

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Ордена Трудового Красного Знамени
Институт солнечно-земной физики
Сибирского отделения Российской академии наук
(ИСЗФ СО РАН)

УТВЕРЖДАЮ:

Директор ИСЗФ СО РАН

чл.-корр. РАН _____ А.В. Медведев

«13» апреля 2026 г.

Рабочая программа дисциплины

Б1.В.6 Космическая электродинамика

Направление подготовки **03.04.02 Физика**

Направленность (профиль): **Физика солнечно-земных связей**

Квалификация выпускника: **МАГИСТР**

Тип профессиональной деятельности: **научно-исследовательский,
педагогический**

Форма обучения: **очная**

Иркутск 2026

Рабочая программа составлена на основании Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 03.04.02 Физика (уровень магистратуры), утвержденного приказом Минобрнауки России от 07.08.2020 № 914

РАБОЧУЮ ПРОГРАММУ разработал доктор физико-математических наук	Д.Ю. Климушкин
---	----------------

1. Место и роль дисциплины (модуля) в структуре ОПОП

Дисциплина «Космическая электродинамика» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений, Блока 1 основной образовательной программы по направленности (профилю) подготовки Физика солнечно-земных связей направления подготовки 03.04.02 Физика.

Предшествующие дисциплины, на которые данная дисциплина опирается: «Введение в физику плазмы», «Вопросы математической физики».

Последующие дисциплины, для которых освоение данной дисциплины необходимо: «Физика гелиосферы».

2. Цели и задачи дисциплины (модуля)

Программа разработана в соответствии с основной образовательной программой по направленности (профилю) подготовки Физика солнечно-земных связей направления подготовки 03.04.02 Физика.

Основная цель курса – дать студентам основные представления о характеристиках магнитосферы Земли и методах ее изучения.

Задачами дисциплины «Космическая электродинамика» является:

- изучить основные законы, управляющие электромагнитными полями в космосе и движением космической плазмы (плазмы солнечной атмосферы, межпланетного пространства, магнитосферы и ионосферы Земли);
- изучить основные параметры плазмы космической плазмы;
- познакомиться с основными методами исследований, применяемыми в физике космической плазмы.

3. Требования к результатам освоения дисциплины (модуля)

Процесс изучения дисциплины «Космическая электродинамика» направлен на формирование следующих компетенций в соответствии с ОПОП по направлению подготовки 03.04.02 Физика:

Компетенции	Индикаторы достижения компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине
ОПК-1. Способен применять фундаментальные знания в области физики для решения научно-исследовательских задач, а также владеть основами педагогики, необходимыми для осуществления преподавательской деятельности;	ИД 1. Способен решать исследовательские задачи, на основе фундаментальных знаний в области физики	Знать фундаментальные понятия, законы, теории космической электродинамики; Уметь математически формулировать условия физических задач; Владеть навыками теоретического анализа задач магнитной гидродинамики.
	ИД 2. Знает методы и приемы организации, выполнения экспериментальных исследований на современном уровне и анализировать их результаты.	Знать теоретические методы исследования динамики космической плазмы в рамках магнитной гидродинамики. Уметь выделять главное содержание исследуемого физического явления и выбирать оптимальную физическую модель его описания, позволяющую рассчитать адекватные характеристики
	ИД 3. Умеет использовать фундаментальные знания профессиональной деятельности для решения конкретных задач	Уметь эффективно использовать на практике теоретические компоненты науки: понятия, суждения, умозаключения, законы; Владеть математическим моделированием физических задач
ПКА-2. Способен проводить научные исследования в области физики солнечно-земных связей, используя необходимые знания	ИД-1. Демонстрирует базовые знания теоретических и экспериментальных	Знать современные проблемы физики космической плазмы; Уметь формулировать физическую постановку задач космической

теоретических и экспериментальных разделов физики	разделов физики в области физики солнечно-земных связей	электродинамики; Владеть аналитическими методами исследования динамики магнитосферной плазмы в рамках магнитной гидродинамики
---	---	---

4. Объем дисциплины (модуля) и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единицы, 108 часов.

Вид учебной работы	Всего часов / зачетных единиц
Аудиторные занятия (всего)	72/2
В том числе:	
Лекции	36/1
Лабораторные работы	
Практические занятия	36/1
Самостоятельная работа (всего)	36/1
Вид промежуточной аттестации (зачет)	
Контактная работа (всего)	72/2
Общая трудоёмкость (часы/зачетные единицы)	108/3

5. Содержание дисциплины

5.1. Содержание разделов и темы дисциплины

Раздел 1. Регионы космического пространства

1. Солнечная атмосфера
2. Межпланетная среда и солнечный ветер
3. Магнитосфера
4. Ионосфера

