

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

«11» мая 2023 г.

**Рабочая программа дисциплины**

**Б1.О.6 Введение в физику плазмы**

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 2023

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	А.А. Кузнецов
---	---------------

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

Дисциплина «Введение в физику плазмы» входит в базовую 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: «Физика», «Математика».

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

## 2. Цели и задачи дисциплины (модуля)

Целью дисциплины «Введение в физику плазмы» является получение фундаментальных знаний и возможности их использования в процессе дальнейшего обучения, при прохождении практик, написания научных работ, в своей научной деятельности.

Задачами дисциплины «Введение в физику плазмы» является:

- Получение фундаментальных знаний в области физики плазмы, необходимых для понимания процессов в солнечной короне и ионосфере Земли.
- Освоение основных методов, используемых для количественного описания плазмы.
- Приобретение навыков решения типичных задач, возникающих при исследовании процессов в космической плазме.

## 3. Требования к результатам освоения дисциплины (модуля)

Процесс изучения дисциплины «Введение в физику плазмы» 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	<b>Знать:</b> физические процессы в плазме, определяющие ее свойства и поведение <b>Уметь:</b> рассчитывать основные параметры плазмы, волн и частиц в ней <b>Владеть:</b> методами решения типичных задач в области физики плазмы
	ИД 3. Умеет использовать фундаментальные знания профессиональной деятельности для решения конкретных задач	<b>Знать:</b> типичные параметры плазмы в солнечной короне, солнечном ветре и магнитосфере Земли <b>Уметь:</b> составлять математическую модель процесса в плазме на основе имеющихся экспериментальных данных <b>Владеть:</b> навыками постановки физических задач в области физики плазмы.

<p>ОПК-4. Способен определять сферу внедрения результатов научных исследований в области своей профессиональной деятельности.</p>	<p>ИД 1. Способен оценивать результаты научно-технических разработок, научных исследований и обосновывать собственный выбор, систематизируя и обобщая достижения в области физики и смежных областях</p>	<p><b>Знать:</b> современные достижения в области физики плазмы и физики космического пространства  <b>Уметь:</b> находить необходимую информацию, составлять обзор публикаций по рассматриваемой теме  <b>Владеть:</b> навыками систематизации и анализа сведений, полученных из различных литературных источников</p>
	<p>ИД 5. Представляет результаты академической и профессиональной деятельности на различных научных мероприятиях, демонстрирует интегративные умения, необходимые для эффективного участия в академических и профессиональных дискуссиях, включая международные.</p>	<p><b>Знать:</b> способы представления результатов научной деятельности на различных научных мероприятиях  <b>Уметь:</b> систематизировать и структурировать полученные результаты для представления на научных мероприятиях, подготавливать соответствующие демонстрационные материалы с использованием современных компьютерных средств  <b>Владеть:</b> навыками представления полученных результатов на научных семинарах и других мероприятиях, навыками обсуждения результатов научной деятельности</p>

#### 4. Объем дисциплины (модуля) и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единиц, 144 часов.

Вид учебной работы	Всего часов / зачетных единиц
<b>Аудиторные занятия</b> (всего)	<b>72/2</b>
В том числе:	
Лекции	36/1
Лабораторные работы	
Практические занятия	36/1
<b>Самостоятельная работа</b> (всего)	<b>36/1</b>
Вид промежуточной аттестации (экзамен)	36/1
<b>Контактная работа</b> (всего)	<b>36/1</b>
<b>Общая трудоёмкость</b> (часы/зачетные единицы)	<b>144/4</b>

## **5. Содержание дисциплины**

### **5.1. Содержание разделов и темы дисциплины**

#### **Раздел 1. Основные понятия физики плазмы**

- 1.1. Определение плазмы.
- 1.2. Квазинейтральность плазмы. Дебаевский радиус.
- 1.3. Плазменная частота.
- 1.4. Степень ионизации.
- 1.5. Влияние магнитного поля.

