

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

**УТВЕРЖДЕНО**

**Директор физтех-школы физики  
и исследований им. Ландау  
А.В. Рогачев**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Импульсная энергетика, электроника, плазменные пинчи
<b>по направлению:</b>	Фотоника и оптоинформатика
<b>профиль подготовки:</b>	Фотоника, квантовые технологии и двумерные материалы Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра электрофизики
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

1 (осенний) - Экзамен

2 (весенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 60 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 60 час.

Подготовка к экзамену: 60 час.

Всего часов: 180, всего зач. ед.: 4

Программу составил: С.И. Ткаченко, д-р физ.-мат. наук, доцент

Программа обсуждена на заседании кафедры электрофизики 14.06.2024

## Аннотация

Курс «Импульсная энергетика, электроника, плазменные пинчи» является междисциплинарным, и объединяет знания из различных областей физики, предназначен для изучения студентами 1-го курса магистратуры МФТИ, обучающихся по направлению подготовки 03.04.01 «Прикладные математика и физика» в Физтех-школе Физики и исследований им. Ландау.

В рамках курса студенты будут изучать основы наносекундной импульсной энергетике и электроники, физики плотной высокотемпературной плазмы и инерциального управляемого синтеза, методы диагностики такой плазмы, а также методы измерения наносекундных импульсов мегаамперных токов и высоких напряжений. Студент, изучающий курс, должен с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания при постановке и проведении экспериментальных исследований и анализе полученных данных.

## 1. Цели и задачи

### Цель дисциплины

освоение студентами фундаментальных знаний в области наносекундной импульсной энергетике и электроники, физики плотной высокотемпературной плазмы и инерциального управляемого синтеза. Основной акцент сделан на изложение основных положений этого направления науки и перспективы ее применения в науке и практике. Актуальность данного курса определяется быстрым развитием современных энергетических технологий, их использованием в различных областях науки и техники. Введение данного курса связано также с острой необходимостью в подготовке для высшей школы, научных учреждений и промышленности высококвалифицированных специалистов в области импульсной энергетике и электроники, физики плотной высокотемпературной плазмы.

### Задачи дисциплины

формирование базовых знаний в области наносекундной импульсной энергетике и электроники, физики плотной высокотемпературной плазмы и инерциального управляемого синтеза, интегрирующей общефизическую и общетеоретическую подготовку физиков и обеспечивающей технологические основы современных инновационных сфер деятельности;

обучение студентов принципам работы, создания и использования новейших импульсных электрофизических устройств выявление особенностей их функциональных характеристик;

формирование подходов к выполнению исследований студентами в области электрофизики, оптики когерентного излучения, физики плотной высокотемпературной плазмы в рамках выполнения работ в лабораториях базовых предприятий.

## 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
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)
	ПК-3.3 Способен оценивать точность полученных экспериментальных (численных) результатов

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

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- основные концепции, законы и принципы, применяемые при изучении современной физики плазмы;
- основные теоретические и экспериментальные методы, используемые при изучении быстропротекающих импульсных процессов;
- основные результаты открытий и исследований, определивших пути развития электрофизики, физики плазмы.

уметь:

- проводить самостоятельно и в коллективе экспериментальные или теоретические исследования по физике плазмы, управляемых термоядерных реакций;
- уметь получать наилучшие значения измеряемых величин и правильно оценивать степень их достоверность;
- анализировать и обобщать результаты экспериментальных исследований;
- видеть и оценивать основные проблемы и ставить новые задачи.

владеть:

- методикой экспериментальной работы с современными сильноточными ускорителями;
- культурой проведения модельных расчетов;
- основными навыками представления своих результатов на семинарах, конференциях;
- навыками освоения большого объема информации, включая работу с научной литературой;
- основными навыками написания научных статей.

