

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

**УТВЕРЖДЕНО**

**и.о. директора физтех-школы  
физики и исследований им.  
Ландау**

**А.А. Воронов**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Методы вычислительной электродинамики
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра электродинамики сложных систем и нанофотоники
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 45 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 135, всего зач. ед.: 3

Программу составил: А.М. Лебедев, канд. техн. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры электродинамики сложных систем и нанофотоники 04.06.2020

## Аннотация

Рассматривается использование известных численных методов применительно к решению задач теоретической и прикладной электродинамики. Описываются способы получения численного решения характерных задач рассеяния и поглощения электромагнитной волны, основываясь на уравнениях Максвелла или иных соотношениях, следующих из этих уравнений. Для получения решения используются методы конечных разностей или конечных элементов, либо методы интегральных уравнений, основанные на представлении полей элементарных токов с использованием аппарата функции Грина, либо приближённые лучевые методы. Рассматривается применение основных теорем электродинамики: единственности, эквивалентности, взаимности, Умова-Пойнтинга, - при построении вычислительных алгоритмов. Анализируются возможности использования при решении задач приближений, характерных именно для электродинамики, таких как задание импедансных, резистивных, либо поглощающих граничных условий, при учёте особенностей распределения полей, предсказываемых электродинамикой в различных физических ситуациях.

Задача курса – освоение студентами основных современных вычислительных методов электродинамики, глубокое понимание ими подходов к численному решению прикладных задач и принципов разработки вычислительных алгоритмов, а также получение навыков работы с некоторыми пакетами программ (FEKO, Автокад), используемыми при практическом решении задач вычислительной электродинамики.

## 1. Цели и задачи

### Цель дисциплины

освоение студентами основных современных вычислительных методов электродинамики и подходов к решению прикладных задач с использованием этих методов;

получение навыков работы с некоторыми САПР, используемыми при практическом решении вычислительных задач электродинамики; получение опыта в поиске необходимой информации и углублённом изучении некоторых тем по монографиям, учебникам и периодической литературе.

### Задачи дисциплины

формирование базовых знаний в области вычислительной электродинамики как дисциплины, интегрирующей общефизическую и общетеоретическую подготовку физиков в области электродинамики и основные численные методы;

обучение студентов принципам решения задач вычислительной электродинамики, разработки вычислительных алгоритмов;

получение студентами навыков использования некоторых САПР (FEKO, Автокад) в целях решения вычислительных задач прикладной электродинамики;

формирование подходов к выполнению исследований студентами в области вычислительной электродинамики в рамках выпускных работ на степень магистра.

## 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.3 Понимает междисциплинарные связи в области математики и физики и способен их применять при решении задач профессиональной деятельности
ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения	ОПК-3.1 Способен анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения
	ОПК-3.3 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений

ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий	ОПК-4.2 Способен применять знания в области физико-математических наук для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов
ПК-3 Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием (приборами и установками, специализированными пакетами прикладных программ) в избранной предметной области	ПК-3.1 Понимает принципы работы используемого оборудования (специализированных пакетов прикладных программ)
	ПК-3.2 Способен проводить эксперимент (моделирование) с использованием исследовательского оборудования (пакетов прикладных программ)

### 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

современные проблемы и достижения физики, математики, вычислительной математики и техники;  
постановку проблем численного моделирования взаимодействия электромагнитного поля с объектами и структурами.

уметь:

эффективно использовать на практике теоретические компоненты науки: понятия, суждения, умозаключения,  
работать с современными пакетами прикладных программ;  
абстрагироваться от несущественных влияний при моделировании реальных физических ситуаций;  
планировать оптимальное проведение сложных вычислений.

владеть:

математическим моделированием физических задач возбуждения и рассеяния электромагнитных волн.

