МИНОБРНАУКИ РОССИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ФГБОУ ВО «ИГУ»

Кафедра общей и космической физики

УТВЕРЖДАЮ
Декан физического факультета
_____ / Н.М. Буднев
"14" апреля 2025 г.

Рабочая программа дисциплины

Наименование дисциплины Б1.В.ДВ.03.02 Плазменная астрофизика

Направление подготовки: 03.04.02 Физика

Направленность (профиль) подготовки: Астрофизика высоких энергий

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очная

Согласовано с УМК:
физического факультета
Протокол № 49 от «26» марта 2025 г.

Председатель: д.ф.-м.н., профессор
_____ Н.М. Буднев

Рекомендовано кафедрой:
общей и космической физики
Протокол № 8
от «24» марта 2025 г.
Зав.кафедрой д.ф.-м.н., профессор
_____ Паперный В.Л.

Иркутск 2025 г.

I. Цели и задачи дисциплины (модуля)

Программа разработана в соответствии с основной образовательной программой по направлению подготовки 03.04.02 – физика, профиль «Астрофизика высоких энергий», предназначена для обеспечения курса «Плазменная астрофизика», изучаемого магистрантами в течение первого семестра.

Целью дисциплины «Плазменная астрофизика» является получение фундаментальных знаний и возможности их использования в процессе дальнейшего обучения, при прохождении практик, написания научных работ, в своей научной и педагогической деятельности

Задачами дисциплины «Плазменная астрофизика» является освоение:

- Основных результатов экспериментальных и теоретических результатов исследований астрофизической плазмы на Солнце, в солнечной атмосфере и межпланетном пространстве
- Основных методов диагностики плазмы во внутренней части Солнца, его атмосфере и межпланетном пространстве на основе современных наземных и космических наблюдений.
- Современных представлений о природе физических процессов, протекающих астрофизической плазмы во внутренней части Солнца, его атмосферы и межпланетного космического пространства

II. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО

Дисциплина «Плазменная астрофизика» входит в часть, формируемую участниками образовательных соотношений, блока Б1 ОПОП по направлению 03.04.02 Физика, профиль «Астрофизика высоких энергий», является дисциплиной по выбору и изучается магистрантами в первом семестре как обязательная для комплексного изучения физики астрофизической плазмы.

III. Требования к результатам освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины (модуля) направлен на формирование следующих компетенций: ПК-1:

- Способен использовать астрофизические методы в научных исследованиях (ПК-1).

В результате изучения дисциплины студент должен:

Знать:

- Основные виды плазмы, наблюдающиеся в астрофизических объектах солнечной

системы, в том числе в различных слоях Солнца и его атмосферы, а также в межпланетном космическом пространстве

- Основные астрофизические явления и объекты, наблюдающиеся на Солнце и в межпланетном космическом пространстве, а также характерные параметры плазмы в этих объектах
- Основные физические процессы, реализующиеся в астрофизической плазме Солнца, его атмосферы и межпланетного пространства
- Основные способы наблюдения и исследования астрофизической плазмы в солнечной атмосфере

Уметь:

- анализировать и интерпретировать наблюдения астрофизической плазмы на Солнце, в Солнечной атмосфере и в межпланетном пространстве
- Определять ключевые параметры плазмы в Солнечной атмосфере и межпланетном космическом пространстве по данным наблюдений

Владеть:

- Пониманием основных физических процессов, процессов и явлений, протекающих в различных астрофизических объектах солнечной системы в едином контексте.
- Основными понятиями и терминами в области исследования астрофизических объектов солнечной системы
- Навыками использования современных методов анализа и интерпретации наблюдений.

IV. Содержание и структура дисциплины (модуля)

Вид учебной работы	**Всего часов / зачетных единиц**	**Семестры**			
		1			
Аудиторные занятия (всего)	68/2	68/2			
В том числе:	-	-	-	-	-
Лекции					
Практические занятия (ПЗ)	68	68			
Из них практическая подготовка	36/1	36/1			
Лабораторные работы (ЛР)					
Самостоятельная работа (всего)	65	65			
В том числе:	-	-	-	-	-
Реферат (при наличии)					
Решение задач	65	65			
КСР	2	2			
Консультации	1	1			
КОнтроль	8	8			
Вид промежуточной аттестации (зачёт)					
Контактная работа (всего)	79	79			
Общая трудоемкость часы	144	144			
зачетные единицы	4	4			

