

Современная астрофизика для всех

Преподаватель – Сергей Попов

Аннотация

Основной целью курса является обзор современной астрофизической картины мира: от Солнечной системы до космологии.

На лекциях представлены современные данные наблюдений всех основных классов астрофизических объектов. Дается краткое описание методов астрономических наблюдений в разных диапазонах спектра, а также рассмотрена регистрация космических элементарных частиц и гравитационных волн. Обсуждаются ключевые вопросы, над которыми в настоящее время работают астрофизики. В заключение курса обсуждаются основы современной космологии и данные соответствующих наблюдений.

Семинары посвящены разбору ряда простых задач, призванных проиллюстрировать физику космических процессов на количественном уровне, а также дать представления об основах астрономии.

Примерно после каждого второго семинара дается домашнее задание.

Также будет проведено две контрольные работы за семестр.

По итогам всего курса студенты пишут итоговый тест.

Формы текущего контроля

- Работа на семинаре.
- Две контрольные работы.
 - Домашние задания
- Итоговый письменный тест

Формула итоговой оценки

$0,1 * \text{работа на семинарах} + 0,1 * \text{контрольные работы} + 0,1 * \text{домашние задания} + 0,1 * \text{итоговый тест}$

- ◇ На каждом семинаре за активную работу можно набрать до 2 баллов. Это может быть решение задачи «у доски», или активное участие в обсуждении, или активная самостоятельная работа в течение всего семинара. Баллы записываются в таблицу оценок и суммируются. Максимально можно накопить 15 баллов.
- ◇ Домашние задания. Каждая правильно решенная задача дает один балл. В зависимости от задания можно получить до 2 или 3 баллов за одно домашнее задание. Максимальное число баллов за семестр 15.
- ◇ Контрольные работы могут содержать как задачи, так и вопросы в виде теста (с выбором правильного ответа). Каждая из двух контрольных работ пишется на семинарском занятии. Каждая работа оценивается по 10-балльной системе. Баллы за контрольные работы суммируются. Т.о., максимальное число баллов за контрольные составляет 20.
- ◇ Итоговый тест содержит вопросы (по вариантам) с выбором ответа. Максимальная оценка за тест – 50 баллов.

Способ округления итоговой оценки – арифметический, в пользу студента.

Никакие работы не подлежат пересдаче без уважительных причин. При наличии уважительных причин домашнее задание может быть сдано позже, а контрольные работы могут быть написаны позже.

Написание итогового теста обязательно для всех. Другие блокирующие элементы не предусмотрены.

По решению преподавателя процедура оценивания письменных работ может включать устную беседу по содержанию написанного.

За пропущенные по уважительной причине семинары в конце семестра можно написать письменную работу, в которой число индивидуальных заданий соответствует числу пропущенных (по уважительной причине) семинаров. За каждое правильно выполненное задание дается один балл. За каждый пропущенный семинар дается два задания.

1 модуль: Наблюдения и классические объекты

В этом модуле обсуждаются виды и методы астрономических наблюдений, а также классические астрономические объекты: планеты и звезды. Отдельные лекции посвящены Солнцу и Солнечной системе.

На семинарах рассматривается ряд задач, помогающих на количественном уровне понять рассмотренные методы и процессы.

Тема 1. Астрономические наблюдения

Темы лекции: Зачем нужны телескопы. Схема строения телескопа. Радиотелескопы и интерферометры. Наземные гамма-телескопы. Звездные величины.

Задачи семинара:

1. Расстояния до Луны и Солнца в световых секундах.
2. Световой год.
3. Парсек.
4. Средняя плотность звезд, планет, нейтронных звезд и черных дыр.
5. Плотность межзвездной среды в диске Галактики.
6. Транзиты. Падение блеска (вывод через отношения масс и плотностей звезды и планеты).

Тема 2. Наблюдения вне электромагнитного диапазона

Темы лекции: Космические лучи. Детекторы гравитационных волн и нейтрино. Регистрация частиц темного вещества.