### 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	Классификация задач электродинамики. Примеры прикладных задач. Физические особенности полей, учёт которых необходим при численном решении задачи	3	3		5
2	Эффективная поверхность рассеяния. Решения на основе метода собственных функций. Оценка полей и ЭПР простых тел из лучевых и геометрических соображений. Связь решений двумерных и трёхмерных задач	3	3		5

3	Уравнения Максвелла и Гельмгольца. Граничные условия и условия излучения. Векторные и скалярные потенциалы. Решение неоднородных уравнений Гельмгольца с использованием функции Грина	4	4		5
4	Основные теоремы электродинамики и их использование в вычислениях. Поверхностный импеданс. Оценка заметности размерного объекта методом физической оптики	3	3		5
5	Декомпозиционный подход к решению задач электродинамики. Решение граничных задач электродинамики методом конечных элементов	3	3		5
6	Методы поверхностных и объёмных интегральных уравнений (ИУ)	4	4		5
7	Решение трёхмерной задачи рассеяния методом поверхностных ИУ с использованием векторных базисных функций. ИУ для тонкопроволочных структур	3	3		5
8	Метод конечных разностей во временной области	3	3		5
9	Геометрическая и физическая теории дифракции	4	4		5
Итого часов		30	30		45
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		135 час., 3 зач.ед.			

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

##### Семестр: 1 (Осенний)

1. Классификация задач электродинамики. Примеры прикладных задач. Физические особенности полей, учёт которых необходим при численном решении задачи

Классификация задач электродинамики: внешние и внутренние задачи, задачи возбуждения и дифракции, прямые и обратные задачи. Примеры прикладных задач: задачи радиомаскировки, метаматериалы, управляемые поверхности, задачи медицинской гипертермии и интроскопии. Физические особенности полей и токов на металлических кромках. Особенности поля в неоднородной плазме при переходе действительной части диэлектрической проницаемости через ноль. Возбуждение поверхностных волн в слое диэлектрика при дифракции волны на нерегулярностях слоя.

2. Эффективная поверхность рассеяния. Решения на основе метода собственных функций. Оценка полей и ЭПР простых тел из лучевых и геометрических соображений. Связь решений двумерных и трёхмерных задач

Диаграммы излучения (антенны) и рассеяния (радиолокация). Двумерная и трёхмерная эффективная поверхность рассеяния (ЭПР).

Метод разделения переменных. Собственные функции и собственные волны. Координатные поверхности. Дифракция плоской волны на цилиндре. Возбуждение кругового цилиндра нитью тока.

ЭПР сферы, цилиндра и полости больших размеров из геометрических и физических соображений.

Оценка размера зоны сохранения квазидвумерной структуры распределения полей для трёхмерной задачи рассеяния на цилиндре, на пластине, на крае поверхности конечной длины. Связь между полями рассеяния в дальней зоне для двумерных и трёхмерных задач. Интерпретация формирования рассеянного поля через зоны Френеля.

3. Уравнения Максвелла и Гельмгольца. Граничные условия и условия излучения. Векторные и скалярные потенциалы. Решение неоднородных уравнений Гельмгольца с использованием функции Грина

Неоднородные уравнения Гельмгольца для полей, векторных и скалярных потенциалов. Калибровка Лоренца. Примеры уравнений Гельмгольца для неоднородных сред.

Граничные условия на тангенциальные и нормальные к границе составляющие электрического и магнитного полей. Условия излучения в свободном пространстве и в волноводе.

Представления функции Грина для поверхности с токами, для цилиндрической и трёхмерной задач.

Специальные функции Грина для случаев наличия идеально проводящих объектов с координатными границами.

Три типа решений неоднородных уравнений Гельмгольца с использованием функции Грина.

4. Основные теоремы электродинамики и их использование в вычислениях. Поверхностный импеданс. Оценка заметности размерного объекта методом физической оптики

Теоремы Умова-Пойнтинга, единственности, эквивалентности, взаимности. Удельная поглощаемая мощность. Баланс мощностей. Определение добротности. Связь устойчивости решения с теоремой единственности. Теорема эквивалентности, три способа введения эквивалентных поверхностных токов. Симметрия матриц импедансов и рассеяния в условиях теоремы взаимности.

