

Программа лекционного курса
«АСТРОФИЗИКА»
для студентов 4-ого курса (дневная форма обучения)
физического факультета
Самарского государственного университета
(2013-2014 учебный год, 8 семестр, 54 часа)

ВВЕДЕНИЕ

Предмет и задачи астрономии. Основные разделы астрономии. *Возникновение и основные этапы развития астрономии*¹. Практическое значение астрономии.

РАЗДЕЛ 1. Основы астрометрии

1.1. Небесная сфера (НС). Основные свойства НС. Основные точки, линии, круги и плоскости НС. Системы небесных координат: горизонтальная, 1-ая и 2-ая экваториальные, эклиптическая. Связь между географическими координатами и небесными. Сферический треугольник и его основные свойства. Формулы синусов, косинусов, пяти элементов. Параллактический треугольник. Переход от экваториальной системы к горизонтальной.

1.2. Восход, заход и кульминации светил. Вид небесной сферы для наблюдателя на различных широтах. Высота и зенитное расстояние светила в меридиане. Классический абсолютный метод определения склонения светила и астрономической широты места наблюдения. Сумерки. Белые ночи. Факторы, искажающие положение небесных тел. Явление рефракции и его элементарная модель. Факторы, смещающие систему координат относительно звезд. Изменение небесных координат из-за прецессии. Видимое годичное движение Солнца. Дни солнцестояний и равноденствий. Смена времен года.

1.3. Основные методы определения расстояний в астрономии. Тригонометрические методы определения расстояний до небесных тел. Суточный, горизонтальный, экваториальный и годичный параллакс. Единицы измерения расстояний в астрономии. *Определение суточного и годичного параллаксов из наблюдений*. Определение размеров и формы Земли. Определение размеров и формы других тел.

1.4. Системы измерения времени: звездное время, истинное солнечное время, среднее солнечное время. *Связь истинного солнечного времени со средним*. Связь звездного времени со средним солнечным временем. Местное, всемирное, поясное, декретное, летнее время. Календари: их история возникновения, основные типы календарей. Юлианский и Григорианский календарь. Соотношения между датами по старому и новому стилю. Тропический и звездный год.

¹Здесь и далее наклонным шрифтом указаны пункты, отведенные на самостоятельное изучение.

РАЗДЕЛ 2. Основы небесной механики

2.1. Строение Солнечной системы. Системы мира Птолемея и Коперника. Конфигурации планет. Видимые движения тел Солнечной системы. Сидерический и синодический периоды обращения. Законы Кеплера. Свойства эллиптической орбиты. Движение Земли. Прецессионное и нутационное движение земной оси.

2.2. Закон всемирного тяготения Ньютона и границы его применимости. Принцип суперпозиции сил в определении силы притяжения материальной точки несферическим телом. Расчет сил притяжения однородного тонкого диска. Определение ускорения свободного падения у поверхности планеты как функция широты местности.

2.3. Задача двух гравитирующих тел: уравнения движения, относительное движение, приведенная масса, центр масс. Нерелятивистская задача Кеплера. Постановка задачи и ее точное решение. Законы движения и уравнение траектории. Строгое обоснование первого закона Кеплера. Возможные типы траекторий. *Свойства кривых второго порядка: эллипса, параболы, гиперболы.* Зависимость траектории движения тела от начальной энергии (скорости). Первая и вторая космические скорости. Интеграл площадей в задаче двух тел (строгое обоснование II-го закона Кеплера). Интеграл энергии в задаче двух тел. Третий обобщенный закон Кеплера. Определение масс небесных тел.

РАЗДЕЛ 3. Методы и инструменты астрофизических исследований

3.1. Спектр электромагнитных волн, исследуемых в астрофизике. *Скорость света и методы ее определения: метод Ремера, Брэдли, Физо, Майкельсона-Морли.* Основные понятия фотометрии: поток излучения, интенсивность, освещенность, поверхностная яркость. Шкала видимых звездных величин. Абсолютная звездная величина. Светимость. Боллометрическая звездная величина и поправка к ней, показатель цвета. Фотометрические методы определения расстояний до небесных тел. Фотометрические системы. Процесс поглощения излучения. Коэффициент поглощения и его зависимость от длины волны излучения, оптическая толщина. Прохождение света через атмосферу Земли. Локационные методы определения расстояний до тел Солнечной системы: радиолокационный, метод лазерной локации.