#### 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 электрических цепей.	3			3
2	Передача и трансформация мощных электрических импульсов в линиях.	3			3
3	Методы формирования наносекундных импульсов тока и напряжения.	4			4
4	Методы умножения импульсов напряжений.	3			3
5	Импульсные процессы и импульсные генераторы тока и напряжения.	3			3
6	Транспортировка токов мегаамперного уровня по магнитоизолированным вакуумным транспортирующим линиям (МИВТЛ).	4			4
7	Методы измерения наносекундных мощных импульсов тока и напряжения.	3			3
8	Генерация плотной высокотемпературной плазмы и инерциальный управляемый термоядерный синтез (УТС).	3			3
9	Инерциальный лазерный термоядерный синтез.	4			4
10	Инерциальный термоядерный синтез на основе быстрых z-пинчей (плазменных лайнеров).	3			3
11	Основные принципы диагностики в физике плазмы.	3			3
12	Приемники светового излучения.	4			4
13	Методы теневой фотографии.	3			3
14	Методы теневой фотографии.	3			3
15	Рентгеновские диагностики.	4			4

16	Рентгеновское и корпускулярное излучение пинча.	3			3
17	Измерение потоков рентгеновского излучения.	3			3
18	Математическое моделирование взрыва одиночных проволочек и многопроволочных сборок.	4			4
Итого часов		60			60
Подготовка к экзамену		60 час.			
Общая трудоёмкость		180 час., 4 зач.ед.			

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

##### Семестр: 1 (Осенний)

##### 1. Основы теории электрических цепей.

Квазистатические и волновые электромагнитные поля. Сосредоточенные линейные элементы электрических цепей. Методы описания процессов в электрических цепях. Передача сигналов линейными цепями. Переходные процессы в цепях.

##### 2. Передача и трансформация мощных электрических импульсов в линиях.

Передача энергии в импульсной форме. Кабельные линии. Телеграфные уравнения. Линии с нагрузкой. Трансформирование импульсов неоднородными линиями. Магнитная самоизоляция вакуумных линий.

##### 3. Методы формирования наносекундных импульсов тока и напряжения.

Разряд емкостных накопителей. Использование индуктивных накопителей. Формирования наносекундных импульсов с помощью длинных линий.

##### 4. Методы умножения импульсов напряжений.

Умножение напряжения в генераторах с сосредоточенными элементами. Умножение напряжения в генераторах с линиями. Импульсные трансформаторы.

##### 5. Импульсные процессы и импульсные генераторы тока и напряжения.

Импульсная энергетика и силовоточная электроника. Общие принципы построения мощных импульсных генераторов. Z (SANDIA National Laboratories, USA); Ангара-5-1 (ТРИНИТИ, Троицк); ГИТ-12 (ИСЭ СО РАН, Томск); PTS (Китай); С-300 (Курчатовский институт); Sphinx machine (Centre d'Etudes de Gramat, Gramat, France). Накопители энергии.

##### 6. Транспортировка токов мегаамперного уровня по магнитоизолированным вакуумным транспортирующим линиям (МИВТЛ).

Импульсный электрический пробой в вакууме. Взрывная электронная эмиссия. Исследования состояния токонесущих элементов, по которым ток генератора мегаамперного уровня транспортируется на нагрузку.

##### 7. Методы измерения наносекундных мощных импульсов тока и напряжения.

Особенности токовых измерений на сильнотоочных машинах. Коаксиальный шунт. Измерения тока магнитными зондами. Пояс Роговского с интегрирующей цепочкой. Пояс Роговского с обратным витком. Измерение импульсного напряжения: резистивный делитель; емкостной делитель; компенсированный делитель.

8. Генерация плотной высокотемпературной плазмы и инерциальный управляемый термоядерный синтез (УТС).

Критерий Лоусона. УТС с инерционным удержанием. Критерий зажигания мишени в инерционных системах.

9. Инерциальный лазерный термоядерный синтез.

Физические проблемы лазерного термоядерного синтеза: поглощение и рассеяние мощного лазерного излучения плазмой, перенос энергии из зоны поглощения на поверхность твердой мишени, режимы сжатия и нагрева термоядерного топлива. Прямой и непрямой способы зажигания мишени. Искра (РФЯЦ-ВНИИЭФ), NIF (Lawrence Livermore National Laboratory, Livermore, California, USA).

Семестр: 2 (Весенний)

10. Инерциальный термоядерный синтез на основе быстрых z-пинчей (плазменных лайнеров).

Z-пинча – драйвер для инерциального термоядерного синтеза. Хольраум. Проект динамического хольраума. Концепция реализации частотного Z-пинча импульсного термоядерного реактора для энергетических систем.