Физические ситуации, в которых вводится поверхностный импеданс.

Метод физической оптики. Вычисление диаграммы рассеяния по найденным токам на объекте.

5. Декомпозиционный подход к решению задач электродинамики. Решение граничных задач электродинамики методом конечных элементов

Матрицы рассеяния по собственным волнам соединительных волноводов. Матрицы импедансов и адмиттансов по достаточно полным системам граничных функций. Реконструкция по матрицам рассеяния или импедансов /адмиттансов подобластей.

Варианты решения задачи рассеяния при известной матрице импедансов /адмиттансов для внутренней области.

Решение задачи рассеяния по частям (декомпозиционно) и "сразу" методом конечных элементов.

6. Методы поверхностных и объёмных интегральных уравнений (ИУ)

Поверхностные интегральные уравнения электрического и магнитного поля для металлов, для однородных магнито-диэлектриков.

Объёмные интегральные уравнения для неоднородных магнитодиэлектриков.

Использование метода Галёркина для составления систем интегральных уравнений.

7. Решение трёхмерной задачи рассеяния методом поверхностных ИУ с использованием векторных базисных функций. ИУ для тонкопроволочных структур

Решение задачи рассеяния на металлическом объекте произвольной формы методом поверхностных ИУ с использованием базиса из векторных функций (RWG).

Составление и решение интегральных уравнений Поклингтона для тонкопроволочных структур.

8. Метод конечных разностей во временной области

Схема Уее решения задачи рассеяния методом конечных разностей во временной области. Условия на временной и пространственной дискретности для устойчивости метода. Введение поглощающих граничных условий для рассеянного поля на границе области расчёта.

## 9. Геометрическая и физическая теории дифракции

Край как центр рассеяния на поверхности. Решение задач дифракции плоских волн двух поляризаций на координатном, идеально проводящем клине. Генерация конуса дифракционных лучей на краю поверхности. Использование дифракционных коэффициентов в геометрической теории дифракции. Концепция элементарных краевых волн в физической теории дифракции.

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

Учебная аудитория, оснащенная компьютером и проектором. Терминал многопроцессорного вычислительного комплекса ИТПЭ РАН для доступа к электродинамической САПР FEKO.

## 6. Перечень рекомендуемой литературы

### Основная литература

1. Электродинамика и распространение радиоволн [Текст] : уч. пособие для вузов : доп. М-вом высш. и сред. спец. образов. СССР / Г. Т. Марков, Б. М. Петров, Г. П. Грудинская .— М. : Советское радио, 1979 .— 376 с.
2. Электродинамика и распространение радиоволн [Текст] : учеб. пособие для вузов / В. В. Никольский .— 2-е изд., перераб. — М. : Наука, 1978 .— 543 с.
3. Peterson A.F., Ray S.L., Mittra R. Computational methods for electromagnetics. - IEEE Press, 1998. 564 p.

### Дополнительная литература

1. Возбуждение электромагнитных волн [Текст]/Г. Т. Марков, А. Ф. Чаплин, -М., Радио и связь, 1983
2. Возбуждение тел вращения [Текст]/Е. Н. Васильев, -М., Радио и связь, 1987
3. Теория дифракционных краевых волн в электродинамике [Текст]/П. Я. Уфимцев , -М., БИНОМ. Лаб. знаний, 2007
4. Вычислительные методы в электродинамике [Текст]/под ред. Р. Митры , -М., Мир, 1977
5. Balanis C.A. Advanced engineering electromagnetics. Wiley, New York, 1989. 982 p.
6. Taflov A., Hagness S. Computational Electrodynamics: The Finite-Difference Time Domain Method. – London: Artech House, 2000. 852 p.

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

<http://www.edu.ru> – федеральный портал «Российское образование».  
<http://www.exponenta.ru> – образовательный математический сайт.  
<http://mathnet.ru> – общероссийский математический портал.  
<http://benran.ru> –библиотека по естественным наукам Российской академии наук.

