

**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>	Теория излучения
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра проблем физики и астрофизики
<b>курс:</b>	4
<b>квалификация:</b>	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 8 (весенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 45 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 15 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 60 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 135, всего зач. ед.: 3

Программу составил: В.А. Догель, д-р физ.-мат. наук, профессор

Программа обсуждена на заседании кафедры проблем физики и астрофизики 30.03.2020

## Аннотация

Курс знакомит студентов с процессами, происходящими при взаимодействии заряженных частиц с веществом и электромагнитным полем. В первой части курса уделяется внимание процессам распространения волн в среде, описываются количественные характеристики электромагнитной волны, позволяющие определить параметры ее поляризации. Приводится способ вычисления свойств электромагнитного излучения при произвольном движении заряда, который впоследствии применяется к различным физическим задачам, начиная от идеализированных (дипольное излучение), заканчивая более реалистичными (тормозное или синхротронное излучение). Также рассматриваются процессы взаимодействия движущегося заряда с фоновыми частицами плазмы и фотонами, выясняется, как быстрая частица теряет энергию, и как она при этом излучает.

Вторая часть курса посвящена взаимодействию заряженных частиц со случайными электромагнитными полями. На примерах от простого к сложному, показывается, как наличие электромагнитных флуктуаций в плазме влияет на спектр заряженных частиц. Демонстрируются механизмы ускорения и формирования нетепловых распределений заряженных частиц в плазме, механизмы диссипации возмущений. Взаимодействию частиц со случайным полем рассматривается применительно к космическим лучам. Показывается, как по известным свойствам спектра заряженных частиц можно сделать выводы об особенностях их ускорения и распространения в плазме.

Основное внимание уделяется наиболее фундаментальным вопросам классической электродинамики. Демонстрируется, как методами усреднения и разложения по малым параметрам можно существенно упростить уравнения, описывающие физические явления.

## 1. Цели и задачи

### Цель дисциплины

Освоение студентами фундаментальных знаний в области физики плазмы, классической электродинамики и физической кинетики. Развитие у студентов свободного владения математическим аппаратом, необходимым для анализа различных процессов излучения.

### Задачи дисциплины

Предоставить инструментарий, необходимый для исследования задач, связанных с излучением релятивистских и нерелятивистских заряженных частиц, а также связанных со взаимодействием заряженных частиц с веществом и электромагнитными полями.

## 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
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-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов
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-2 Способен анализировать полученные в ходе научно-исследовательской работы данные и делать научные выводы (заключения)	ПК-2.2 Умеет находить ключевые параметры, определяющие изучаемое явление, и производить численные оценки по порядку величины
ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.1 Знает численные порядки величин, характерных для соответствующей профессиональной области
	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 механизмы излучения заряженных частиц и основные свойства излучения, свойства электромагнитных волн в плазме.

уметь:

вычислять параметры излучения (интенсивность, поляризация) при произвольном движении заряженной частицы. Описывать движение заряженных частиц в случайном электромагнитном поле.

владеть:

методом функций Грина и методом преобразований Фурье для решения задач классической электродинамики.

### 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	Распространение электромагнитных волн в плазме. Плазма без магнитного поля, горячая плазма, замагниченная плазма. Дисперсия волн, Фарадеевское вращение. Волны в частично-нейтральной плазме	3	1		6
2	Общая формула излучения (нерелятивистский случай). Дипольное, квадрупольное и магнитодипольное излучение. Черенковское излучение. Использование черенковского излучения в детекторах космических лучей. Томсоновское рассеяние	3	2		6
3	Общая формула излучения (релятивистский случай). Ионизационные и кулоновские потери. Тормозное излучение. Тепловое тормозное излучение	2	1		4
4	Описание излучения. Параметры Стокса. Уравнение переноса излучения	1	1		2

5	Синхротронное излучение. Релятивистский и нерелятивистский случай. Поляризация синхротронного излучения. Излучение системы частиц. Изгибное излучение	2	1		4
6	Обратное комптоновское рассеяние. Эффект Сюняева-Зельдовича. Уравнение Компанейца	2	1		4
7	Переходное излучение	1	1		2
8	Излучение при столкновениях адронов. Аннигиляционное излучение	2	1		4
9	Введение в космические лучи. Исторический обзор	2	1		4
10	Наблюдательные свойства космических лучей. Ускорение Ферми первого и второго порядка	3	1		6
11	Формальный вывод кинетического уравнения для заряженных частиц. Телеграфное уравнение. Ускорение заряженных частиц ударными волнами. Максимальная энергия частиц, ускоренных на ударной волне	3	1		6
12	Неустойчивости в плазме. Затухание Ландау и потоковая неустойчивость. Резонансное и нерезонансное взаимодействие частиц с волнами. Белловская неустойчивость и усиление магнитного поля.	2	1		4
13	Распространение частиц в случайных магнитных полях. Уравнение Фоккера-Планка. Диффузионное приближение	2	1		4
14	Энергия инъекции. Убегающие частицы. Проблемы перегрева плазмы при ускорении	2	1		4
Итого часов		30	15		60
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		135 час., 3 зач.ед.			

