

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

« 28 » марта 2025 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 2025

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<br>доктор физико-математических наук | А.А. Кузнецов |
|-------------------------------------------------------------------|---------------|

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

Дисциплина «Введение в физику плазмы» входит в обязательную 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: «Космическая электродинамика».

## 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<br><b>Уметь:</b> рассчитывать основные параметры плазмы, волн и частиц в ней<br><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<br><b>Уметь:</b> составлять математическую модель процесса в плазме на основе имеющихся экспериментальных данных<br><b>Владеть:</b> навыками постановки физических задач в области физики плазмы. |
| ОПК-4. Способен определять сферу внедрения результатов научных исследований в области своей                                                                                                                       | ИД 1. Способен оценивать результаты научно-технических разработок, научных исследований и обосновывать собственный выбор, | <b>Знать:</b> современные достижения в области физики плазмы и физики космического пространства                                                                                                                                                                                                    |

|                                |                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|--------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| профессиональной деятельности. | систематизируя и обобщая достижения в области физики и смежных областях                                                                                                                                                                                       | <p><b>Уметь:</b> находить необходимую информацию, составлять обзор публикаций по рассматриваемой теме</p> <p><b>Владеть:</b> навыками систематизации и анализа сведений, полученных из различных литературных источников</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><b>Знать:</b> способы представления результатов научной деятельности на различных научных мероприятиях</p> <p><b>Уметь:</b> систематизировать и структурировать полученные результаты для представления на научных мероприятиях, подготавливать соответствующие демонстрационные материалы с использованием современных компьютерных средств</p> <p><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 единицы, 144 часа.

| Вид учебной работы                                | Всего часов / зачетных единиц |
|---------------------------------------------------|-------------------------------|
| <b>Аудиторные занятия</b> (всего)                 | <b>36/1</b>                   |
| В том числе:                                      |                               |
| Лекции                                            | 18/0,5                        |
| Лабораторные работы                               |                               |
| Практические занятия                              | 18/0,5                        |
| <b>Самостоятельная работа</b> (всего)             | <b>72/2</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**

| №<br>п/п | Раздел                                            | Всего<br>часов | Аудиторные занятия |                         | СРС |
|----------|---------------------------------------------------|----------------|--------------------|-------------------------|-----|
|          |                                                   |                | Лекции             | Практические<br>занятия |     |
| 1.       | Основные понятия физики плазмы                    | 12             | 2                  | 2                       | 8   |
| 2.       | Движение частиц в электрических и магнитных полях | 12             | 2                  | 2                       | 8   |
| 3.       | Столкновения частиц и процессы переноса в         | 12             | 2                  | 2                       | 8   |

|                     |                                         |            |            |            |           |
|---------------------|-----------------------------------------|------------|------------|------------|-----------|
|                     | плазме                                  |            |            |            |           |
| 4.                  | Магнитная гидродинамика                 | 12         | 2          | 2          | 8         |
| 5.                  | Кинетическое описание плазмы            | 12         | 2          | 2          | 8         |
| 6.                  | Высокочастотные волны в холодной плазме | 12         | 2          | 2          | 8         |
| 7.                  | Кинетическая теория волн в плазме       | 12         | 2          | 2          | 8         |
| 8.                  | Излучение в плазме                      | 12         | 2          | 2          | 8         |
| 9.                  | Особенности космической плазмы          | 12         | 2          | 2          | 8         |
| <b>Экзамен</b>      |                                         | <b>36</b>  |            |            |           |
| <b>Итого (часы)</b> |                                         | <b>144</b> | <b>18</b>  | <b>18</b>  | <b>72</b> |
| <b>Итого (з.е.)</b> |                                         | <b>4</b>   | <b>0,5</b> | <b>0,5</b> | <b>2</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.    | Космическая электродинамика                                   | 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                 | 2                   | устный групповой опрос |
| 2.    | Раздел 2, темы 2.1-2.4               | Интерактивная лекция                 | 2                   | устный групповой опрос |
| 3.    | Раздел 3, темы 3.1-3.3               | Интерактивная лекция                 | 2                   | устный групповой опрос |
| 4.    | Раздел 4, темы 4.1-4.3               | Интерактивная лекция                 | 2                   | устный групповой опрос |
| 5.    | Раздел 5, темы 5.1-5.3               | Интерактивная лекция                 | 2                   | устный групповой опрос |
| 6.    | Раздел 6, темы 6.1-6.5               | Интерактивная лекция                 | 2                   | устный групповой опрос |
| 7.    | Раздел 7, темы 7.1-7.3               | Интерактивная лекция                 | 2                   | устный групповой опрос |
| 8.    | Раздел 8, темы 8.1-8.4               | Интерактивная лекция                 | 2                   | устный групповой опрос |
| 9.    | Раздел 9, темы 9.1-9.3               | Интерактивная лекция                 | 2                   | 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                    | 2                   | 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 | 2                   | 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 | 2 | устный групповой опрос, решение предложенных преподавателем задач, выступление с рефератом |
| 4. | Раздел 4, темы 4.1-4.3 | Практическая работа: Магнитная гидродинамика                          | 2 | устный групповой опрос, решение предложенных преподавателем задач, выступление с рефератом |
| 5. | Раздел 5, темы 5.1-5.3 | Практическая работа: Кинетическое описание плазмы                     | 2 | 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                | 2 | устный групповой опрос, решение предложенных преподавателем задач, выступление с рефератом |
| 8. | Раздел 8, темы 8.1-8.4 | Практическая работа: Излучение в плазме                               | 2 | устный групповой опрос, решение предложенных преподавателем задач, выступление с рефератом |
| 9. | Раздел 9, темы 9.1-9.3 | Практическая работа: Особенности космической плазмы                   | 2 | 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.<br>1.2. Квазинейтральность плазмы. Дебаевский радиус.<br>1.3. Плазменная частота.<br>1.4. Степень ионизации.<br>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 характеристики плазмы и их значения в различных условиях на Земле и в космосе                              | Основная п. 1-3<br>Доп. п.1-4 | 8            |
| 2      | 2.1. Движение в однородном магнитном поле. Циклотронная частота.<br>2.2. Движение в однородных электрическом и магнитном полях.<br>2.3. Движение в неоднородном магнитном поле.<br>2.4. Адиабатические инварианты. | 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<br>Доп. п.1-4 | 8            |

