

Документ подписан простой электронной подписью Информация о владельце: ФИО: Гаскаев Сергей Валерьевич Должность: Ректор	МИНОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИИ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ»)	
Дата подписания: 02.04.2025 16:53:14 Уникальный программный ключ: 04c19ed8bfb98f3b6cb77a486b9a878808522523	Рабочая программа дисциплины "Космическая электродинамика" по направлению подготовки (специальности) "Физика" направленности (профилю) Фундаментальная физика ФГБОУ ВО «ЧелГУ»	стр. 1

## **Рабочая программа дисциплины (модуля)\***

Космическая электродинамика

Направление подготовки (специальность)

03.03.02 Физика

Направленность (профиль)

Фундаментальная физика

Присваиваемая квалификация (степень)

бакалавр

Форма обучения

очная

Год(ы) набора 2023

\*Рабочая программа дисциплины (модуля) адаптирована для инклюзивного обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья

Челябинск 2023 г.



## Содержание

1. Цели освоения дисциплины
2. Место дисциплины в структуре ОПОП
3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (модуля)
4. Объем дисциплины (модуля)
5. Структура и содержание дисциплины (модуля)
6. Фонд оценочных средств
  - 6.1. Перечень видов оценочных средств
  - 6.2. Типовые контрольные задания и иные материалы для текущей аттестации
  - 6.3. Типовые контрольные вопросы и задания для промежуточной аттестации
  - 6.4. Критерии оценивания
7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)
  - 7.1. Рекомендуемая литература
  - 7.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет"
  - 7.3. Перечень информационных технологий
8. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)
9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)
10. Специальные условия освоения дисциплины обучающимися с инвалидностью и ограниченными возможностями здоровья



### 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель дисциплины «Космическая электродинамика» состоит в изучении фундаментальных основ космической электродинамики, приобретение навыков решения и исследования конкретных физических задач.

Основные задачи дисциплины:

1. Изучение теоретических основ, основных понятий, законов и моделей космической электродинамики.
2. Знакомство с некоторыми приложениями космической электродинамики.

Результаты обучения по дисциплине направлены на достижение индикаторов:

ПК-1.1. Обладает знаниями об основных методах проведения научно-исследовательских разработок в области фундаментальной физики; о способах планирования и организации исследований.

ПК-1.2. Демонстрирует умения: проводить поиск, изучение и обобщение научного опыта в соответствующей области исследований; определять цели и задачи планируемых исследований и разработок; проводить исследование, составлять его описание, формулировать выводы по полученным результатам.

ПК-1.3. Имеет практический опыт (навыки) в области фундаментальной физики: проведения научных исследований в соответствии с поставленной целью; составления отчетов по теме и по результатам проведенных научно-исследовательских разработок.

### 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Цикл (раздел) ОПОП: Б1.В.ДВ.08.01

#### 2.1 Требования к предварительной подготовке обучающегося:

Теоретическая механика

Дифференциальные уравнения

Математический анализ

Электродинамика

Электродинамика сплошных сред

Механика сплошных сред

Физика фундаментальных взаимодействий

#### 2.2 Дисциплины и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:

Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы

### 3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

**ПК-1: Способен применять специализированные знания, полученные в области фундаментальной физики, при проведении научно-исследовательских разработок**

**Знать:**

Для достижения ПК-1.1: основные понятия, уравнения и соотношения космической электродинамики

**Уметь:**

Для достижения ПК-1.2: получать уравнения для описания электромагнитного поля или движения заряженных частиц в космической плазме; использовать методы и подходы космической электродинамики в своей профессиональной деятельности, в том числе при проведении научно-исследовательских разработок

**Владеть:**

Для достижения ПК-1.3: навыком решения конкретных физических задач

**В результате освоения дисциплины обучающийся должен**

**3.1 Знать:**

3.1.1 основные понятия, уравнения и соотношения космической электродинамики

**3.2 Уметь:**

3.2.1 получать уравнения для описания электромагнитного поля или движения заряженных частиц в космической плазме



Рабочая программа дисциплины "Космическая электродинамика" по направлению подготовки (специальности) "Физика" направленности (профилю) Фундаментальная физика ФГБОУ ВО «ЧелГУ»	стр. 4
<b>3.3 Владеть:</b>	
3.3.1	навыком решения конкретных физических задач

#### 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

<b>Общая трудоемкость</b>	<b>2 ЗЕТ</b>
Часов по учебному плану : 72 в том числе : аудиторные занятия : 30 самостоятельная работа : 38,9  контактная работа: 33,1 ИКР: 3,1	Виды контроля в семестрах:  зачеты 8