11. Основные принципы диагностики в физике плазмы.

Анализ процессов, происходящих в плазме, при изучении которых можно определять ее параметры (температуру и концентрацию ее подсистем – нейтралов, электронов и ионов различного заряда. Введенная в вещество энергия; пространственно-временная картина общих изменений формы плазмы в процессе ее существования и распада; распределение в пространстве и во времени полей, окружающих плазму; излучению в различных спектральных диапазонах; процессов прохождения, ослабления и рассеяния излучения плазмой; анализом частиц, вылетающих из плазмы, так и взаимодействие электронных, ионных и молекулярных пучков с плазмой.

12. Приемники светового излучения.

Избирательность и быстродействие. Шумы и флуктуации. Тепловой шум Джонсона. Дробовой шум. Шумы цифровой записи. Фотоэмиссионные приемники излучения. Фотоумножители. Многофотонная фотоэлектронная эмиссия металлов. Важные свойства фотоэффекта. Квантовый выход фотокатодов в различных спектральных диапазонах. Пороговая чувствительность фотоумножителя. Электронно-оптический преобразователь. Регистрация исследуемых процессов в кадровом, многокадровом и хронографическом режиме.

13. Методы теневой фотографии.

Основные принципы получения интерференционного изображения. Показатель преломления электронной и нейтральной компонент плазмы. Интерферометр Маха-Цендера; Интерферометр сдвига. Абелизация в случае цилиндрических объектов. Примеры анализа интерференционных изображений, полученных на различных установках. Интерферометр с фотоэлектрической регистрацией. Чувствительность интерференционного метода.

14. Методы теневой фотографии.

Типичная схема теневого оптического зондирования. Механизмы появления тени на фотографиях при зондировании плазменных объектов: “отсечка” зондирующего излучения в плазме; обратное тормозное поглощение зондирующего излучения в плазме; рефракция зондирующего пучка в областях с градиентами концентрации электронов плазмы. Резонансная интерферометрия. Примеры анализа теневых изображений, полученных на различных установках. Шлирен – метод. Комплексный анализ интерференционных, теневых и шлирен-изображений; оценки параметров вещества в разрядном канале. Влияние длительности лазерного импульса на разрешение полученных изображений.

#### 15. Рентгеновские диагностики.

Взаимодействие рентгеновского излучения с веществом. Формирование рентгеновских изображений. Камера-обскура. Конструкция щелевой камеры со ступенчатым ослабителем. Схема линейной Брэгг-Френелевской линзы. Конструкция преломляющей капиллярно-пузырьковой линзы. Рентгеновская спектроскопия. Рентгеновские спектрографы. Спектрограф с выпуклым кристаллом. Цилиндрический фокусирующий спектрограф. Определение параметров плазмы по спектрам. Схема регистрации спектров с временным разрешением. Рентгеновское зондирование вещества: рентгеновские трубки, синхротронное излучение, формирование рентгеновского источника при облучении лазером мишени, X-пинч. Схемы рентгеновской радиографии. Метод фазового контраста.

#### 16. Рентгеновское и корпускулярное излучение пинча.

Сцинтилляционные конверторы гамма-нейтронных изображений. Сцинтилляционные детекторы. Применение сцинтилляторов для регистрации мягкого рентгеновского излучения.

#### 17. Измерение потоков рентгеновского излучения.

Генерация рентгеновского излучения. Вакуумные рентгеновские диоды. Полупроводниковые детекторы. Зависимость тока фотоэмиссии открытого вакуумного диода от температуры плазмы источника излучения. Ограничение тока диода. Примеры анализа измерений рентгеновского излучения на различных установках. Шумы.

#### 18. Математическое моделирование взрыва одиночных проволок и многопроволочных сборок.

МГД моделирование плазменных пинчей в одно-, двух и трехмерных приближениях. Моделирование распада метастабильного состояния Al проволоки при ее взрыве. Развитие неустойчивостей в пинчах.

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

Учебная аудитория, оснащенная мультимедиапроектором и экраном.