3.2. Излучение абсолютно черного тела. Законы Планка, Вина, Стефана-Больцмана. Температуры излучения: эффективная, яркостная, цветовая и методы их определения. Кинетическая температура вещества и ее определение по ширине спектральной линии. Понятие спектра. Условия образования непрерывного и эмиссионного спектров.

3.3. Методы определения температур звезд: определение эффективной, яркостной, цветовой температуры. Определение кинетической температуры по ширине спектральной линии. Определение размеров звезд с помощью интерферометра и по светимости.

3.4. Эффект Доплера и его применение в астрономии. Пространственное движение звезд: собственное движение звезд, определение тангенциальной и лучевой скоростей звезды. Определение химического состава небесного тела по спектру, основные трудности. Наиболее распространенные химически элементы. Метод спектрального парал-

лакса в определении расстояний до звезд. *Методы определения периода вращения и напряженности магнитного поля небесных тел.*

3.5. Основные методы определения масс небесных тел: гравиметрический, метод, основанный на III-ем обобщенном законе Кеплера, пертурбативный, методы, основанные на использовании статистических зависимостей $L(\mathcal{M})$, $R(\mathcal{M})$. *Предельная масса звезды (предел Эдингтона)*. Методы определения размеров звезд: по светимости и эффективной температуре, интерферометрический, по покрытию звезд Луной.

3.6. Основные типы телескопов: гамма-телескопы, рентгеновские, ультрафиолетовые, оптические, инфракрасные и радиотелескопы, нейтринные обсерватории и обсерватории гравитационных волн, их основные примеры. Классы оптических телескопов: рефракторы, рефлекторы, катадиоптрические (зеркально-линзовые) телескопы, их наиболее распространенные оптические схемы и типы монтажных, основные преимущества и недостатки. Виды оптических aberrаций. Основные характеристики оптических телескопов: угловое увеличение, масштаб изображения, светосила, относительное отверстие, разрешающая способность, проникающая сила телескопа. Размеры диффракционного изображения. Солнечные телескопы, внеатомный коронограф.

РАЗДЕЛ 4. Физика Солнечной системы

4.1. Основные представители семьи "Солнечная система". Определения и физические различия между типами объектов – центральной звездой, планетами, астероидами, кометами. Классическая и карликовая планета. Классификации планет и малых тел. *Планета Земля (внутреннее строение, атмосфера, магнитосфера)*. *Основные сведения о Луне.*

4.2. Планеты земной группы. Общие свойства и отличительные особенности планет земной группы. Главные особенности природы Меркурия, Венеры и Марса. Общие свойства и отличительные особенности планет-гигантов. Главные особенности природы систем Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун. Общие свойства и отличительные особенности планет-карликов. Двойная планета "Плутон-Харон" и ее спутники. Главные особенности природы Цереры, Эриды, Хаумеи и Макемаке. Исследование данных тел с помощью космических аппаратов.

4.3. Классификация малых тел Солнечной системы. Астероиды, их основные свойства, классификация и статистика исследований. Главный пояс астероидов и основные гипотезы его возникновения, Фаэтон. Пояс Койпера и его структура. Кометы: структура, химический состав, физические свойства. Гипотезы происхождения комет. Облако Оорта. Астероидно-кометная опасность и методы борьбы с ней. Объекты промежуточного класса. Метеороиды, их происхождение и основные типы. Метеоры, болиды и метеориты. Химический состав метеоритов и их отличительные особенности. Исследование малых тел с помощью космических аппаратов.

4.4. Космогония Солнечной системы. *Гипотезы возникновения Земли и Луны*. Гипотезы происхождения Солнечной системы прошлого. Современные представления о

происхождении Солнечной системы. Проблема МКД и ее решение. Основные этапы эволюции Солнечной системы. Гипотеза о Немезиде и Тюхе.

РАЗДЕЛ 5. Физика Солнца и звезд, их эволюция

5.1. Основные сведения о Солнце. Современная модель внутреннего строения Солнца. Основные зоны Солнца: ядро, зона лучистого равновесия, конвективная зона, фотосфера, хромосфера, корона. Солнечный ветер и его основные свойства. Активные образования атмосферы Солнца: факелы, флюкулы, пятна, протуберанцы, вспышки и их связь с магнитным полем Солнца. Цикличность солнечной активности и солнечно-земные связи.

