

**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**

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Электродинамика композитов
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Космические технологии Физтех-школа Аэрокосмических Технологий кафедра электродинамики сложных систем и нанофотоники
курс:	1
квалификация:	магистр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

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

Аудиторных часов: 75 всего, в том числе:

лекции: 75 час.
семинары: 0 час.
лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 75 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 180, всего зач. ед.: 4

Программу составил: А.П. Виноградов, д-р физ.-мат. наук, профессор

Программа обсуждена на заседании кафедры электродинамики сложных систем и нанофотоники 08.06.2022

Аннотация

В курсе рассматривается физика электромагнитных явлений в композитных материалах. Изложение сосредоточено на случаях, не рассматриваемых в стандартных курсах электродинамики, но часто встречающихся в практике. В частности рассматриваются перколяционные системы, метаматериалы, искусственные магнетики, киральные и плазмонные среды. Основная задача курса – дать возможность студенту свободно ориентироваться в современной литературе по данной тематике.

Физика рассматриваемых явлений характеризуется многими масштабами: длиной волны в вакууме, длинами волн в веществах, характерными размерами включений, корреляционной длиной, описывающей распределение ингредиентов в композите и т.д.. В курсе излагаются соответствующие подходы для получения решений в каждом из этих случаев. Рассмотрены как различные частотные диапазоны – от статики до частот, где проявляется частотная и пространственная дисперсия эффективных параметров, так и различные типы распределений – от разбавленных смесей до перколяционных систем. Отдельно рассмотрены периодические системы (фотонные кристаллы). Наряду с обзором основных теоретических подходов таких как теория гомогенизации, теория перколяции, метод ренормгруппы, теоретико-полевые методы, приводятся выводы и обсуждаются границы применимости наиболее часто используемых формул смешения: формулы Д.К.М. Гарнетта и формулы фон Бруггемана. Большое внимание уделяется приложениям, рассмотрены основные принципы синтеза радиопоглощающих покрытий, показаны ограничения на их свойства.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

Цель дисциплины - освоение студентами фундаментальных знаний в области электродинамики неоднородных систем и получение навыков использовать эти знания на практике для решения научно-исследовательских задач, подготовка из студентов грамотных ученых, способных к самостоятельной творческой работе.

Задачи дисциплины

1. Формирование базовых знаний в области электродинамики сплошных сред, методы описания неоднородных сред: статические поля (теория гомогенизации, формулы смешения, теория протекания), квазистатические поля (частотная и пространственная дисперсия эффективных материальных параметров), электродинамика неоднородных сред (фотонные кристаллы, теория локализации света), электродинамика субволновых полей (плазмоника, метаматериалы).
2. На основе общефизической и общетеоретической подготовки студентов выработать единый подход к пониманию физики электромагнитных явлений, происходящих в неоднородных средах.
3. Обучение студентов навыкам применения полученных знаний для решения практических задач, с которыми студенты сталкиваются при прохождении научно-исследовательской практики.
4. Формирование подходов к выполнению студентами своих исследований в рамках выпускных работ на степень магистра.
5. Привить навыки к критическому осмыслению поступающей информации. Это касается как собственных результатов, так и информации, поступающей из других источников, как-то интернет, СМИ, статьи в научных журналах и т.п.
6. Научить студентов ставить задачи, исходя из логики развития науки, а не из известных математических приемов решения задач.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1. Способен осуществлять интеллектуальный	УК-1.2 Осуществляет поиск вариантов решения поставленной проблемной ситуации на основе доступных источников информации

УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	УК-1.3 Разрабатывает стратегию достижения поставленной цели как последовательность шагов, предвидя результат каждого из них и оценивая их влияние на внешнее окружение планируемой деятельности и на взаимоотношения участников этой деятельности
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
ПК-3 Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием (приборами и установками, специализированными пакетами прикладных программ) в избранной предметной области	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:

основы электродинамики неоднородных сред

уметь:

пользоваться базовым математическим аппаратом, ориентироваться в современной научной литературе по проблеме и критически воспринимать поступающую информацию

владеть:

знаниями основ теории электромагнетизма, включая оптику и знаниями о современном состоянии проблемы

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	Основные уравнения электродинамики (статика, квазистатика, динамика)	2			1
2	Случай постоянных полей	4			2
3	Точно решаемые задачи статики	4			2
4	Квазистационарный случай	4			2
5	Периодические среды (фотонные кристаллы)	4			2
6	Пространственная дисперсия	4			2
7	Теория гомогенизации уравнений Максвелла.	4			2
8	Проблема радиолокационной заметности	4			2
9	Теория андерсоновской локализации света	5			6
10	Плазмоника	5			6
11	Магнитные среды	5			6
12	Распространение волн в диспергирующих средах	5			6
13	Перенос энергии ближними полями	5			6

14	Импеданс	5			6
15	Теорема погашения	5			8
16	Особенности распространения света в анизотропных материалах	5			8
17	Классическая теория спазера	5			8
Итого часов		75			75
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		180 час., 4 зач.ед.			

