

|                     |   |
|---------------------|---|
| Название дисциплины | Основы физики плазмы  |
| Где проводится      | Базовая кафедра физики космоса при ИКИ РАН                              |
| Автор программы     | Чернышов Александр Александрович, к.ф.-м.н., с.н.с. ИКИ РАН, доцент ВШЭ |
| Курс                | 3-ый курс бакалавриата  |
| Модули              | 1-ый и 2-ой модули  |
| Объём курса         | 1 лекция + 1 семинар в неделю   |
| Элементы контроля   | Контрольная работа, работа на семинарах, устный экзамен                 |

## 1. Аннотация дисциплины

Семестровый курс "Основы физики плазмы" посвящен формированию у студентов представлений о физике процессов, протекающих в различных плазменных средах, начиная от плазмы лабораторных установок и заканчивая плазмой космических объектов. Известно, что подавляющая часть вещества Вселенной находится именно в состоянии плазмы. Свойства плазмы как особого состояния вещества определяются в значительной степени тем, что между частицами, образующими плазму, действуют электромагнитные силы, влияние которых распространяется на макроскопические расстояния. В данном курсе излагаются основные понятия физики плазмы, движение отдельных заряженных частиц, адиабатические инварианты, гидродинамическое и кинетическое описание плазмы, теория волновых движений плазмы, неустойчивости плазмы.

## 2. Программа дисциплины

*Целями освоения дисциплины "Основы физика плазмы" являются:*

- формирование у студентов профессиональных компетенций, связанных с использованием современных теоретических представлений в области физики плазмы,
- приобретение навыков получения количественных оценок основных параметров, характеризующих свойства плазмы,
- формирование подходов к проведению исследований в разных областях физики плазмы и анализу полученных результатов,
- развитие умений, основанных на полученных теоретических знаниях, позволяющих развивать качественные и количественные физические модели для исследования свойств плазмы в широком диапазоне плазменных параметров.

*Изучение данной дисциплины базируется на знаниях, полученных студентами при освоении учебных программ:*

- Классическая механика
- Электродинамика
- Математический анализ и дифференциальные уравнения
- Уравнения математической физики

Основные положения дисциплины должны быть использованы в дальнейшем при изучении следующих дисциплин:

- Физика солнечно-земных связей
- Плазменная астрофизика
- Нелинейные процессы в плазме

Дисциплина «Основы физики плазмы» состоит из следующих тем:

1. Общие сведения о плазме, ее квазинейтральность, критерии существования плазмы, коллективные явления и взаимодействия между частицами. Дебаевское экранирование.
2. Движение заряженных частиц в магнитном и электрических полях. Понятие о дрейфе ведущего центра. Адиабатические инварианты движения частиц
3. Гидродинамическое описание плазмы: одножидкостная и двухжидкостная модели плазмы. Дрейф жидкости перпендикулярно и параллельно магнитному полю. Диффузия. Магнитогиродинамическая турбулентность.
4. Кинетическое описание плазмы, функция распределения, интеграл столкновений. Формула Больцмана, уравнение Власова. Затухание Ландау
5. Волны в плазме. Групповая и фазовая скорость. Плазменные колебания. Ионно-звуковые волны. Электростатические электронные и ионные колебания, распространяющиеся перпендикулярно магнитному полю. Нижнегибридная частота.
6. Электромагнитные волны, распространяющиеся перпендикулярно и параллельно магнитному полю. Отсечки и резонансы в плазме.
7. Магнитогиродинамические волны. Диаграммы Фридрикса для фазовых и групповых скоростей МГД-волн.
7. Классификация неустойчивостей в плазме. Двухпоточковая неустойчивость. Неустойчивость Релея-Тейлора. Неустойчивость Кельвина-Гельмгольца. Z-пинч. Изгибная неустойчивость.
8. Особенности плазменных процессов и их описание на Солнце, в солнечном ветре, ионосфере, магнитосфере Земли.