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

При необходимости занятия ведутся в удалённом режиме видеоконференции. Основная и дополнительная учебно-методическая литература из приведённых выше списков передаётся учащимся в электронном виде. На лекционных занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций, демонстрацию хода решения задачи в электродинамической САПР FEKO, задания геометрии моделей в геометрической САПР AutoCAD.

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

Студент, изучающий курс «Методы вычислительной электродинамики», должен уметь активно и целенаправленно применять в различных сочетаниях знания, полученные в области математики, электродинамики и численных методов.

В процессе изучения курса студент должен изучить приёмы оценки рассеивающих свойств объектов из геометрических соображений и методом физической оптики, а также изучить подходы к решению прикладных задач электродинамики методом собственных функций, методами конечных элементов и конечных разностей, методами поверхностных и объёмных интегральных уравнений, с использованием декомпозиционного подхода и «сразу», методом конечных разностей во временной области, методами геометрической и физической теории дифракции. Конкретная реализация электродинамического метода определяется способом аппроксимации решения, применяемыми приёмами интегрирования и дифференцирования, решения СЛАУ и другими. В связи со сложностью алгоритмов вычислений и зачастую высокой размерностью задач, в ходе изучения курса студент получает представление о рациональных приёмах программирования, в том числе о распараллеливании вычислений. Наконец, при изучении курса студент осваивает навыки работы с публикациями по тематике численных методов прикладной электродинамики в различных источниках: отечественных и зарубежных монографиях и учебниках, в научной периодической литературе, в электронных ресурсах Интернет.

Успешное освоение курса требует:

- посещения всех занятий, предусмотренных учебным планом по дисциплине;
- ведения конспекта занятий;
- напряжённой самостоятельной работы студента.

Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала, подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения;
- решение задач, предлагаемых студентам на занятиях;
- подготовку к выполнению заданий текущей и промежуточной аттестации.

Показателем владения материалом служит умение без конспекта отвечать на вопросы по темам дисциплины.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями преподавателю.

Ведётся промежуточный контроль знаний студентов в виде решения задач в соответствии с тематикой занятий.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра электродинамики сложных систем и нанофотоники
<b>курс:</b>	<u>1</u>
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Экзамен

**Разработчик:** А.М. Лебедев, канд. техн. наук



## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.3 Понимает междисциплинарные связи в области математики и физики и способен их применять при решении задач профессиональной деятельности
ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения	ОПК-3.1 Способен анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения
	ОПК-3.3 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений
ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий	ОПК-4.2 Способен применять знания в области физико-математических наук для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов
ПК-3 Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием (приборами и установками, специализированными пакетами прикладных программ) в избранной предметной области	ПК-3.1 Понимает принципы работы используемого оборудования (специализированных пакетов прикладных программ)
	ПК-3.2 Способен проводить эксперимент (моделирование) с использованием исследовательского оборудования (пакетов прикладных программ)

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Методы вычислительной электродинамики» обучающийся должен:

### знать:

современные проблемы и достижения физики, математики, вычислительной математики и техники;  
постановку проблем численного моделирования взаимодействия электромагнитного поля с объектами и структурами.

### уметь:

эффективно использовать на практике теоретические компоненты науки: понятия, суждения, умозаключения;  
работать с современными пакетами прикладных программ;  
абстрагироваться от несущественных влияний при моделировании реальных физических ситуаций;  
планировать оптимальное проведение сложных вычислений.

### владеть:

математическим моделированием физических задач возбуждения и рассеяния электромагнитных волн.

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

С целью контроля освоения обучающимися учебного материала проводится устный опрос в начале занятия или в конце занятия по пройденной теме.

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

Примеры контрольных вопросов и заданий.