### 6. Перечень рекомендуемой литературы

#### Основная литература

1. Импульсная энергетика и электроника [Текст], [монография]/Г. А. Месяц, -М, Наука, 2004
2. Горячая плазма и управляемый ядерный синтез [Текст]/С. Ю. Лукьянов, -М., Наука, 1975
3. Диагностика плотной плазмы [Текст]/Н. Г. Басов [и др.], -М., Наука, 1989

#### Дополнительная литература

1. Ядерный синтез с инерционным удержанием : современное состояние и перспективы для энергетика [Текст]/М. М. Баско [и др.], -М., Физматлит, 2005
2. Диагностика плазмы [Текст], монография/под ред. Р. Хадлстоуна, С. Леонарда, -М., Мир, 1967

3. Лазерные методы исследования плазмы [Текст], [монография]/А. Н. Зайдель, Г. В. Островская, -Л., Наука, 1977
1. Г. А. Месяц, И. В. Пегель. Введение в наносекундную импульсную энергетику и электронику. - М.: ФИАН, 2009.
3. Рентгеновские лучи / под ред. М. А. Блохина. - Москва: Из-во Иностранная литература, 1960

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

<http://lebedev.ru> – портал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физического института им. П.Н.Лебедева Российской академии наук.

<http://www.edu.ru> – федеральный портал «Российское образование».

<http://benran.ru> –библиотека по естественным наукам Российской академии наук.

<http://www.i-exam.ru> – единый портал Интернет-тестирования в сфере образования.

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

На лекционных занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций. документов. Типовая комплектация должна включать: мультимедийный проектор и персональный компьютер, оснащенный современными программами для презентаций.

## **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 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>	Фотоника и оптоинформатика
<b>профиль подготовки:</b>	Фотоника, квантовые технологии и двумерные материалы Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра электрофизики
<b>курс:</b>	<u>1</u>
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

- 1 (осенний) - Экзамен
- 2 (весенний) - Экзамен

**Разработчик:** С.И. Ткаченко, д-р физ.-мат. наук, доцент



## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
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)
	ПК-3.3 Способен оценивать точность полученных экспериментальных (численных) результатов

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Импульсная энергетика, электроника, плазменные пинчи» обучающийся должен:

### знать:

- основные концепции, законы и принципы, применяемые при изучении современной физики плазмы;
- основные теоретические и экспериментальные методы, используемые при изучении быстропотекающих импульсных процессов;
- основные результаты открытий и исследований, определивших пути развития электрофизики, физики плазмы.

### уметь:

- проводить самостоятельно и в коллективе экспериментальные или теоретические исследования по физике плазмы, управляемых термоядерных реакций;
- уметь получать наилучшие значения измеряемых величин и правильно оценивать степень их достоверность;
- анализировать и обобщать результаты экспериментальных исследований;
- видеть и оценивать основные проблемы и ставить новые задачи.

### владеть:

- методикой экспериментальной работы с современными сильноточными ускорителями;
- культурой проведения модельных расчетов;
- основными навыками представления своих результатов на семинарах, конференциях;
- навыками освоения большого объема информации, включая работу с научной литературой;
- основными навыками написания научных статей.

## 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

Перечень контрольных вопросов

1. Ток вакуумного рентгеновского диода.
2. Генерация плотной высокотемпературной плазмы.
3. Основные принципы диагностики в физике плазмы.
4. Шумы в измерительных системах.
5. Переходные процессы в линейных цепях.
6. Вывод телеграфных уравнений.
7. Методы формирования наносекундных импульсов тока и напряжения.
8. Умножение напряжения в генераторах с сосредоточенными элементами. Умножение напряжения в генераторах с линиями.

9. Импульсный электрический пробой в вакууме. Взрывная электронная эмиссия.
10. Основные принципы получения интерференционного изображения. Чувствительность интерференционного метода.

#### Примеры контрольных заданий

1. Оцените пороговую чувствительность фотоумножителя.
2. Выведите формулы пояса Роговского.
3. Оцените чувствительность интерференционного метода.
4. Оцените, чем определяется порог чувствительности вакуумного рентгеновского диода.
5. Оцените наилучшее пространственное разрешение лазерных кадровых изображений.

#### Примеры экзаменационных билетов:

9 семестр:

Билет 1.

