

Плазменная астрофизика

Лектор: д.ф.-м.н., профессор Сомов Борис Всеволодович

(отдел физики Солнца ГАИШ МГУ, кафедра астрофизики и звездной астрономии физического факультета МГУ)

Код курса:	
Статус:	По выбору
Аудитория:	специальный
Специализация:	Астрофизика и звездная астрономия
Семестр:	7 и 8
Трудоёмкость:	4 з.е.
Лекций:	64 часа
Семинаров:	
Практ. занятий:	
Отчётность:	экзамен
Начальные компетенции:	С-ОНК-1, С-ОНК-5, С-ОНК-6
Приобретаемые компетенции:	С-СК-3, С-ПК-1, С-ПК-2, С-ПК-4

Аннотация курса

Плазменная астрофизика объединяет в себе все направления астрофизики с точки зрения плазменных и гидродинамических явлений в астрономических объектах: одиночных и двойных звездах, аккреционных дисках и их коронах, релятивистских джетах, галактиках и внегалактических объектах. Идея курса состоит в последовательном применении физических принципов, начиная с наиболее общих, и упрощающих предположений, которые позволяют получать все более простые описания плазмы в космических условиях. На основе такого подхода студенты находят ответы на два ключевых вопроса современной астрофизики: 1) какое приближение является наилучшим (простейшим, но достаточным) для описания изучаемого астрофизического явления в космической плазме, 2) как построить адекватную модель явления, например, вспышки в короне релятивистского компактного объекта.

Приобретаемые знания и умения

В результате освоения дисциплины обучающийся должен усвоить фундаментальные принципы гидродинамики и физики плазмы применительно к широкому кругу астрофизических явлений и объектов, овладеть знаниями современных аналитических и численных методов решения актуальных астрофизических задач.

Образовательные технологии

Лекции читаются с использованием современных мультимедийных возможностей и проекционного оборудования. Курс имеет электронную версию для презентации всех лекций.

Логическая и содержательно-методическая взаимосвязь с другими частями ООП

Курс связан с теоретическими дисциплинами: "Общая астрофизика", "Теоретическая астрофизика", "Активные ядра галактик и квазары", "Астрофизика нейтронных звезд и черных дыр".

Дисциплины и практики, для которых освоение данного курса необходимо как предшествующего

Научно-исследовательская практика, научно-исследовательская работа, курсовая работа, дипломная работа, дисциплины "Теоретическая астрофизика", "Активные ядра галактик и квазары", "Динамика галактических дисков".

Основные учебные пособия, обеспечивающие курс

1. Сомов Б.В., Космическая электродинамика и физика Солнца, МГУ, Москва, 1993.
2. Somov B.V., *Plasma Astrophysics, Part I, Fundamentals and Practice*, Springer, New York, 2006.
3. Somov B.V., *Plasma Astrophysics, Part II, Reconnection and Flares*, Springer, New York, 2007.

Основные учебно-методические работы,

Нет

обеспечивающие курс**Основные научные статьи, обеспечивающие курс**

Плазменная астрофизика -- быстро развивающаяся наука, постоянно пополняемая большим потоком статей в международных журналах: *Astrophysical Journal*, *Astrophysical Journal Letters* и многих других.

Программное обеспечение и ресурсы в интернете

Plasma Physics and MHD for Astronomy and Astrophysics.
<<http://web.njit.edu/~gfleishm/>>

Контроль успеваемости

Промежуточная аттестация проводится на 7-9 неделе в форме проверочной работы с оценкой. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса.

Текущая аттестация проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях.

Фонды оценочных средств

Контрольные вопросы для текущей аттестации, задачи для контрольных работ промежуточной аттестации; вопросы к экзаменам.