|   |                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                           |                               |   |
|---|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|---|
|   | Магнитная ловушка.                                                                                                                                                                                           | Интернет;<br>подготовка<br>реферата                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                           |                               |   |
| 3 | 3.1. Частота и сечение столкновений.<br>3.2. Длина свободного пробега.<br>3.3. Электропроводность плазмы.                                                                                                    | Изучение теоретического курса по итогам лекций, с использованием конспектов, учебников и ресурсов, доступных через Интернет;<br>подготовка реферата | Изучить процессы столкновений частиц в плазме, основные численные характеристики этого процесса и влияние столкновений на электрический ток и распространение ускоренных частиц в плазме. | Основная п. 1-3<br>Доп. п.1-4 | 8 |
| 4 | 4.1. Уравнения магнитной гидродинамики.<br>4.2. Вмороженность плазмы.<br>4.3. Магнитогидродинамические волны.                                                                                                | Изучение теоретического курса по итогам лекций, с использованием конспектов, учебников и ресурсов, доступных через Интернет;<br>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<br>Доп. п.1-4 | 8 |
| 5 | 5.1. Функция распределения.<br>5.2. Кинетическое уравнение.<br>5.3. Типичные функции распределения частиц в космической плазме.                                                                              | Изучение теоретического курса по итогам лекций, с использованием конспектов, учебников и ресурсов, доступных через Интернет;<br>подготовка реферата | Изучить кинетический подход к описанию плазмы, включая различные виды функций распределения и варианты кинетического уравнения.                                                           | Основная п. 1-3<br>Доп. п.1-4 | 8 |
| 6 | 6.1. Уравнения электромагнитного поля в плазме.<br>6.2. Дисперсионное уравнение.<br>6.3. Фазовая и групповая скорости.<br>6.4. Волны в плазме без магнитного поля.<br>6.5. Волны в плазме с магнитным полем. | Изучение теоретического курса по итогам лекций, с использованием конспектов, учебников и ресурсов, доступных через Интернет;<br>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<br>Доп. п.1-4 | 8 |
| 7 | 7.1. Ленгмюровские и ионно-звуковые волны.<br>7.2. Затухание Ландау.<br>Пучковая неустойчивость.<br>7.3. Влияние магнитного поля.                                                                            | Изучение теоретического курса по итогам лекций, с использованием конспектов, учебников и ресурсов, доступных через Интернет;<br>подготовка          | Изучить виды высокочастотных волн в нехолодной плазме, ознакомиться с механизмами их усиления и поглощения.                                                                               | Основная п. 1-3<br>Доп. п.1-4 | 8 |

|   |                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                 |                               |   |
|---|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|---|
|   |                                                                                                                                                                                              | реферата                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                 |                               |   |
| 8 | 8.1. Характеристики электромагнитного излучения.<br>8.2. Уравнение переноса. Закон Кирхгофа.<br>8.3. Поглощение из-за столкновений. Тормозное излучение.<br>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<br>Доп. п.1-4 | 8 |
| 9 | 9.1. Плазма на Солнце.<br>9.2. Плазма в магнитосфере.<br>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<br>Доп. п.1-4 | 8 |

### 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><br>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.                                           | ЭБ <a href="http://irbis.iszf.irk.ru">http://irbis.iszf.irk.ru</a>                          |

|                                               |                       |
|-----------------------------------------------|-----------------------|
| Генерация и распространение. М.: Наука, 1977. | 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

- Сервер видеоконференцсвязи Jitsi Meet

## 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)

|                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, курсового проектирования, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации | <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>                                       |
| Учебная аудитория для групповых и индивидуальных консультаций и самостоятельной работы                                                                                                                | <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 IIYAMA 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> |

## 10. Фонд оценочных средств

**В результате освоения дисциплины обучающийся должен:**

**Знать:**

- виды плазмы и ее характеристики;
- физические процессы в плазме, определяющие ее свойства;
- виды волн, распространяющихся в плазме;
- типичные параметры плазмы в солнечной короне, солнечном ветре и магнитосфере Земли.