#### 5. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Код занятия	Наименование разделов и тем /вид занятия/	Семестр / Курс	Часов	Литература
	<b>Раздел 1. Введение</b>			
1.1	Электродинамические и магнитогазодинамические явления в космосе (планеты, звезды, межзвездная среда, галактики, Метагалактика). /Лек/	8	2	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8 Л2.9 Л2.10 Л2.11 Л2.12 Л2.13 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5
1.2	Электродинамические и магнитогазодинамические явления в космосе (планеты, звезды, межзвездная среда, галактики, Метагалактика). /Ср/	8	6	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8 Л2.9 Л2.10 Л2.11 Л2.12 Л2.13 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5
	<b>Раздел 2. Космическая плазма</b>			
2.1	Космическая плазма: ионосфера, Солнце – ядро, солнечная конвективная зона (СКЗ), хромосфера, корона, межпланетная среда, межзвездная среда, межгалактическая среда. /Лек/	8	2	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8 Л2.9 Л2.10 Л2.11 Л2.12 Л2.13 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5
2.2	Космическая плазма: ионосфера, Солнце – ядро, солнечная конвективная зона (СКЗ), хромосфера, корона, межпланетная среда, межзвездная среда, межгалактическая среда. /Пр/	8	2	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8 Л2.9 Л2.10 Л2.11 Л2.12 Л2.13 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5
2.3	Космическая плазма: ионосфера, Солнце – ядро, солнечная конвективная зона (СКЗ), хромосфера, корона, межпланетная среда, межзвездная среда, межгалактическая среда. /Ср/	8	6	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8 Л2.9 Л2.10 Л2.11 Л2.12 Л2.13 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5
	<b>Раздел 3. Межзвездная среда (МЗС)</b>			



3.1	Общие представления о МЗС: Равнораспределение энергий. Скорости звездообразования (ЗО) и потери газа звездами. Распространенность химических элементов. Основные компоненты МЗС. Диффузный газ: Холодный газ, теплая нейтральная среда, тяжелая ионизованная среда, корональный газ. Фазы МЗС: Двухфазная модель МЗС. Трехфазная модель МЗС. Молекулярные межзвездные облака. Излучение молекул. Характеристики молекулярных облаков. Иерархическая структура молекулярных облаков (МО). /Лек/	8	4	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8 Л2.9 Л2.10 Л2.11 Л2.12 Л2.13 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5
3.2	Общие представления о МЗС: Равнораспределение энергий. Скорости звездообразования (ЗО) и потери газа звездами. Распространенность химических элементов. Основные компоненты МЗС. Диффузный газ: Холодный газ, теплая нейтральная среда, тяжелая ионизованная среда, корональный газ. Фазы МЗС: Двухфазная модель МЗС. Трехфазная модель МЗС. Молекулярные межзвездные облака. Излучение молекул. Характеристики молекулярных облаков. Иерархическая структура молекулярных облаков (МО). /Пр/	8	2	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8 Л2.9 Л2.10 Л2.11 Л2.12 Л2.13 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5
3.3	Общие представления о МЗС: Равнораспределение энергий. Скорости звездообразования (ЗО) и потери газа звездами. Распространенность химических элементов. Основные компоненты МЗС. Диффузный газ: Холодный газ, теплая нейтральная среда, тяжелая ионизованная среда, корональный газ. Фазы МЗС: Двухфазная модель МЗС. Трехфазная модель МЗС. Молекулярные межзвездные облака. Излучение молекул. Характеристики молекулярных облаков. Иерархическая структура молекулярных облаков (МО). /Ср/	8	6	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8 Л2.9 Л2.10 Л2.11 Л2.12 Л2.13 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5
<b>Раздел 4. Магнитное поле МЗС</b>				
4.1	Методы наблюдения: фарадеевское вращение, поляризация синхротронного излучения, зеемановское расщепление спектральных линий, поляризация видимого и инфракрасного излучения звезд. Крупномасштабное магнитное поле Галактики. Магнитное поле молекулярных облаков. Зависимость магнитного поля от плотности. Межзвездная МГД-турбулентность. /Лек/	8	2	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8 Л2.9 Л2.10 Л2.11 Л2.12 Л2.13 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5
4.2	Методы наблюдения: фарадеевское вращение, поляризация синхротронного излучения, зеемановское расщепление спектральных линий, поляризация видимого и инфракрасного излучения звезд. Крупномасштабное магнитное поле Галактики. Магнитное поле молекулярных облаков. Зависимость магнитного поля от плотности. Межзвездная МГД-турбулентность. /Пр/	8	2	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8 Л2.9 Л2.10 Л2.11 Л2.12 Л2.13 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5
4.3	Методы наблюдения: фарадеевское вращение, поляризация синхротронного излучения, зеемановское расщепление спектральных линий, поляризация видимого и инфракрасного излучения звезд. Крупномасштабное магнитное поле Галактики. Магнитное поле молекулярных облаков. Зависимость магнитного поля от плотности. Межзвездная МГД-турбулентность. /Ср/	8	6	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8 Л2.9 Л2.10 Л2.11 Л2.12 Л2.13 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5
<b>Раздел 5. Основные модели</b>				