#### **Раздел 2. Движение частиц в электрических и магнитных полях**

- 2.1. Движение в однородном магнитном поле. Циклотронная частота.
- 2.2. Движение в однородных электрическом и магнитном полях.
- 2.3. Движение в неоднородном магнитном поле.
- 2.4. Адиабатические инварианты. Магнитная ловушка.

#### **Раздел 3. Столкновения частиц и процессы переноса в плазме**

- 3.1. Частота и сечение столкновений.
- 3.2. Длина свободного пробега.
- 3.3. Электропроводность плазмы.

#### **Раздел 4. Магнитная гидродинамика**

- 4.1. Уравнения магнитной гидродинамики.
- 4.2. Вмороженность плазмы.
- 4.3. Магнитогидродинамические волны.

#### **Раздел 5. Кинетическое описание плазмы**

- 5.1. Функция распределения.
- 5.2. Кинетическое уравнение.
- 5.3. Типичные функции распределения частиц в космической плазме.

#### **Раздел 6. Высокочастотные волны в холодной плазме**

- 6.1. Уравнения электромагнитного поля в плазме.
- 6.2. Дисперсионное уравнение.
- 6.3. Фазовая и групповая скорости.
- 6.4. Волны в плазме без магнитного поля.
- 6.5. Волны в плазме с магнитным полем.

#### **Раздел 7. Кинетическая теория волн в плазме**

- 7.1. Ленгмюровские и ионно-звуковые волны.
- 7.2. Затухание Ландау. Пучковая неустойчивость.
- 7.3. Влияние магнитного поля.

#### **Раздел 8. Излучение в плазме**

- 8.1. Характеристики электромагнитного излучения.
- 8.2. Уравнение переноса. Закон Кирхгофа.
- 8.3. Поглощение из-за столкновений. Тормозное излучение.
- 8.4. Магнитотормозное излучение.

#### **Раздел 9. Особенности космической плазмы**

- 9.1. Плазма на Солнце.
- 9.2. Плазма в магнитосфере.
- 9.3. Плазма в межпланетном пространстве. Солнечный ветер.

## 5.2. Разделы дисциплины (модуля) и виды занятий

№ п/п	Раздел	Всего часов	Аудиторные занятия				СРС
			Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Семинары	
1.	Основные понятия физики плазмы	12	4	0	4	0	4
2.	Движение частиц в электрических и магнитных полях	12	4	0	4	0	4
3.	Столкновения частиц и процессы переноса в плазме	12	4	0	4	0	4
4.	Магнитная гидродинамика	12	4	0	4	0	4
5.	Кинетическое описание плазмы	12	4	0	4	0	4
6.	Высокочастотные волны в холодной плазме	12	4	0	4	0	4
7.	Кинетическая теория волн в плазме	12	4	0	4	0	4
8.	Излучение в плазме	12	4	0	4	0	4
9.	Особенности космической плазмы	12	4	0	4	0	4
<b>Итого (часы)</b>		<b>108</b>	<b>36</b>	<b>0</b>	<b>36</b>	<b>0</b>	<b>36</b>
<b>Итого (з.е.)</b>		<b>3</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>

## 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.	Физика магнитосферы	Разделы 1-9
2.	Производственная практика (Научно-исследовательская работа)	Разделы 1-9

## 5.4. Перечень лекционных занятий

№ п/п	№ раздела и темы дисциплины (модуля)	Наименование используемых технологий	Трудоемкость (часы)	Оценочные средства
1.	Раздел 1, темы 1.1-1.5	Интерактивная лекция	4	устный групповой опрос
2.	Раздел 2, темы 2.1-2.4	Интерактивная лекция	4	устный групповой опрос

3.	Раздел 3, темы 3.1-3.3	Интерактивная лекция	4	устный групповой опрос
4.	Раздел 4, темы 4.1-4.3	Интерактивная лекция	4	устный групповой опрос
5.	Раздел 5, темы 5.1-5.3	Интерактивная лекция	4	устный групповой опрос
6.	Раздел 6, темы 6.1-6.5	Интерактивная лекция	4	устный групповой опрос
7.	Раздел 7, темы 7.1-7.3	Интерактивная лекция	4	устный групповой опрос
8.	Раздел 8, темы 8.1-8.4	Интерактивная лекция	4	устный групповой опрос
9.	Раздел 9, темы 9.1-9.3	Интерактивная лекция	4	устный групповой опрос