Раздел 2. Основные законы космической электродинамики

1. Основные уравнения электродинамики
2. Преобразования электромагнитного поля
3. Геометрия магнитного поля
4. Описание плазмы: кинетика
5. Описание плазмы: 2-жидкостная МГД
6. Обобщенный закон Ома
7. Описание плазмы: 1-жидкостная МГД
8. Равновесие плазмы в магнитном поле; примеры равновесия космической плазмы
9. Вмороженность плазмы в магнитное поле
10. Электрическое поле в космической плазме
11. Законы сохранения импульса и энергии в 1-жидкостной МГД
12. Элементы теории динамо
13. Пересоединение силовых линий магнитного поля

Раздел 3. Движение частиц и токи в космическом пространстве

1. Движение в однородном магнитном поле; первый адиабатический инвариант, бетатронное ускорение
2. Приближение ведущего центра

3. Магнитные ловушки; второй адиабатический инвариант, ускорение Ферми
4. Дрейфы частиц в неоднородном магнитном поле
5. Ускорение частиц в приближении ведущего центра; примеры ускорительных процессов в различных регионах космической плазмы
6. Токи в бесстолкновительной плазме
7. Влияние токов на конфигурацию магнитного поля
8. Магнитосферно-ионосферное взаимодействие
9. Продольные токи
10. Авроральные явления

Раздел 4. Волны в космической плазме

1. Волны в плазме: общая теория
2. Радиоволны в ионосфере
3. Высокочастотные волны в космической плазме
4. МГД-волны в однородной плазме
5. Волны в неоднородных средах
6. Взаимодействие волн и частиц: обмен энергией, диффузия
7. Турбулентность и аномальное сопротивление в космической плазме
8. Ударные волны
9. Ускорение частиц на ударных волнах
10. Бесстолкновительные ударные волны

Раздел 5. Неустойчивости космической плазмы

1. Общее представление о плазменных неустойчивостях
2. Неустойчивости в 1-жидкостной МГД: конвективная, перестановочная, неустойчивость Кельвина-Гельмгольца
3. Неустойчивости в 2-жидкостной МГД: градиентная, пучковая, неустойчивость Рэлея-Тейлора
4. Неустойчивости в кинетике

5.2. Разделы дисциплины (модуля) и виды занятий

№п/п	Раздел	Всего часов	Аудиторные занятия				СРС
			Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Семинары	
1	Регионы космического пространства	18	7		4		7
2	Основные законы космической электродинамики	24	8		8		8
3	Движение частиц и токи в космическом пространстве	25	7		11		7
4	Волны в космической плазме	23	8		7		8
5	Неустойчивости космической плазмы	18	6		6		6
Итого (часы)		108	36		36		36
Итого (з.е.)		3	1		1		1

5.3. Разделы и темы дисциплины (модуля) и междисциплинарные связи

№ п/п	Наименование обеспечиваемых (последующих) дисциплин и практик	№ № разделов и/или тем данной дисциплины, необходимых для изучения обеспечиваемых (последующих) дисциплин
1.	Производственная практика (НИР)	Разделы 1-5

2.	Физика гелиосферы	Разделы 1-5
----	-------------------	-------------

5.3. Перечень лекционных занятий

№ п/п	№ раздела и темы дисциплины	Наименование используемых технологий	Трудоемкость (часы)	Оценочные средства
1.	Раздел 1 Темы 1.1-1.4	Лекция	7	Ответы на вопросы
2.	Раздел 2 Темы 2.1-2.13	Лекция	8	Ответы на вопросы
3.	Раздел 3 Темы 3.1-3.10	Лекция	7	Ответы на вопросы
4.	Раздел 4 Темы 4.1-4.10	Лекция	8	Ответы на вопросы
5.	Раздел 5 Темы 5.1-5.4	Лекция	6	Ответы на вопросы

5.4. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ

№ п/п	№ раздела и темы дисциплины (модуля)	Наименование семинаров, практических и лабораторных работ	Трудоемкость (часы)	Оценочные средства
1.	1.1-1.4	Вывод связи между основными параметрами космической плазмы на основании полученных ранее знаний по физике	4	Собеседование Решение задач
2.	2.7, 2.8	Вывод основных формул, описывающих стационарное магнитное поле и МГД-равновесие	4	Собеседование Решение задач
3.	2.11	Вывод основных формул, описывающих взаимодействие солнечного ветра и магнитосферы (в рамках 1-жидкостной МГД)	4	Собеседование Решение задач
4.	3.2	Вывод основных формул, описывающих движение частиц в неоднородном магнитном поле (в приближении ведущего центра)	3	Собеседование Решение задач
5.	3.3, 3.4	Вывод основных формул, описывающих движение частиц в геомагнитном поле	3	Собеседование Решение задач
6.	3.5	Вывод основных формул, описывающих ускорение заряженных частиц в медленно меняющихся полях	3	Собеседование Решение задач
7.	3.8, 3.9	Вывод основного уравнения магнитосферно-ионосферного взаимодействия и его решение для различных частных случаев	2	Собеседование Решение задач
8.	4.2	Вывод основных формул, описывающих распространение радиоволн в ионосфере	2	Собеседование Решение задач
9.	4.3-4.4	Вывод основных формул, описывающих волны в космической плазме (в рамках 1-жидкостной и 2- жидкостной МГД, а также кинетики)	2	Собеседование Решение задач
10.	4.6	Вывод основных формул, описывающих взаимодействие волна-частица (на основе классической механики)	2	Собеседование Решение задач

