

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»**

УТВЕРЖДЕНО
Директор физтех-школы
аэрокосмических технологий
С.С. Негодяев

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Физические основы дистанционного зондирования
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Геокосмические науки и технологии Физтех-школа Аэрокосмических Технологий кафедра систем, устройств и методов геокосмической физики
курс:	4
квалификация:	бакалавр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

7 (осенний) - Зачет

8 (весенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 105 всего, в том числе:

лекции: 60 час.

семинары: 45 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 90 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 225, всего зач. ед.: 5

Количество контрольных работ, заданий: 2

Программу составил: Т.В. Кондранин, д-р физ.-мат. наук, профессор

Программа обсуждена на заседании кафедры систем, устройств и методов геокосмической физики 04.06.2020

Аннотация

Курс «Физические основы дистанционного зондирования (ДЗ)» представляет собой последовательное изложение принципов функционирования авиакосмических систем (ДЗ), фундаментальных основ физических механизмов формирования сигнала в виде электромагнитного, в общем случае поляризованного излучения, в различных диапазонах спектра в системе «пассивный и/или активный источник излучения (ИИ) – атмосфера (А)– подстилающая поверхность (ПП), моделирующая реальные природные образования – атмосфера (А) – приемник излучения (ПИ) на борту авиационного и/или космического носителя». В курсе также изучаются математические, в том числе приближенные («оперативные или быстрые») методы расчета такого сигнала (прямая задача), и методы решения обратных, некорректных задач восстановления свойств А и/или ПП по результатам измерения сигнала.

В результате освоения курса студент должен получить новые знания в междисциплинарной области, к которой относятся технологии ДЗ, являющиеся важной составной частью современной космической информатики. Практически значимым результатом освоения курса является формирование у обучающегося компетенций, способствующих творческому подходу к решению существующих и перспективных прямых, и обратных задач ДЗ, связанных как с проектированием новой спутниковой аппаратуры, обработкой многоспектральных и гиперспектральных изображений ДЗ, используемых в области климатологии, метеорологии, океанологии, рационального природопользования, специальных задач наблюдения и распознавания и др. Курс является важной предпосылкой для изучения студентами ключевых дисциплин в рамках магистерской программы «Космические информационные системы. Связь, навигация, дистанционное зондирование».

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

- синтезирование знаний, полученных студентами на предыдущих этапах обучения по направлению «Прикладные математика и физика» и родственными направлениям подготовки бакалавриата, и новых знаний, приобретаемых в процессе изучения дисциплины, необходимых, как для расширения общетеоретической подготовки специалиста в области современных космических информационных систем, так и для практического использования в будущей профессиональной деятельности, связанной с совершенствованием существующих и разработкой перспективных технологий авиакосмического ДЗ.

Задачи дисциплины

- приобретение обучающимся фундаментальных знаний в области физических основ переноса и взаимодействия электромагнитного излучения (в общем случае поляризованного) со сплошной средой и границами раздела, моделирующих реальные природные образования и техногенные объекты; освоение современных математических методов решения прямых и обратных задач ДЗ;
- формирование у обучающихся понимания роли и места фундаментальных знаний, необходимых для решения задач, связанных с проектированием перспективной спутниковой аппаратуры, обработкой многоспектральных и гиперспектральных изображений ДЗ и их использования в области климатологии, метеорологии, океанологии, рационального природопользования, специальных задач наблюдения и распознавания и др.;
- приобретение навыков для качественных и количественных оценок ключевых характеристик, формирующих сигналы в оптико-электронных и СВЧ сенсорах авиакосмической аппаратуры ДЗ;
- научить обучающихся использовать общетеоретические знания в предметной области дисциплины при выполнении НИР и ВКР в бакалавриате и магистратуре, а также сформировать задел для успешного освоения дисциплин магистерской программы «Космические информационные системы. Связь, навигация, дистанционное зондирование» и родственных магистерских программ.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи

критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.2 Находит, критически анализирует и выбирает информацию, необходимую для решения поставленной задачи
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
ОПК-2 Способен использовать современные информационные технологии и программные средства при решении задач профессиональной деятельности, соблюдая требования информационной безопасности	ОПК-2.1 Способен применять современные вычислительную технику и сервисы сети Интернет в области (сфере) профессиональной деятельности
	ОПК-2.3 Знает основные требования информационной безопасности
ОПК-4 Способен осуществлять сбор и обработку научно-технической и (или) технологической информации для решения фундаментальных и прикладных задач	ОПК-4.1 Владеет методами научного поиска и интеллектуального анализа информации при решении задач профессиональной деятельности
	ОПК-4.2 Знает основные источники научно-технической и (или) технологической информации в области профессиональной деятельности
	ОПК-4.4 Владеет навыками работы с компьютером и компьютерными сетями с целью получения, хранения и обработки научной (технической, технологической) информации
ОПК-5 Способен участвовать в проведении фундаментальных и прикладных исследований и разработок, самостоятельно осваивать новые теоретические, в том числе, математические методы исследований, и работать на современной экспериментальной научно-исследовательской, измерительно-аналитической и технологической аппаратуре	ОПК-5.2 Обладает способностью к освоению новых знаний на основе изучения литературы, научных статей и других источников
ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики
	ПК-1.2 Имеет глубокое знание и понимание базовых математических дисциплин
	ПК-1.4 Умеет строить математические модели для описания и исследования процессов и явлений в соответствующих научных областях
	ПК-1.9 Знает перечень ведущих периодических научных изданий и способен выделять актуальные научные публикации в профессиональной области
ПК-2 Способен анализировать полученные в ходе научно-исследовательской работы данные и делать научные выводы (заключения)	ПК-2.1 Владеет методами статистической обработки и анализа научных данных
	ПК-2.2 Умеет находить ключевые параметры, определяющие изучаемое явление, и производить численные оценки по порядку величины
	ПК-2.3 Способен представлять научные утверждения, их обоснования и доказательства, научные проблемы и их решения ясно и точно в терминах, понятных для профессиональной аудитории, в письменной и устной форме
ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.1 Знает численные порядки величин, характерных для соответствующей профессиональной области
	ПК-4.2 Знает источники происхождения и умеет производить оценку погрешности измерений и достоверности экспериментальных результатов
	ПК-4.3 Способен обосновать причинно-следственные отношения используемых понятий и моделей

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны знать:

- ☐ основные направления применения аэрокосмических методов, используемых для дистанционного изучения атмосферы, поверхности Земли, морей и океанов, природно-техногенных объектов;
- ☐ законы излучения абсолютно черного тела (АЧТ) для вакуума, сред отличной от вакуума, инженерные методы расчета излучения АЧТ для конечных спектральных интервалов;
- ☐ основы теории взаимодействия естественного и поляризованного излучения с излучающими, поглощающими и рассеивающими сплошными средами в рамках феноменологического подхода;
- ☐ физические законы и физико-математические модели, лежащие в основе описания оптических свойств сплошной среды и подстилающей поверхности;
- ☐ основные понятия, определения и уравнения, используемые при постановке и решении; прямой задачи расчета поля излучения в вакууме и в неоднородной сплошной среде;
- ☐ общую постановку, методы упрощения и решения прямых и обратных задач ДЗ атмосферы и подстилающей поверхности Земли.

уметь:

- ☐ применять на практике основные понятия, физико-математические модели и методы решения прямых и обратных задач ДЗ;
- ☐ на основании метода оценок производить обоснование и упрощение постановки прямых и обратных задач ДЗ;
- ☐ производить численные оценки ключевых характеристик, формирующих поле излучения в вакууме и в поглощающей, рассеивающей и излучающей сплошной среде;
- ☐ формулировать постановку задачи расчета сигнала, регистрируемого гипотетическим ПИ;
- ☐ осваивать новые предметные области, теоретические подходы и экспериментальные методики, связанные с аэрокосмическими системами ДЗ.

владеть:

- ☐ навыками усвоения большого объема междисциплинарной информации в области физики атмосферы, теории переноса излучения, активного использования методов решения прямых и обратных задач в различных приложениях;
- ☐ культурой постановки и моделирования физических задач в области ДЗ и смежных предметных сферах;
- ☐ навыками постановки типовых задач синтеза оптико-электронных пассивных и активных космических систем ДЗ и представлениями о путях их решения.

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

4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Основы теории переноса лучистой энергии в сплошных средах	20	15		15
2	Прямая задача переноса излучения в системе «подстилающая поверхность-атмосфера» (основы теории)	10	15		15
3	Элементы физической гидродинамики		7		20
4	Обратные задачи дистанционного зондирования (основы теории)	30	4		20

5	Примеры решения прямых и обратных задач ДЗ		4		20
Итого часов		60	45		90
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		225 час., 5 зач.ед.			