1. Измерительный тракт в длинных линиях. Измерение импульсных токов и напряжений.
2. Оцените поток мощности (в Вт/см<sup>2</sup>) излучения на длине волны 500 нм, который можно зарегистрировать вакуумным фотоэлементом с квантовым выходом  $s = 5 \cdot 10^{-2}$  и темновым током  $j \sim 10\text{--}15$  А/см<sup>2</sup> в полосе а) 100 МГц и б) 1 Гц. Надежная регистрация сигнала возможна, если отношение мощности сигнал/шум не ниже 100 (по мощности). Прокомментируйте полученный результат.

Билет 2.

1. Методы электронно-оптической регистрации в видимом диапазоне: кадровые, хронографические. Детекторы оптического излучения.
2. Вывод формулы пояса Роговского.

Билет 3.

1. Методы оптического зондирования плазмы: интерферометрия. Требования к источникам подсветки; чувствительность метода; возможные проблемы при восстановлении распределения плотности.
2. На рисунке приведена схема кабельного трансформатора, в котором используются четыре 30 м отрезка коаксиального кабеля с полиэтиленом в качестве диэлектрика ( $\epsilon = 2.25$ ). Определите  $U_{\text{вых}}$ , если на вход подается прямоугольный импульс напряжения амплитудой  $U_0 = 100$  В и длительностью 20 нс, внутреннее сопротивление генератора  $R_{\text{вн}} = 12.5$  Ом. Можно ли в этом случае рассматривать каждый кабель как длинную линию?

10 семестр:

Билет 1.

1. Способы формирования пинчей. Используемые установки. Области применения пинчей.
2. Сцинтилляционный счетчик, предназначенный для регистрации рентгеновского излучения с энергией квантов 6 кэВ, представляет собой ФЭУ, на входное окно которого нанесен слой антрацена, люминесцирующего при попадании рентгеновского кванта. Средняя мощность рентгеновского излучения  $W \sim 10^9$  Вт. Оценить время регистрации, необходимое для измерения мощности излучения с точностью 1%, если коэффициент конверсии энергии рентгеновского излучения в световую равен для антрацена  $k = 5 \cdot 10^{-2}$ , квантовый выход фотокатода  $Y = 0.1$ ; люминесценция происходит на длине волны  $\lambda = 412$  нм. Повлияет ли на результат учет темнового тока фотокатода  $I = 10^{-14}$  А?

Билет 2.

1. Измерение потоков рентгеновского излучения.
2. Плоская монохроматическая волна падает слева на стеклянный квадратный клин (коэффициент преломления  $n$ , угол  $\gamma$  при вершине малый). В фокусе собирающей линзы  $f$ , находящейся на расстоянии  $l > 2f$  от клина, расположен маленький непрозрачный диск диаметром  $d \ll D$ . Сторона клина  $h$  меньше диаметра линзы  $D$ . Опишите картину, которую можно наблюдать в плоскости изображения клина (дифракционными эффектами можно пренебречь).

Билет 3.

1. Концепция ИТС на основе быстрых z-пинчей.

2. Определите чувствительность (в сдвигах фазы) идеального интерферометра с мощностью сигнала  $P$  в каждом плече при фотоэлектрической регистрации приемника, с темновым током  $I_t$ , квантовым выходом  $\Upsilon$  и полосе частот  $\Delta f$ . Чувствительность необходимо определить в точках максимума, минимума и половине интенсивности интерференционной картины.

#### 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 проходит в традиционной форме беседы преподавателя со студентом по теме экзаменационного билета. Экзаменационный билет содержит один теоретический вопрос из программы курса и одну задачу.

Для подготовки к устному ответу обучающемуся отводится от 45 до 60 минут. Во время подготовки к ответу студенту разрешается пользоваться своими конспектами. Использование электронных устройств (в том числе средств сотовой радиосвязи) не допускается.

В процессе ответа разрешается пользоваться заранее подготовленным планом ответа и заранее подготовленными иллюстрациями/графиками, представленными в бумажном виде. Используемые графики или иллюстрации не должны содержать частей текста доклада. В процессе ответа по билету экзаменатор может задавать уточняющие вопросы. После ответа по билету экзаменатор вправе задавать студенту любые дополнительные вопросы по программе курса.

В совокупности опрос обучающегося на устном экзамене не должен превышать двух астрономических часов.