

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

« 5 » марта 2022 г.

Рабочая программа дисциплины

Б1.В.ОД.6 Физика магнитосферы

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 2022

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 кандидат физико-математических наук	Д.Ю. Климушкин
---	----------------

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

Дисциплина «Физика магнитосферы» входит в вариативную часть Блока 1 «Дисциплины (модули) 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», «Магнитная гидродинамика»

Последующие дисциплины, для которых освоение данной дисциплины необходимо: «Вопросы математической физики»

2. Цели и задачи дисциплины (модуля)

Программа разработана в соответствии с основной образовательной программой по направлению подготовки 03.04.02 – физика, профиль «Солнечно-земная физика».

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

Задачами дисциплины «Физика магнитосферы» является:

- изучить основные параметры магнитосферы Земли;
- изучить основные законы, управляющие магнитосферной плазмой;
- познакомиться с основными методами исследований, применяемыми в физике магнитосферы.

3. Требования к результатам освоения дисциплины (модуля)

Процесс изучения дисциплины «Физика магнитосферы» направлен на формирование следующих компетенций в соответствии с ОПОП по направлению подготовки «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 физики магнитосферы; 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	Знать теоретические методы исследования динамики магнитосферной плазмы в рамках магнитной гидродинамики. Уметь выделять главное содержание исследуемого

	результаты.	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 теоретических и экспериментальных разделов физики	ИД-1. Демонстрирует базовые знания теоретических и экспериментальных разделов физики в области физики солнечно-земных связей	Знать современные проблемы физики магнитосферы; Уметь формулировать физическую постановку задач физики магнитосферы; 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 единиц, 108 часов.

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

5. Содержание дисциплины

5.1. Содержание разделов и темы дисциплины

Раздел 1. Взаимодействие солнечного ветра и магнитосферы

- 1.1. Трансформация СВ при переходе через ударную волну.
- 1.2. Форма и положение магнитопаузы.
- 1.3. Бесстолкновительная ударная волна.

Раздел 2. Геомагнитное поле

- 2.1. Мультипольное разложение.
- 2.2. Магнитные координаты.
- 2.3. Геомагнитные индексы.
- 2.4. Потенциалы Эйлера.
- 2.5. Уравнение Града-Шафранова.
- 2.6. Модель Цыганенко.

Раздел 3. Движение частиц в магнитосфере

- 3.1. Дрейфовое приближение.
- 3.2. Интегралы движения и адиабатические инварианты.
- 3.3. Расщепление оболочек.
- 3.4. Конвекция холодной и горячей плазмы в магнитосфере.
- 3.5. Ускорение частиц в стационарных полях.
- 3.6. Поперечный ток в плазме в дрейфовом приближении.

Раздел 4. Волны в магнитосферной плазме

- 4.1. Вистлеры и другие виды ОНЧ волн в магнитосфере.
- 4.2. Ионно-циклотронные волны.
- 4.3. Гидромагнитные волны в горячей плазме в приближении 1-жидкостной МГД.
- 4.4. Альфвеновский резонанс.
- 4.5. Кинетические альфвеновские волны.
- 4.6. Дрейфовые волны.

Раздел 5. Неустойчивости в магнитосферной плазме

- 5.1. Циклотронная, инверсная, градиентная неустойчивости.
- 5.2. Неустойчивость Кельвина-Гельмгольца при наличии магнитного поля.
- 5.3. Зеркальная и баллонная неустойчивости.

Раздел 6. Взаимодействие волна-частица

- 6.1. Резонанс "волна-частица" для волн разных частотных диапазонов.
- 6.2. Диффузия по питч-углам и поперек магнитных оболочек.
- 6.3. Волновые механизмы ускорения частиц
- 6.4. Пересоединение

Раздел 7. Хвост магнитосферы

- 7.1. Слой Харриса.
- 7.2. Тиринг-неустойчивость.
- 7.3. Движение частиц хвоста.
- 7.4. Турбулентность в геомагнитном хвосте.

Раздел 8. Магнитосферно-ионосферное взаимодействие

- 8.1. Основное уравнение магнитосферно-ионосферного взаимодействия.
- 8.2. Токовые системы ионосферы.
- 8.3. Ионосферный альфвеновский резонатор.

8.4. Неустойчивость с обратной связью.

8.5. Особенности магнитосферно-ионосферного взаимодействия во время суббурь.

8.6. Продольное электрическое поле.