4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 7 (Осенний)

1. Основы теории переноса лучистой энергии в сплошных средах

Основные направления применения методов ДЗ для изучения атмосферы и подстилающей поверхности. Общая характеристика методов ДЗ. Феноменологический подход в теории переноса излучения. Основные понятия. Законы излучения абсолютно черного тела (АЧТ). Уравнение переноса лучистой энергии (УПЛЭ) для излучающей, поглощающей и рассеивающей среды. Гипотеза о локальном термодинамическом равновесии. Граничные условия для УПЛЭ. Излучательные, поглощательные и отражательные характеристики нечерных поверхностей. Основные механизмы излучения, поглощения и рассеяния в газовых средах. Спектральные коэффициенты поглощения на примере двухатомной молекулы. Колебательно-вращательная (R-V) полоса молекулы. Диаграммы Фортра. Коэффициенты Эйнштейна, Интенсивность (сила) спектральной линии. Механизмы уширения спектральных линий. Контур Фойгта. Коэффициент и индикатриса рассеяния. Молекулярное (релеевское) и аэрозольное рассеяние. Основы теории Ми.

2. Прямая задача переноса излучения в системе «подстилающая поверхность- атмосфера» (основы теории)

Одномерная (плоскостратифицированная) модель переноса излучения. Альбеда однократного рассеяния. Граничные условия для системы «подстилающая поверхность- атмосфера». Трансформация излучения в нерассеивающей среде. Решение УПЛЭ в квадратурах. Спектральные функции пропускания и поглощения. Особенности осреднения по спектру решения УПЛЭ на примере гипотетических ИК – приемников. Эквивалентная ширина молекулярной R-V полосы. Эквивалентная ширина изолированной спектральной линии. Функция Ладенбурга-Райхе. Приближенные методы интегрирования по спектру решения УПЛЭ. Полинейные методы. Модели полос. Регулярная и статистическая модели. Приближенные методы решения прямой задачи для восходящего излучения в нерассеивающей среде. Диффузионное и эмиссионное приближения. Двухпараметрический метод Куртисса-Годсона. Решение УПЛЭ для поглощающей и рассеивающей среды в приближении однократного рассеяния. Расчет уходящего излучения в видимом диапазоне спектра в системе «гладкий океан - молекулярная атмосфера». Особенности переноса излучения в микроволновом диапазоне спектра.

Семестр: 8 (Весенний)

3. Элементы физической гидродинамики

Общие сведения об атмосфере Земли и основных гидродинамических процессах. Энергетический баланс в системе «Солнце-планета Земля». Простейшие модели парникового эффекта. Уравнения многокомпонентной гидродинамики с учетом переноса излучения. Проблема замыкания при феноменологическом описании. Примеры решения гидродинамических задач применительно к геофизике. Задача о тепловой конвекции в поле силы тяжести: адиабатический вертикальный градиент температуры в приземной атмосфере. Качественное и строгое (задача Релея) решение. Пи – теорема. Задача о сильном точечном взрыве в однородной газовой среде.

4. Обратные задачи дистанционного зондирования (основы теории)

Понятия об активных методах ДЗ. Лидарное уравнение и уравнение радиолокации. Принцип синтеза апертуры. Примеры использования. Постановка обратной задачи о восстановлении и вертикального профиля температуры в атмосфере по измерениям интенсивности уходящего излучения в тепловом ИК – диапазоне спектра. Вывод интегрального уравнения Фредгольма I рода. Физическая и математическая природа некорректности обратных задач, сводящихся к интегральному уравнению Фредгольма I рода. Роль гладкости ядра и ошибок измерений. Методы решения (регуляризации) некорректных задач. Интуитивная регуляризация. Метод Ямамото. Методы приближенного решения уравнения Фредгольма I рода. Метод оптимальной параметризации. Метод А.Н.Тихонова. Метод статистической регуляризации.

5. Примеры решения прямых и обратных задач ДЗ

Инженерные методы расчета теплообмена излучением между поверхностями, имеющими произвольную ориентацию. Угловые коэффициенты. Использование теоремы Стокса. Для расчета угловых коэффициентов. Общие представления об уравнении переноса излучения в сплошной среде с учетом поляризации. Вектор-параметр Стокса. Законы излучения АЧТ для конечных спектральных диапазонов. Примеры, иллюстрирующие применение. Решение задач о расчете излучения, уходящего из системы «подстилающая поверхность- атмосфера» для различных моделей поглощения. Решение задачи о расчете спектральных лучистых потоков в плоскостратифицированной среде применительно к расчету составляющих РБЗ. Интегральные экспоненты. Решение прямой задачи о расчете яркости верхнего слоя «гладкого океана» в приближении однократного рассеяния. Примеры решения обратных задач по данным спутниковых измерений в МКВ диапазоне спектра. Задача о радиационном охлаждении плоского слоя.