4.1. Содержание дисциплины, структурированное по темам, с указанием видов учебных занятий и отведенного на них количества академических часов

№ п/п	Наименование раздела	Наименование темы	Виды занятий в часах					
			Лекц.	Практ. зан.	КСР	Лаб	СРС	Всего
1.	Общая информация об астрофизической плазме	1.1 Что такое плазма? Характерные размер плазмы (Дебаевская длина). Характерная длительность процессов в плазме (период плазменных колебаний). Критерии плазмы. 1.2 Заряженные частицы в магнитном поле. Ларморовское вращение, гирочастота и гирорадиус. 1.3 Дрейф заряженных частиц в магнитном поле в присутствии внешних сил.		16	0,5		16	32,5
2.	Способы описания плазмы	2.1 Кинетическое описание плазмы. 2.2 Двухжидкостная модель 2.3 Магнитная гидродинамика. Плазменная β, холодная и горячая плазма		16	0,5		16	32,5
3.	Явления, наблюдающиеся в астрофизической плазме	3.1 Механизмы формирования излучения в плазме. Взаимодействие плазмы с излучением. 3.2 Волны в плазме 3.3 Магнитное пересоединение. Солнечные вспышки		18	0,5		16	34,5
4.	Объекты солнечной системы с точки зрения плазменной астрофизики	4.1 Солнечная атмосфера. Фотосфера, хромосфера, корона 4.2 Межпланетное космическое пространство. Солнечный ветер 4.3 Магнитосфера Земли		18	0,5		17	35,5
		Всего		68	2		65	135

4.3. Содержание учебного материала

Раздел 1. Общая информация об астрофизической плазме

Тема 1. Что такое плазма? Характерные размер плазмы (Дебаевская длина). Характерная длительность процессов в плазме (период плазменных колебаний). Критерии плазмы.

Тема 2. Заряженные частицы в магнитом поле. Ларморовское вращение, гирочастота и гирорадиус.

Тема 3. Дрейф заряженных частиц в магнитном поле в присутствии внешних сил.

Раздел 2. Способы описания плазмы

Тема 1. Кинетическое описание плазмы.

Тема 2. Двухжидкостная модель

Тема 3. Магнитная гидродинамика. Плазменная β, холодная и горячая плазма

Раздел 3. Явления, наблюдающиеся в астрофизической плазме

Тема 1. Механизмы формирования излучения в плазме. Взаимодействие плазмы с излучением.

Тема 2. Волны в плазме

Тема 3. Магнитное пересоединение. Солнечные вспышки

Раздел 4. Объекты солнечной системы с точки зрения плазменной астрофизики

Тема 1. Солнечная атмосфера. Фотосфера, хромосфера, корона

Тема 2. Межпланетное космическое пространство. Солнечный ветер

Тема 3. Магнитосфера Земли

4.3.1. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ

№ п/п	№ раздела и темы дисциплины (модуля)	Наименование семинаров, практических и лабораторных работ	Трудоемкость (час.)	Оценочные средства	Формируемые компетенции
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
1.	Раздел 1, тема 1.2	Дрейфы заряженных частиц в магнитном поле в присутствии внешних сил	12	Собеседд., реш.зад	ПК1
2.	Раздел 2, тема 2.2	Двухжидкостная модель плазмы	8	Собеседд. реш.зад	ПК1

3.	Раздел 2, тема 2.3	Вывод уравнений магнитной гидродинамики	12	Собеседование. реш.зад	ПК1
4.	Раздел 3, тема 3.1.	Диагностика солнечной атмосферы по наблюдениям пятенных радиоисточников и всплесков III типа	12	Собеседование. реш.зад	ПК1
5.	Раздел 3, тема 3.2	МГД-сейсмология. Оценка температуры корональных петель по наблюдениям медленных МГД-волн. Оценка альвеноской скорости в короне Солнца по наблюдениям изгибных колебаний.	12	Собеседование. реш.зад	ПК1
6.	Раздел 4, тема 4.2	Определить событие на Солнце, ставшее источником возмущения солнечного ветра на орбите Земли.	12	Отчет в виде презентации	ПК1

4.3.2. Перечень тем (вопросов), выносимых на самостоятельное изучение студентами в рамках самостоятельной работы (СРС)