Рабочая программа дисциплины "Космическая электродинамика" по направлению подготовки (специальности) "Физика" направленности (профилю) Фундаментальная физика ФГБОУ ВО «ЧелГУ»		стр. 6		
5.1	Параметры плазмы межзвездных облаков. Кинетический подход. Вывод уравнений для моментов из кинетического уравнения. Проблема замыкания. 13-моментное квазигазодинамическое приближение. Приближение трехкомпонентной смеси. Обобщенный закон Ома: а) полностью ионизованная плазма; б) слабоионизованная плазма. Типы проводимостей. Обобщенная форма уравнения индукции. Градиентная и магнитная амбиполярная диффузия. Приближение двухкомпонентной смеси. Уравнения двухкомпонентной смеси в диффузных переменных. /Лек/	8	4	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8 Л2.9 Л2.10 Л2.11 Л2.12 Л2.13 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5
5.2	Параметры плазмы межзвездных облаков. Кинетический подход. Вывод уравнений для моментов из кинетического уравнения. Проблема замыкания. 13-моментное квазигазодинамическое приближение. Приближение трехкомпонентной смеси. Обобщенный закон Ома: а) полностью ионизованная плазма; б) слабоионизованная плазма. Типы проводимостей. Обобщенная форма уравнения индукции. Градиентная и магнитная амбиполярная диффузия. Приближение двухкомпонентной смеси. Уравнения двухкомпонентной смеси в диффузных переменных. /Пр/	8	2	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8 Л2.9 Л2.10 Л2.11 Л2.12 Л2.13 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5
5.3	Параметры плазмы межзвездных облаков. Кинетический подход. Вывод уравнений для моментов из кинетического уравнения. Проблема замыкания. 13-моментное квазигазодинамическое приближение. Приближение трехкомпонентной смеси. Обобщенный закон Ома: а) полностью ионизованная плазма; б) слабоионизованная плазма. Типы проводимостей. Обобщенная форма уравнения индукции. Градиентная и магнитная амбиполярная диффузия. Приближение двухкомпонентной смеси. Уравнения двухкомпонентной смеси в диффузных переменных. /Ср/	8	6	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8 Л2.9 Л2.10 Л2.11 Л2.12 Л2.13 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5
<b>Раздел 6. Равновесие и устойчивость межзвездных облаков</b>				
6.1	Гравитационная неустойчивость. Линейный анализ. Задача Джинса. Длина волны и масса Джинса. Влияние на гравитационную неустойчивость вращения и магнитного поля. Тепловая неустойчивость. Линейный анализ. Дисперсионное уравнение. Критерии тепловой неустойчивости. Моды тепловой неустойчивости: изохорическая, изэнтропическая, изобарическая, термохимическая, ионизационно-тепловая. Газодинамические неустойчивости: неустойчивость Релея-Тейлора, неустойчивости Паркера, неустойчивость Кельвина-Гельмгольца, неустойчивость ударных волн. Гравитационное сжатие и фрагментация. Теорема вириала. Проблема фрагментации. /Лек/	8	4	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8 Л2.9 Л2.10 Л2.11 Л2.12 Л2.13 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5