**Уметь:**

- рассчитывать основные параметры плазмы;
- рассчитывать параметры, характеризующие движение частиц в плазме;
- рассчитывать дисперсионные характеристики волн в плазме.

**Владеть:**

- методами решения типичных задач в области физики плазмы;
- навыками постановки физических задач в области физики плазмы.

**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 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| ОПК-1           | +                                                            | + | + | + | + | + | + | + | + |
| ОПК-4           | +                                                            | + | + | + | + | + | + | + | + |

**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                                      | Проверка рефератов                | Подготовка презентации                                                                                                                                                                           | Контроль самостоятельной работы  | Зачет / Экзамен          |
| ОПК-1, ОПК-4    | <b>Знать:</b> основные понятия физики плазмы; особенности движения частиц; особенности процессов столкновений и переноса в плазме; особенности магнитогидродинамического описания плазмы, типы магнитогидродинамических волн; особенности кинетического описания плазмы; виды и характеристики высокочастотных колебаний холодной плазмы; виды и | Вопросы для устного группового опроса № 1-28 | Задачи для решения на практических занятиях № 1-25 | Темы для реферативных работ № 1-8 | Презентация на индивидуальную тему из области физики солнечной или магнитосферной плазмы, имеющую отношение к тематике текущей научной работы студента (по согласованию с научным руководителем) | Проверка рефератов и презентаций | Экзамен                  |

|  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |  |  |  |  |  |  |
|--|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|--|--|--|
|  | <p>характеристики колебаний горячей плазмы;<br/>характеристики электромагнитных волн и основные механизмы их генерации/поглощения в плазме;<br/>основные особенности плазмы на Солнце, в магнитосфере Земли и планет и в межпланетном пространстве.</p> <p><b>Уметь:</b> вычислять численные характеристики плазмы;<br/>моделировать движение частиц в типичных условиях солнечной короны и околоземного пространства;<br/>оценивать влияние столкновений и процессов переноса на явления в космической плазме; применять критерии вмерзновенности и равновесия плазмы, вычислять характеристики магнитогидродинамических волн;<br/>решать задачи с использованием функции распределения;<br/>вычислять характеристики волн в холодной плазме; оценивать влияние температуры плазмы на различные процессы в ней, вычислять характеристики волн в горячей плазме; решать уравнение переноса интенсивности и поляризации излучения в плазме; вычислять</p> |  |  |  |  |  |  |
|--|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|--|--|--|

|  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |  |  |  |  |  |  |
|--|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|--|--|--|
|  | <p>численные характеристики плазмы в различных условиях.</p> <p><b>Владеть:</b> методами обработки информации, получаемой при наблюдениях; методами анализа и моделирования движения частиц; методами анализа процессов столкновений; методами магнитной гидродинамики; методами составления и решения кинетических уравнений; методами анализа волновых процессов; методами описания процессов в плазме с заданной функцией распределения; методами анализа результатов радионаблюдений; методами анализа результатов удаленных наблюдений и прямых измерений параметров плазмы.</p> |  |  |  |  |  |  |
|--|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|--|--|--|

### Программа оценивания контролируемой компетенции

| Тема или раздел дисциплины                            | Формируемый признак компетенции                                                 | Показатель                                                                                                                                                       | Критерий оценивания                                          | Наименование ОС                                                                        |         |
|-------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|---------|
|                                                       |                                                                                 |                                                                                                                                                                  |                                                              | ТК                                                                                     | ПА      |
| Раздел 1. Основные понятия физики плазмы              | ОПК-1, ОПК-4<br>Знание основных понятий физики плазмы и методов описания плазмы | Знать: основные понятия физики плазмы.<br>Уметь: вычислять численные характеристики плазмы<br>Владеть: методами обработки информации, получаемой при наблюдениях | Знание основных понятий, типичных задач и методов их решения | устный групповой опрос, решение предложенных преподавателем задач, подготовка реферата | экзамен |
| Раздел 2. Движение частиц в электрических и магнитных | ОПК-1, ОПК-4<br>Знание особенностей движения заряженных частиц и методов их     | Знать: особенности движения частиц<br>Уметь: моделировать движение частиц в типичных условиях                                                                    | Знание основных понятий, типичных задач и                    | устный групповой опрос, решение предложен                                              | экзамен |