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

##### Семестр: 8 (Весенний)

1. Распространение электромагнитных волн в плазме. Плазма без магнитного поля, горячая плазма, замагниченная плазма. Дисперсия волн, Фарадеевское вращение. Волны в частично-нейтральной плазме

Напоминаются основы физики плазмы, связанные с распространением электромагнитных волн. Выводятся дисперсионные соотношения для различных видов плазмы: холодной, горячей, а также с наличием или отсутствием сильного магнитного поля. Рассматриваются эффекты, связанные с дисперсией. Отдельно рассматривается случай частично нейтральной плазмы и выделяются особенности распространения волн в данной среде.

2. Общая формула излучения (нерелятивистский случай). Дипольное, квадрупольное и магнитодипольное излучение. Черенковское излучение. Использование черенковского излучения в детекторах космических лучей. Томсоновское рассеяние

Выводится общая формула излучения для произвольного движения частицы с заданной скоростью и ускорением. Демонстрируется применение метода функций Грина для решения данной задачи. Далее полученная формула применяется для описания различных типов излучения. Также объясняется, откуда в задачах электродинамики берется квадрат дельта-функции Дирака и как убрать вызванную им расходимость.

### 3. Общая формула излучения (релятивистский случай). Ионизационные и кулоновские потери. Тормозное излучение. Тепловое тормозное излучение

Формула излучения распространяется на релятивистский случай. Отмечаются особенности, связанные с релятивистским движением заряда. Рассматриваются процессы при взаимодействии быстрых заряженных частиц с фоновыми частицами плазмы: потери на рассеяние фоновых частиц и излучение при столкновениях. Отдельно рассматривается излучение оптически тонкой горячей плазмы, связанное со столкновениями частиц.

### 4. Описание излучения. Параметры Стокса. Уравнение переноса излучения

Вводятся количественные параметры, позволяющие описать поляризационные свойства излучения – параметры Стокса. Описывается их физический смысл и свойства, а также рассматриваются примеры параметров Стокса для излучения различной поляризации. Приводится уравнение переноса излучения, позволяющее описать трансформацию параметров излучения при прохождении через среду.

### 5. Синхротронное излучение. Релятивистский и нерелятивистский случай. Поляризация синхротронного излучения. Излучение системы частиц. Изгибное излучение

Подробно объясняется, как излучает заряд в магнитном поле. Приводятся вывод параметров Стокса для нерелятивистского и релятивистского движения заряда. Показывается простая аналитическая оценка эффективной частоты излучения при релятивистском движении зарядка.

### 6. Обратное комптоновское рассеяние. Эффект Сюняева-Зельдовича. Уравнение Компанейца

Рассматривается рассеяние мягких фотонов релятивистскими и нерелятивистскими частицами. Показано, как меняется частота рассеянного фотона и оценивается спектр рассеянных фотонов для произвольного (в том числе и анизотропного) распределения электронов. Также рассматривается нерелятивистский предел и кинетическое уравнение, описывающее взаимодействие фотонов и частиц.

### 7. Переходное излучение

Общая формула для излучения применяется для описания излучения при переходе через границу раздела сред. Исследуются поляризационные свойства переходного излучения по аналогии с излучением Вавилова-Черенкова.

### 8. Излучение при столкновениях адронов. Аннигиляционное излучение

Кратко описываются свойства излучения, не связанного с классической электродинамикой: излучение при столкновениях адронов за счет рождения и распада нейтральных пионов, а также излучение при электрон-позитронной аннигиляции. Рассматривается кинематика процессов и ее влияние на спектр излучения.

### 9. Введение в космические лучи. Исторический обзор

Вводится определение космических лучей. Дается краткое историческое описание истории их открытия и изучения их свойств. Описываются современные методы регистрации космических лучей.

10. Наблюдательные свойства космических лучей. Ускорение Ферми первого и второго порядка

Описываются свойства космических лучей, полученные с помощью прямых и косвенных наблюдений. Показывается, как данные свойства связаны с особенностями распространения и происхождения космических лучей. Описываются вариации спектра космических лучей за счет ускорения и убегания. Приводятся два простых примера ускорения частиц по механизму Ферми.