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

Семестр: 1 (Осенний)

1. Основные уравнения электродинамики (статика, квазистатика, динамика)

Связь граничных условий в статическом, квазистатическом и динамическом случае. Проблема гомогенизации уравнений с меняющимися в пространстве коэффициентами – поиск эффективных уравнений, связь коэффициентов входящих в эти уравнения с точными коэффициентами. История вопроса. Случай постоянных полей. Разделение уравнений для электрических и магнитных полей.

2. Случай постоянных полей

Различные феноменологические подходы для расчета эффективных параметров (диэлектрической и магнитной проницаемостей) неоднородных сред. Случай малых концентраций -- формула Максвелла (газовое приближение). Паде аппроксимация. Формула Снарского-Дыхне. Случай малых флуктуаций: закон одной трети. Понятие локального поля. История вопроса. Поле Лоренца и поле Гайнера. Формула Лорентц-Лоренца. Подход Максвелла Гарнетта. Гамма конвергенция. Периодические среды, двухмасштабная теория гомогенизации.

3. Точно решаемые задачи статики

Задача о симметричном распределении бинарной смеси. Преобразование Дыхне. Решение для стратифицированной среды. Общий вид в случае анизотропных сред. Заготовка к Y-преобразованию. Решение Хашина-Штрикмана. Статический клокинг. Строгие ограничения на значения эффективных параметров. Y-преобразование. Спектральная теория Бергмана. Флуктуационная теория фазовых переходов второго рода. Теория протекания, как фазовый переход второго рода. Метод ренорм группы и уравнения состояния.

4. Квазистационарный случай

Частотная дисперсия. Энергия поля и вектор Пойтинга в случае частотной и пространственной дисперсии. Соотношения Крамерса-Кронига. Причинность и аналитичность. Случай, когда размер неоднородности меньше скин слоя. Теория Друде. Случай, когда размер включения больше скин-слоя. Сдвиг области дисперсии в низкочастотную область. Искусственный магнетизм. Теория эффективной среды для сред с отрицательной диэлектрической проницаемостью. Метаматериалы. Плазмоника. Плазмонный резонанс частиц разной формы. Поверхностные волны на плоскости, пленке и проволоке.

5. Периодические среды (фотонные кристаллы)

Фотонные кристаллы. Брэгговское отражение. Образование запрещенных зон. Эффект Боррманна. Суперпризма и отрицательное преломление. Канализация. Магнитофотонные кристаллы. Дефект мода и усиление эффекта Фарадея. Фотонные кристаллы отрицательной Контрастности. Таммовские состояния в фотонных кристаллах. Обобщенный закон Брэгга и Юховские зоны.

6. Пространственная дисперсия

Проблема дополнительных граничных условий. Решение Рытова для стратифицированной среды. Мезоскопичность импеданса. Численный эксперимент Лагарькова-Киселя. Обобщение теории нелокальных сред Агарвала-Марадудина.

7. Теория гомогенизации уравнений Максвелла.

Теория гомогенизации уравнений Максвелла. История вопроса. Мнимая часть эффективной диэлектрической проницаемости в непоглощающих неоднородных средах. Мультипольные моменты. Теория Ми. Киральные среды. Квадрупольные среды.

8. Проблема радиолокационной заметности

Проблема радиолокационной заметности. Теория синтеза радиопоглощающих покрытий. Покрытие Даленбаха. Экран Солсбери. Радиопоглощающее покрытие на основе магнитных сред.

Семестр: 2 (Весенний)

9. Теория андерсоновской локализации света

Роль брэгговского отражения и зонная теория локализации в одномерном случае. Теория лазеров. Причинное выражение для эффективной диэлектрической проницаемости усиливающей среды. Случайные лазеры.

10. Плазмоники

Электростатический характер плазмоники. Сравнение с магнитостатическими волнами. Строгий вывод дисперсионного выражения для поверхностных мод. Плазмонные линии передач. Эффект Кречмана.

11. Магнитные среды

Магнитные среды. Естественный ферромагнитный резонанс. Дисперсия магнитной проницаемости. Применение поверхностных магнитостатических волн.

12. Распространение волн в диспергирующих средах

Фазовая и групповая скорости и причинность.

13. Перенос энергии ближними полями

Перенос энергии ближними полями. Клокинг и сверхразрешение. Передающие линии передач с субволновым поперечным сечением.