|                                                            |                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                              |                                                                                        |         |
|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| полях                                                      | описания                                                                                                                           | солнечной короны и околоземного пространства<br>Владеть: методами анализа и моделирования движения частиц                                                                                                                                                              | методов их решения                                           | ных преподавателем задач, подготовка реферата                                          |         |
| Раздел 3. Столкновения частиц и процессы переноса в плазме | ОПК-1, ОПК-4<br>Знание особенностей процессов столкновений и переноса в плазме и методов их описания                               | Знать: особенности процессов столкновений и переноса в плазме<br>Уметь: оценивать влияние столкновений и процессов переноса на явления в космической плазме<br>Владеть: методами анализа процессов столкновений                                                        | Знание основных понятий, типичных задач и методов их решения | устный групповой опрос, решение предложенных преподавателем задач, подготовка реферата | экзамен |
| Раздел 4. Магнитная гидродинамика                          | ОПК-1, ОПК-4<br>Знание особенностей магнитогидродинамического описания плазмы, знание основных типов магнитогидродинамических волн | Знать: особенности магнитогидродинамического описания плазмы, типы магнитогидродинамических волн<br>Уметь: применять критерии вмерзновенности и равновесия плазмы, вычислять характеристики магнитогидродинамических волн<br>Владеть: методами магнитной гидродинамики | Знание основных понятий, типичных задач и методов их решения | устный групповой опрос, решение предложенных преподавателем задач, подготовка реферата | экзамен |
| Раздел 5. Кинетическое описание плазмы                     | ОПК-1, ОПК-4<br>Знание особенностей кинетического описания плазмы и основных кинетических уравнений                                | Знать: особенности кинетического описания плазмы<br>Уметь: решать задачи с использованием функции распределения<br>Владеть: методами составления и решения кинетических уравнений                                                                                      | Знание основных понятий, типичных задач и методов их решения | устный групповой опрос, решение предложенных преподавателем задач, подготовка реферата | экзамен |
| Раздел 6. Высокочастотные волны в холодной плазме          | ОПК-1, ОПК-4<br>Знание основных видов высокочастотных колебаний в холодной плазме и их особенностей                                | Знать: виды и характеристики высокочастотных колебаний холодной плазмы<br>Уметь: вычислять характеристики волн в холодной плазме<br>Владеть: методами анализа волновых процессов                                                                                       | Знание основных понятий, типичных задач и методов их решения | устный групповой опрос, решение предложенных преподавателем задач, подготовка реферата | экзамен |
| Раздел 7. Кинетическая теория волн в плазме                | ОПК-1, ОПК-4<br>Знание основных видов колебаний в горячей плазме и их                                                              | Знать: виды и характеристики колебаний горячей плазмы<br>Уметь: оценивать                                                                                                                                                                                              | Знание основных понятий, типичных задач и                    | устный групповой опрос, решение предложен                                              | экзамен |

|                                          |                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                              |                                                                                        |         |
|------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|---------|
|                                          | особенностей                                                                                                                                                 | влияние температуры плазмы на различные процессы в ней, вычислять характеристики волн в горячей плазме<br>Владеть: методами описания процессов в плазме с заданной функцией распределения                                                                                             | методов их решения                                           | ных преподавателем задач, подготовка реферата                                          |         |
| Раздел 8. Излучение в плазме             | ОПК-1, ОПК-4<br>Знание методов описания электромагнитного излучения в плазме, знание основных механизмов излучения и поглощения в плазме                     | Знать: характеристики электромагнитных волн и основные механизмы их генерации/поглощения в плазме<br>Уметь: решать уравнение переноса интенсивности и поляризации излучения в плазме<br>Владеть: методами анализа результатов радионаблюдений                                         | Знание основных понятий, типичных задач и методов их решения | устный групповой опрос, решение предложенных преподавателем задач, подготовка реферата | экзамен |
| Раздел 9. Особенности космической плазмы | ОПК-1, ОПК-4<br>Знание основных особенностей космической плазмы, знание связей между характеристиками космической плазмы и наблюдаемыми на Земле параметрами | Знать: основные особенности плазмы на Солнце, в магнитосфере Земли и планет и в межпланетном пространстве<br>Уметь: вычислять численные характеристики плазмы в различных условиях<br>Владеть: методами анализа результатов удаленных наблюдений и прямых измерений параметров плазмы | Знание основных понятий, типичных задач и методов их решения | устный групповой опрос, решение предложенных преподавателем задач, подготовка реферата | экзамен |

### 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 (решение предложенных преподавателем задач), подготовка реферата (на одну из предложенных тем по выбору).