№ нед.	Тема	Вид самостоятельной работы	Задание	Рекомендуемая литература	Количество часов
1	Тема 1.1	Решение задач	По заданным концентрации и температуре рассчитать радиус Дебая и период плазменных колебаний для ядра Солнца, фотосферы, хромосферы, короны, солнечного ветра и магнитосферы Земли	Основная литература 1,2	15

2	Тема 1.2	Решение задач	Расчитать гирочастоту и гироразиус для короны солнечных актьивных областей, солнечного ветра и магнитосферы Земли. Данные необходимые для расчетов самостоятельно найти в литературе.	Основная литература 1,2 Дополнительная литература 2	10
3	Тема 2.3	Вывод формул	Самостоятельно вывести уравнение индукции в МГД	Основная литература 1,2 Дополнительная литература 2	10
4	Тема 3.2	Вывод формул	Вывести формулы для Альвеновской скорости и скорости звука из МГД уравнений методом анализа размерностей	Основная литература 1,2 Дополнительная литература	10
5	Тема 3.2	Вывод формул	Вывести практическую формулу для расчета магнитного поля по наблюдаемому периоду изгибных колебаний и контрасту плотности корональной петли. Вывести практическую формулу для расчета температуры плазмы по вспышечной петле по наблюдаемому периоду стоячих медленных МГД- волн в корональное петле.	Основная литература 1,2 Дополнительная литература	10

6	Все темы	Подготовка к зачёту	Вся рекомендуемая литература	8

4.4. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов

Студентам предлагается два вида самостоятельной работы:

- *Решение задач.* Студентам необходимо выполнить расчет значение какой-либо величины, использую физические формулы из лекционного материала. Для успешного решения задачи должна быть выведена расчетная формула, определена размерность результата и получено численное значение искомой величины.
- *Вывод формул*. Студенты должны самостоятельно вывести формулы, данные в лекциях без вывода. Разрешается использовать лекционный материал и литературу. Задание считается выполненным, если студент демонстрирует вывод формул, записанный на бумаге или в электронном документе, и может правильно объяснить каждое действие.

4.5. Примерная тематика курсовых работ (проектов) (при наличии)

Курсовые работы (проекты) не предусмотрены.

V. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

основная литература

1. Алтынцев, А.Т. Введение в радиоастрономию солнца [Текст] : научное издание / А. Т Алтынцев, Л. К. Кашапова ; рец.: В. М. Богод, А. Б. Струминский ; Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Ин-т солнечно-земной физики, Иркутский гос. ун-т. - Иркутск : Изд-во ИГУ, 2014. - 203 с. – (4 экз.)
2. Гусейханов, М. К. Основы астрофизики [Электронный ресурс] / М. К. Гусейханов. - Электрон. текстовые дан. - Москва : Лань", 2017. - ЭБС "Лань". - неогранич. доступ. - ISBN 978-5-8114-2176-3

дополнительная литература

1. Акасофу, С. И. Солнечно-земная физика [Текст] : пер. с англ.: в 2 кн. / С. И. Акасофу, С. Чепмен ; ред. Г. М. Никольский и др. - М. : Мир, 1974 - 1975. - Ч. 2. - 1975. - 512 с. – (2 экз.)

Справочная литература

1) Прист, Эрик Р. Солнечная магнитогидродинамика [Текст] : научное издание / Э. Р. Прист ; пер. с англ. Е. В. Иванова. - М. : Мир, 1985. - 592 с. – (1 экз.)
2) Плазменная гелиогеофизика : в 2 т. / ред.: Л. М. Зеленый, И. С. Веселовский. - М. : Физматлит, 2008. - Т. 1. - 2008. - 670 с. – (1 экз.)
3) Плазменная гелиогеофизика : в 2 т. / ред.: Л. М. Зеленый, И. С. Веселовский. - М. : Физматлит, 2008. – Т. 2. - 2008. - 559 с. – (1 экз.)
4) Каплан, С.А. Плазменная астрофизика [Электронный ресурс] / С. А. Каплан, В. И. Цытович М. : Наука, 1972. - 440 с.Мирошниченко, Л. И. Физика Солнца и солнечно-земных связей: учеб. Пособие. [Электронный ресурс] М. : Университетская книга, 2011. - 174 с.
5) Aschwanden, M. J. The Sun : chapter for "The Encyclopedia of the Solar System", 2nd edition. Amsterdam: Academy Press; Elsevier Science, 2005. – 35 p. –
6) Прист, Э.Р. Магнитное пересоединение: магнитогидродинамическая теория и приложения / Э. Р. Прист, Т. Форбс. [Электронный ресурс] М. : Физматлит, 2005. - 592 с.