14. Импеданс

Импеданс. Рекурсивная формула расчета входного импеданса. Теория переходного слоя Друде-Симовского.

15. Теорема погашения

Теорема погашения. Оптическая теорема. Эффективная диэлектрическая проницаемость.

16. Особенности распространения света в анизотропных материалах

Юховская запрещенная зона в гиротропных материалах. Остановка света.

17. Классическая теория спазера

Диэлектрическая проницаемость усиливающей среды. Классическая теория спазера и магнитооптического спазера. Компенсация потерь в плазмонных композитах.

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

Персональный компьютер, доска, проектор и экран.

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Осреднение процессов в периодических средах [Текст], математические задачи механики композиционных материалов/Н. С. Бахвалов, Г. П. Панасенко, -М., Наука, 1984
- Электродинамика композитных материалов [Текст] / А. П. Виноградов .— М. : УРСС, 2001 .— 208 с. - Библиогр.: с. 196-205. - 1000 экз. - ISBN 5-8360-0283-5.

Дополнительная литература

1. Введение в механику композитов [Текст]/Р. Кристенсен, пер. с англ. А. И. Бейля, Н. П. Жмудя , -М., Мир, 1982
2. Основы механики гетерогенных сред [Текст]/Р. И. Нигматулин, -М., Наука, 1978
3. Современная теория критических явлений [Текст]/Ш. Ма , -М., Мир, 1980

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)

На лекционных занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций. В процессе самостоятельной работы обучающихся возможно использование таких программных средств, как Mathcad, Scilab и др.

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 преподавателю.

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

Литература для самостоятельного изучения:

1. Усреднение дифференциальных операторов [Текст] / В. В. Жиков, С. М. Козлов, О. А. Олейник. — М. : Физматлит, 1993. — 464 с. - Библиогр.: с. 446-461. - Спис. обознач.: с. 462. - 1000 экз. - ISBN 5-02-014267-0.
4. D.Bergman Ann. Phys. V. 138, pp. 78-114, 1982
5. G. Milton The theory of composites, Cambridge University Press 2002
6. Стенли Г. Фазовые переходы и критические явления М. Мир 1973
7. Bernasconi J., // Phys. Rev. B, 18, p. 2185-2191 (1978)
8. Вайнштейн Лев.Альбертович "Электромагнитные волны"
9. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. "Электродинамика сплошных сред", М. Наука 1992, 661 с.
10. Leon Brillouin Wave propagation and group velocity Academic Press, London 1960
11. S. G. Johnson, J. D. Joannopoulos Photonic Crystals Rluwe Academic Publishers 2002
12. Браун В. Диэлектрики М. ИЛ 1961
5. Z. Hashin, S. Shtrickman Journal of Appl. Phys. 33, 3125 (1962)
6. Y. Kantor, D. J. Bergman "The optical properties of cermets from the theory of electrostatic resonance" J. Phys. C. 15, (1982) 2033-2042

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Космические технологии Физтех-школа Аэрокосмических Технологий кафедра электродинамики сложных систем и нанофотоники
курс:	1
квалификация:	магистр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

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

Разработчик: А.П. Виноградов, д-р физ.-мат. наук, профессор

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	УК-1.2 Осуществляет поиск вариантов решения поставленной проблемной ситуации на основе доступных источников информации
	УК-1.3 Разрабатывает стратегию достижения поставленной цели как последовательность шагов, предвидя результат каждого из них и оценивая их влияние на внешнее окружение планируемой деятельности и на взаимоотношения участников этой деятельности
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
ПК-3 Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием (приборами и установками, специализированными пакетами прикладных программ) в избранной предметной области	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 «Электродинамика композитов» обучающийся должен:

знать:

основы электродинамики неоднородных сред

уметь:

пользоваться базовым математическим аппаратом, ориентироваться в современной научной литературе по проблеме и критически воспринимать поступающую информацию

владеть:

знаниями основ теории электромагнетизма, включая оптику и знаниями о современном состоянии проблемы

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

Примеры контрольных заданий

1. Рассчитать цепь постоянного тока, состоящую из нормального сопротивления и пары параллельно расположенных джозефсоновских контактов. Рассмотреть различные соотношения между транспортным и критическим током.
2. Оценить силу пиннинга вихря, захваченного параллельным ему цилиндрическим несверхпроводящим дефектом радиуса порядка длины когерентности.
3. Найти коэффициент отражения плоской электромагнитной волны от поверхности слоистого ВТСП (падение на плоскость параллельную кристаллографическому направлению c).
4. Найти коэффициент отражения плоской электромагнитной волны от поверхности слоистого ВТСП (падение на плоскость параллельную кристаллографическому направлению ab).
5. Какая энергия выделится при аннигиляции вихря и «антивихря»?