#### 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 понятия физики плазмы                    | ОПК-1: ИД 1, ИД 3;<br>ОПК-4: ИД-1, ИД-5                  | устный групповой опрос                    | Ответить на вопросы по изученному материалу     |
|                                                             |                                                          | решение предложенных преподавателем задач | Решить предложенные задачи                      |
|                                                             |                                                          | подготовка реферата                       | Подготовить реферат на одну из предложенных тем |
| Раздел 2. Движение частиц в электрических и магнитных полях | ОПК-1: ИД 1, ИД 3;<br>ОПК-4: ИД-1, ИД-5                  | устный групповой опрос                    | Ответить на вопросы по изученному материалу     |
|                                                             |                                                          | решение предложенных преподавателем задач | Решить предложенные задачи                      |
|                                                             |                                                          | подготовка реферата                       | Подготовить реферат на одну из предложенных тем |
| Раздел 3. Столкновения частиц и процессы переноса в плазме  | ОПК-1: ИД 1, ИД 3;<br>ОПК-4: ИД-1, ИД-5                  | устный групповой опрос                    | Ответить на вопросы по изученному материалу     |
|                                                             |                                                          | решение предложенных преподавателем задач | Решить предложенные задачи                      |
|                                                             |                                                          | подготовка реферата                       | Подготовить реферат на одну из предложенных тем |
| Раздел 4. Магнитная гидродинамика                           | ОПК-1: ИД 1, ИД 3;<br>ОПК-4: ИД-1, ИД-5                  | устный групповой опрос                    | Ответить на вопросы по изученному материалу     |
|                                                             |                                                          | решение предложенных преподавателем задач | Решить предложенные задачи                      |
|                                                             |                                                          | подготовка реферата                       | Подготовить реферат на одну из предложенных тем |
| Раздел 5. Кинетическое описание плазмы                      | ОПК-1: ИД 1, ИД 3;<br>ОПК-4: ИД-1, ИД-5                  | устный групповой опрос                    | Ответить на вопросы по изученному материалу     |
|                                                             |                                                          | решение предложенных преподавателем задач | Решить предложенные задачи                      |
|                                                             |                                                          | подготовка реферата                       | Подготовить реферат на одну из предложенных тем |
| Раздел 6. Высокочастотные волны в холодной плазме           | ОПК-1: ИД 1, ИД 3;<br>ОПК-4: ИД-1, ИД-5                  | устный групповой опрос                    | Ответить на вопросы по изученному материалу     |
|                                                             |                                                          | решение предложенных преподавателем задач | Решить предложенные задачи                      |
|                                                             |                                                          | подготовка реферата                       | Подготовить реферат на одну из предложенных тем |
| Раздел 7. Кинетическая теория волн в плазме                 | ОПК-1: ИД 1, ИД 3;<br>ОПК-4: ИД-1, ИД-5                  | устный групповой опрос                    | Ответить на вопросы по изученному материалу     |

|                                          |                                         |                                           |                                                 |
|------------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------------|
|                                          |                                         | решение предложенных преподавателем задач | Решить предложенные задачи                      |
|                                          |                                         | подготовка реферата                       | Подготовить реферат на одну из предложенных тем |
| Раздел 8. Излучение в плазме             | ОПК-1: ИД 1, ИД 3;<br>ОПК-4: ИД-1, ИД-5 | устный групповой опрос                    | Ответить на вопросы по изученному материалу     |
|                                          |                                         | решение предложенных преподавателем задач | Решить предложенные задачи                      |
|                                          |                                         | подготовка реферата                       | Подготовить реферат на одну из предложенных тем |
| Раздел 9. Особенности космической плазмы | ОПК-1: ИД 1, ИД 3;<br>ОПК-4: ИД-1, ИД-5 | устный групповой опрос                    | Ответить на вопросы по изученному материалу     |
|                                          |                                         | решение предложенных преподавателем задач | Решить предложенные задачи                      |
|                                          |                                         | подготовка реферата                       | Подготовить реферат на одну из предложенных тем |

### Задания для текущего контроля

#### Вопросы для устного группового опроса

1. Определение плазмы.
2. Квазинейтральность плазмы.
3. Дебаевское экранирование.
4. Степень ионизации плазмы.
5. Формула Саха.
6. Функция распределения электронов плазмы.
7. Максвелловское распределение.
8. Уравнения Власова для плазмы.
9. Столкновения частиц в плазме.
10. Кулоновский логарифм.
11. Адиабатические инварианты.
12. Магнитная ловушка.
13. Дрейфовое приближение.
14. Проводимость плазмы. Закон Ома.
15. Плазменные колебания и плазменные волны.
16. Ленгмюровская частота.
17. Затухание Ландау.
18. Магнитогидродинамическая модель плазмы.
19. Равновесие плазмы в магнитном поле.
20. Вмороженность магнитного поля в плазму.
21. Альфвеновские волны в плазме.
22. Диэлектрическая проницаемость плазмы.
23. Дисперсионное уравнение.
24. Обыкновенные и необыкновенные волны в плазме.
25. Тормозное излучение.
26. Гиротронное излучение.
27. Пучковая неустойчивость.
28. Токовые неустойчивости плазмы.