1. Укажите объекты, эффективная поверхность рассеяния которых соответствует фактической площади, и объясните причины соответствия.
2. Выберите представление полей во внешней и внутренних областях при решении задач рассеяния плоской электромагнитной волны на двухслойном магнито-диэлектрическом цилиндре, на двумерно неоднородном магнито-диэлектрическом цилиндре.
3. Как оценить потери мощности в объёме металлического объекта с конечной проводимостью, если известно пространственное распределение электрического и магнитного полей для объекта из идеального электрического проводника.
4. В каких случаях решение внутренней задачи численно неустойчиво, если 1) задано распределение тангенциальной компоненты магнитного поля по границе области, 2) на части границы задано распределение тангенциальной компоненты напряжённости электрического поля, а на оставшейся части границы - магнитного.
5. Почему напряжённости электрического и магнитного полей тождественно равны нулю внутри оболочки с эквивалентными поверхностными токами, заданными с внешней стороны оболочки.
6. Укажите связь по комплексной амплитуде и направлению для эквивалентных электрического и магнитного токов на импедансной поверхности.
7. Объясните соответствие между постановкой граничной задачи Дирихле, либо Неймана во внутренней области и решением задачи о возбуждении резонатора, заключающего внутреннюю область, листком поверхностного тока.
8. Выберите системы граничных функций для разложения тангенциальных к границе компонент электрического и магнитного полей во входной и выходной плоскостях рупорной антенны.
9. Почему при составлении объёмных интегральных уравнений для магнито-диэлектриков используется функция Грина свободного пространства.
10. Поясните причины устойчивости численного решения задачи рассеяния бесконечно тонкой оболочкой из идеального электрического проводника методом поверхностных интегральных уравнений электрического поля, и неустойчивости численного решения той же задачи методом поверхностных интегральных уравнений магнитного поля.

Примеры экзаменационных билетов:

Билет 1.

1. Теорема эквивалентности. Три варианта введения эквивалентных поверхностных токов.
2. Как обеспечить минимальную ширину ленты матрицы СЛАУ при решении граничной задачи во внутренней области методом конечных элементов? Раскройте влияние ширины ленты на вычислительные ресурсы (память, время), необходимые для численного решения задачи.

Билет 2.

1. Функция Грина в неограниченной однородной среде для нити тока (решается двумерная задача рассеяния).
2. Обоснуйте формулы рекомпозиции подобластей по матрицам рассеяния по собственным волнам соединительных волноводов, по матрицам импеданса, адмиттанса.

Билет 3.

1. Поверхностные интегральные уравнения электрического и магнитного поля для однородных магнито-диэлектриков.
2. На внешней поверхности рассеивателя в свободном пространстве найдены эквивалентные поверхностные электрические и магнитные токи. Опишите процедуру вычисления ЭПР объекта по найденным токам.

Билет 4.

1. Схема Уее решения задачи рассеяния методом конечных разностей во временной области. Условия на временной и пространственной дискретности сетки для устойчивости метода.
2. Используя концепцию зон Френеля, оцените обратное рассеяние острым краем металлического объекта в плоскости, перпендикулярной краю.

Билет 5.

1. Возбуждение тонкопроволочных структур. Интегральное уравнение Поклингтона.
2. Используя теорему взаимности, докажете симметричность относительно главной диагонали для матриц импеданса, либо адмиттанса объекта.

Билет 6.

1. Решение граничной задачи для внутренней области двумерно неоднородного цилиндра методом конечных элементов.

2. Пусть объект находится над плоской подстилающей поверхностью. Опишите вычисление ЭПР объекта с использованием концепции четырёх лучей.

Билет 7.

1. ЭПР сферы, цилиндра и полости больших размеров из геометрических соображений.

2. Для кругового диэлектрического цилиндра радиуса  $a$ , возбуждаемого ТН ( $E_z$ ) волной, последовательно найдите импедансы внутренней и внешней областей, эквивалентный электрический ток на поверхности цилиндра, получите представления рассеянного и внутреннего полей. Сравните с решением методом собственных функций.

#### Критерии оценивания

Оценка отлично 10 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 9 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 8 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо 7 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо 6 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка хорошо 5 баллов - выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно 4 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно 3 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно 2 балла - выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка неудовлетворительно 1 балл - выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

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

При проведении экзамена обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку. Опрос обучающегося не должен превышать одного астрономического часа.