Структура и содержание дисциплины, 7-ой семестр

Раздел	Неделя
Частицы и поля: точное самосогласованное описание. Общая постановка задачи для частиц в электромагнитном и гравитационном поле. Начальные и граничные условия. Теорема Лиувилля для точной функции распределения. Космическая плазма и гравитационные системы.	1
Статистическое описание космической плазмы. Столкновительный интеграл и корреляционные функции. Парные столкновения. Малые параметры кинетической теории. Уравнение Власова. Интеграл столкновений Ландау. Уравнение Фоккера-Планка. Корреляционные функции и дебаевское экранирование.	2
Распространение ускоренных частиц в космической плазме. Общий вид кинетического уравнения для быстрых электронов и ионов. Кинетическое уравнение при больших скоростях. Модель толстой мишени. Приближенный учет рассеяния. Эффект обратного тока. Трехмерные самосогласованные кинетические модели.	3
Движение частицы в заданных полях. Электрический и гравитационный дрейфы. Слабо неоднородные медленно меняющиеся поля. Градиентный и инерционный дрейфы. Адиабатические инварианты в космической плазме. Ускорение Ферми. Турбулентность. Точность адиабатического приближения.	4
Магнитное пересоединение. Простейшая иллюстрация пересоединения в вакууме. Пересоединение в плазме. Токовые слои. Три стадии процесса пересоединения. Ускорение частиц в нейтральном токовом слое.	5
Взаимодействие частица-волна в космической плазме. Линеаризованное уравнение Власова. Резонанс Ландау и затухание Ландау. Пучковые неустойчивости в космической плазме. Гирорезонанс. Стохастическое ускорение частиц волнами.	6
Холмогоровская теория турбулентности. Турбулентные каскады в МГД. Ускорение электронов и ионов в солнечных вспышках. Релятивистская электрон-позитронная плазма. Черенковское излучение.	7
Кулоновские столкновения в плазме. Близкие и далекие столкновения. Частицы в магнитных ловушках. Дебаевское экранирование и плазменные колебания. Столкновительные релаксации в космической плазме. Двухтемпературная плазма в солнечных вспышках и аккреционных дисках релятивистских объектов. Динамическое трение. Эффект электрического убления. Тепловое уделение в космической плазме. Гравитационное трение в бесстолкновительных системах.	8
Макроскопическое описание космической плазмы. Моменты функции распределения. Уравнения для моментов. Общие свойства уравнений переноса. Уравнение состояния и коэффициенты переноса. Гравитационные системы. Обобщенный закон Ома в космической плазме. Волны в двухкомпонентной плазме.	9

Магнитогидродинамика космической плазмы. Основные предположения. Полная система уравнений нерелятивистской МГД. Релятивистская МГД. Созрание магнитного потока и идеальная МГД. Главные приближения в МГД. Аккреционные диски звезд. Черные дыры. Астрофизические коллимированные выбросы (джеты). Электромагнитные аналоги слабого гравитационного поля.	10
Течения космической плазмы в сильных магнитных полях. Система уравнений МГД для сильного магнитного поля. Формализм двумерных задач. Существование непрерывных течений. Течение в поле переменного диполя. МГД моделирование «космической погоды». Магнитосфера аккреционного диска.	11
МГД волны в космической плазме. Дисперсионное уравнение в идеальной МГД. Волны малой амплитуды: энтропийные, альфвеновские и магнитозвуковые. Диаграммы фазовых скоростей. Диссипативные волны.	12
Разрывные течения в МГД средах. Граничные условия на поверхностях разрывов. Классификация МГД разрывов по Сыроватскому. Ударные волны. Волны включения и выключения. Альфвеновский разрыв. Непрерывные переходы между разрывными решениями МГД. Ударные волны в бесстолкновительной плазме.	13-14
Эволюционность разрывных МГД течений. Условия эволюционности. Области эволюционности. Следствия эволюционности. Порядок распространения волн. Непрерывные переходы между разрывами. Диссипативные эффекты в эволюционности. Структура разрывов и эволюционность.	15
Ускорение частиц на ударных волнах. Диффузионный механизм ускорения. Линейные и нелинейные эффекты. Дрейфовый механизм ускорения. Квазиперпендикулярные ударные волны. Коллапсирующие магнитные ловушки в межпланетном пространстве.	16