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

Перечень контрольных вопросов для зачета:

1. В чем отличие сверхпроводника от металла с нулевым сопротивлением.
2. Качественно опишите зависимость от температуры и частоты коэффициента поглощения электромагнитного излучения сверхпроводником.

3. В каких перспективных направлениях техники возможно применение сверхпроводимости? В чем преимущество сверхпроводников?
4. Почему магнитные примеси разрушают сверхпроводимость в s-канале? Что будет в p-канале?
5. В чем заключается необычность купратных и железосодержащих?
6. Доказать, что у плазменной волны, распространяющейся по щели между двумя металлическими полупространствами, волновое число растет с падением ширины щели
Вторичное протекание и длина одножильных связей в модели Шкловского-де Жена
7. Найти вектор Пойнтинга двух эванесцентных волн
Критические индексы в модели Шкловского-де Жена
8. Найти среднюю плотность энергии и вектора Пойнтинга в металле (бесстолкновительная плазма) и диэлектрике для плазмона, бегущего по плоской поверхности
Найти порог протекания в задаче узлов (р.г. А. К. Сарычева ЖЭТФ 72, 1001, 1977)
9. Работа Линзы Веселаго
Метод ренормгруппы Бернаскони
10. Показать, что коэффициент прохождения при падении волны справа и слева одинаков
Теорема Дыхне (эквивалентность определений эффективной проводимости) в статике
11. Показать, что в схеме Кречмана плазмон является вытекающей волной
ТЭС на решетке (см. С. Киркпатрик обзор)
12. Отражение и прохождение волны через полуволновой слой
 $\epsilon < 0$ в МГ, полюса Бергмана, спектральное разложение
13. Отражение и прохождение через четвертьволновой слой
Шарик в кривом поле (квадрупольный момент сферы)
14. Просветляющий слой
Поле Гайнера
15. Формула Снарского
Порог протекания в задаче Дыхне (шахматная доска)
16. М Гарнетта и поляризационная катастрофа
Получить итерационное выражение для поверхностного импеданса
17. Формула М Гарнетта
18. Получить выражение для поперечных токов в уравнении для векторного потенциала в кулоновской калибровке
Эффективная проводимость слоистой среды

Примеры экзаменационных билетов

1. Найти плазменную частоту (диэлектрическую проницаемость) l-того мультипольного резонанса
Работа Линзы Веселаго
Вторичное протекание и длина одножильных связей в модели Шкловского-де Жена
2. Доказать, что при плазменном резонансе на конечной частице основная доля энергии сидит в металле
Работа линзы Пендри
Критические индексы в модели Шкловского-де Жена
3. Доказать, что у плазменной волны в щели между двумя металлическими полупространствами Волновое число растет с уменьшением ширины щели
Работа гиперлинзы Белова
Метод ренормгруппы Бернаскони
4. Найти плазменную частоту (диэлектрическую проницаемость) дипольного момента эллипсоида
Найти вектор Пойнтинга двух эванесцентных волн
Теорема Дыхне (эквивалентность определений эффективной проводимости) в статике

5. Найти среднюю плотность энергии и вектора Пойнтинга в металле и диэлектрике для плазмона, бегущего по плоской поверхности

Показать, что в схеме Кречмана плазмон является вытекающей волной

Вывод формул смешения используя, коммулянтное разложение.

Примеры экзаменационных билетов

1. Найти плазмонную частоту (диэлектрическую проницаемость) 1-го мультипольного резонанса

Работа Линзы Веселаго

Вторичное протекание и длина одножильных связей в модели Шкловского-де Жена

2. Доказать, что при плазмонном резонансе на конечной частице основная доля энергии сидит в металле

Работа линзы Пендри

Критические индексы в модели Шкловского-де Жена

3. Доказать, что у плазмонной волны в щели между двумя металлическими полупространстве Волновое число растет с уменьшением ширины щели

Работа гиперлинзы Белова

Метод ренормгруппы Бернаскони

4. Найти плазмонную частоту (диэлектрическую проницаемость) дипольного момента эллипсоида

Найти вектор Пойнтинга двух эванесцентных волн

Теорема Дыхне (эквивалентность определений эффективной проводимости) в статике

5. Найти среднюю плотность энергии и вектора Пойнтинга в металле и диэлектрике для плазмона, бегущего по плоской поверхности

Показать, что в схеме Кречмана плазмон является вытекающей волной

Вывод формул смешения используя, коммулянтное разложение.

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 и зачет проводятся в устной форме по билетам. В каждом билете представлено три теоретических вопроса. При проведении зачёта и экзамена обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку. Опрос обучающегося не должен превышать одного астрономического часа.