11. Формальный вывод кинетического уравнения для заряженных частиц. Телеграфное уравнение. Ускорение заряженных частиц ударными волнами. Максимальная энергия частиц, ускоренных на ударной волне

Выводится простое кинетическое уравнение, описывающее распространение заряженных частиц в среде с рассеянием. Показывается, как данное уравнение превращается в диффузионное, отмечаются ограничения диффузионного подхода и метод устранения ограничений с помощью сохранения членов более высокого порядка. Уравнение применяется для описания ускорения частиц на ударной волне, вычисляется спектр ускоренных частиц и их максимальная энергия.

12. Неустойчивости в плазме. Затухание Ландау и потоковая неустойчивость. Резонансное и нерезонансное взаимодействие частиц с волнами. Белловская неустойчивость и усиление магнитного поля.

Рассматриваются различные механизмы нелинейного взаимодействия заряженных частиц с плазмой. Качественно описывается взаимодействие заряженной частицы с плазменной волной и объясняется механизм передачи энергии от волны частице и наоборот. Также рассматривается коллективное взаимодействие частиц с токами в плазме и вызываемое за счет данного взаимодействия усиление поля (неустойчивость Белла).

13. Распространение частиц в случайных магнитных полях. Уравнение Фоккера-Планка. Диффузионное приближение

Выводится кинетическое уравнение, описывающее движение частиц в случайном магнитном поле. Вводится понятие квазилинейного приближения. Показывается, как из уравнения Больцмана получается уравнение конвекции-диффузии в пространстве пич-углов и импульсов (уравнение Фоккера-Планка). Демонстрируется, как уравнение Фоккера-Планка сводится к диффузионному уравнению и какие предположения делаются в процессе вывода.

14. Энергия инжекции. Убегающие частицы. Проблемы перегрева плазмы при ускорении

Рассматриваются механизмы переброса частиц из теплового распределения в нетепловые хвосты (инжекция). Показывается, к каким ошибкам может привести неправильная оценка темпов инжекции, а также, как механизмы инжекции влияют на эффективность ускорения заряженных частиц.

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

Учебная аудитория, оснащенная доской. Компьютер и мультимедийное оборудование (проектор).

## **6. Перечень рекомендуемой литературы**

### **Основная литература**

1. Теоретическая физика [Текст] : в 10 т. Т. 2 : Теория поля : учеб. пособие для вузов / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; под. ред. Л. П. Питаевского .— 8-е изд., стереотип. — М. : Физматлит, 2001, 2003, 2006, 2012, 2014 .— 536 с.

2. Теоретическая физика и астрофизика. Дополнительные главы [Текст]/В. Л. Гинзбург, -М., Наука, 1981
3. Основы физики плазмы [Текст] : [учебник для вузов] / Н. Кролл, А. Трайвелпис ; пер. с англ. Л. А. Большова, Ю. А. Дрейзина ; под ред. А. М. Дыхне .— М. : Мир, 1975 .— 525 с.
4. В.Л.Гинзбург. Теоретическая физика и астрофизика. М.: Наука, 1987
5. И.Н.Топтыгин. Космические лучи в межпланетных магнитных полях. М.: Наука, 1983

#### Дополнительная литература

1. Теоретическая физика [Текст] : в 10 т. Т. 8 : Электродинамика сплошных сред : учеб. пособие для ун-тов / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц .— М. : Наука, 1992, 2001, 2003, 2005 .— 662 с.
2. Происхождение космических лучей [Текст]/В. Л. Гинзбург, С. И. Сыроватский , -М., Изд-во Акад. наук СССР, 1963
3. Распространение электромагнитных волн в плазме [Текст]/В. Л. Гинзбург, -М., Наука, 1967
4. В.Л.Березинский, С.В.Буланов, В.Л.Гинзбург, В.А.Догель, В.С.Птускин. Астрофизика космических лучей. М.: Наука, 1990

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

Не используются

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

Демонстрация презентаций с использованием Microsoft Office (Power Point). При необходимости, проведение видеоконференций с использованием Google Meet.

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

Студент, изучающий дисциплину, должен с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике. В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения и понятия, уметь применять полученные знания для решения различных задач.

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 к преподавателю.

Возможен 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 проблем физики и астрофизики
<b>курс:</b>	4
<b>квалификация:</b>	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 8 (весенний) - Экзамен

**Разработчик:** В.А. Догель, д-р физ.-мат. наук, профессор



## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
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-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов
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-2 Способен анализировать полученные в ходе научно-исследовательской работы данные и делать научные выводы (заключения)	ПК-2.2 Умеет находить ключевые параметры, определяющие изучаемое явление, и производить численные оценки по порядку величины
ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.1 Знает численные порядки величин, характерных для соответствующей профессиональной области
	ПК-4.3 Способен обосновать причинно-следственные отношения используемых понятий и моделей

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Теория излучения» обучающийся должен:

### знать:

основные механизмы излучения заряженных частиц и основные свойства излучения, свойства электромагнитных волн в плазме.