11.	4.8-4.10	Вывод основных формул, описывающих ударные волны в космической плазме, и их влияние на ускорение частиц	1	Собеседование Решение задач
12.	5.1-5.3	Вывод основных формул, описывающих неустойчивости в космической плазме (в рамках 1-жидкостной и 2- жидкостной МГД)	4	Собеседование Решение задач
13	5.4	Вывод основных формул, описывающих неустойчивости в космической плазме (в рамках кинетики)	2	Собеседование Решение задач

5.6. Тематика заданий для самостоятельной работы

Раздел	Тема	Вид самостоятельной работы	Задание	Рекомендуемая литература
1.	1.1-1.4	самостоятельное решение задач	Задачи на движение космических аппаратов	Литература из учебно-методического и информационного обеспечения дисциплины (пункт 6)
2.	2.1-2.13	самостоятельное решение задач	Задачи на уравнения магнитной гидродинамики в космической плазме	Литература из учебно-методического и информационного обеспечения дисциплины (пункт 6)
3.	3.1-3.10	самостоятельное решение задач	Задачи на дрейфовое движение частиц в неоднородном магнитном поле, магнитогидродинамическое равновесие, конспектирование учебной литературы	Литература из учебно-методического и информационного обеспечения дисциплины (пункт 6)
4.	4.1-4.10	самостоятельное решение задач	Задачи на волны в горячей замагниченной плазме, конспектирование учебной литературы	Литература из учебно-методического и информационного обеспечения дисциплины (пункт 6)
5.	5.1-5.4	самостоятельное решение задач	Задачи по неустойчивостям горячей замагниченной плазмы, конспектирование учебной литературы	Литература из учебно-методического и информационного обеспечения дисциплины (пункт 6)

Методические рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся

К современному специалисту общество предъявляет достаточно широкий перечень требований, среди которых немаловажное значение имеет наличие у выпускников определенных способностей и умения самостоятельно добывать знания из различных источников, систематизировать полученную информацию, давать оценку конкретной финансовой ситуации. Формирование такого умения происходит в течение всего периода обучения через участие студентов в практических занятиях, выполнение контрольных заданий и тестов, написание курсовых и выпускных квалификационных работ. При этом самостоятельная работа студентов играет решающую роль в ходе всего учебного процесса.

Самостоятельная работа реализуется:

1) Непосредственно в процессе аудиторных занятий, при выполнении лабораторных работ.

2) В контакте с преподавателем вне рамок расписания – на консультациях по учебным вопросам, в ходе творческих контактов, при ликвидации задолженностей, при выполнении индивидуальных заданий и т.д.

3) В библиотеке, дома, в общежитии, в лаборатории при выполнении студентом учебных и творческих задач.

Границы между этими видами работ достаточно размыты, а сами виды самостоятельной работы пересекаются. Таким образом, самостоятельная работа студентов может быть как в аудитории, так и вне её.

Задачи для самостоятельной работы

1. Рассчитать плотность тока на магнитопаузе (в подсолнечной точке), если известно расстояние до магнитопаузы.

2. Рассчитать величину кольцевого тока в магнитосфере, если известен профиль давления плазмы.

3. Вычислить баунс-период частицы в магнитосфере при заданных значениях энергии и экваториального питч-угла.

4. Вычислить частоту альфвеновской волны при заданном профиле концентрации и продольной длине волны 1 радиус Земли в 1-мерно неоднородной модели магнитосферы.

5. Вычислить инкремент неустойчивости Кельвина-Гельмгольца при заданном значении сдвига скорости на магнитопаузе.

6. Вычислить энергию частицы, соответствующую дрейфовому резонансу частицы с альфвеновской волной.

7. Вычислить скорость дрейфа в долях хвоста при заданном градиенте плазменного давления.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

6.1.Основная литература

№ п/п	Автор, название, место издания, издательство, год издания учебной и учебно-методической литературы	Количество экземпляров
1.	Леденцов Л.С., Сомов Б.В. Лекции по плазменной астрофизике. М.: Изд-во МГУ, 2023. – 424 с.	2
2.	Антонова Е.Е., Овчинников И.Л. Плазменные процессы в космическом пространстве. М.: Изд-во МГУ, 2024. – 175 с.	2
3.	Харгривс Дж. К. Верхняя атмосфера и солнечно-земные связи: Введение в физику околоземной космической среды. Л.: Гидрометеиздат, 1982. – 351 с.	4
4.	Лайонс Л., Уильямс Д. Физика магнитосферы. Количественный подход. М.: Мир, 1987. – 312 с.	2
5.	Плазменная гелиогеофизика: в 2-х т. / под ред. Л. М. Зеленый, И.С. Веселовский. – М.:Физматлит, 2008. – Т.1 . – 2008. – 672 с.	2
6.	Плазменная гелиогеофизика: в 2-х т. / под ред. Л. М. Зеленый, И.С. Веселовский. – М.:Физматлит, 2008. –Т.2 . – 2008. – 560 с.	2
7.	Пикельнер С. Б. Основы космической электродинамики. М.: Наука, 1966. – 407 с.	3
8.	Данжи Дж. Космическая электродинамика. М.: Госатомиздат, 1961. – 204 с.	ЭБ http://irbis.iszf.irk.ru неограниченный доступ
9.	Альвен Г., Фельтхаммар К.-Г. Космическая электродинамика. Основные принципы. М.: Мир, 1967. – 290 с.	ЭБ http://irbis.iszf.irk.ru