5.2. Определение понятия "звезда". Основные характеристики звезд: светимость, масса, температура, радиус, наблюдаемые интервалы их значений. Статистические зависимости между основными характеристиками звезд. Критерии классификации звезд по спектрам и трудности на практике. Гарвардская и современная спектральная классификация звезд. Диаграмма Герцшпрунга-Рассела. Классификация звезд по светимости. Эдингтонов предел и проблема сверхмассивных звезд.

5.3. Уравнения гидростатического равновесия и массы звезды. Точность предположения о гидростатическом равновесии. Точность предположения о сферической симметрии звезд. Минимальное значение давления в центре звезды. Теорема вириала. Минимальная средняя температура звезды. Политропные модели звезд. Уравнение теплового баланса. *Уравнения переноса излучения и их простейшие решения.* Механизмы теплопередачи в теле звезд. Уравнения для градиента температуры в случае лучистого и конвективного (адиабатического) переноса энергии. Методы расчета моделей звезд. Примеры моделей звезд различных типов.

5.4. Гипотезы возможных источников энергии Солнца. Гравитационное сжатие как источник энергии. Оценка характерного времени сжатия звезды. Термоядерные реакции. Оценка времени горения ядра Солнца и времени жизни звезды. Регистрация нейтрино как свидетельство протекания термоядерных реакций в недрах звезд. Проблема солнечного нейтрино и его решение.

5.5. Понятие о гравитационной неустойчивости. Длина волны и масса Джинса. Основные зоны звездообразования. Стадии формирования звезд. Протозвезды, молодые звезды, их наблюдаемые особенности. Эволюционный смысл диаграммы Герцшпрунга-Рассела. Продолжительность жизни звезды на главной последовательности. Эволюция звезд с массой $M_* \leq 2.5 \cdot M_\odot$ после ухода с главной последовательности. Образование планетарной туманности. Эволюция звезд с массой от $2.5 \cdot M_\odot < M_* < 8 \cdot M_\odot$. Сверхновые типа Ia. Эволюция звезд с массой $M_* \leq 8 \cdot M_\odot$. Потеря массы на стадии гиганта.

5.6. Конечные стадии эволюции звезды: белые карлики и нейтронные звезды, черные дыры. Природа белых карликов: их массы, светимости, радиусы, эффективные температуры, модели внутреннего строения. Предел Чандрасекара. Нейтронные звезды:

нейтронизация вещества, основные физические свойства, модель внутреннего строения. Их наблюдательные свойства. Пульсары и их основные особенности. Гравитационный радиус черной дыры. Значения масс черных дыр. Методы косвенного детектирования черных дыр. Испарение черных дыр.

РАЗДЕЛ 6. Двойные и нестационарные звезды

6.1. Оптически и физически двойные звезды (ФДЗ). Классы ФДЗ: визуально-двойные, затменно-переменные, спектрально-двойные звезды. Кривая блеска затменно-переменной звезды и определение основных характеристик звезд и их орбит. Определение масс компонент в двойной системе. Тесные двойные системы. Аккреция вещества на компактную звезду. Рентгеновские источники излучения. Тройные и кратные звездные системы: основные примеры, особенности, устойчивость.

6.2. Природа переменных звезд. Понятие переменной звезды. Классификация переменных звезд. Физически переменные звезды (ФПЗ): кривая блеска и ее основные свойства, классификация ФПЗ. Цефеиды. Возможные кривые блеска и механизм пульсаций. Определение расстояний по цефеидам.

6.3. Физика эруптивных звезд. Новые звезды: наблюдаемые свойства, причина вспышек. Сверхновые звезды, типы сверхновых и возможные причины вспышек. Гиперновые звезды. Остатки сверхновых и их наблюдения. Пульсары и черные дыры.

РАЗДЕЛ 7. Галактика «Млечный путь»

7.1. Общие представления о Галактике. Основные свойства Галактики: масса, светимость, численность звезд и др. Строение, масштабы и основные подсистемы Галактики, их населения. Спиральная структура Галактики. Дифференциальный характер вращения Галактики. Пространственное движение Солнца и звезд. Определение массы спиральной галактики. Пространственное движение Галактики.

