяния.
5. Основные особенности рассеяния МИ.
6. Уравнение траектории луча для одномерно-сферически-слоистой атмосферы .
7. Фон рассеянного атмосферой солнечного излучения.
8. Сумерки.
9. Альbedo системы земная поверхность-атмосфера.
10. Метеорологическая дальность видимости.
11. Радиационный баланс атмосферы

Примеры задач для самостоятельной работы

1. Показать, что для частного случая, когда коэффициент поглощения среды постоянный: $k(\nu) = \text{const} \in [\nu_1, \nu_2]$ $A = A(\nu)$.

2. Найти кривизну траектории в данной точке, которая определяется как

$$K = \frac{dZ}{dl}, \quad \text{где} \quad dl = \frac{dz}{\cos \xi(z)} - \text{элемент пути в слое толщиной } dz .$$

3. Разработайте методику экспериментального определения коэффициента поглощения для лазерного излучения.

4. Обоснуйте с какой целью вводятся структурные функции $D_n(\vec{r})$ и $D_T(\vec{r})$, характеризующие поле показателя преломления и температурное поле.

5. Используя выражения для параметра Ми $\rho = \frac{2\pi a}{\lambda}$, получить формулу для фактора эффективности в виде

$$K(\rho, m) = \frac{1}{\rho^2} \int_0^\pi (i_1 + i_2) \sin \theta d\theta.$$

Результаты экзамена определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Оценки «отлично» заслуживает обучающийся, который показал достаточно прочные знания основных положений учебной дисциплины, умение самостоятельно решать конкретные практические задачи, предусмотренные рабочей программой, ориентироваться в рекомендованной справочной литературе, умеет правильно оценить полученные результаты.

Оценка «хорошо» выставляется обучающемуся, который продемонстрировал отдельные пробелы в знании основных положений учебной дисциплины, мелкие неточности при самостоятельном решении конкретных практических задач, предусмотренных рабочей программой, умеет правильно оценить полученные результаты.

Оценка «удовлетворительно» выставляется обучающемуся, который показал неполные знания основных положений учебной дисциплины, неуверенное умение решать

конкретные практические задачи без помощи преподавателя, не умеет правильно оценить полученные результаты.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется обучающемуся, обнаружившему серьезные пробелы в знаниях основного материала изученной дисциплины, допустившему принципиальные ошибки в выполнении заданий, не ответившему на все вопросы билета и дополнительные вопросы и неправильно выполнившему практическое задание.

11. Учебно-методическое обеспечение

а) Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете «Moodle» - <https://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=00000>

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

в) Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.

Теоретические и практические занятия закрепляются самостоятельной работой студентов, которая включает изучение учебного материала в электронном учебном курсе, расположенном в системе Moodle, он-лайн тестирование по темам, а также выполнение контрольных заданий.

Самостоятельная работа студентов при изучении дисциплины (модуля) предусмотрена в следующих видах и формах:

- работа с лекционным материалом, поиск и обзор литературы и электронных источников информации по индивидуально заданной проблеме курса;
- работа в электронном курсе (изучение теоретического материала, выполнение индивидуальных заданий и оценивающих мероприятий и др.);
- изучение тем, вынесенных на самостоятельную проработку;
- поиск, анализ, структурирование и презентация информации;
- подготовка к оценивающим мероприятиям.

Для самостоятельной работы и дополнительного расширения круга знаний необходимо использовать литературу и ресурсы сети Интернет, приведенные в разделе 12.

12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

а) основная литература:

- Донченко В.А., Кабанов М.В. Самохвалов И.В. Распространение оптических волн в дисперсных средах. – Томск: Изд-во НТЛ, 2014. 460 с.
- Зуев В.Е. Прозрачность атмосферы для видимых и инфракрасных лучей. М.: Советское радио, 1966. 319 с.
- Шифрин К.С. Рассеяние света в мутной среде. М.: Книга по требованию, 2012. 289 с.
- Оптико-электронные системы экологического мониторинга природной среды: учебное пособие/Козинцев В.И., Орлов В.М., Белов М.Л. и др./ М.: Изд-во МГТУ, 2002. 528 с.
- Донченко В.А., Кабанов М.В., Кауль Б.В., Нагорский П.М., Самохвалов И.В. Электрооптические явления в атмосфере. Томск: Изд-во НТЛ, 2015. 316 с.
- Пудовкин О.Л. Основы атмосферной оптики. Открытая платформа электронных публикаций SPUBLER. Дата публикации: 2015-02-14- 78 с.
- Маккартни Э. Оптика атмосферы. М.: Мир, 1979. 422 с.
- Кабанов М.В. Атмосферные оптические помехи: Учебное пособие. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1991. 206 с.
- Тимофеев Ю.М., Васильев А.В. Основы теоретической атмосферной оптики. Учебно-методическое пособие. СПбГУ, 2007, 152 с.
- Гаврилов В.А. Видимость в атмосфере. Л.: Гидрометеиздат, 1966. 324 с.

б) дополнительная литература:

- Скворцов Л.А. Лазерные методы дистанционного обнаружения химических соединений на поверхности тел. М.: Техносфера, 2014. 208 с.
 - Привалов В.Е., Фотиади А.Э., Шеманин В.Г. Лазеры и экологический мониторинг атмосферы: Учебное пособие. СПб.: «Лань», 2013. 288 с.
 - Г. ван де Хюлст. Рассеяние света малыми частицами. М.: ИЛ, 1961. 536 с.
 - Трофимов Т.И., Фирсов А.В.. Колебания и волны: Учеб пособие для студ. технич. специальностей вузов. – М.: Изд-й центр «Академия», 2003. 256 с.
 - Бутиков Е.И. Оптика: учебное пособие. Изд. 2е, переработанное и дополненное. СПб.: Невский Диалект; БХВ-СПб, 2003. 480 с.
 - Саржевский А.М. Введение в волновую теорию света, Электромагнитная природа света. М.: Едиторил УРСС, 2004. 608 с.
 - Атмосфера (справочник). Л.: Гидрометеиздат, 1991. 511 с.
 - Тимофеев Ю.М., Васильев А.В. Теоретические основы атмосферной оптики. СПб: Наука, 2003. 335 с.
- в) ресурсы сети Интернет:
- открытые онлайн-курсы

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 On-eNote, MS Office Publisher, MS Outlook, MS Office Web Apps (Word Excel MS PowerPoint Outlook);

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/>
- ЭБС Консультант студента – <http://www.studentlibrary.ru/>
- Образовательная платформа Юпайт – <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.

Помещения для самостоятельной работы, оснащенные компьютерной техникой и доступом к сети Интернет, в электронную информационно-образовательную среду и к информационным справочным системам.

15. Информация о разработчиках

Донченко Валерий Алексеевич, доктор физико-математических наук, профессор, НИ ТГУ, кафедра ОЭСидЗ, профессор