		неограниченный доступ
--	--	--------------------------

6.2. Дополнительная литература

№ п/п	Автор, название, место издания, издательство, год издания учебной и учебно-методической литературы	Количество экземпляров
1.	Пономарев, Е. А. Механизмы магнитосферных суббурь. АН СССР, СО, СибИЗМИР. – М. : Наука, 1985. – 159 с.	3
2.	Базаржапов А. Д., Матвеев М. И., Мишин В. М. Геомагнитные вариации и бури. АН СССР, СО, СибИЗМИР. – Новосибирск : Наука, 1979. – 248 с.	2
3.	Мишин В. М. Спокойные геомагнитные вариации и токи в магнитосфере: монография. АН СССР, СО, СибИЗМИР. – Новосибирск: Наука, Сиб. Отделение, 1976.	2
4.	Леонович А. С., Мазур В. А. Линейная теория МГД-колебаний магнитосферы – М.:Физматлит, 2016. – 480 с.	ЭБ http://irbis.iszf.irk.ru неограниченный доступ
5.	Мирошниченко Л. И. Физика Солнца и солнечно-земных связей.- М.: Университетская книга, 2011. – 174 с.	ЭБ http://irbis.iszf.irk.ru неограниченный доступ
6.	Крюгер А. Солнечная радиоастрономия и радиофизика. – М.: Мир, 1984. – 469 с.	2
7.	Вайнштейн С.И. Магнитная гидродинамика космической плазмы и токовые слои. – М.: Наука, 1985. – 192 с.	4
8.	Коваленко В.А. Солнечный ветер. – М.: Наука, 1983. – 272 с.	3
9.	Сотникова Р. Т., Файнштейн В. Г. Введение в гелиофизику. – Иркутск: Изд-во ИГУ, 2013. – 256 с.	ЭБ http://irbis.iszf.irk.ru неограниченный доступ
10.	Язев С.А. Лекции о Солнце. – АСТ, 2018. – 336 с.	ЭБ http://irbis.iszf.irk.ru неограниченный доступ

6.3. Профессиональные базы данных, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине:

- <http://ssrt.iszf.irk.ru/indexru.shtml>

6.4. Информационные справочные системы, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине:

- Информационно-справочная информация в библиотеке ИСЗФ СО РАН <http://irbis.iszf.irk.ru>

6.5. Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимые для освоения дисциплины:

- Онлайн каталог изображений Солнца Гелиовьюер <https://helioviewer.org/>

6.6. Программное обеспечение

Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, в том числе отечественного производства используемое при осуществлении образовательного процесса по дисциплине:

- Операционная система Ubuntu 18.04 (свободно распространяемое ПО)
- Офисный пакет LibreOffice (свободно распространяемое ПО)

- 7-Zip (свободно распространяемое ПО)
- AdobeAcrobatReader DC (свободно распространяемое ПО)
- MozillaFirefox 1 (свободно распространяемое ПО)
- VLC Mediaplayer (свободно распространяемое ПО)
- K-LiteCodecPack (свободно распространяемое ПО)
- Операционная система MicrosoftWindows 10 Pro
- Сервер видеоконференцсвязи Jitsi Meet

7. Образовательные технологии

- Интерактивные лекции
- Решение задач
- Групповые дискуссии

В учебном процессе используются как активные, так интерактивные формы проведения занятий.

Интерактивные формы включают в себя:

- Лекции;
- Творческие задания в форме изложения проблемного материала;
- Групповые оценки и взаимооценки: а именно рецензирование студентами выступлений друг друга.

Аудиторные занятия проводятся в интерактивной форме с использованием мультимедийного обеспечения (ноутбук, проектор). Презентации позволяют качественно иллюстрировать аудиторные занятия схемами, формулами, чертежами, рисунками и структурировать материал занятия. Электронная презентация позволяет отобразить процессы в динамике, что улучшает восприятие материала.

Самостоятельная работа включает в себя:

- Решение задач
- Конспектирование

При необходимости, в процессе работы над заданием, студент может получить индивидуальную консультацию у преподавателя.

8. Практическая подготовка

Практическая подготовка обучающихся в рамках реализации данной учебной дисциплины осуществляется на практических занятиях.

9. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, курсового проектирования, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации	Аудитория укомплектована специализированной мебелью на 30 посадочных мест, оснащена оборудованием и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории: • доска магнитно-маркерная Branberg • экран для проектора Projecta • проектор BenQ MH733 1920 x 1080 • ноутбук ASUS L1500CDA Windows 10 Pro • система акустическая ElectroVoiceEVID 6.2
Учебная аудитория для групповых и индивидуальных консультаций и самостоятельной работы	Аудитория укомплектована специализированной мебелью на 7 посадочных мест, оснащена компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа к электронной информационно-образовательной среде:

	• персональные компьютеры НеттопThinkCenterLenovoM710Q • мониторы IIYAMAPL2283H, Dell CRHX9K2 • доска магнитно-маркерная Branberg • экран для проектора Projecta • проектор BenQ MH733 1920 x 1080
--	--

10. Фонд оценочных средств

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

Знать:

- 1) фундаментальные понятия, законы космической электродинамики;
- 2) современные проблемы космической электродинамики;
- 3) теоретические методы исследования динамики космической плазмы в рамках магнитной гидродинамики.

Уметь:

- 1) выделять главное содержание исследуемого физического явления и выбирать оптимальную физическую модель его описания, позволяющую рассчитать адекватные характеристики
- 2) формулировать физическую постановку задач космической электродинамики;
- 3) математически формулировать условия физических задач;
- 4) эффективно использовать на практике теоретические компоненты науки: понятия, суждения, умозаключения, законы;

Владеть:

- 1) аналитическими методами исследования динамики космической плазмы в рамках магнитной гидродинамики;
- 2) математическим моделированием физических задач,
- 3) навыками теоретического анализа задач магнитной гидродинамики.

Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы

Код компетенции	Разделы дисциплины, направленные на формирование компетенции				
	1	2	3	4	5
ОПК-1	+	+	+	+	+
ПКА-2	+	+	+	+	+

Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

Код компетенции	Показатели (индикаторы)	Формы оценивания			
		Текущий контроль			Промежуточная аттестация
		Устный опрос	Решение задач	Контроль самостоятельной работы	Зачет/экзамен
ОПК-1	Знает основные уравнения космической электродинамики. Знает основные законы,	Назвать основные законы, определяющие взаимодействие солнечного	Задачи 1-5	Задачи 1-4 (РПД)	зачет

	управляющие динамикой космической плазмы	ветра и магнитосферы Вопросы 1-12				
ПКА-2	Знает основные теоретические методы исследования космической. Знает основные экспериментальные методы исследования космической плазмы	Записать основные уравнения МГД и кинетики, определяющие физическое состояние космической плазмы Вопросы 13-26	Задачи 6-11	Задачи (РПД)	5-8	зачет

Программа оценивания контролируемой компетенции:

Тема или раздел дисциплины	Формируемый признак компетенции	Показатель	Критерий оценивания	Наименование ОС	
				ТК	ПА
Раздел 1. Регионы космического пространства	ОПК-1: Способен применять фундаментальные знания в области физики для решения научных задач, а также владеть основами педагогики, необходимыми для осуществления преподавательской деятельности	ИД 1. Способен решать исследовательские задачи, на основе фундаментальных знаний в области физики. ИД 3. Умеет использовать фундаментальные знания профессиональной деятельности для решения конкретных задач.	Владеет материалом раздела 1. Умеет аргументированно вести дискуссию по базовым вопросам устройства солнечной атмосферы, межпланетной среды, магнитосферы и ионосферы Земли	Собеседование задача	зачет
	ПКА-2: Способность проводить научные исследования в области физики солнечно-земных связей, используя необходимые знания теоретических и экспериментальных разделов физики	ИД 1. Демонстрирует базовые знания теоретических и экспериментальных разделов физики в области солнечно-земных связей			
Раздел 2. Основные законы космической электродинамики	ОПК-1: Способен применять фундаментальные знания в области физики для решения научных задач, а также владеть основами педагогики, необходимыми для осуществления	ИД 1. Способен решать исследовательские задачи, на основе фундаментальных знаний в области физики. ИД 3. Умеет использовать фундаментальные знания профессиональной деятельности для	Владеет материалом раздела 2. Знает фундаментальные понятия, законы, теории космической электродинамики Умеет аргументированно вести	Собеседование задача	зачет