Задачи семинара:

1. Оценка частоты, соответствующей максимуму светимости, для различных объектов
2. Диффузия космических лучей в Галактике
3. Время слияния черных дыр
4. Разбор домашнего задания

Тема 3. Астрономические наблюдения из космоса

Темы лекции: Наблюдения из космоса: задачи, сложности. Гамма наблюдения и детекторы. Рентгеновские наблюдения и детекторы. Телескопы Хаббла и Джеймса Вебба. Наблюдения в ИК-диапазоне.

Задачи семинара:

1. Солнце в 1 кпк.
2. Галактика на млн. св. лет.
3. Регистрация вспышки магнитара.
4. Предельная звездная величина для 6-метрового телескопа.
5. Предельное угловое разрешение: FAST и одна угловая секунда.

Тема 4. Солнечная система.

Темы лекции: Строение Солнечной системы, основные группы объектов и их параметры, формирование Солнечной системы, строение планет.

Задачи семинара:

1. Эллипс, парабола, гипербола.
2. Теорема вириала.
3. Полеты на Марс и Венеру.
4. Первая и вторая космические скорости.
5. Падение и третий закон Кеплера.
6. Эффект Ярковского.
7. Предельное вращение.
8. Предельная высота гор и сферическая форма астероидов.

Тема 5. Метод открытия экзопланет

Темы лекции: Метод вариации лучевых скоростей, транзиты, гравитационное микролинзирование, тайминг, астрометрия, прямые изображения.

Задачи семинара:

1. Плотность планеты по параметрам орбиты спутника.
2. Прямое изображение планеты: орбитальный период и отношение светимостей.
3. Астрометрия. Вывод формулы.
4. Лучевые скорости. Вывод формулы.
5. Длительность транзита. Ускорение свободного падения на планете и ее плотность
6. Коллапс облака.

Тема 6. Формирование и эволюция экзопланет. Атмосферы. Экзолуны.

Темы лекции: Связь массы, радиуса и плотности. Протопланетные диски. Миграция планет. Эффект Лидова-Козаи. Взаимодействие планет и звезд. Атмосферы планет, методы изучения. Поиски обитаемых планет. Зона обитаемости. Экзолуны: формирование, возможности обнаружения, потенциальная обитаемость. Жизнь в Солнечной системе.

Задачи семинара:

1. Красный карлик с Юпитером. Полуось, разрешение телескопа, астрометрическое смещение.
2. Лучевая скорость, определение массы планеты.
3. "Зеркало" на орбите звезды. Угловое разрешение, наблюдаемость глазом в телескоп.

Контрольная работа

Тема 7. Солнце

Темы лекции: Структура Солнца. Солнечная активность. Солнечные нейтрино.

Задачи семинара:

1. Скорость вращения Солнца, сдвиг линий по Доплеру
2. Интенсивность излучения пятен и диска.
3. Вывод давления в центре Солнца методом размерностей. Оценка температуры для идеального газа.
4. Поток нейтрино от Солнца.
5. Гидростатическое равновесие.
6. Теорема вириала для звезд.
7. Оценка температуры в недрах Солнца по вириалу.

Тема 8. Звезды

Темы лекции: Параллаксы, масса Джинса, эволюция звезд, синтез элементов, двойные звезды, масса звезд и связь с другими параметрами.

Задачи семинара:

1. Параллакс.
2. Масса Джинса.
3. Соотношение масса-светимость.
4. Соотношение масса-радиус.
5. Оценка времени жизни звезд.
6. Пульсации звезд.
7. Излучение черного тела

2 модуль. Релятивистские объекты и внегалактическая астрономия

Второй модуль посвящен релятивистским объектам, галактикам и космологии. На семинарах рассматриваются задачи, связанные с физикой рассмотренных объектов и явлений.

Тема 9. Белые карлики и нейтронные звезды.