### 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 1.1-1.5	Практическая работа: Основные понятия физики плазмы	4	устный групповой опрос, решение предложенных преподавателем задач, выступление с рефератом
2.	Раздел 2, темы 2.1-2.4	Практическая работа: Движение частиц в электрических и магнитных полях	4	устный групповой опрос, решение предложенных преподавателем задач, выступление с рефератом
3.	Раздел 3, темы 3.1-3.3	Практическая работа: Столкновения частиц и процессы переноса в плазме	4	устный групповой опрос, решение предложенных преподавателем задач, выступление с рефератом
4.	Раздел 4, темы 4.1-4.3	Практическая работа: Магнитная гидродинамика	4	устный групповой опрос, решение предложенных преподавателем задач, выступление с рефератом
5.	Раздел 5, темы 5.1-5.3	Практическая работа: Кинетическое описание плазмы	4	устный групповой опрос, решение предложенных преподавателем задач, выступление с рефератом
6.	Раздел 6, темы 6.1-6.5	Практическая работа: Высокочастотные волны в холодной плазме	4	устный групповой опрос, решение предложенных преподавателем задач, выступление с рефератом

7.	Раздел 7, темы 7.1-7.3	Практическая работа: Кинетическая теория волн в плазме	4	устный групповой опрос, решение предложенных преподавателем задач, выступление с рефератом
8.	Раздел 8, темы 8.1-8.4	Практическая работа: Излучение в плазме	4	устный групповой опрос, решение предложенных преподавателем задач, выступление с рефератом
9.	Раздел 9, темы 9.1-9.3	Практическая работа: Особенности космической плазмы	4	устный групповой опрос, решение предложенных преподавателем задач, выступление с рефератом

### 5.6. Тематика заданий для самостоятельной работы

Раздел	Тема	Вид самостоятельной работы	Задание	Рекомендуемая литература	Кол-во часов
1	1.1. Определение плазмы. 1.2. Квазинейтральность плазмы. Дебаевский радиус. 1.3. Плазменная частота. 1.4. Степень ионизации. 1.5. Влияние магнитного поля.	Изучение теоретического курса по итогам лекций, с использованием конспектов, учебников и ресурсов, доступных через Интернет; подготовка реферата	Выяснить основные численные характеристик и плазмы и их значения в различных условиях на Земле и в космосе	Основная п. 1-3 Доп. п.1-4	4
2	2.1. Движение в однородном магнитном поле. Циклотронная частота. 2.2. Движение в однородных электрическом и магнитном полях. 2.3. Движение в неоднородном магнитном поле. 2.4. Адиабатические инварианты. Магнитная ловушка.	Изучение теоретического курса по итогам лекций, с использованием конспектов, учебников и ресурсов, доступных через Интернет; подготовка реферата	Изучить особенности движения заряженных частиц в электрическом и магнитном поле и уравнения, используемые для описания этого движения.	Основная п. 1-3 Доп. п.1-4	4
3	3.1. Частота и сечение столкновений. 3.2. Длина	Изучение теоретического курса по итогам лекций, с	Изучить процессы столкновений частиц в плазме,	Основная п. 1-3 Доп. п.1-4	4