	преподавательско й деятельности	решения конкретных задач.	дискуссию по базовым вопросам космической электродинамики		
	ПКА-2: Способность проводить научные исследования в области физики солнечно-земных связей, используя необходимые знания теоретических и экспериментальн ых разделов физики	ИД 1. Демонстрирует базовые знания теоретических и экспериментальных разделов физики в области солнечно- земных связей			
Раздел 3. Движение частиц и токи в космическом пространстве	ОПК-1: Способен применять фундаментальные знания в области физики для решения научно- исследовательски х задач, а также владеть основами педагогтики, необходимыми для осуществления преподавательско й деятельности	ИД 1. Способен решать исследовательские задачи, на основе фундаментальных знаний в области физики. ИД 3. Умеет использовать фундаментальные знания профессиональной деятельности для решения конкретных задач.	Владеет материалом раздела 3. Умеет аргументированн о вести дискуссию по движению частиц в неоднородном магнитном поле, токах в космическом пространстве	собеседова ние, задача	зачет
	ПКА-2: Способность проводить научные исследования в области физики солнечно-земных связей, используя необходимые знания теоретических и экспериментальн ых разделов физики	ИД 1. Демонстрирует базовые знания теоретических и экспериментальных разделов физики в области солнечно- земных связей			
Раздел 4. Волны в космической плазме	ОПК-1: Способен применять фундаментальные знания в области физики для решения научно- исследовательски х задач, а также владеть основами педагогтики, необходимыми для осуществления преподавательско й деятельности	ИД 1. Способен решать исследовательские задачи, на основе фундаментальных знаний в области физики. ИД 2. Знает методы и приемы организации, выполнения экспериментальных исследований на современном уровне и анализировать их результаты.	Владеет материалом раздела 4. Знает теоретические методы исследования динамики космической плазмы Умеет аргументированн о вести дискуссию по волнам в космической	Собеседова ние задача	зачет

		ИД 3. Умеет использовать фундаментальные знания профессиональной деятельности для решения конкретных задач.	плазме, выделять главное содержание исследуемого физического явления		
	ПКА-2: Способность проводить научные исследования в области физики солнечно-земных связей, используя необходимые знания теоретических и экспериментальных разделов физики	ИД 1. Демонстрирует базовые знания теоретических и экспериментальных разделов физики в области солнечно-земных связей			
Раздел 5. Неустойчивости космической плазмы	ОПК-1: Способен применять фундаментальные знания в области физики для решения научно-исследовательских задач, а также владеть основами педагогики, необходимыми для осуществления преподавательской деятельности	ИД 1. Способен решать исследовательские задачи, на основе фундаментальных знаний в области физики. ИД 2. Знает методы и приемы организации, выполнения экспериментальных исследований на современном уровне и анализировать их результаты. ИД 3. Умеет использовать фундаментальные знания профессиональной деятельности для решения конкретных задач.	Владеет материалом раздела 5. Умеет аргументированно вести дискуссию по неустойчивостям космической плазмы, выделять главное содержание исследуемого физического явления, позволяющую рассчитать адекватные характеристики	Собеседование задача	зачет
	ПКА-2: Способность проводить научные исследования в области физики солнечно-земных связей, используя необходимые знания теоретических и экспериментальных разделов физики	ИД 1. Демонстрирует базовые знания теоретических и экспериментальных разделов физики в области солнечно-земных связей			

Текущая и промежуточная аттестация

Цель контроля – получение информации о результатах обучения и степени их соответствия результатам обучения.

Текущий контроль

Текущий контроль успеваемости студента, т.е. проверка усвоения учебного материала, регулярно осуществляется на протяжении семестра. Текущий контроль знаний обучающихся организован как устный групповой опрос, письменные работы.

Оценочные средства для оценки текущей успеваемости студентов

Характеристика ОС для обеспечения текущего контроля по дисциплине

Раздел/ Тема	Индекс и уровень формируемой компетенции или дескриптора	ОС	Содержание задания
Раздел 1. Основные законы космической электродинамики	ОПК-1 ПКА-2	Собеседование, решение задач	Составить и обсудить на занятии проблемные вопросы по изученному разделу, решить задачу
Раздел 2. Регионы космического пространства	ОПК-1 ПКА-2	Собеседование, решение задач	Составить и обсудить на занятии проблемные вопросы по изученному разделу, решить задачу
Раздел 3. Движение частиц и токи в космическом пространстве	ОПК-1 ПКА-2	Собеседование, решение задач	Составить и обсудить на занятии проблемные вопросы по изученному разделу, решить задачу
Раздел 4. Возмущения в космической плазме	ОПК-1 ПКА-2	Собеседование, решение задач	Составить и обсудить на занятии проблемные вопросы по изученному разделу, решить задачу
Раздел 5. Неустойчивости космической плазмы	ОПК-1 ПКА-2	Собеседование, решение задач	Составить и обсудить на занятии проблемные вопросы по изученному разделу, решить задачу

Задания для текущего контроля

Вопросы для собеседования

Раздел 1. Регионы космического пространства

1. Каковы основные параметры плазмы солнечной атмосферы, межпланетной среды, магнитосферы и ионосферы Земли?
2. Что определяет размер магнитосферы в подсолнечной точке?
3. Какие токовые слои существуют в гелиосфере и магнитосфере?

Раздел 2. Основные законы космической электродинамики

1. Что такое силовые линии магнитного поля?

2. Как преобразуются электрическое и магнитное поля при переходе из одной системы отсчета в другую?
3. Что такое магнитные поверхности?
4. При каких условиях работает 1-жидкостная МГД?
5. Сформулируйте систему уравнений 1-жидкостной и 2-жидкостная МГД.
6. Как формулируются законы сохранения импульса в 1-жидкостной МГД?
7. Как формулируются законы сохранения энергии в 1-жидкостной МГД?
8. Что такое вмороженность плазмы в магнитное поле?