Темы лекции: Физика и наблюдательные проявления белых карликов, строение нейтронных звезд, источники энергии и типы источников, возраста нейтронных звезд.

Задачи семинара:

1. Распад двойной системы.
2. Функция масс двойной системы.
3. Источники энергии для нейтронных звезд:
 - вращение (энергия вращения, темп потерь энергии);
 - аккреция (эффективность аккреции) ;
 - магнитное поле (предельное поле).
4. Определение возраста радиопульсаров по замедлению.
5. Темп сверхновых, относительные доли НЗ и ЧД.

Тема 10. Черные дыры

Темы лекции: Общие свойства черных дыр, черные дыры звездных масс, первичные черные дыры.

Задачи семинара:

1. Эддингтоновская светимость.
2. Параметры черных дыр (шварцшильдовский радиус, фотонная сфера, ISCO, "фотография" черной дыры).
3. Планковская светимость.
4. Испарение черных дыр.

Тема 11. Сверхновые

Темы лекции: Типы сверхновых, кривые блеска, причины энерговыделения

Семинар:

Контрольная работа

Тема 12. Галактика, внегалактическая астрономия.

Темы лекции: Строение Галактики, кривая вращения, типы галактик, активные ядра галактик.

Задачи семинара:

1. Число звезд в Галактике.
2. Кривые вращения галактик и ход плотности.
3. Цефеиды в M31.
4. Эпик и M31.
5. Масса Sgr A*.
6. Сравнение угловых размеров черных дыр.

Тема 13. Внегалактическая астрономия.

Темы лекции: Состав вселенной, темное вещество, формирование структуры, слияния галактик.

Задачи семинара:

1. Разбор домашней работы
2. Горячий газ в галактике.

Тема 14. Сверхмассивные черные дыры

Темы лекции:

Сверхмассивные черные дыры: формирование и эволюция.

Задачи семинара:

1. Слияние M31 и Галактики.
2. Слияния черных дыр. Последний парсек. Гравитационно-волновая ракета.
3. Предельные скорости звезд (по орбитам) и вылет из галактики (упрощенная модель).

Консультация. Разбор задач домашних работ.

Тема 15. Космология. Основные понятия.

Темы лекции: Эволюционирующая вселенная, расстояния в космологии, красное смещение.

Задачи семинара:

1. Вывод закона Хаббла.
2. Почему локально Хаббл похож на Доплер.
3. Разные ингредиенты (излучение, вещество, космологическая постоянная), их меняющийся вклад в полную плотность. Кривизна.
4. Параметр замедления.
5. Сфера Хаббла.

Тема 16. Космология. Динамика вселенной.

Темы лекции: Скорости и ускорения в расширяющейся вселенной, изменение красного смещения

Задачи семинара:

1. Вывод красного смещения.
2. Горизонты и "луковица".
3. Скорости.
4. Конформное время.

Приведенная ниже литература является рекомендуемой. Для полного усвоения материала курса достаточно лекций и семинаров.

Рекомендуемая литература к курсу

1. «Вселенная». Попов С.Б., АНФ, 2018, Москва.
<https://www.klex.ru/ugr>
2. Кононович Э.В. Мороз В.И., «Общий курс астрономии», УРСС, 2001, Москва
<https://deckofficer.ru/titul/study/item/kononovich>
3. Сайт Астронет. Глоссарий.
<https://www.astronet.ru/db/glossary/>

Дополнительная литература для углубленного чтения

1. Засов А.В., Постнов К.А. «Общая астрофизика», Век-2, 2011, Фрязино.
https://xray.sai.msu.ru/astrores/books/zasov_av_postnov_ka_obshchaia_astrofizika.pdf
2. Куликовский П.Г. «Справочник астронома-любителя», УРСС, 2002, Москва (параграф 1.10, глава 3)
https://phti.tj/phti_tj/ozmun_ifm/Astronomy_books/spravochnik_kulikovskiy.pdf