### уметь:

вычислять параметры излучения (интенсивность, поляризация) при произвольном движении заряженной частицы. Описывать движение заряженных частиц в случайном электромагнитном поле.

### владеть:

методом функций Грина и методом преобразований Фурье для решения задач классической электродинамики.

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

- Пример задач для самостоятельного решения:

1. Пользуясь общей формулой для потерь на излучение вычислить степень поляризации излучения Вавилова-Черенкова
2. Используя параметры Стокса для синхротронного излучения оценить степень линейной поляризации степенного спектра электронов
3. Посчитать максимальную энергию, которую протон может передать покоящемуся электрону
4. Посчитать минимальную и максимальную энергию при двухфотонной аннигиляции релятивистского позитрона

5. Посчитать угол рассеяния заряженной частицы на неоднородности магнитного поля заданной формы

- Пример тем для доклада на семинаре (самостоятельное изучение):

1. Эффект Сюняева-Зельдовича
2. Комптонизация излучения
3. Пробой на убегающих электронах
4. Кинетическое уравнение для горячей плазмы

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

Перечень контрольных вопросов

1. Чему равна групповая и фазовая скорости ленгмюровской волны
2. Как групповая и фазовая скорость альвеновской волны зависит от угла между  $k$  и  $B$
3. Почему в формуле для потерь частиц возникает квадрат дельта-функции, и как исправить возникающую расходимость
4. Возможно ли черенковское излучение при движении заряда в плазме
5. При каких условиях применимо томсоновское приближения для рассеяния фотона на заряде
6. Как сосредоточено излучение релятивистского источника
7. Что такое кулоновский логарифм и как его оценить
8. Как выделяется энергия при тормозном излучении
9. Как возникает переходное излучение
10. Чем отличается излучение частицы в магнитном поле в релятивистском и нерелятивистском случае
11. Как оценить максимальную энергию электрона, при которой будет справедлива томсоновское приближение для обратного комптоновского рассеяния
12. Что такое ускорение Ферми 2го рода и не нарушает ли оно второе начало термодинамики
13. Как оценить, применимо ли уравнение диффузии, зная характерный размер системы и характерное время задачи
14. С чем связано затухание Ландау
15. Затухают ли электромагнитные волны высокой частоты в плазме по механизму Ландау

Примеры контрольных заданий

1. Посчитать время запаздывания сигнала с длиной волны 1 м от источника на расстоянии 500 пк при прохождении плазмы плотностью 0.03 частиц в куб. см.
2. Найти угловое распределение и поляризацию излучения электрического диполя, осциллирующего вдоль оси  $z$ , направленной к наблюдателю.
3. Найти угловое распределение и поляризацию излучения электрического диполя, вращающегося в плоскости  $xu$  (ось  $z$  направлена к наблюдателю).
4. Из скопления Галактик наблюдается поток рентгеновского излучения  $I_X$ , связанного с комптоновским рассеянием, и радиоизлучения  $I_R$ , связанный с синхротронным излучением. Оценить напряженность магнитного поля, если плотность фотонов известна.
5. Ультрарелятивистский электрон движется в магнитном поле и излучает синхротрон. Как будет меняться его питч-угол с течением времени.
6. Посчитать темп потерь электронов на обратное комптоновское рассеяние в нерелятивистском случае (фотоны считать холодными)
7. Посчитать степень поляризации излучения при томсоновском рассеянии на 90 градусов

Примеры экзаменационных билетов

Билет 1.

1. Посчитать время запаздывания сигнала с длиной волны 1 м от источника на расстоянии 500 пк при прохождении плазмы плотностью 0.03 частиц в куб. см.
2. Ионизационные потери. Кулоновский логарифм.

Билет 2.

1. Найти угловое распределение и поляризацию излучения электрического диполя, осциллирующего вдоль оси  $z$ , направленной к наблюдателю.

2. Альвеновская волна

Билет 3.

1. Ультрарелятивистский электрон движется в магнитном поле и излучает синхротрон. Как будет меняться его питч-угол с течением времени.

2. Дисперсионное соотношение холодной плазмы

Билет 4.

1. Посчитать степень поляризации излучения при томсоновском рассеянии на  $90^\circ$  градусов

2. Затухание Ландау

Билет 5.

1. Посчитать темп потерь электронов на обратное комптоновское рассеяние в нерелятивистском случае (фотоны считать холодными)

2. Характерная частота синхротронного излучения (релятивистский случай).

### 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**

Экзамен проводится по билетам. В каждом билете представлено два теоретических вопроса. При проведении экзамена обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку. Опрос обучающегося не должен превышать одного астрономического часа.