5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

учебная аудитория, оснащенная мультимедийным оборудованием.

6.Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

Фонд литературы базовой кафедры (организации):

1. Основы дистанционного зондирования. Второе издание. Рис У., Пер. с англ. М.: Техносфера. 2006. - 380 с.
2. Дистанционное зондирование. Методы и модели обработки изображений. Роберт А. Шойвенгерт. М.:Техносфера, 2010 г., - 560 с.
3. Liang Sh. Quantitative remote sensing of land surfaces. Weig Introsience. 2004. - p. 934.

Дополнительная литература

Фонд литературы базовой кафедры (организации):

1. Теоретические основы атмосферной оптики. Тимофеев Ю.М., Васильев А.В., М.: Наука, 2003. - 320 с.
2. Дистанционное изучение Земли. Кронберг П., М.: Мир, 1988. - 349 с.

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

1. <http://dust.ess.uci.edu/facts> - перенос излучения в земной системе.
2. <http://geo.mipt.ru/gva-group> - электронный образовательный ресурс кафедры СУМГФ
3. <http://www.sovzond.ru> - каталог Совзонда
4. <http://www.googleearth.com> - геопортал GoogleEarth

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

Пакеты офисного программного обеспечения Microsoft Office: Word, Excel, PowerPoint.

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Студент, изучающий дисциплину «Физические основы дистанционного зондирования» должен, с одной стороны, закрепить знания, полученные при изучении курсов общей и теоретической физики, высшей математики на предыдущих этапах освоения программы бакалавриата по направлению подготовки «Прикладные математика и физика» и родственным направлениям, овладеть новыми базовыми знаниями в предметной области дисциплины, а с другой стороны, - научиться применять совокупные знания при решении прямых, моделирующих формирование сигнала для типовых прикладных задач в системе «подстилающая поверхность – атмосфера - гипотетический приемник излучения» задач, а также обратных задач – восстановления характеристик зондируемых объектов по измерениям сигнала, зарегистрированного приемником излучения.

В результате изучения дисциплины «Физические основы дистанционного зондирования» студент должен получить общие представления о космических (пассивных и активных) системах ДЗ, роли и месте дисциплины, как важнейшей фундаментальной научно-методической основы изучения, проектирования и эксплуатации таких систем; должен знать основные понятия, определения и законы, лежащие в основе теории переноса электромагнитного излучения: понятие о полном и локальном термодинамическом равновесии, законы излучения абсолютно черного тела (АЧТ) для вакуума и среды отличной от вакуума, законы излучения АЧТ для конечных спектральных интервалов; вывод и методы решения уравнения переноса излучения в поглощающей, излучающей и рассеивающей среде (в том числе с учетом поляризации) в рамках феноменологического подхода, определения и физический смысл коэффициентов уравнения (на примере оптических свойства атмосферы); общетеоретические представления о граничных условиях для этого уравнения и их связь с реальными природными и техногенными объектами; на примере восстановления вертикального профиля температуры атмосферы по измерениям космическим приемником длинноволнового излучения физическую и математическую постановку решения обратной (некорректной) задачи, основные методы (регуляризации) ее решения. В качестве упражнений на лекциях и семинарах рассматриваются примеры, моделирующие типовые прямые (формирование сигнала, приходящего на вход гипотетического приемника излучения в видимом и тепловом инфракрасном диапазонах спектра) и обратные (восстановление параметров облачности и влагозапаса в атмосфере по измерениям уходящего излучения в микроволновом диапазоне спектра) задачи.

Важной особенностью является включение в программу Модуля 5 «Элементы физической гидродинамики», в рамках которого студенты ФАКТ, обучающиеся по профилю подготовки бакалавров «Геокосмические информационные системы и управление движением» и имеющие минимальные представления в области гидродинамики, механики сплошной среды, получают основы знаний в этих важных предметных областях, необходимые для более глубокого понимания объектов и процессов (атмосфера, моря и океаны и др.), восстановление свойств которых по результатам дистанционного зондирования изучается в рамках основного содержания дисциплины.