Раздел 3. Движение частиц и токи в космическом пространстве

1. Что такое дрейфовое приближение, при каких условиях оно применимо?
2. Какие интегралы движения характеризуют движение заряженных частиц в неоднородном магнитном поле?
3. Как происходит конвекция холодной и горячей плазмы в магнитосфере?
4. Что такое бетатронное ускорение?
5. Что такое ускорение Ферми?
6. Какие основные токовые системы существуют в магнитосфере?
7. Какую роль играет продольное электрическое поле и его роль в ускорении заряженных частиц в авроральной магнитосфере?
8. Сформулируйте закон Ома для ионосферы.
9. Как преобразуются токовые системы магнитосферно-ионосферного взаимодействия во время магнитных бурь и суббурь?

Раздел 4. Волны в космической плазме

1. Что такое электронно- и ионно-циклотронные моды?
2. Что такое МГД-моды?
3. При каких условиях имеет место циклотронный резонанс "волна-частица"?
4. При каких условиях имеют место дрейфовый и баунс-дрейфовый резонансы "волна-частица"?
5. Как изменяются основные параметры солнечного ветра при переходе через ударную волну?

Раздел 5. Неустойчивости космической плазмы

1. При каких условиях развивается перестановочная неустойчивость в магнитном поле?
2. При каких условиях развивается неустойчивость Кельвина-Гельмгольца?
3. При каких условиях развивается пучковая неустойчивость?
4. При каких условиях развиваются кинетические неустойчивости магнитосферной плазмы?

Задачи для практических занятий

1. Скорость солнечного ветра равна 400 км/с. Найдите расстояние до магнитопаузы.
2. Земля делает полный оборот вокруг оси за 24 часа. Найдите расстояние до геостационарной орбиты.
3. Найдите период обращения спутника THEMIS при известном значении большой полуоси его орбиты.

4. Зная выражение для дипольного магнитного поля в сферических координатах, найдите форму силовой линии.
5. Найдите параметр Мак-Илвейна для Иркутска.
6. Рассчитать скорость градиентного дрейфа частицы в дипольном магнитном поле при энергии частицы 10 кэВ и питч-угле 90° .
7. Найдите положение зеркальной точки для частицы при энергии частицы 10 кэВ и питч-угле 45° .
8. Рассчитать расстояние от центра Земли до подсолнечной точки плазмопаузы при заданной величине электрического поля конвекции.
9. Найдите частоту ММЗ при квазипоперечном распространении и при заданных параметрах плазмы и продольной длине волны 1 радиус Земли.
10. Рассчитать частоту циклотронного резонанса при энергии частицы 10 кэВ.
11. Рассчитать частоту баунс-дрейфового резонанса при энергии 10 кэВ и экваториальном питч-угле частицы питч-угле 90° .

Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация студентов по дисциплине осуществляется по окончании дисциплины, в виде зачета в соответствии с графиком учебного процесса. Проверка наличия конспектов по дисциплине является допуском к зачёту. В случае наличия учебной задолженности (пропущенных занятий или невыполненных заданий), студент отрабатывает пропущенные занятия и выполняет задания.

Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

Вопросы для зачета

Раздел 1. Регионы космического пространства

1. Какие основные регионы существуют в солнечной атмосфере?
2. Приведите основные характеристики быстрого и медленного солнечного ветра.
3. Какие основные регионы существуют в магнитосфере?
4. Какие основные регионы существуют в ионосфере?
5. Что такое магнитные бури, при каких условиях они происходят?
6. Что такое суббури, при каких условиях они происходят?

Раздел 2. Основные законы космической электродинамики

1. Приведите основные уравнения электродинамики.
2. Какие основные понятия характеризуют геометрии магнитного поля?
3. Приведите основные уравнения кинетики плазмы.
4. Приведите основные уравнения 2-жидкостной МГД.
5. Приведите основные уравнения 1-жидкостной МГД.
6. Сформулируйте законы сохранения импульса и энергии в 1-жидкостной МГД.
7. Сформулируйте теорему о вмороженности плазмы в магнитное поле.

Раздел 3. Движение частиц и токи в космическом пространстве

1. Как движутся частицы в однородном магнитном поле?
2. Как изменяется энергия частицы в переменном магнитном поле?
3. Что такое приближение ведущего центра? Когда оно справедливо?
4. Сформулируйте уравнение движения частиц в приближении ведущего центра.
5. Какие виды дрейфа заряженных частиц имеются в неоднородном магнитном поле?
6. Дайте описание токам в неоднородной плазме на основе 1-жидкостной МГД.
7. Приведите кинетическое описание токов в неоднородной бесстолкновительной плазме.

8. Выведите уравнение энергии в дрейфовом приближении.
9. Какие адиабатические инварианты характеризуют движение частиц в неоднородном магнитном поле?
10. Как происходит конвекция горячей и холодной плазмы в магнитосфере?
11. Как конвекция плазмы в магнитосфере отражается на ионосфере?
12. Приведите условия формирования продольных токов в магнитосфере.
13. Приведите условия формирования продольного электрического поля в магнитосфере.
14. Что такое пересоединение силовых линий, при каких условиях оно может возникать?