5.2. Разделы дисциплины (модуля) и виды занятий

№	Раздел	Всего часов	Аудиторные занятия				СРС
			Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Семинары	
1	Взаимодействие солнечного ветра и магнитосферы	12	4		4		4
2	Геомагнитное поле	15	5		5		5
3	Движение частиц в магнитосфере	12	4		4		4
4	Волны в магнитосферной плазме	15	5		5		5
5	Неустойчивости в магнитосферной плазме	12	4		4		4
6	Взаимодействие волна-частица	15	5		5		5
7	Хвост магнитосферы	12	4		4		4
8	Магнитосферно-ионосферное взаимодействие	15	5		5		5
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	Магнитная гидродинамика	Раздел 4, тема 4.3

5.4. Перечень лекционных занятий

№ п/п	№ раздела и темы дисциплины	Наименование используемых технологий	Трудоемкость (часы)	Оценочные средства
1	2	3	4	5
1.	Раздел 1 Темы 1.1-1.3	Лекция	4	Ответы на вопросы

2.	Раздел 2 Темы 2.1-2.6	Лекция	5	Ответы на вопросы
3.	Раздел 3 Темы 3.1-3.6	Лекция	4	Ответы на вопросы
4	Раздел 4 Темы 4.1-4.6	Лекция	5	Ответы на вопросы
5	Раздел 5 Темы 5.1-5.3	Лекция	4	Ответы на вопросы
6	Раздел 6 Темы 6.1-6.4	Лекция	5	Ответы на вопросы
7	Раздел 7 Темы 7.1-7.4	Лекция	4	Ответы на вопросы
8	Раздел 8 Темы 8.1-8.6	Лекция	5	Ответы на вопросы

5.5 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.	Раздел 1 Темы 1.1-1.3	Вывод основных формул, описывающих взаимодействие солнечного ветра и магнитосферы (в рамках 1-жидкостной МГД)	4	Собеседование, решение задач
2.	Раздел 2 Темы 2.1-2.6	Вывод основных формул, описывающих стационарное магнитное поле и МГД-равновесие	5	Собеседование, решение задач
3.	Раздел 3 Темы 3.1-3.6	Вывод основных формул, описывающих движение частиц в магнитосфере (в дрейфовом приближении)	4	Собеседование, решение задач
4	Раздел 4 Темы 4.1-4.6	Вывод основных формул, описывающих волны в магнитосферной плазме (в рамках 1-жидкостной и 2-жидкостной МГД, а также кинетики)	5	Собеседование, решение задач
5	Раздел 5 Темы 5.1-5.3	Вывод основных формул, описывающих неустойчивости в магнитосферной плазме (в	4	Собеседование, решение задач

		рамках 1-жидкостной и 2-жидкостной МГД)		
6	Раздел 6 Темы 6.1-6.4	Вывод основных формул, описывающих взаимодействие волна-частица (на основе классической механики)	5	Собеседование, решение задач
7	Раздел 7 Темы 7.1-7.4	Вывод основных формул, описывающих равновесие хвоста магнитосферы (модель Харриса) и движение частиц в нем (теория Спайсера)	4	Собеседование, решение задач
8	Раздел 8 Темы 8.1-8.6	Вывод основного уравнения магнитосферно-ионосферного взаимодействия и его решение для различных частных случаев	5	Собеседование, решение задач

5.6. Тематика заданий для самостоятельной работы

Раздел	Тема	Вид самостоятельной работы	Задание	Рекомендуемая литература	Количество часов
1.	1.1-1.3	самостоятельное решение задач	Задача на взаимодействие солнечного ветра и магнитосферы	Литература из учебно-методического и информационного обеспечения дисциплины (пункт б)	4
2.	2.1-2.6	самостоятельное решение задач	Задача на магнитогидродинамическое равновесие	Литература из учебно-методического и информационного обеспечения дисциплины (пункт б)	5
3.	3.1-3.6	самостоятельное решение задач	Задача на дрейфовое движение частиц в неоднородном магнитном поле	Литература из учебно-методического и информационного обеспечения дисциплины (пункт б)	4
4	4.1-4.6	самостоятельное решение задач	Задача на волны в горячей замагниченной плазме	Литература из учебно-методического и информационного обеспечения дисциплины (пункт б)	5
5	5.1-5.3	самостоятельное	Задача на неустойчивость	Литература из учебно-методического и	4

		решение задач	плазмы в магнитном поле	информационного обеспечения дисциплины (пункт 6)	
6	6.1-6.4	самостоятельное решение задач	Задача на взаимодействие волн и частиц	Литература из учебно-методического и информационного обеспечения дисциплины (пункт 6)	5
7	7.1-7.4	самостоятельное решение задач	Задача на движение частиц в магнитосферном хвосте	Литература из учебно-методического и информационного обеспечения дисциплины (пункт 6)	4
8	8.1-8.6	самостоятельное решение задач	Задача на ионосферно-магнитосферное взаимодействие	Литература из учебно-методического и информационного обеспечения дисциплины (пункт 6)	5

5.7. 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 ее.