б) *периодические издания*

- нет необходимости.

в) *список авторских методических разработок*

1. В системе образовательного портала ИГУ (http://educa.isu.ru/) размещены методические материалы и задания по данному курсу.

г) *базы данных, информационно-справочные и поисковые системы*

1. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU, более 10 полнотекстовых версий научных журналов по тематике курса
2. Информационная система доступа к российским физическим журналам и обзорам ВИНИТИ (http://www.viniti.ru)
3. Архив научных журналов JSTOR (http://www.jstor.org)
4. ЭЧЗ «Библиотех» https://isu.bibliotech.ru/
5. ЭБС «Лань» http://e.lanbook.com/
6. ЭБС «Руконт» http://rucont.ru
7. ЭБС «Айбукс» http://ibooks.ru
8. В системе образовательного портала ИГУ (http://educa.isu.ru/) размещены методические материалы и задания по данному курсу.

VI. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

6.1. Учебно-лабораторное оборудование:

На практических занятиях в качестве демонстрационного оборудования используется меловая доска. Наглядность обеспечивается путем изображения схем, диаграмм и формул с помощью мела. Использование глобальной компьютерной сети позволяет обеспечить доступность Интернет-ресурсов и реализовать самостоятельную работу студентов, в ходе которой они могут вычитывать научные статьи по темам курса. Также могут использоваться мультимедийные средства: проектор (CASIO XJ-A241), переносной настенный экран (Classic Solution, 244x244), ноутбук Lenovo B590. На факультете имеется компьютеризированная аудитория, предназначенная для самостоятельной работы.

Материалы: научные статьи и монографии из рецензируемых журналов, рассматривающие современные подходы и исследования в области астрофизики и физики плазмы.

6.2. Программное обеспечение:

1. стандартные сервисы глобальной сети Интернет, стандартные средства просмотра презентаций и научных публикаций в электронном виде.
2. Microsoft Windows 7 Профессиональная SP1 (код продукта 00371-838-5610583-85989)
3. Браузер Google Chrome 58.0.3029.110 (проприетарное программное обеспечение, бессрочно).
4. Adobe Acrobat Reader (проприетарное программное обеспечение, автоматическое обновление, бессрочно).

6.3. Технические и электронные средства:

Во время занятий для пояснения поставленных в практических заданиях студентам демонстрируются на экране дополнительные и вспомогательные материалы (презентации, примеры типичных схем, типовые характеристики). В качестве демонстрационного оборудования используется меловая доска. Наглядность обеспечивается путем изображения схем, диаграмм и формул с помощью мела.

VII. Образовательные технологии

Задачи изложения и изучения дисциплины реализуются в следующих формах деятельности:

- **практические занятия**, направленные на активизацию познавательной деятельности студентов и приобретения ими навыков решения практических и проблемных задач;
- **консультации** – еженедельно для всех желающих студентов;
- **самостоятельная внеаудиторная работа** направлена на приобретение навыков самостоятельного решения задач по дисциплине;
- ***текущий контроль*** за деятельностью студентов осуществляется на лекционных и практических занятиях в виде самостоятельных работ

VIII. Оценочные материалы для текущего контроля и промежуточной аттестации

Фонд оценочных средств (ФОС) представлен в приложении.

8.1.1. Оценочные средства для входного контроля

Для изучения данного курса студент должен знать основы физики и информатики, уметь пользоваться стандартными поисковыми сервисами сети Интернет. Входной контроль знаний не проводится.

8.1.2. Оценочные средства текущего контроля

Данная дисциплина обеспечивает главным образом формирование профессиональных компетенций (указаны выше) будущих магистров.