Рабочая программа дисциплины "Космическая электродинамика" по направлению подготовки (специальности) "Физика" направленности (профилю) Фундаментальная физика ФГБОУ ВО «ЧелГУ»		стр. 7		
6.2	Гравитационная неустойчивость. Линейный анализ. Задача Джинса. Длина волны и масса Джинса. Влияние на гравитационную неустойчивость вращения и магнитного поля. Тепловая неустойчивость. Линейный анализ. Дисперсионное уравнение. Критерии тепловой неустойчивости. Моды тепловой неустойчивости: изохорическая, изэнтропическая, изобарическая, термодинамическая, ионизационно-тепловая. Газодинамические неустойчивости: неустойчивость Релея-Тейлора, неустойчивости Паркера, неустойчивость Кельвина-Гельмгольца, неустойчивость ударных волн. Гравитационное сжатие и фрагментация. Теорема вириала. Проблема фрагментации. /Пр/	8	2	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8 Л2.9 Л2.10 Л2.11 Л2.12 Л2.13 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5
6.3	Гравитационная неустойчивость. Линейный анализ. Задача Джинса. Длина волны и масса Джинса. Влияние на гравитационную неустойчивость вращения и магнитного поля. Тепловая неустойчивость. Линейный анализ. Дисперсионное уравнение. Критерии тепловой неустойчивости. Моды тепловой неустойчивости: изохорическая, изэнтропическая, изобарическая, термодинамическая, ионизационно-тепловая. Газодинамические неустойчивости: неустойчивость Релея-Тейлора, неустойчивости Паркера, неустойчивость Кельвина-Гельмгольца, неустойчивость ударных волн. Гравитационное сжатие и фрагментация. Теорема вириала. Проблема фрагментации. /Ср/	8	4,9	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8 Л2.9 Л2.10 Л2.11 Л2.12 Л2.13 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5
<b>Раздел 7. Теория остаточного магнитного поля</b>				
7.1	Распространенность магнитного поля в космосе. Проблема остаточного магнитного потока. Механизмы генерации магнитного поля космических тел: батарея Бирмана, динамо- генерация, реликтовое и остаточное поле. Теория остаточного магнитного поля. /Лек/	8	2	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8 Л2.9 Л2.10 Л2.11 Л2.12 Л2.13 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5
7.2	Распространенность магнитного поля в космосе. Проблема остаточного магнитного потока. Механизмы генерации магнитного поля космических тел: батарея Бирмана, динамо- генерация, реликтовое и остаточное поле. Теория остаточного магнитного поля. /Ср/	8	4	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8 Л2.9 Л2.10 Л2.11 Л2.12 Л2.13 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5
<b>Раздел 8. Иная контактная работа</b>				
8.1	Индивидуальные консультации, текущий контроль /ИКР/	8	3,1	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8 Л2.9 Л2.10 Л2.11 Л2.12 Л2.13 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5

## 6. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

### 6.1. Перечень видов оценочных средств

Отчеты по задачам (по практическим занятиям)  
Тестовые вопросы для текущего контроля  
Доклад  
Вопросы к зачету

### 6.2. Типовые контрольные задания и иные материалы для текущей аттестации

Типовые задачи к практическим занятиям



1. Вывод дисперсионного уравнения для нормальных электромагнитных волн.
2. Вывод уравнения индукции.
3. Решение уравнения индукции в приближении вмороженности.
4. Решение уравнения индукции в диффузионном приближении.
5. Вывод выражения для частоты ленгмюровских колебаний.
6. Вывод выражений для циклотронной частоты и циклотронного радиуса.
7. Вывод выражения для скорости электрического дрейфа. Особенность электрического дрейфа.
8. Найти скорость градиентной и магнитной амбиполярной диффузии.
9. Найти показатель степенной зависимости индукции магнитного поля от плотности газа (плазмы) для следующих типов течений:
  - 9.1. в случае плоского одномерного течения вдоль линий магнитного поля;
  - 9.2. в случае плоского одномерного течения поперек линий магнитного поля;
  - 9.3. в случае плоского одномерного течения (среднее по углу);
  - 9.4. в случае плоского сферически-симметричного течения (среднее по углу);
  - 9.5. в случае магнитостатического сжатия;
10. Вывод уравнения непрерывности из кинетического уравнения Больцмана.
11. Вывод уравнения движения из кинетического уравнения Больцмана.
12. Вывод уравнения энергии из кинетического уравнения Больцмана.

#### Примеры тестовых вопросов

1. Межзвездная среда – это ...?
  - а) Плазма заполняющая пространство между звездами в Галактике;
  - б) Пространство между звездами в Галактике соответствующее состоянию вакуума;
  - в) Разреженное вещество, электромагнитное излучение и магнитное поле, заполняющие пространство между звездами в Галактике.
2. Среднее содержание химических элементов в межзвездной среде близко к обычной космической распространенности. Какому химическому элементу соответствует доля по общей массе = 0.7?
  - а) Водород
  - б) Гелий
  - в) Углерод
  - г) Тяжелые элементы
3. Какое среднее массовое содержание пыли по отношению к газу в межзвездной среде?
  - а) 0.5
  - б) 0.01
  - в) 0.3
  - г) 0.9
4. Протозвезда – это ...?
  - а) Звезда, в которой никогда не начнутся термоядерные реакции
  - б) Звезда на завершающем этапе своего формирования, вплоть до момента загорания термоядерных реакций в ядре, после которого сжатие протозвезды прекращается и она становится звездой главной последовательности
  - в) Остатки звезды после взрыва сверхновой
5. Какая форма записи уравнений Максвелла используется для описания высокочастотных полей?
  - а)  $\text{BEND}$
  - б)  $\text{BE}_j$
  - в)  $\text{BED}$