### 3. Элементы контроля и правила оценивания

Оценки по всем формам контроля выставляются по 10-ти балльной шкале.

Текущий контроль предусматривает контрольную работу во 2-м модуле. Контрольная работа включает письменное решение 6-7 задач по темам пройденного материала.

Итоговый контроль - экзамен в конце 2-го модуля. Проводится устно в формате беседы по программе курса. Билет на экзамене содержит 1 теоретический вопрос по материалам лекций и 1 задачу.

**Накопленная (текущая) оценка** ( $O_{\text{накоп}}$ ) рассчитывается как

$$O_{\text{накоп}} = 0,7 * O_{\text{кр}} + 0,3 * Q_{\text{с}}$$

где  $O_{\text{кр}}$  - оценка за контрольную работу, а  $Q_{\text{с}}$  - оценка за работу на семинарах. Оценка  $Q_{\text{с}}$  складывается из посещаемости занятий и решений задач на семинаре.

**Итоговая оценка за семестр** ( $O_{\text{семестр}}$ ) определяется соотношением

$$O_{\text{семестр}} = 0,6 * O_{\text{экс}} + 0,4 * O_{\text{накоп}}$$

где  $O_{\text{экс}}$  — оценка за экзамен. Однако, если за экзамен получено  $O_{\text{экс}} \leq 3$ , то  $O_{\text{семестр}} = O_{\text{экс}}$ , даже если по формуле оценивания получается больше.

Каждая оценка ( $O_{\text{кр}}$ ,  $Q_c$  и  $O_{\text{экс}}$ ) выставляется по 10-ти бальной шкале. В случае необходимости применяется арифметическое округление.

## 4. Примеры заданий элементов контроля

### *Пример задачи контрольной работы:*

Магнитные ловушки (зеркала), конфигурации магнитного поля, способные длительное время удерживать заряженные частицы внутри определённого объёма пространства. Рассмотрим конфигурацию магнитного зеркала с осевым магнитным полем, задаваемое  $B(z) = B_0 * (1 + \delta z^2)$ ,  $\delta$  - константа. Вычислить точку отражения для электрона со скоростью  $v$ , изначально находящаяся в точке  $z = 0$  с начальным питч-углом  $\alpha_0$ .

### *Пример экзаменационного билета:*

1. Кинетическое описание плазмы. Кинетические уравнения Больцмана и Власова.
2. В отдельные моменты наблюдалось отражение от ионосферы радиоволн различной длины: от 10 км до 10 м. Во сколько раз концентрация электронов в области ионосферы, отразившей радиоволны длиной 10 м, больше (или меньше), чем в области, отразившей волны длиной 10 км?

## 5. Рекомендованная литература и ссылки по теме

### 5.1. Основной список

1. Ф. Чен. Введение в физику плазмы. Мир. 1987
2. Л.А. Арцимович, Р.З. Сагдеев. Физика плазмы для физиков. 1979. Атомиздат.
3. Д. А. Франк-Каменецкий. Лекции по физике плазмы. Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2008.
4. R. Treumann, W. Baumjohann, Basic space plasma physics Издательство: World Scientific Publishing, 1999

### 5.2. Дополнительный список

1. Н.Кролл, А.Трайвелпис “Основы Физики Плазмы”, М: Мир, 1975
2. Б.Б. Кадомцев Коллективные явления в плазме. М.: Наука, 1976
3. А.И. Ахизьер "Электродинамика плазмы", М: Наука, 1974
4. Л.Спицер "Физика полностью ионизованного газа" 2-е изд. 1965

5. M.G. Kilveson, C.T. Russel. Introduction into space physics. Cambridge University Press. 1996
6. U. Inan and M. Gołkowski. Principles of Plasma Physics for Engineers and Scientists. Cambridge University Press. 2011
7. Ж.А. Биттенкорт. Основы физики плазмы. М. «Физматлит», 2009