Текущий контроль успеваемости магистрантов осуществляется во время практических занятий при решении задач по следующим критериям оценивания уровня приобретенных компетенций:

- *Пороговый уровень:*
  - (знание) дает определения основных понятий, воспроизводит основные физические факты, идеи
  - распознает физические объекты, знает основные методы решения типовых задач
  - (умение) умеет работать со справочной литературой
  - (владение) владеет терминологией предметной области знания, способен корректно представить знания в математической форме
- *Базовый уровень*
  - (знание) понимает связи между различными физическими понятиями, имеет представление о физических моделях процессов в солнечной атмосфере, аргументирует выбор метода решения задачи; составляет план решения задачи, графически иллюстрирует задачу.
  - (умение) применяет методы решения задач в незнакомых ситуациях; умеет корректно выражать и аргументированно обосновывать положения предметной области знания
  - (владение) критически осмысливает полученные знания, способен корректно представить знания в математической форме, компетентен в различных ситуациях (работа в междисциплинарной команде), владеет разными способами представления физической информации
- *Высокий уровень*
  - (знание) фактически и теоретически знает материал курса в пределах области исследования с пониманием границ применимости (знания глубокие, всесторонние)
  - (умение) творчески подходит к решению физических задач (как теоретических, так и практических), умеет абстрагировать проблемы, с которыми сталкивается при решении различных задач;
  - (владение) может самостоятельно оценивать результаты своей работы; способен совершенствовать действие работы, исходя из собственной оценки результатов, соблюдает нормы литературного языка, преобладает научный стиль изложения

8.1.3. Оценочные средства для промежуточной аттестации

Материалы для проведения текущего и промежуточного контроля знаний студентов:

№ п\п	Вид контроля	Контролируемые темы (разделы)	Компетенции, компоненты которых контролируются
1.	Собеседование при разборе самостоятельного решения задач	Все темы	ПК-1
2.	Зачёт	Все темы	ПК-1

Примерный перечень вопросов и заданий к зачёту

БИЛЕТ № 1

1. Понятие плазмы
2. Характерный пространственный масштаб и характерная длительность процессов в плазме
3. Оцените радиус Дебая и плазменную частоту для магнитосферы Земли и короны Солнца

БИЛЕТ № 2

1. Критерии плазмы.
2. Какие условия должны быть выполнены, чтобы вещество можно было назвать плазмой?
3. Корональная петля на Солнце состоит из вещества температурой 10^6 K и концентрацией свободных электронов 10^{15} частиц на м^3. Поперечный размер петли 1 Мм. Можно ли считать вещество в корональной петле плазмой и почему?

БИЛЕТ № 3

1. Движение заряженной частицы в магнитном поле.
2. Ларморовское вращение, гирочастота и гирорадиус, выведите формулы.
3. По данным, экстраполяции фотосферных магнитограмм магнитное поле на высоте 10 Мм над поверхностью солнечного пятна составляет 1000 Гаусс (0.1 Тл). Анализ спектра излучения в крайнем ультрафиолетовом диапазоне показал, что температура плазмы в этом месте составляет 106 К. Оцените ларморовский радиус электронов в исследуемой плазме

БИЛЕТ № 4

1. Дрейф заряженных частиц в однородном магнитном поле в присутствии внешнего электрического поля.
2. Кольцевой ток в магнитосфере Земли
3. Покажите, что в постоянном однородном магнитном поле при движении электрона поперек магнитного поля, его траектория будет представлять собой окружность. (Выведите уравнение траектории движения электрона.)

БИЛЕТ № 5

1. Дрейф заряженных частиц в однородном магнитном поле и в поле тяжести.
2. Радиационные пояса Земли
3. Покажите, что средняя кинетическая энергия электронов в плазме равна 3/2 kT, если распределение электронов по скоростям Максвелловское

БИЛЕТ № 6

1. Кинетическое описание плазмы.
2. Уравнение Власова.
3. Выведите уравнение индукции из системы уравнений МГД, опираясь на уравнения Максвелла и закон Ома

БИЛЕТ № 7

1. Магнитная гидродинамика. Приближение МГД.
2. Уравнения МГД.
3. Выведите уравнение индукции из системы уравнений МГД, опираясь на уравнения Максвелла и закон Ома

БИЛЕТ № 8

1. Понятие плазменная β.
2. Холодная и горячая плазма, отличительные особенности.
3. Основная частота всплеска II типа изменилась с 200 до 159 МГц за 2 минуты. Оцените скорость движения ударной волны, ставшей причиной данного всплеска. График зависимости концентрации частиц в короне от высоты прилагается.