#### Темы докладов

1. Система уравнений  $\text{BEND}$ .
2. Система уравнений  $\text{BED}$ .
3. Нормальные электромагнитные волны.
4. Приближение квазистационарного электромагнитного поля.
5. Обобщенный закон электромагнитной индукции Фарадея.
6. Система уравнений магнитной гидродинамики
7. Основные параметры плазмы (степень ионизации, плазменная частота, дебаевский радиус, газовый параметр, циклотронная частота, циклотронный радиус).
8. Модель независимых частиц (дрейфы, типы дрейфов, адиабатические инварианты).
9. Двухжидкостное приближение.
10. Обобщенный закон Ома, тензор проводимости.



11. Эффект Холла.
12. Магнитная амбиполярная диффузия.
13. Гидродинамическая турбулентность, спектр Колмогорова.
14. Масштабные корреляции (дисперсия скоростей-размер, модель Колмогорова, модель Ирошникава-Крейчнана).
15. Двумерная турбулентность.
16. МГД-турбулентность.

### 6.3. Типовые контрольные вопросы и задания для промежуточной аттестации

#### Вопросы к зачету

1. Электродинамические и магнитогазодинамические явления в космосе (планеты, звезды, межзвездная среда, галактики, Метагалактика).
2. Космическая плазма: ионосфера, Солнце – ядро, СКЗ, хромосфера, корона, межпланетная среда, межзвездная среда, межгалактическая среда.
3. Общие представления о МЗС. Равномерное распределение энергий. Скорости ЗО и потери газа звездами. Распространенность химических элементов. Основные компоненты МЗС.
4. Диффузный газ. Холодный газ, теплая нейтральная среда, тяжелая ионизованная среда, корональный газ.
5. Фазы МЗС. Двухфазная модель МЗС. Трехфазная модель МЗС.
6. Молекулярные межзвездные облака. Излучение молекул. Характеристики молекулярных облаков. Иерархическая структура МО.
7. Магнитное поле МЗС. Методы наблюдения: фарадеевское вращение, поляризация синхротронного излучения, зеемановское расщепление спектральных линий, поляризация видимого и инфракрасного излучения звезд.
8. Крупномасштабное магнитное поле Галактики. Магнитное поле молекулярных облаков.
9. Зависимость магнитного поля от плотности. Межзвездная МГД-турбулентность.
10. Параметры плазмы межзвездных облаков.
11. Кинетический подход.
12. Вывод уравнений для моментов из кинетического уравнения. Проблема замыкания. 13-моментное квазигазодинамическое приближение.
13. Приближение трехкомпонентной смеси.
14. Обобщенный закон Ома. а) полностью ионизованная плазма. б) слабоионизованная плазма. Типы проводимостей.
15. Обобщенная форма уравнения индукции. Градиентная и магнитная амбиполярная диффузия.
16. Приближение двухкомпонентной смеси. Уравнения двухкомпонентной смеси в диффузных переменных.
17. Гравитационная неустойчивость. Линейный анализ. Задача Джинса. Длина волны и масса Джинса. Влияние на гравитационную неустойчивость вращения и магнитного поля.
18. Тепловая неустойчивость. Линейный анализ. Дисперсионное уравнение. Критерии тепловой неустойчивости. Моды тепловой неустойчивости: изохорическая, изэнтропическая, изобарическая, термохимическая, ионизационно-тепловая.
19. Газодинамические неустойчивости: неустойчивость Релея-Тейлора, неустойчивости Паркера, неустойчивость Кельвина-Гельмгольца, неустойчивость ударных волн.
20. Гравитационное сжатие и фрагментация. Теорема вириала. Проблема фрагментации.
21. Распространенность магнитного поля в космосе.
22. Проблема остаточного магнитного потока. Механизмы генерации магнитного поля космических тел: батарея Бирмана, динамо-генерация, реликтовое и остаточное поле.
23. Теория остаточного магнитного поля.

### 6.4. Критерии оценивания

Текущий контроль теоретических знаний и практических навыков производится на практических занятиях в виде отчетов по темам практических занятий, которые сдает студент в течение семестра. Отчет подразумевает решение задач из предложенного списка задач к курсу и умение объяснить ход решения 1-2 задач из темы.

Зачетная оценка ставится на основании письменного и устного ответов по билету. Зачетный билет содержит два теоретических вопроса и задачу. Студенты, которые успешно отчитались в течение семестра о решенных задачах по темам практических занятий, освобождаются от 3-го вопроса в билете (т.е. решения задачи).