Раздел 4. Волны в космической плазме

1. Выведите тензор диэлектрической проницаемости для волн в холодной плазме.
2. Каковы основные особенности распространения радиоволн в ионосфере Земли?
3. Назовите основные моды ОНЧ-волн, приведите их дисперсионные соотношения.
4. Назовите основные моды УНЧ-волн, приведите их дисперсионные соотношения.
5. При каких условиях осуществляется эффективное взаимодействие волна-частица в космической плазме?
6. При каких условиях возникают ударные волны в плазме?
7. Каким образом ударные волны способствуют ускорению частиц космической плазмы?

Раздел 5. Неустойчивости космической плазмы

1. Что такое плазменные неустойчивости?
2. Приведите примеры неустойчивостей в 1-жидкостной МГД.
3. Приведите примеры неустойчивостей в 2-жидкостной МГД.
4. Приведите примеры неустойчивостей в кинетике.

Задачи для зачета

1. Рассчитать расстояние до магнитопаузы при известных значениях скорости солнечного ветра и величине геомагнитного поля на экваторе Земли.
2. Рассчитать расстояние до геостационарной орбиты (в радиусах Земли).
3. Рассчитать геомагнитную широту, соответствующую геостационарной орбите.
4. Рассчитать радиус кривизны для дипольного магнитного поля (на геомагнитном экваторе).
5. Рассчитать профиль магнитного поля при заданном профиле давления плазмы в цилиндрической модели магнитосферы.
6. Рассчитать скорость дрейфа частицы в дипольном поле при заданной энергии и питч-угле частицы.
7. Рассчитать скорость конвекции плазмы в геомагнитном хвосте.
8. Рассчитать положение плазмопаузы при заданной величине электрического поля конвекции.
9. Рассчитать время пробега волнового пакета вистлера между магнитосопреженными точками магнитосферы.
10. Вывести дисперсионное уравнение ММЗ при квазипоперечном распространении.
11. Определить характер особенности электрического поля в альфвеновском резонансе.
12. Рассчитать дрейфовую частоту при заданных параметрах плазмы.
13. Рассчитать частоту циклотронного резонанса при заданной энергии частицы.
14. Рассчитать частоту дрейфового резонанса при заданной энергии и экваториальном питч-угле частицы.
15. Рассчитать частоту баунс-дрейфового резонанса при заданной энергии и экваториальном питч-угле частицы.

Оценочные средства сформированности компетенций

Наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенций	№ задания к зачету (или задание)
ОПК-1: Способен применять фундаментальные знания в области физики для решения научно-исследовательских задач, а также владеть основами педагогики, необходимыми для осуществления преподавательской деятельности	ИД 1. Способен решать исследовательские задачи, на основе фундаментальных знаний в области физики.	Вопросы 1.1-1.6, 2.1-2.7
	ИД 2. Знает методы и приемы организации, выполнения экспериментальных исследований на современном уровне и анализировать их результаты.	Вопросы 2.1-2.7, 4.1-4.7
	ИД 3. Умеет использовать фундаментальные знания профессиональной деятельности для решения конкретных задач.	Задачи 1-8
ПКА-2: Способность проводить научные исследования в области физики солнечно-земных связей, используя необходимые знания теоретических и экспериментальных разделов физики	ИД 1. Демонстрирует базовые знания теоретических и экспериментальных разделов физики в области солнечно-земных связей	Вопросы 3.1-3.14, 4.1-4.7, 5.1-5.4 Задачи 9-15

Критерии оценки:

- оценка «зачтено» выставляется студенту, если основной материал усвоен, студент приобрел необходимые знания и умения;
- оценка «не зачтено» - если основной материал усвоен недостаточно, студент не приобрел необходимых знаний и умений

Оценочные средства, обеспечивающие диагностику сформированности компетенций, заявленных в рабочей программе дисциплины (модуля)

Результат диагностики сформированности компетенций	Показатели	Критерии	Соответствие/ несоответствие	Зачет/экзамен
Положительные результаты устного промежуточного контроля	Подготовка к устному промежуточному контролю, знание основных тем дисциплины, указанных в программе оценивания контролируемой компетенции	Дал грамотный и развернутый ответ на вопросы для подготовки по теоретическим вопросам курса Не ответил или ответил неправильно на вопросы для подготовки по теоретическим вопросам курса	Соответствие Несоответствие	Устный промежуточный контроль
Положительные результаты решения задач	Решение предложенных преподавателем задач, знание основных тем	Положительные результаты решения задач	Соответствие	Промежуточный контроль

	дисциплины, в Программе оценивания контролируемой компетенции	Не решил или неправильно решил предложенные задачи	Несоответствие	
Положительные результаты зачета	Подготовка к экзамену и знание экзаменационных вопросов	Полностью раскрыты все вопросы, даны все правильные определения Не полностью раскрыт один из вопросов и (или) в определениях есть неточности Не полностью раскрыты два вопроса и (или) определения неверны	Соответствие Несоответствие	Зачет