Структура и содержание дисциплины, 8-ой семестр

Раздел	Неделя
Равновесие космической плазмы в магнитном поле. Теорема вириала в МГД. Равновесие и коллапс звезд. Бессилловые поля и теорема Шафранова. Магнитные поверхности и удельный объем магнитной трубки. Конвективные неустойчивости. Архимедова сила в МГД. Равновесие в солнечной атмосфере.	1
Стационарные течения в магнитном поле. Течения в идеальной МГД среде. Астрофизические коллимированные течения (джеты). Альфвеновские волны произвольной амплитуды. Дифференциальное вращение и изоротация внутри Солнца и других звезд. Стационарные течения в диссипативных МГД средах. Слабоионизованная плазма в космических условиях. Вихревые течения в космосе. Солнечные протуберанцы.	2
МГД пересоединение. Малые возмущения в окрестности нейтральной точки. Куммулятивный эффект. Большие возмущения вблизи нейтральной точки. Формирование токовых слоев. Динамическая диссипация. Нестационарные аналитические модели формирования токовых слоев. Магнитный коллапс. Бесстолкновительное пересоединение.	3
Магнитное пересоединение в солнечных вспышках. Трехмерные топологические модели активных областей на Солнце. S-образные морфологии и эруптивная активность Солнца. Токовые слои как источник энергии. Токовый слой как часть электрического контура. Топологические модели с фотосферным широм (сдвигом).	4
Модели пересоединяющих токовых слоев в космической плазме. Нейтральный слой. Токовый слой Сыроватского. Токовые слои с	5

поперечным и продольным магнитным полем. Основы физики высокотемпературных турбулентных токовых слоев. Пересоединение в сильном магнитном поле. Многообразие вспышек на Солнце.	
Высокотемпературные турбулентные токовые слои в солнечной короне. Сверх-горячая плазма. Эффект коллапсирующих магнитных ловушек. Ускорение электронов и ионов в коллапсирующих ловушках. Жесткое рентгеновское излучение из солнечной короны.	6
Солнечные вспышки в лаборатории и космосе. Турбулентный нагрев в тороидальных установках. Экспериментальная форма закона подобия для турбулентной проводимости. Параметры высокотемпературных токовых слоев с турбулентной проводимостью и теплопроводностью. Вспышки в коронах аккреционных дисков. Модель магнитосферы компактной звезды и параметры токовых слоев. Мощность энерговыделения во вспышках в коронах аккреционных дисков.	7
Ускорение частиц в пересоединяющих токовых слоях. Дестабилизация поперечным магнитным полем. Стабилизация продольным полем. Максимальная энергия ускоренных частиц. Регулярное и хаотическое ускорение. Причины хаоса. Ускорение частиц в солнечных вспышках. Численное моделирование бесстолкновительного пересоединения. Специфика ускорения ионов. Поперечное электрическое поле в пересоединяющих токовых слоях. Проблема космических лучей.	8-9
Структурная неустойчивость пересоединяющих токовых слоев в космической и лабораторной плазме, а также в численных экспериментах. Постановка вопроса об эволюционности токовых слоев. Возможности аналитического решения проблемы. Малые возмущения внутри и вне токового слоя. Критерий эволюционности. Эволюционность и бифуркация токового слоя. Течение Петчека.	10
Тиринг неустойчивость токовых слоев. Природа тиринг неустойчивости. Почему она не работает? Аналитическое рассмотрение проблемы стабилизации в МГД приближении.	11
Роль продольного и поперечного магнитного поля. Кинетический подход к тиринг неустойчивости. Магнитосферные суббури, солнечные вспышки.	12
Пересоединение и магнитная спиральность. Два типа МГД турбулентности. Спиральность и турбулентные каскады. Солнечное динамо. Нагрев короны и солнечные вспышки. Пересоединение и спиральность в солнечных вспышках.	13
Пересоединение в слабо-ионизованной плазме. Пересоединение в фотосфере. Протуберанцы и вспышки. Разделение элементов при пересоединении.	14
Фотосферное динамо. Механизмы генерации токов в фотосфере. Физика тонких трубок магнитного потока. Магнитное разделение элементов по первому ионизационному потенциалу. Механизмы нагрева короны. Активные области.	15
Магнитное пересоединение электрических токов. Механизмы накопления и освобождения энергии в солнечных вспышках. Взаимодействие распределенных токов. Токовые слои на сепараторах и сепаратрисах. Фотосферный шир и корональное пересоединение. Топологическое прерывание электрических токов. Индуктивное изменение энергии. Будущие наблюдения.	16