На зачете студент получает оценку «зачтено» в случае студент твердо знает учебно-программный материал, грамотно и по существу излагает его.

Отметка «незачтено» ставится, если студент материалом не владеет, не понимает его, не способен самостоятельно рассуждать и делать умозаключения, основанные на анализе пройденного материала, допускает серьезные ошибки.



## 7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

### 7.1. Рекомендуемая литература

#### 7.1.1. Основная литература

	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год	Ресурс
Л1.1	Каулинг Т., Леонтович М. А.	Магнитная гидродинамика ( <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=257412">https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=257412</a> )	Москва : Государственное издательство иностранной литературы, 1959	ЭБС
Л1.2	Франк-Каменецкий Д. А.	Лекции по физике плазмы ( <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=492313">https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=492313</a> )	Москва : Атомиздат, 1968	ЭБС
Л1.3	Альвен Г., Фельтхаммар К. Г., Арцимович Л. А.	Космическая электродинамика: основные принципы ( <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=492375">https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=492375</a> )	Москва : Мир, 1967	ЭБС

#### 7.1.2. Дополнительная литература

	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год	Ресурс
Л2.1	Каплан С. А., Цытович В. Н.	Плазменная астрофизика ( <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=481279">https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=481279</a> )	Москва : Наука, 1972	ЭБС
Л2.2	Альфвен Х., Полосков С. М., Пикельнер С. М.	Космическая электродинамика	Москва : Издательство иностранной литературы, 1952	
Л2.3	Чен Ф., Кручина Е. Н., Шевченко В. И.	Введение в физику плазмы	Москва: Мир, 1987	
Л2.4	Памятных, Туров	Основы электродинамики материальных сред в переменных и неоднородных полях: Учебное пособие для вузов	М.: Наука, 2000	
Л2.5	Каплан С. А., Пикельнер С. Б.	Физика межзвездной среды	Москва : Наука, 1979	
Л2.6	Спитцер Л., Варшалович Д. А.	Физические процессы в межзвездной среде	Москва: Мир, 1981	
Л2.7	Зельдович Я. Б., Блинников С. И., Шакура Н. И.	Физические основы строения и эволюции звезд	Москва: Издательство МГУ, 1981	
Л2.8	Пикельнер С. Б.	Основы космической электродинамики	М.: Физматгиз, 1961	
Л2.9	Гершман Б. Н., Ерухимов Л. М., Яшин Ю. Я.	Волновые явления в ионосфере и космической плазме	Москва : Наука, 1984	
Л2.10	Арцимович Л. А., Сагдеев Р. З.	Физика плазмы для физиков ( <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=492300">https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=492300</a> )	Москва : Атомиздат, 1979	ЭБС
Л2.11	Гершман Б. Н.	Динамика ионосферной плазмы ( <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=492317">https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=492317</a> )	Москва : Наука, 1974	ЭБС
Л2.12	Голант В. Е., Жилинский А. П., Сахаров Е. И.	Основы физики плазмы ( <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=492319">https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=492319</a> )	Москва : Атомиздат, 1977	ЭБС
Л2.13	Спитцер Л., Левин М. Л.	Физика полностью ионизованного газа ( <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=492350">https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=492350</a> )	Москва : Мир, 1965	ЭБС

#### 7.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет"

Э1	Лань [Электронный ресурс] : электронно-библиотечная система (ЭБС) / издательство Лань. – URL: <a href="http://e.lanbook.com/">http://e.lanbook.com/</a>
----	--



Э2	Университетская библиотека онлайн [Электронный ресурс] : электронно-библиотечная система (ЭБС) / ООО Директмедиа Паблишинг. – URL: <a href="http://biblioclub.ru/">http://biblioclub.ru/</a>
Э3	Юрайт [Электронный ресурс] : электронно-библиотечная система (ЭБС) / издательство Юрайт. – URL: <a href="https://biblionline.ru">https://biblionline.ru</a>
Э4	Znaniium.com [Электронный ресурс] : электронно-библиотечная система (ЭБС) / Научно-издательский центр ИНФРА-М. – URL: <a href="http://znaniium.com/">http://znaniium.com/</a>
Э5	eLIBRARY.RU [Электронный ресурс] : электронная библиотека / Науч. электрон. б-ка. – URL: <a href="http://elibrary.ru/defaultx.asp">http://elibrary.ru/defaultx.asp</a>