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.
8. Вычислить величину продольного тока зоны 2 при заданном профиле давления в области частично-кольцевого тока.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

6.1. Основная литература

Автор, название, место издания, издательство, год издания учебной и учебно-методической литературы	Количество экземпляров
Харгривс, Дж. К. Верхняя атмосфера и солнечно-земные связи: Введение в физику околоземной космической среды. Л.: Гидрометеоздат, 1982. - 351 с.	4
Лайонс Л., Уильямс Д. Физика магнитосферы. Количественный подход. М.: Мир, 1987. - 312 с.	2
Плазменная гелиогеофизика: в 2-х т. / под ред. Л. М. Зеленый, И. С. Веселовский. - М.: Физматлит, 2008 - . Т.1. - 2008. - 672 с.	2
Плазменная гелиогеофизика : в 2-х т. / под ред. Л. М. Зеленый, И. С. Веселовский. - М.: Физматлит, 2008 -Т.2. - 2008. - 560 с.	2

6.2. Дополнительная литература

Автор, название, место издания, издательство, год издания учебной и учебно-методической литературы	Количество экземпляров
Пономарев, Е. А. Механизмы магнитосферных суббурь. АН СССР. СО. СибИЗМИР. - М.: Наука, 1985. - 159 с.	3
Базаржапов А. Д., Матвеев М. И., Мишин В. М. Геомагнитные вариации и бури. АН СССР, СО, СибИЗМИР. - Новосибирск: Наука, 1979. - 248 с.	2
Мишин, В. М. Спокойные геомагнитные вариации и токи в магнитосфере: монография. АН СССР, СО, СибИЗМИР. - Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1976.	2
Леонович А. С., Мазур В. А.. Линейная теория МГД-колебаний магнитосферы - Москва: Физматлит, 2016. - 480 с.	1

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

Программное обеспечение, используемое при осуществлении образовательного процесса по дисциплине:

Microsoft Windows 10 Домашняя (Лицензионное соглашение Microsoft на использование операционной системы Windows подтвержденное лицензионным ключом R88NK-FTK6X-4M99C-9KK79-BKM6M, дата выдачи июнь 2018, бессрочно)

Microsoft Office Home and Business 2019 (Лицензионное соглашение Microsoft на использование продукта Office Home and Business 2019 подтвержденное лицензионным ключом VQ36H-WVFNJ-YRRC2-DJYQM-D27RZ, дата выдачи - сентябрь 2018, бессрочно)

7-Zip (Свободно распространяемое программное обеспечение на условиях лицензий: GNU Lesser General Public License, BSD 3-clause License, бессрочно)

Adobe Acrobat Reader DC (Лицензионное соглашение на программное обеспечение Adobe, бессрочно)

Far Manager (Свободно распространяемое программное обеспечение на условиях лицензии Revised BSD license, бессрочно)

K-Lite Codec Pack (Свободно распространяемое программное обеспечение на условиях лицензии GNU Lesser General Public License, бессрочно)

Mozilla FireFox 1 (Свободно распространяемое программное обеспечение на условиях лицензии Mozilla Public License 2.0 (MPL), бессрочно)

Операционная система Ubuntu 18.04 (свободно распространяемое ПО)

Дистрибутив Python Anaconda (свободно распространяемое ПО)

Офисный пакет Libre Office (свободно распространяемое ПО)

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 магистрантами 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, магистрант 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)

<p>Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации</p>	<p>Аудитория укомплектована специализированной мебелью на 30 посадочных мест, техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● ноутбук HP 15-da1101ur Windows 10 Home ● доска магнитно-маркерная BRAUBERG 236851 120x90 см (передвижная) ● доска магнитно-маркерная BRAUBERG 235525 180x120 см (на стену) ● Колонки 2.0 Thonet & Vander Fleck 7 ● экран для проектора Lumien Master Control LMC-100110 305x229 см ● проектор BenQ MU641 1920x1200
<p>Помещение для самостоятельной работы</p>	<p>Аудитория оборудована: мебелью на 7 посадочных мест, доской маркерной, техническими средствами обучения</p> <ul style="list-style-type: none"> • проектор BenQ MH733; • Неттоп Lenovo ThinkCentre M710q 10MR006JRU (6 шт.); • Монитор IIYAMA ProLite X2283HSU-B1DP (6 шт.); • Неттоп Lenovo ThinkCentre M710q 10MRS04C00 (1 шт.) • Монитор Dell E2417H (1 шт.) • экран Lumien Eco Picture LEP-100101 <p>С неограниченным доступом к сети Интернет и в электронную информационно-образовательную среду.</p>