	свободного пробега. 3.3. Электропроводность плазмы.	использованием конспектов, учебников и ресурсов, доступных через Интернет; подготовка реферата	основные численные характеристики этого процесса и влияние столкновений на электрический ток и распространение ускоренных частиц в плазме.		
4	4.1. Уравнения магнитной гидродинамики. 4.2. Вмороженность плазмы. 4.3. Магнитогидродинамические волны.	Изучение теоретического курса по итогам лекций, с использованием конспектов, учебников и ресурсов, доступных через Интернет; подготовка реферата	Изучить уравнения магнитной гидродинамики, их область применимости и основные следствия. Выяснить основные свойства и характеристики магнитогидродинамических волн в плазме.	Основная п. 1-3 Доп. п.1-4	4
5	5.1. Функция распределения. 5.2. Кинетическое уравнение. 5.3. Типичные функции распределения частиц в космической плазме.	Изучение теоретического курса по итогам лекций, с использованием конспектов, учебников и ресурсов, доступных через Интернет; подготовка реферата	Изучить кинетический подход к описанию плазмы, включая различные виды функций распределения и варианты кинетического уравнения.	Основная п. 1-3 Доп. п.1-4	4
6	6.1. Уравнения электромагнитного поля в плазме. 6.2. Дисперсионное уравнение. 6.3. Фазовая и групповая скорости. 6.4. Волны в плазме без магнитного поля. 6.5. Волны в плазме с магнитным полем.	Изучение теоретического курса по итогам лекций, с использованием конспектов, учебников и ресурсов, доступных через Интернет; подготовка реферата	Изучить подходы к описанию электромагнитных и электростатических волн в плазме и основные характеристики этих волн. Изучить виды волн в холодной плазме.	Основная п. 1-3 Доп. п.1-4	4

7	7.1. Ленгмюровские и ионно-звуковые волны. 7.2. Затухание Ландау. Пучковая неустойчивость. 7.3. Влияние магнитного поля.	Изучение теоретического курса по итогам лекций, с использованием конспектов, учебников и ресурсов, доступных через Интернет; подготовка реферата	Изучить виды высокочастотных волн в нехолодной плазме, ознакомиться с механизмами их усиления и поглощения.	Основная п. 1-3 Доп. п.1-4	4
8	8.1. Характеристики электромагнитного излучения. 8.2. Уравнение переноса. Закон Кирхгофа. 8.3. Поглощение из-за столкновений. Тормозное излучение. 8.4. Магнитотормозное излучение.	Изучение теоретического курса по итогам лекций, с использованием конспектов, учебников и ресурсов, доступных через Интернет; подготовка реферата	Ознакомиться с подходами к описанию электромагнитного излучения, включая его поляризацию и процессы переноса. Изучить основные механизмы генерации и поглощения излучения в космической плазме.	Основная п. 1-3 Доп. п.1-4	4
9	9.1. Плазма на Солнце. 9.2. Плазма в магнитосфере. 9.3. Плазма в межпланетном пространстве. Солнечный ветер.	Изучение теоретического курса по итогам лекций, с использованием конспектов, учебников и ресурсов, доступных через Интернет; подготовка реферата	Ознакомиться с особенностями плазмы и плазменных процессов в различных ситуациях, важных для солнечно-земной физики.	Основная п. 1-3 Доп. п.1-4	4

### 5.7. Методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов

Самостоятельная работа студентов заключается в изучении теоретического курса по итогам лекций, с использованием конспектов, учебников и ресурсов, доступных через Интернет. Данный вид самостоятельной работы включает в себя:

- формулирование проблемных вопросов в результате самостоятельного изучения темы с привлечением основной и дополнительной литературы;
- поиск научно-технической информации в открытых источниках с целью анализа и выявления ключевых особенностей;

- конспектирование;
- при необходимости, индивидуальные консультации у преподавателя.
- Написание рефератов в результате самостоятельной работы, их представление и обсуждение на семинарах приучает делать обобщения и выводы, вырабатывает умение логично излагать изучаемый материал, формирует творческий подход, способствует использованию полученных знаний для разнообразных практических задач, развивает самостоятельность в принятии решений, способность к активной социальной мобильности, организации научно-исследовательских и инновационных работ, способность использовать знания современных проблем и новейших достижений физики в научно-исследовательской работе.