### 7.3 Перечень информационных технологий

#### 7.3.1 Программное обеспечение

MS Office365

Adobe Reader

LMS Moodle

Adobe Connect Acrobat

#### 7.3.2 Профессиональные базы данных и информационно-справочные системы

1. Электронный каталог научной библиотеки ЧелГУ [Электронный ресурс] : база данных / Челяб. гос. ун-т. – URL: <http://library.csu.ru/ru/> - Челябинск, 1992.
2. APS JOURNALS. Physical Review Letters, Physical Review X, Physical Review, and Reviews of Modern Physics : журналы American Physical Society : сайт. – URL: <http://journals.aps.org/about> – Яз. англ. – Режим доступа: только из сети университета. – Текст : электронный.
3. Web of Science : мультидисциплинарная реферативная база данных / компания Thomson Reuters. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей ЧелГУ. – Текст : электронный.
4. Scopus : реферативная база данных / Elsevier BV. – URL: <http://www.scopus.com/> – Яз. англ. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей ЧелГУ. – Текст : электронный.
5. Springer Link : [сайт]. – URL: <http://link.springer.com/> – Яз. англ. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей ЧелГУ. – Текст : электронный.

## 8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Для реализации дисциплины используются учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для самостоятельной работы.

Для успешного освоения дисциплины аудитория должна быть оборудована мультимедийным комплексом и экраном для демонстрации слайдовых презентаций.

Используются аудитория №205 - читальный зал №3 (учебный корпус №1) и аудитория №206 - электронный читальный зал (специализированный медиацентр) (учебный корпус №1) для самостоятельной работы студента, оснащенные персональными компьютерами, мультимедийной аппаратурой. В аудиториях обеспечен доступ к различной справочной литературе, энциклопедиям, библиографическим и полнотекстовым базам данных, информационным ресурсам «Интернет».

## 9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Освоение содержания учебной дисциплины «Космическая электродинамика» осуществляется на лекциях, практических занятиях и в процессе самостоятельной учебной деятельности студентов.

Лекционные занятия обеспечивают теоретическое изучение дисциплины. Основными методами обучения являются информационно-объяснительный и проблемный. На лекциях излагается основное содержание тем программы, проводится анализ основных понятий и рассматриваются примеры.

Лекционный материал является важным, но не единственным для усвоения учебной дисциплины. Его обязательно необходимо дополнить материалом основной и дополнительной литературы по теме.

Практические занятия служат для закрепления теоретических основ, излагаемых в лекциях. На практических занятиях обучаемые овладевают основными методами и приемами решения задач. Для проведения текущего и промежуточного контроля проводится серия отчетных мероприятий, направленная на оценку способности студента решать практические задачи. Система контрольных мероприятий должна обеспечивать объективную оценку знаний и навыков студентов, способствовать повышению эффективности всех видов учебных занятий, включая и самостоятельную работу.

Важным моментом при изучении любой дисциплины является организация самостоятельной работы. При освоении



материала не следует стремиться к механическому запоминанию приведенных определений, формулировок и положений, если требования к Вам прямо не указывают на это. Вполне эффективной может оказаться попытка понять суть явления, выработать свое отношение к нему, опираясь на материал, содержащийся в рекомендованной литературе. Также рекомендуется равномерно распределять нагрузку самостоятельного обучения в течение семестра.

В случае применения при обучении дисциплины электронного обучения, дистанционных образовательных технологий общение обучающихся и преподавателя осуществляется в режиме реального времени (онлайн-лекции (вебинары), чаты, видео-конференции и др.) или отложенного времени (система дистанционного обучения Moodle, MS Office365, форумы, электронная почта и др.).

При обучении лиц с ограниченными возможностями здоровья электронное обучение, дистанционные образовательные технологии предусматривают возможность приема-передачи информации в доступных для них формах.

Реализация дисциплины с применением электронного обучения, дистанционных образовательных технологий (далее – ЭО, ДОТ) осуществляется на основании «Положения о реализации основных и дополнительных образовательных программ с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Челябинский государственный университет», «Положения о порядке зачета обучающимися по основным профессиональным образовательным программам высшего образования в ФГБОУ ВО «ЧелГУ» результатов освоения в организациях, осуществляющих образовательную деятельность, учебных предметов, курсов, дисциплин (модулей), практик, дополнительных образовательных программ» посредством электронной информационно-образовательной среды ФГБОУ ВО «ЧелГУ». В исключительных случаях (форс-мажор и т.п.) при реализации образовательной деятельности с применением ЭО, ДОТ могут применяться компоненты, не входящие в перечень электронной информационно-образовательной среды.

## 10. СПЕЦИАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ ОБУЧАЮЩИМИСЯ С ИНВАЛИДНОСТЬЮ И ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ

Освоение дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья осуществляется с использованием специальных технических средств и голо информационных технологий, предоставляемых Ресурсным учебно-методическим центром по обучению инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья ЧелГУ по запросу обучающегося.