7.2. Звездные скопления: шаровые и рассеянные, их основные свойства. Пространственное распределение скоплений. Оценка возрастов скоплений. Диаграмма "цвет-светимость" для звезд скоплений. Движение звезд скопления. *Метод "группового параллакса"* в определении расстояния до скопления. Распределение газа и пыли в теле галактики. Диффузные, пылевые и эмиссионные туманности. *Метод Шкловского определения расстояния до туманности.* Магнитное поле Галактики и космические лучи. Центр Галактики, Стрелец А. Микрокварзары.

РАЗДЕЛ 8. Межзвездная среда

8.1. Основные составляющие межзвездной среды. Наблюдаемые свидетельства существования межзвездного газа, пыли и магнитных полей. Физические свойства и химический состав межзвездного газа. Двухкомпонентная модель Спитцера. Типы газовых облаков и их основные характеристики. Процессы ионизации и рекомбинации атомов и молекул газа. Зоны II и III, "корональный" газ, молекулярные облака. Спектры этих областей, механизмы излучения. Гравитационная конденсация и проблема образования звезд и галактик.

8.2. Основные источники межзвездной пыли. Модели частиц пыли: модель ледяной частицы, модель MRN, модель оксидных пылинок. Основные свойства межпланетной пыли. Критический радиус частицы (R_c). Судьба частиц с $R < R_c$ и $R > R_c$. Эффект Пойтинга-Робертсона. Поглощение и рассеяние света и его учет с использованием фотометрических данных, избыток цвета. Явление покраснения звезд. Закон межзвездного поглощения в оптическом и инфракрасном диапазонах. Поляризация излучения и форма частиц. Температура частиц и ее определение, наивероятнейшая длина волны.

8.3. Наблюдаемые проявления межзвездного магнитного поля в оптическом и радиодиапазонах. Представление о "вмороженности" магнитного поля в газ. Основные свойства магнитного поля. Природа космических лучей: основные свойства, источники, механизмы ускорения. Релятивистские струи вещества и частиц гиперновых и черных дыр.

РАЗДЕЛ 9. Природа галактик

9.1. Морфологические типы и наблюдательные характеристики галактик. Связь между типами галактик, их звездным населением и другими физическими характеристиками. Светимости, массы и размеры галактик. Определение расстояний до галактик и их размеров. Вращение галактик. Красное смещение. Скопления галактик. Звезды и газ в галактиках. Проблема скрытой массы.

9.2. Пиккулярные галактики. Взаимодействующие галактики. Наблюдаемые проявления активности ядер галактик. Сверхмассивные черные дыры. Основные свойства радиогалактик, сейфертовских галактик и квазаров. Оценка размеров и светимости квазаров. Скопления и сверхскопления галактик, Метагалактика. Возникновение и эволюция галактик.

РАЗДЕЛ 10. Основы космологии

10.1. Крупномасштабная структура Вселенной. Космологический принцип. Ускоренное расширение Вселенной, как наблюдательный факт. Проблема темной энергии и холодной темной материи, косвенные и прямые доказательства их существования. Современный баланс энергий во Вселенной. Закон Хаббла, постоянная Хаббла, хаббловский возраст и радиус Вселенной.

10.2. Различные модели Вселенной. Модель большого взрыва. Реликтовое излучение. Критическая плотность. Представление о дозвездной стадии эволюции Вселенной. Основные этапы эволюции Вселенной. Теория инфляционной Вселенной. Гипотезы будущего нашей Вселенной. Поиск разумной жизни во Вселенной. Формула Дрейка.

Литература

I. Основная (теория)

1. Кононович Э.В., Мороз В.И. Общий курс астрономии. М.: УРСС. – 2004. – 544с.
2. Засов А.В., Постнов К.А. Общая астрофизика. – Фрязино. – 2006. – 496с.

3. Бакулин П.И., Кононович Э.В., Мороз И.И. Курс общей астрономии: Учебное пособие для вузов. – М.: Наука. – 1983 г. – 560 с.
4. Дагаев М.М., Демин В.Г., Климишин И.А., Чаругин В.М. Астрономия. – М. : Просвещение. – 1983. – 384 с.
5. Мартынов Д.Я. Курс общей астрофизики. – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы. – 1988. – 640с.
6. Курс астрофизики и звездной астрономии (под ред. А. А. Михайлова). – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы. – 1973.– т.1. – 608с.