Успешное освоение дисциплины требует напряжённой самостоятельной работы студента. В программе курса приведено минимально необходимое время для работы студента над темой. Самостоятельная работа включает в себя:

- ☐ проработку учебного материала по конспектам лекций и материалам семинарских занятий;
- ☐ чтение и конспектирование рекомендованной литературы;
- ☐ разбор примеров и задач, предлагаемых студентам на лекциях и семинарских занятиях;
- ☐ подготовку к семинарским занятиям, зачёту и экзамену.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется преподавателем в форме выборочных опросов на лекциях и семинарах и индивидуальных консультаций.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Геокосмические науки и технологии Физтех-школа Аэрокосмических Технологий кафедра систем, устройств и методов геокосмической физики
курс:	4
квалификация:	бакалавр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

7 (осенний) - Зачет

8 (весенний) - Экзамен

Разработчик: Т.В. Кондранин, д-р физ.-мат. наук, профессор

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
	УК-1.2 Находит, критически анализирует и выбирает информацию, необходимую для решения поставленной задачи
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
ОПК-2 Способен использовать современные информационные технологии и программные средства при решении задач профессиональной деятельности, соблюдая требования информационной безопасности	ОПК-2.1 Способен применять современные вычислительную технику и сервисы сети Интернет в области (сфере) профессиональной деятельности
	ОПК-2.3 Знает основные требования информационной безопасности
ОПК-4 Способен осуществлять сбор и обработку научно-технической и (или) технологической информации для решения фундаментальных и прикладных задач	ОПК-4.1 Владеет методами научного поиска и интеллектуального анализа информации при решении задач профессиональной деятельности
	ОПК-4.2 Знает основные источники научно-технической и (или) технологической информации в области профессиональной деятельности
	ОПК-4.4 Владеет навыками работы с компьютером и компьютерными сетями с целью получения, хранения и обработки научной (технической, технологической) информации
ОПК-5 Способен участвовать в проведении фундаментальных и прикладных исследований и разработок, самостоятельно осваивать новые теоретические, в том числе, математические методы исследований, и работать на современной экспериментальной научно-исследовательской, измерительно-аналитической и технологической аппаратуре	ОПК-5.2 Обладает способностью к освоению новых знаний на основе изучения литературы, научных статей и других источников
ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики
	ПК-1.2 Имеет глубокое знание и понимание базовых математических дисциплин
	ПК-1.4 Умеет строить математические модели для описания и исследования процессов и явлений в соответствующих научных областях
	ПК-1.9 Знает перечень ведущих периодических научных изданий и способен выделять актуальные научные публикации в профессиональной области
ПК-2 Способен анализировать полученные в ходе научно-исследовательской работы данные и делать научные выводы (заключения)	ПК-2.1 Владеет методами статистической обработки и анализа научных данных
	ПК-2.2 Умеет находить ключевые параметры, определяющие изучаемое явление, и производить численные оценки по порядку величины
	ПК-2.3 Способен представлять научные утверждения, их обоснования и доказательства, научные проблемы и их решения ясно и точно в терминах, понятных для профессиональной аудитории, в письменной и устной форме

ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.1 Знает численные порядки величин, характерных для соответствующей профессиональной области
	ПК-4.2 Знает источники происхождения и умеет производить оценку погрешности измерений и достоверности экспериментальных результатов
	ПК-4.3 Способен обосновать причинно-следственные отношения используемых понятий и моделей

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Физические основы дистанционного зондирования» обучающийся должен:

знать:

- ☐ основные направления применения аэрокосмических методов, используемых для дистанционного изучения атмосферы, поверхности Земли, морей и океанов, природно-техногенных объектов;
- ☐ законы излучения абсолютно черного тела (АЧТ) для вакуума, сред отличной от вакуума, инженерные методы расчета излучения АЧТ для конечных спектральных интервалов;
- ☐ основы теории взаимодействия естественного и поляризованного излучения с излучающими, поглощающими и рассеивающими сплошными средами в рамках феноменологического подхода;
- ☐ физические законы и физико-математические модели, лежащие в основе описания оптических свойств сплошной среды и подстилающей поверхности;
- ☐ основные понятия, определения и уравнения, используемые при постановке и решении прямой задачи расчета поля излучения в вакууме и в неоднородной сплошной среде;
- ☐ общую постановку, методы упрощения и решения прямых и обратных задач ДЗ атмосферы и подстилающей поверхности Земли.