1. Мобильные специальные технические средства для лиц с нарушениями зрения: портативный компьютер с вводом/выводом шрифтом Брайля с синтезатором речи «EiBraille-W14J G2»; ноутбуки с программной экранного доступа NVDA; электронные увеличители для удаленного просмотра; видеоувеличители портативные; тифлоплеер; цифровые диктофоны.

2. Мобильные специальные технические средства для лиц с нарушениями слуха: система свободного звукового поля со встроенной совместимостью с FM-устройствами; радиоклассы «Сонет-PCM» с передатчиком, заушным индуктором и индукционной петлей; система информационная для слабослышащих переносная «Исток» А2 со встроенным плеером – звуковым информатором; документ-камера; программируемые слуховые аппараты индивидуального пользования.

3. Ассистивные информационные технологии: программное обеспечение экранного доступа с синтезом речи NVDA; программы экранного увеличения; программы речевого синтеза для компьютеров и ноутбуков; программы речевого синтеза для мобильных устройств; экранная клавиатура; экранная лупа.

При необходимости для обучающихся с нарушениями зрения на рабочих местах для проведения практических или лабораторных занятий устанавливается специальное программное обеспечение (программа речевой навигации NVDA, речевые синтезаторы, экранные лупы).

В учебные аудитории обеспечивается беспрепятственный доступ для обучающихся инвалидов и обучающихся с ограниченными возможностями здоровья. В каждой аудитории, где обучаются инвалиды и лица с ограниченными возможностями здоровья, предусматривается соответствующее количество мест для обучающихся с учетом нарушений их здоровья.

Для освоения дисциплины инвалидам и лицам с ограниченными возможностями здоровья предоставляется доступ к печатным источникам, имеющимся в научной библиотеке ЧелГУ, с помощью специальных технических средств; доступ к электронным источникам, представленным в форме электронного документа в фонде научной библиотеки ЧелГУ или электронно-библиотечных системах, с помощью специальных технических и программных средств (рабочее место для незрячего пользователя с программным обеспечением экранного доступа с синтезом речи NVDA, рабочее место с компьютерным роллером и клавиатурой Clever с большими кнопками и с разделяющей клавиши накладкой).

Учебно-методические материалы для обучающихся из числа инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья предоставляются в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:



Для лиц с нарушениями зрения:

- в печатной форме увеличенным шрифтом,
- в форме электронного документа,
- в форме аудиофайла,
- в печатной форме шрифтом Брайля.

Для лиц с нарушениями слуха:

- в печатной форме,
- в форме электронного документа.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

- в печатной форме,
- в форме электронного документа,
- в форме аудиофайла.

Данный перечень может быть конкретизирован в зависимости от контингента обучающихся.

Для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья освоение дисциплины может быть частично или полностью осуществлено с использованием дистанционных образовательных технологий (Moodle, Adobe Connect Pro и пр.).

В освоении дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья используется индивидуальная работа. Под индивидуальной работой подразумевается две формы взаимодействия с преподавателем: индивидуальная учебная работа (консультации), т.е. дополнительное разъяснение учебного материала и углубленное изучение материала с теми обучающимися, которые в этом заинтересованы, и индивидуальная воспитательная работа. Индивидуальные консультации направлены на индивидуализацию обучения и установлению воспитательного контакта между преподавателем и обучающимся инвалидом или обучающимся с ограниченными возможностями здоровья.

При проведении процедуры оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья по дисциплине обеспечивается выполнение следующих дополнительных требований в зависимости от индивидуальных особенностей, обучающихся:

- а) инструкция по порядку проведения процедуры оценивания предоставляется в доступной форме (устно, в письменной форме, в письменной форме шрифтом Брайля, устно с использованием услуг сурдопереводчика);
- б) доступная форма предоставления заданий оценочных средств (в печатной форме, в печатной форме увеличенным шрифтом, в печатной форме шрифтом Брайля, в форме электронного документа, задания зачитываются ассистентом, задания предоставляются с использованием сурдоперевода);
- в) доступная форма предоставления ответов на задания (письменно на бумаге, набор ответов на компьютере, письменно шрифтом Брайля, с использованием услуг ассистента, устно).

При проведении процедуры оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья предусматривается использование технических средств, необходимых им в связи с их индивидуальными особенностями. Эти средства могут быть предоставлены ЧелГУ или могут использоваться собственные технические средства. При необходимости инвалидам и лицам с ограниченными возможностями здоровья предоставляется дополнительное время для подготовки ответа на задания, процедура оценивания результатов обучения по дисциплине может проводиться в несколько этапов.

Проведение процедуры оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья допускается с использованием дистанционных образовательных технологий.