### Задачи для решения на практических занятиях

1. При какой концентрации частиц в плазме электромагнитная волна с частотой 100 ГГц не проникнет в плазму?
2. Найти частоту электромагнитной волны, способной проникнуть в холодную плазму с концентрацией электронов  $10^{13} \text{ см}^{-3}$ .
3. Дебаевский радиус плазмы равен  $1.5 \times 10^{-3} \text{ см}$ , а температура электронов – 5 кэВ. Найти концентрацию электронов.
4. Определить сорт ионов однократно ионизованной плазмы, если электронная и ионная плазменные частоты отличаются в 60.6 раза.
5. Определить сорт ионов двукратно ионизованной плазмы, если электронная и ионная плазменные частоты отличаются в 60.6 раза.
6. Найти величину магнитного поля, в котором за счет электронного циклотронного резонанса плазма эффективно поглощает электромагнитное излучение с периодом  $3.57 \times 10^{-9} \text{ с}$ .
7. Найти величину магнитного поля, в котором период циклотронного вращения  $\alpha$ -частицы равен 1.3 мс.
8. Частота излучения равна 5.7 ГГц. Найти концентрацию электронов плазмы, если излучение генерируется а) на плазменной частоте; б) на второй гармонике плазменной частоты.
9. Частота излучения равна 5.7 ГГц. Найти напряженность магнитного поля, если излучение генерируется а) на циклотронной частоте; б) на третьей гармонике плазменной частоты.
10. Найти частоту электрон-электронных столкновений в плазме с концентрацией  $10^{10} \text{ см}^{-3}$  и температурой  $10^6 \text{ К}$ .
11. Найти среднюю длину свободного пробега электронов в плазме с концентрацией  $10^{11} \text{ см}^{-3}$  и температурой  $3 \times 10^6 \text{ К}$ .
12. Найти среднюю длину свободного пробега электронов с энергией 100 кэВ в плазме с концентрацией  $10^{10} \text{ см}^{-3}$ .
13. Найти степень ионизации водородной плазмы с концентрацией  $10^8 \text{ см}^{-3}$  и температурой 1000 К.
14. Найти степень ионизации водородной плазмы с концентрацией  $10^{10} \text{ см}^{-3}$  и температурой  $10^5 \text{ К}$ .
15. В каком магнитном поле ионная циклотронная частота в полностью ионизованной гелиевой плазме с концентрацией ионов  $10^{12} \text{ см}^{-3}$  сравнивается с ионной плазменной?
16. При какой температуре электронов фазовая скорость ленгмювской волны с длиной  $10^{-3} \text{ см}$  в 100 раз превышает фазовую скорость ионно-звуковой волны в водородной плазме с концентрацией электронов  $10^{14} \text{ см}^{-3}$ ?
17. Ионно-звуковая волна распространяется в плазме с однородной плотностью; электронная температура уменьшается в 4 раза. Как при этом меняется фазовая скорость волны? Ионы считать холодными.
18. Найти длину волны электромагнитной волны с частотой 220 ГГц в плазме с концентрацией электронов  $10^{14} \text{ см}^{-3}$  (магнитное поле отсутствует).
19. Для трехмерной нерелятивистской функции распределения электронов вида 
$$f(\mathbf{v}) = \frac{A}{(v^2 + u^2)^N},$$
 где  $N$  – натуральное число, выразить постоянные  $A$  и  $u$  через концентрацию  $n$  и температуру  $T$  электронов.
20. Для одномерной функции распределения электронов вида  $f(E) = AE^{-\delta}$  при  $E \geq E_0$  выразить постоянные  $A$  и  $\delta$  через концентрацию  $n$  и среднюю энергию  $\langle E \rangle$  электронов. При  $E < E_0$  функция распределения считается равной нулю.

21. Концентрация электронов плазмы равна  $10^{10} \text{ см}^{-3}$ , а напряженность магнитного поля – 100 Гс. Найти допустимые интервалы значений частот волн Х- и О-моды.
22. Концентрация электронов плазмы равна  $10^{10} \text{ см}^{-3}$ , а напряженность магнитного поля – 80 Гс. Найти отношение показателей преломления волн Х- и О-моды на второй гармонике плазменной частоты при распространении а) вдоль магнитного поля; б) поперек магнитного поля.
23. На магнитном экваторе на расстоянии  $r = 5R_E$  от центра Земли питч-угол частицы равен  $30^\circ$ . Долетит ли частица, двигаясь вдоль магнитной силовой линии, до границы ионосферы  $r = R_i$  (считая  $R_i \approx R_E$ )? Магнитное поле предполагается дипольным; магнитная силовая линия описывается уравнением  $r = a \cos^2 \theta$ , напряженность поля равна  $B = \mu \frac{\sqrt{1 + 3 \sin^2 \theta}}{r^3}$ , где  $\theta$  – магнитная широта и  $\mu$  – магнитный момент Земли.
24. Во вспышечной магнитной петле на Солнце напряженность магнитного поля равна 1000 Гс в основаниях и 200 Гс в вершине. Определить величину конуса потерь заряженных частиц в вершине петли.
25. Определить частоту альфвеновских волн с длиной 1000 км в водородной плазме с концентрацией  $10^8 \text{ см}^{-3}$  и напряженностью магнитного поля 10 Гс.

### Темы для рефератов

1. Современные наземные и космические инструменты для исследования плазмы солнечной короны.
2. Современные наземные и космические инструменты для исследования плазмы солнечного ветра.
3. Современные наземные и космические инструменты для исследования плазмы ионосферы и магнитосферы.
4. Российские научно-исследовательские организации, занимающиеся исследованиями плазменных процессов в солнечной короне и солнечном ветре.
5. Российские научно-исследовательские организации, занимающиеся исследованиями плазменных процессов в ионосфере и магнитосфере.
6. Понятие космической погоды: методы исследования и прикладное значение.
7. Лабораторное моделирование процессов в космической плазме: установки и направления исследования в российских научно-исследовательских организациях.
8. Система грантовой поддержки научных исследований в России: организация, подача заявок, возможности для молодых ученых.