уметь:

- ☐ применять на практике основные понятия, физико-математические модели и методы решения прямых и обратных задач ДЗ;
- ☐ на основании метода оценок производить обоснование и упрощение постановки прямых и обратных задач ДЗ;
- ☐ производить численные оценки ключевых характеристик, формирующих поле излучения в вакууме и в поглощающей, рассеивающей и излучающей сплошной среде;
- ☐ формулировать постановку задачи расчета сигнала, регистрируемого гипотетическим ПИ;
- ☐ осваивать новые предметные области, теоретические подходы и экспериментальные методики, связанные с аэрокосмическими системами ДЗ.

владеть:

- ☐ навыками усвоения большого объема междисциплинарной информации в области физики атмосферы, теории переноса излучения, активного использования методов решения прямых и обратных задач в различных приложениях;
- ☐ культурой постановки и моделирования физических задач в области ДЗ и смежных предметных сферах;
- ☐ навыками постановки типовых задач синтеза оптико-электронных пассивных и активных космических систем ДЗ и представлениями о путях их решения.

3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

Текущий контроль осуществляется по средствам оценки преподавателем знаний в ходе рубежного контроля, а также по итогам аттестации по предмету (зачет), умения демонстрировать знания, полученные из материалов лекций, и рекомендуемой литературы.

Рубежный контроль применяется в следующих формах:

- ☐ оценка ответов на вопросы в процессе краткого (до 5 мин) выборочного устного опроса перед началом каждого семинарского занятия по материалам предыдущей лекции и семинара;
- ☐ оценка умения решать у доски типовые примеры и задачи, рассматриваемые на лекциях и семинарах.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в результате индивидуальных консультаций.

4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

Промежуточная аттестация по дисциплине «Физические основы дистанционного зондирования» осуществляется в форме зачета в 7 семестре и в форме экзамена (устного) в 8 семестре.

Примерные вопросы для получения зачета (без оценки) в 7 семестре:

1. Направления применения методов дистанционного зондирования (ДЗ) для изучения атмосферы (А) и подстилающей поверхности (ПП).
2. Общая характеристика аэрокосмических методов ДЗ.
3. Представления о космическом и наземном сегментах космической системы ДЗ.
4. Физико-технические возможности методов ДЗ.
5. Пассивные и активные методы ДЗ. Преимущества и недостатки.
6. Законы излучения абсолютно черного тела (АЧТ). Примеры использования.
7. Общие представления о системе «Солнце-Планета Земля».
8. Оценка среднепланетарной температуры поверхности Земли.
9. Роль «парникового эффекта» (ПЭ).
10. Простейшая модель ПЭ
11. Основные понятия в феноменологическом подходе в теории переноса излучения.
12. Основные механизмы переноса лучистой энергии в сплошной среде, моделирующей атмосферу Земли.
13. Постановка прямой задачи о расчете «сигнала» в системе «однородная ПП - безоблачная атмосфера».
14. Общие представления о гидродинамических моделях многокомпонентной сплошной среды при наличии поля излучения.
15. Качественная задача об оценке адиабатического градиента температуры в приземной атмосфере.

Перечень контрольных вопросов (в произвольном порядке) для подготовки к экзамену в 8 семестре:

1. Вывод уравнения Фредгольма первого рода для решения задачи восстановления вертикального профиля температуры в атмосфере по измерениям интенсивности уходящей радиации в ИК диапазоне спектра.
2. Гипотеза о локальном термодинамическом равновесии в уравнении переноса лучистой энергии.
3. Двухпараметрический метод Куртисса-Годсона.
4. Задача о тепловой конвекции в поле силы тяжести. Качественное решение.
5. Задача о тепловой конвекции в поле силы тяжести. Качественное решение задачи об адиабатическом вертикальном градиенте температуры в приземной атмосфере.
6. Задача о тепловой конвекции в поле силы тяжести. Строгое решение (задача Релея). Конвективные ячейки Бенара.
7. Законы излучения абсолютно черного тела. Законы излучения АЧТ для конечных спектральных интервалов.
8. Осреднение по спектру решения уравнения переноса излучения методом «line-by-line».
9. Использование микроволнового диапазона в задачах дистанционного зондирования атмосферы.
10. Коэффициент и индикатриса рассеяния при $a \ll \lambda$ (релеевское рассеяние).
11. Основы теории Ми.
12. Коэффициенты Эйнштейна. Интенсивность (сила) спектральной линии.
13. Метод угловых коэффициентов для расчета теплообмена излучением.