II. Основная (сборники задач и лабораторных работ)

7. Филиппов Ю.П. Сборник задач по общей астрономии для школьников и студентов. – Самара: изд-во "СДДЮТ". – 2014. – 150с.
8. Воробьева Э.Н., Филиппов Ю.П. Лабораторный практикум по астрофизике. – Самара: Самарский университет. – 2009. – 134с.
9. Филиппов Ю.П. Лабораторный практикум по астрономии – Самара: изд-во "СДДЮТ". – 2013. – 128с.

III. Дополнительная (теория)

10. Климишин И.А. Астрономия наших дней. – М.: Наука. – 1986. – 560 с.
11. Соболев В.В. Курс теоретической астрофизики. – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы. – 1985. – 504 с.
12. Астрономия: век XXI / Ред. сост. Сурдин В.Г. – Фрязино: «Век-2». – 2007. – 608с.
13. Маров М.Я. Планеты Солнечной системы. – М.: Наука. – 1981. – 256с.
14. Дубошин Г.Н. Небесная механика. Основные задачи и методы. – М.: Наука. – 1968. – 800с.
15. Куликовский П.Г. Справочник любителя астрономии. – М.: изд-во УРСС. – 2002. – 688с.
16. Шкловский И.С. Звезды: их рождение, жизнь и смерть. – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы. – 1984. – 384с.
17. Сурдин В. Г. Рождение звезд. – М.: Едиториал УРСС. – 2001. – 264с.
18. Сурдин В. Г. Астрономические задачи с решениями. – М.: Едиториал УРСС. – 2012. – 240с.
19. Сурдин В. Г. (ред.-сост.) Небо и телескоп. – М.: Физматлит. – 2008. – 424с.
20. Сурдин В. Г. (ред.-сост.) Солнечная система. – М.: Физматлит. – 2008. – 400с.

21. Сурдин В. Г. (ред.-сост.) Звезды. – М.: Физматлит. – 2008. – 428с.
22. Сурдин В. Г. Разведка далеких планет. – М.: Физматлит. – 2011. – 352с.
23. Сурдин В. Г. Вселенная от А до Я. – М.: Эксмо. – 2012. – 480с.
24. Зельдович Я.Б., Блинников С.И., Шакура Н.И. Физические основы строения и эволюции звезд. – М.: МГУ. – 1981. – 150с.
25. Зельдович Я.Б., Новиков И.Д. Теория тяготения и эволюции звезд. – М.: Наука. – 1971. – 484с.
26. Черепашук А.М., Чернин А.Д. Вселенная, жизнь, черные дыры. – Фрязино: Век 2. – 2004. – 320с.
27. Рубин С.Г. Устройство нашей Вселенной. – Фрязино: Век 2. – 2006. – 312с.
28. Хван М.П. Неистовая Вселенная: от Большого взрыва до ускоренного расширения, от кварков до суперструн. – М.: Ленанд. – 2006. – 408с.

IV. Дополнительная (задачи и лабораторные работы)

29. Филиппов Ю.П. Задачи заочной олимпиады Самарской областной летней астрономической школы. 2011-2013: учебное пособие. – Самара: изд-во "СДДЮТ". – 2013. – 144с.
30. Воронцов-Вельяминов Б.А. Сборник задач и практических упражнений по астрономии. М.: Наука. – 1987. – 284с.
31. Романов А.М. Занимательные вопросы по астрономии и не только. – М.: МЦНМО. – 2005. – 415с.
32. Небесная сфера. Системы небесных координат. Методические разработки для студентов 4 курса физического факультета. – Самара. – СамГУ. – 1991.
33. Методы астрофизических исследований. Методические указания для студентов 4-го курса физического факультета. – Самара. – СамГУ. – 1997.
34. Системы счета времени. Методические указания для студентов физического факультета 4 курса. Самара. – СамГУ. – 1995.

Программу составил к.ф.-м.н.,
старший преподаватель кафедры ОТФ
СамГУ

_____ Филиппов Ю.П.