### Индивидуальные задания для презентации на практических занятиях

Каждому студенту будет предложено выбрать задачу из области физики солнечной или магнитосферной плазмы, имеющую отношение к тематике его текущей научной работы (по согласованию с научным руководителем). Постановка задачи, её математическая модель и решение должны быть оформлены в виде презентации и представлены на практическом занятии, с последующим коллективным обсуждением.

### Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация студентов по дисциплине осуществляется по окончании дисциплины, в виде экзамена в соответствии с графиком учебного процесса. Проверка наличия конспектов по дисциплине и представление реферата на одну из предложенных тем (по выбору) являются допуском к экзамену. В случае наличия учебной задолженности (пропущенных занятий и (или) невыполненных заданий), студент обрабатывает пропущенные занятия и выполняет задания.

## Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

### ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1 (образец билета)

#### Дисциплина: Введение в физику плазмы

Направление подготовки: Физика солнечно-земных связей

1. Вопрос для проверки уровня обученности ЗНАТЬ

Обыкновенные и необыкновенные волны в плазме.

2. Вопрос для проверки уровня обученности УМЕТЬ

Найти величину магнитного поля, в котором период циклотронного вращения  $\alpha$ -частицы равен 1.3 мс.

3. Вопрос (задача/задание) для проверки уровня обученности ВЛАДЕТЬ

Во вспышечной магнитной петле на Солнце напряженность магнитного поля равна 1000 Гс в основаниях и 200 Гс в вершине. Определить величину конуса потерь заряженных частиц в вершине петли.

#### Вопросы к экзамену

1. Определение плазмы.
2. Дисперсионное уравнение.
3. Дебаевское экранирование.
4. Магнитогидродинамическая модель плазмы.
5. Функция распределения электронов плазмы.
6. Ленгмюровская частота.
7. Пучковая неустойчивость.
8. Диэлектрическая проницаемость плазмы.
9. Обыкновенные и необыкновенные волны в плазме.
10. Затухание Ландау.

#### Типовые задания к экзамену

1. Дебаевский радиус плазмы равен  $1.5 \times 10^{-3}$  см, а температура электронов – 5 кэВ. Найти концентрацию электронов.
2. Частота излучения равна 5.7 ГГц. Найти напряженность магнитного поля, если излучение генерируется а) на циклотронной частоте; б) на третьей гармонике плазменной частоты.
3. Концентрация электронов плазмы равна  $10^{10}$  см<sup>-3</sup>, а напряженность магнитного поля – 100 Гс. Найти допустимые интервалы значений частот волн Х- и О-моды.
4. Во вспышечной магнитной петле на Солнце напряженность магнитного поля равна 1000 Гс в основаниях и 200 Гс в вершине. Определить величину конуса потерь заряженных частиц в вершине петли.
5. Найти длину волны электромагнитной волны с частотой 220 ГГц в плазме с концентрацией электронов  $10^{14}$  см<sup>-3</sup> (магнитное поле отсутствует).
6. Определить частоту альфвеновских волн с длиной 1000 км в водородной плазме с концентрацией  $10^8$  см<sup>-3</sup> и напряженностью магнитного поля 10 Гс.
7. Найти среднюю длину свободного пробега электронов в плазме с концентрацией  $10^{11}$  см<sup>-3</sup> и температурой  $3 \times 10^6$  К.
8. Найти степень ионизации водородной плазмы с концентрацией  $10^{10}$  см<sup>-3</sup> и температурой  $10^5$  К.
9. Определить сорт ионов однократно ионизованной плазмы, если электронная и ионная плазменные частоты отличаются в 60.6 раза.

**10.** Найти величину магнитного поля, в котором период циклотронного вращения  $\alpha$ -частицы равен 1.3 мс.

Оценивание обучающихся происходит с использованием нормативных оценок на экзамене – 5 –отлично, 4-хорошо, 3-удовлетворительно, 2 –неудовлетворительно.