14. Методы интегрирования по спектру решения уравнения переноса для нерассеивающей среды. Статистическая модель полосы.
15. Методы приближенного решения уравнения Фредгольма I рода. Метод А.Н. Тихонова.
16. Методы приближенного решения уравнения Фредгольма первого рода. Метод оптимальной параметризации (Обухова).
17. Методы приближенного решения уравнения Фредгольма I рода. Метод статистической регуляризации.
18. Примеры на расчет спектрального состава сигнала, выходящего из плоского слоя, моделирующего поглощающую и рассеивающую атмосферу
19. Методы расчета теплообмена излучением между поверхностями, имеющими произвольную ориентацию. Понятие об угловых коэффициентах.
20. Модели полос. Регулярная модель (модель Эльзассера).
21. Модели полос. Статистическая модель (модель Мейера – Гуди).
22. Молекулярное (релеевское) рассеяние. Индикатриса и коэффициент рассеяния. Основы теории Ми.
23. Одномерная (плоскостратифицированная) модель переноса излучения. Альbedo однократного рассеяния.
24. Определение влагозапаса в атмосфере по результатам ДЗ в микроволновом диапазоне спектра.
25. Постановка обратной задачи о термическом ДЗ атмосферы по измерениям интенсивности уходящего излучения в тепловом инфракрасном диапазоне спектра.
26. Приближенные методы решения прямой задачи для изотропно рассеивающей среды. Диффузионное приближение.
27. Приближенные методы решения прямой задачи для нерассеивающей среды. Эмиссионное приближение.
28. Решение задачи о расчете поля излучения, выходящего из системы «взволнованная поверхность океана – атмосфера» в приближении однократного рассеяния.
29. Решение задачи о расчете поля излучения, выходящего из системы «взволнованная поверхность океана – атмосфера» в приближении однократного рассеяния.
30. Спектральный коэффициент поглощения. Основные механизмы поглощения (излучения) газообразных сред.
31. Понятие о теории размерности и подобия. π – теорема.
32. Структура спектра двухатомной молекулы. Колебательно-вращательные полосы. Диаграммы Фортра.
33. Энергетический баланс в системе «Солнце-Земля».
34. Простейшие модели парникового эффекта
35. Трансформация излучения в нерассеивающей среде. Решение краевой задачи в квадратурах. Физический смысл отдельных членов решения.
36. Трансформация излучения в нерассеивающей среде. Решение краевой задачи. Осреднение (интегрирование) по спектру решения уравнения переноса излучения.
37. Уравнения многокомпонентной гидродинамики с учетом переноса лучистой энергии.
38. Уравнение переноса для излучающей, поглощающей и рассеивающей среды. Гипотеза о локальном термодинамическом равновесии.
39. Феноменологический подход в теории переноса излучения. Основные понятия. (функция распределения фотонов, спектральная интенсивность излучения и т.д.)
40. Физическая и математическая природа некорректности обратных задач, сводящихся к уравнению Фредгольма первого рода. Роль гладкости ядра уравнения и ошибок измерений.
41. Активные методы ДЗ. Простейшее лидарное уравнение. Метод Клетта. Уравнение радиолокации.
42. Физическая и математическая природа некорректных (обратных) задач. Уравнение Фредгольма I рода.
43. Физико-технические возможности методов ДЗ. Пассивные и активные методы. Эквивалентная ширина изолированной линии лоренцевского контура (неоднородный случай). Функция Ладенбурга-Райхе.
44. Эквивалентная ширина изолированной линии лоренцевского (однородный случай) и доплеровского контуров.

Примеры экзаменационных билетов:

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1

1. Физическая и математическая природа некорректности обратных задач, сводящихся к уравнению Фредгольма первого рода. Роль гладкости ядра уравнения и ошибок измерений.
2. Спектральный коэффициент поглощения. Основные механизмы поглощения (излучения) газообразных сред.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 2

1. Физико-технические возможности методов ДЗ. Пассивные и активные методы. Диапазоны электромагнитного спектра, используемые в задачах ДЗ.
2. Двухпараметрический метод Куртисса-Годсона.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 3

1. Задача о тепловой конвекции в поле силы тяжести. Строгое решение (задача Релея). Конвективные ячейки Бенара.
2. Физическая и математическая природа некорректных (обратных) задач на примере уравнения Фредгольма I рода. Роль гладкости ядра уравнения и ошибок измерений.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 4

1. Решение задачи о расчете поля излучения, выходящего из системы «гладкая поверхность океана – атмосфера» в приближении однократного рассеяния.
2. Метод статистической регуляризации решения уравнения Фредгольма I рода.