БИЛЕТ № 9

1. Механизмы формирования излучения в плазме (перечислить).
2. Тепловое Свободно-Свободное излучение электронов. Плазменный механизм излучения.
3. Основная частота всплеска II типа изменилась с 200 до 159 МГц за 2 минуты. Оцените скорость движения ударной волны, ставшей причиной данного всплеска. График зависимости концентрации частиц в короне от высоты прилагается.

БИЛЕТ № 10

1. Механизмы формирования излучения в плазме (перечислить).
2. Циклотронное, гирорезонанасное и синхротронное излучение.
3. Радиогелиграф наблюдает гирорезонансное излучение, исходящее от активной области на Солнце, на частоте 6 ГГц. Что можно сказать о величине магнитного поля в данной активной области?

БИЛЕТ № 11

1. МГД волны в однородной плазме с магнитным полем.
2. Зависимость фазовой и групповой скорости быстрой МГД волны от угла между волновым вектором и магнитным полем
3. Выполнить оценку характерных скоростей в МГД по уравнению Эйлера методом анализа размерностей

БИЛЕТ № 12

1. МГД волны в структурированной плазме с магнитным полем.

2. Классификация МГД волн в магнитном цилиндре по типу возмущения (быстрое-медленное) и по структуре возмущения (азимутальные и радиальные моды).
3. Электромагнитные волны в плазме описываются дисперсионным уравнением $\omega^2-\omega_{pe}^2 = k^2c^2$. Постройте графики зависимости фазовой и групповой скоростей этих волн от волнового числа k.

БИЛЕТ № 13

1. МГД сейсмология. Использование медленных МГД-волн для измерения температуры плазмы.
2. Вывод расчетной формулы для оценки температуры по периоду стоячих медленных МГД колебаний в корональной петле и ее длине
3. Определить температуру плазмы в корональной петле длиной 200 Мм если в ней наблюдаются стоячие медленные МГД волны с периодом 500 секунд.

БИЛЕТ № 14

1. МГД сейсмология. Использование изгибных колебаний корональных петель для измерения магнитного поля в короне Солнца.
2. Вывод расчетной формулы для оценки магнитного поля по периоду изгибных колебаний корональной петли и ее длине.
3. Определить магнитное поле в короне, если в корональной петле длиной 200 Мм и с контрастом плотностей $\rho_e/\rho_0 = 0.1$ наблюдаются стоячие изгибные колебания с периодом 300 секунд.

БИЛЕТ № 15

1. Процесс магнитного пересоединения.
2. Стандартная модель солнечной вспышки
3. Оцените характерную скорость звука в фотосфере, хромосфере и короне Солнца.

БИЛЕТ № 16

1. Внутреннее строение Солнца.
2. Способы наблюдения внутренней части Солнца и наблюдательные проявления процессов, происходящих внутри Солнца.
3. Оцените изгибную скорость по наблюдаемым изгибным колебаниям корональной петли. Рисунок прилагается.

БИЛЕТ № 17

1. Солнечный ветер. Быстрый и медленный солнечный ветер. Источники Солнечного ветра.
2. Способы наблюдения физических явлений в межпланетном пространстве, в том числе солнечного ветра.
3. Вывести зависимость концентрации частиц от высоты для короны Солнца, пренебрегая изменением ускорения свободного падения с высотой и эффектами, связанными со сферичностью Солнца. Рассчитать характерную высоту спадания плотности с высотой (шкалу высот) для температуры 2 МК.

БИЛЕТ № 18

1. Космическая погода и солнечно-земные связи. Каким образом, вспышка на Солнце приводит к магнитной буре на Земле.
2. Способы наблюдения физических явлений в межпланетном пространстве, в том числе солнечного ветра.

3. Электромагнитные волны в плазме описываются дисперсионным уравнением $\omega^2-\omega_{pe}^2 = k^2c^2$. Постройте графики зависимости фазовой и групповой скоростей этих волн от циклической частоты числа ω.

Разработчики:

Старший научный сотрудник
отдела радиоастрофизики ФГБУН ИСЗФ СО РАН, к.ф.-м.н. С.А. Анфиногентов
(занимаемая должность) *(инициалы, фамилия)*

Программа рассмотрена на заседании кафедры общей и космической физики ИГУ
«24» марта 2025 г.

Протокол № 8, зав. кафедрой _____ В.Л. Паперный

Настоящая программа не может быть воспроизведена ни в какой форме без предварительного письменного разрешения кафедры-разработчика программы.