### 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.<br><b>Знать:</b> физические процессы в плазме, определяющие ее свойства и поведение<br><b>Уметь:</b> рассчитывать основные параметры плазмы, волн и частиц в ней<br><b>Владеть:</b> методами решения типичных задач в области физики плазмы                                                                                                                                                                                                                                                                   | Вопросы для устного группового контроля № 1-28.<br>Задачи для решения на практических занятиях № 1-25.                                                                                                   |
|                                                                                                                                                                                                                   | ИД 3.<br><b>Знать:</b> типичные параметры плазмы в солнечной короне, солнечном ветре и магнитосфере Земли<br><b>Уметь:</b> составлять математическую модель процесса в плазме на основе имеющихся экспериментальных данных<br><b>Владеть:</b> навыками постановки физических задач в области физики плазмы.                                                                                                                                                                                                         | Индивидуальное задание для презентации на практических занятиях: подготовка презентации                                                                                                                  |
| ОПК-4. Способен определять сферу внедрения результатов научных исследований в области своей профессиональной деятельности.                                                                                        | ИД 1.<br><b>Знать:</b> современные достижения в области физики плазмы и физики космического пространства<br><b>Уметь:</b> находить необходимую информацию, составлять обзор публикаций по рассматриваемой теме<br><b>Владеть:</b> навыками систематизации и анализа сведений, полученных из различных литературных источников                                                                                                                                                                                       | Темы для реферативных работ № 1-8: подготовка реферата.                                                                                                                                                  |
|                                                                                                                                                                                                                   | ИД 5.<br><b>Знать:</b> способы представления результатов научной деятельности на различных научных мероприятиях<br><b>Уметь:</b> систематизировать и структурировать полученные результаты для представления на научных мероприятиях, подготавливать соответствующие демонстрационные материалы с использованием современных компьютерных средств<br><b>Владеть:</b> навыками представления полученных результатов на научных семинарах и других мероприятиях, навыками обсуждения результатов научной деятельности | Темы для реферативных работ № 1-8: представление реферата на практическом занятии.<br><br>Индивидуальное задание для презентации на практических занятиях: представление доклада на практическом занятии |

### Критерии оценивания результатов обучения

| Критерии | Шкала оценивания |          |                     |                       |
|----------|------------------|----------|---------------------|-----------------------|
|          | «отлично»        | «хорошо» | «удовлетворительно» | «неудовлетворительно» |
| Владение | Свободно         | Владеет  | Редко использует    | Не владеет            |

|                                                                  |                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                              |
|------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>специальной терминологией</b>                                 | владеет терминологией из различных разделов курса                                                                                                                              | терминологией, делая ошибки; при неверном употреблении сам может их исправить                                                                             | при ответе термины, подменяет одни понятия другими, не всегда понимая разницы                                                                                                                       | терминологией по курсу                                                                                                                       |
| <b>Глубина и полнота знания теоретических основ курса</b>        | Демонстрирует прекрасное знание предмета, соединяя при ответе знания из разных разделов, добавляя комментарии, пояснения, обоснования                                          | Хорошо владеет всем содержанием, видит взаимосвязи, может провести анализ и т.д., но не всегда делает это самостоятельно без помощи экзаменатора          | Отвечает только на конкретный вопрос, соединяет знания из разных разделов курса только при наводящих вопросах экзаменатора                                                                          | Не владеет теоретическими основами курса                                                                                                     |
| <b>Умение проиллюстрировать теоретический материал примерами</b> | Отвечая на вопрос, может быстро и безошибочно проиллюстрировать ответ собственными примерами                                                                                   | Может подобрать соответствующие примеры из имеющихся в учебных материалах                                                                                 | С трудом может соотнести теорию и практические примеры из учебных материалов; примеры не всегда правильные                                                                                          | Не может соотнести теоретические знания и практические примеры                                                                               |
| <b>Дискурсивные умения</b>                                       | Демонстрирует различные формы мыслительной деятельности: анализ, синтез, сравнение, обобщение и т.д. Владеет аргументацией, грамотной, лаконичной, доступной и понятной речью. | Присутствуют некоторые формы мыслительной деятельности: анализ, синтез, сравнение, обобщение и т.д. Хорошая аргументация, четкость, лаконичность ответов. | С трудом применяются некоторые формы мыслительной деятельности: анализ, синтез, сравнение, обобщение и т.д. Слабая аргументация, нарушенная логика при ответе, однообразные формы изложения мыслей. | Не может применить формы мыслительной деятельности: анализ, синтез, сравнение, обобщение и т.д. Отсутствует аргументация, логика при ответе. |

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

| <b>Результат диагностики сформированности компетенций</b> | <b>Показатели</b>                                                                                                                         | <b>Критерии</b>                                                                                                                                      | <b>Соответствие / несоответствие</b> | <b>Зачет / экзамен</b>                 |
|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------|
| 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<br><br>Не ответил или ответил неправильно на вопросы для | Соответствие<br><br>Несоответствие   | Устный промежуточный контроль, экзамен |

|                                        |                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                          |                                                        |                                 |
|----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------------------|
|                                        |                                                                                                                              | подготовки по теоретическим вопросам курса                                                                                                                                                                               |                                                        |                                 |
| Положительные результаты решения задач | Решение предложенных преподавателем задач, знание основных тем дисциплины, в Программе оценивания контролируемой компетенции | Положительные результаты решения задач<br><br>Не решил или неправильно решил предложенные задачи                                                                                                                         | Соответствие<br><br>Несоответствие                     | Промежуточный контроль, экзамен |
| Положительные результаты экзамена      | Подготовка к экзамену и знание экзаменационных вопросов                                                                      | Полностью раскрыты все вопросы, даны все правильные определения<br><br>Не полностью раскрыт один из вопросов и (или) в определениях есть неточности<br><br>Не полностью раскрыты два вопроса и (или) определения неверны | Соответствие<br><br>Соответствие<br><br>Несоответствие | Экзамен                         |