Критерии оценивания

Зачет (без оценки) в 7 семестре проставляется по результатам рубежного контроля и посещаемости занятий студентами. Для студентов, которые посетили в 7 семестре менее 75% занятий на последнем занятии (15 учебная неделя) проводится устный опрос по материалам Модулей I и V. К экзамену в 8 семестре допускаются студенты, имеющие зачет за 7 семестр.

На экзамене по дисциплине «Физические основы дистанционного зондирования» в 8 семестре оценка «отлично (10)» выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины при ответе на вопросы экзаменационного билета, а также на дополнительные вопросы (вне экзаменационного билета) и задачи по программе дисциплины.

оценка «отлично (9)» выставляется студенту, показавшему систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины при ответе на вопросы экзаменационного билета, а также на дополнительные вопросы (вне экзаменационного билета) по программе дисциплины.

оценка «отлично (8)» выставляется студенту, показавшему систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины при ответе на вопросы экзаменационного билета и правильные ответы не менее чем на два из трех дополнительных вопросов (вне экзаменационного билета) по программе дисциплины.

оценка «хорошо (7)» выставляется студенту, продемонстрировавшему твердые, систематизированные знания материала экзаменационного билета, но допускающему в ответе на вопросы по билету или дополнительные, уточняющие вопросы в рамках билета неточности, не связанные с принципиальными ошибками или не знанием материала.

оценка «хорошо (6)» выставляется студенту продемонстрировавшему, систематизированные знания материала экзаменационного билета, но допускающему в ответе на дополнительные, уточняющие вопросы (не более пяти) в рамках билета не более двух ошибочных ответов, не связанных с принципиальным непониманием материала.

оценка «хорошо (5)» выставляется студенту продемонстрировавшему, систематизированные знания материала экзаменационного билета, но допускающему в ответе на дополнительные, уточняющие вопросы (не более пяти) в рамках билета не более четырех ошибочных ответов, не связанных с принципиальным непониманием материала.

оценка «удовлетворительно (4)» выставляется, если во время ответа на вопросы экзаменационного билета, а при необходимости и дополнительных вопросов (вне рамок билета) студент показывает нетвердое знание базовых положений, связанных с материалом билета и дополнительных вопросов (допускает ошибки в определениях, фундаментальные законы, и т.п.), допускает нарушение логической последовательности при ответах, но при этом демонстрирует знание основных разделов учебной программы.

оценка «удовлетворительно (3)» выставляется, если во время ответа на вопросы экзаменационного билета студент показывает разрозненный характер знаний, нечеткие, но без грубых ошибок, формулировки базовых положений, входящих в материалы билета, допускает нарушение логической последовательности в изложении программного материала, но при этом демонстрирует общее понимание и ключевые знания основных разделов учебной программы.

оценка «неудовлетворительно (2-1)» выставляется, если во время ответа на вопросы экзаменационного билета, студент показывает, что не знает большей части основного содержания материалов билета, допускает грубые ошибки при формулировках базовых положений, входящих в материалы билета; во время ответа на вопросы билета обращается к справочным материалам (конспектам лекций, семинаров и пр.).

5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Зачет (без оценки) в 7 семестре служит формой проверки уровня усвоения студентами базовых положений по материалам лекций и семинарских занятий 7 семестра и проставляется по результатам рубежного контроля и посещаемости занятий студентами. Для студентов, которые посетили в 7 семестре менее 75% занятий на последнем занятии (15 учебная неделя) проводится устный опрос по материалам. К экзамену в 8 семестре допускаются студенты, имеющие зачет за 7 семестр.

Экзамен проводится в устной форме по билетам, утвержденным заведующим кафедрой. Экзаменатору предоставляется право, помимо теоретических вопросов билета, давать студентам задачи и примеры, типовые варианты которых рассматривались на лекциях и семинарах.

Студенты с разрешения экзаменатора могут пользоваться конспектами лекций, семинаров, справочной литературой только во время подготовки к экзамену.

На подготовку к экзамену и опрос отводится время в соответствии с утвержденными нормативами.

При проведении зачета и экзамена могут быть использованы технические средства.