## 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.	Франк-Каменецкий Д.А. Лекции по физике плазмы. М.: Атомиздат, 1968.	ЭБ <a href="http://irbis.iszf.irk.ru">http://irbis.iszf.irk.ru</a> неограниченный доступ
2.	Александров А.Ф., Богданкевич Л.С., Рухадзе А.А. Основы электродинамики плазмы. М.: Высш. школа, 1978.	2
3.	Железняков В.В. Электромагнитные волны в космической плазме. Генерация и распространение. М.: Наука, 1977.	ЭБ <a href="http://irbis.iszf.irk.ru">http://irbis.iszf.irk.ru</a> неограниченный доступ

### 6.2. Дополнительная литература

№ п/п	Автор, название, место издания, издательство, год издания учебной и учебно-методической литературы	Количество экземпляров
1.	Арцимович Л.А., Сагдеев Р.З. Физика плазмы для физиков. М.: Атомиздат, 1979.	ЭБ ( <a href="http://irbis.iszf.irk.ru">http://irbis.iszf.irk.ru</a> ): неограниченный доступ
2.	Альвен Г., Фельтхаммар К.-Г. Космическая электродинамика. Основные принципы. М.: Мир, 1967.	2
3.	Ахиезер А.И. (ред.) Электродинамика плазмы. М.: Наука, 1974.	2
4.	Каплан С.А., Цытович В.Н. Плазменная астрофизика. М.: Наука, 1972.	2

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

- Научная база данных Scopus <https://www.scopus.com>
- Научные данные (материалы) издательства Cambridge University Press <http://www.cambridge.org>

### 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>
- Государственная публичная научно-техническая библиотека России <http://www.gpntb.ru/>
- Журналы Американского физического общества <http://publish.aps.org/>
- научная электронная библиотека + Российский Индекс Научного Цитирования <https://elibrary.ru>
- Международный каталог и поисковая система по публикациям в области астрофизики [http://adsabs.harvard.edu/abstract\\_service.html](http://adsabs.harvard.edu/abstract_service.html)

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

- NASA ADS [http://adsabs.harvard.edu/ads\\_abstracts.html](http://adsabs.harvard.edu/ads_abstracts.html).
- Мир Уравнений <http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/physics.htm>.

### 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 Libre Office (свободно распространяемое ПО)
- 7-Zip (свободно распространяемое ПО)
- Adobe Acrobat Reader DC (свободно распространяемое ПО)
- Mozilla Firefox 1 (свободно распространяемое ПО)
- VLC Mediaplayer (свободно распространяемое ПО)
- K-Lite Codec Pack (свободно распространяемое ПО)
- Дистрибутив Python Anaconda (свободно распространяемое ПО)
- Набор компиляторов GCC (свободно распространяемое ПО)
- Операционная система Microsoft Windows 10 Pro
- Система ВКС VideoMost Proton

## 7. Образовательные технологии

№ п/п	Вид занятия	Форма проведения занятий	Цель
1.	лекция	изложение теоретического материала с использованием презентаций	получение теоретических знаний по дисциплине
2.	практическая работа	коллективное и индивидуальное решение предложенных преподавателем и/или студентами проблем/задач	углубление теоретических знаний по дисциплине; получение навыков практического использования этих знаний
3.	самостоятельная работа студента	формулирование проблемных вопросов в результате самостоятельного изучения темы с привлечением основной и дополнительной литературы; поиск научно-технической информации в открытых источниках с целью анализа и выявления ключевых особенностей; консультации у преподавателя	повышение степени понимания материала

## 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, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации</p>	<p>Аудитория укомплектована специализированной мебелью на 30 посадочных мест, оснащена оборудованием и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• доска магнитно-маркерная Branberg</li><li>• экран для проектора Projecta</li><li>• проектор BenQ MH733 1920 x 1080</li><li>• ноутбук ASUS L1500CDA Windows 10 Pro</li><li>• система акустическая Electro Voice EVID 6.2</li></ul>
<p>Учебная аудитория для групповых и индивидуальных консультаций и самостоятельной работы</p>	<p>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:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• персональные компьютеры Неттоп Think Center Lenovo M710Q</li><li>• мониторы ПУАМА PL2283H, Dell CRHX9K2</li><li>• доска магнитно-маркерная Branberg</li><li>• экран для проектора Projecta</li><li>• проектор BenQ MH733 1920 x 1080</li></ul>