

КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

"УТВЕРЖДАЮ"

Проректор по учебной работе

_____ В.С.Бухмин

ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

ОБЩАЯ АСТРОМЕТРИЯ

Цикл - СД.5

Специальность: 010900 - Астрономия

Принята на заседании кафедры астрономии и космической геодезии
(протокол № 1 от " 2 " сентября 2008 г.)

Заведующий кафедрой
_____ (Н.А.Сахибуллин)

Утверждена Учебно-методической комиссией физического факультета КГУ
(протокол № 4 от " 21 " сентября 2009 г.)

Председатель комиссии
_____ (Д.А.Таюрский)

Рабочая программа дисциплины **ОБЩАЯ АСТРОМЕТРИЯ**

Предназначена для студентов 2 курса,
по специальности: Астрономия - 010900

АВТОР: доцент **Бикмаев И.Ф.**

КРАТКАЯ АННОТАЦИЯ: Цель курса – дать понимание методов измерений угловых расстояний на небесной сфере, наиболее точных измерений координат светил; методов определения звездного времени; показать способы измерения изменений координат на небесной сфере из-за эффектов прецессия, нутации, собственного движения, абберации, параллакса, рефракции; показать методы построения инерциальной системы координат на небесной сфере.

1. Требования к уровню подготовки студента, завершившего изучение дисциплины ОБЩАЯ АСТРОМЕТРИЯ

Студенты, завершившие изучение данной дисциплины должны:

- понимать основы построения инерциальной системы на небесной сфере и различные практические подходы для решения этой задачи;
- знать практические методы определения координат на небесной сфере абсолютными и относительными методами;
- знать основные методы учета эффектов, изменяющих координаты светил на небесной сфере.

2. Объем дисциплины и виды учебной работы (в часах).

Форма обучения - очная

Количество семестров 1

Форма контроля: 4 семестр - зачет

| № п/п | Виды учебных занятий | Количество часов | |
|-------|--|------------------|-----------|
| | | 3 семестр | 4 семестр |
| 1. | Всего часов по дисциплине | | 108 |
| 2. | Самостоятельная работа | | 40 |
| 3. | Аудиторных занятий | | 68 |
| | в том числе лекций | | 68 |
| | семинарских (или лабораторно-практических) | | |

3. Содержание дисциплины.

3.1. ТРЕБОВАНИЯ ГОСУДАРСТВЕННОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО СТАНДАРТА К ОБЯЗАТЕЛЬНОМУ МИНИМУМУ СОДЕРЖАНИЯ ПРОГРАММЫ

| Индекс | Наименование дисциплины и ее основные разделы | Всего часов |
|--------|--|-------------|
| СД.5 | АСТРОМЕТРИЯ Системы координат в астрономии и связи между ними, суточное движение небесных светил, измерение времени в астрономии, звездные, истинные, солнечные и средние солнечные сутки, системы Всемирного времени, эфемеридное и атомное время, динамические системы измерения времени; связи между различными системами времени; изменения координат звезд под влиянием рефракции, параллакса, абберации, нутации, прецессии и собственных движений звезд; редуцированные вычисления; эфемеридная проблема в астрономии; теория методов геодезической астрономии; приборное обеспечение в геодезической астрономии; точные методы определения астрономических широт, долгот и азимутов направлений; методы точного определения геодезических азимутов и составляющих уклонов отвесных линий по наблюдениям светил; приближенные методы определения широт, долгот и азимутов; редукции астрономических наблюдений; использование астрономических данных при решении геодезических задач; современные задачи геодезической астрономии; авиационная и мореходная астрономия; методы астрономической ориентировки в космическом полете. | 108 |

3.2. СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ

| № п/п | Название темы и ее содержание | Количество часов | |
|-------|---|------------------|-----------------------------------|
| | | лекции | семинарские (лаб.-практ.) занятия |
| 1 | Предмет и задачи астрометрии, связь с другими разделами астрономии. Влияние современных достижений астрометрии на развитие смежных разделов науки - астрофизики и геофизики. | 4 | |

| | | | |
|---|--|---|--|
| 2 | <p>Установление пространственно-временной системы координат - фундаментальная проблема астрометрии. Эклиптическая система координат - основа первых реализаций систем координат на небесной сфере.</p> <p>Экваториальная система координат - основа современных реализаций системы координат наземными оптическими методами.</p> | 4 | |
| 3 | <p>Системы счета времени (местное, поясное, всемирное, декретное).</p> <p>Приборы для хранения времени - маятниковые часы, кварцевые часы, атомные часы. Проблемы стабильности хода часов.</p> | 4 | |
| 4 | <p>Определения времени с помощью астрономических наблюдений:</p> <p>оптические инструменты и методы (визуальные, фотографические, фотоэлектрические) наблюдения, применение радиointерферометров, лазерная локация Луны и ИСЗ.</p> | 4 | |
| 5 | <p>Сравнение астрономического и атомного времени, обнаружение и исследование неравномерностей вращения Земли вокруг своей оси.</p> <p>Международная и национальные службы точного времени.</p> <p>Передача точного времени в системе глобального спутникового позиционирования (GPS).</p> | 4 | |
| 6 | <p>Физические основы и методы определения положений небесных тел.</p> <p>Факторы, определяющие точность наблюдений.</p> <p>Классические абсолютные методы: теория меридианного круга, современные меридианные инструменты.</p> | 2 | |
| 7 | <p>Классические относительные методы: визуальные наблюдения, фотографические наблюдения, методы редуций координат в фотографической астрометрии, координатно-измерительные машины, "стеклянные библиотеки" - архивы фотографических наблюдений.</p> <p>Проблема автоматизации измерений и редуций, наблюдения с ПЗС-матрицами.</p> | 4 | |

| | | | |
|----|--|---|--|
| 8 | Современные относительные методы и космические астрометрические эксперименты: а) наблюдения на орбитальных обсерваториях (астрометрическая система Космического телескопа им.Хаббла); система регистрации координат спутника HIPPARCOS; б) оптические интерферометры и метод спекл-интерферометрии; в) определение координат светил в нетрадиционных спектральных диапазонах, способы измерений в рентгеновском диапазоне | 4 | |
| 9 | Метод радиоинтерферометрии со сверхдлинной базой – основа для построения инерциальной системы координат. Проблема связи оптической и радиоастрометрической систем координат. Космические радио и оптические интерферометры - основа для определения координат звезд с наивысшей точностью в астрометрии. Проблема рефракции в наземной астрометрии и ее учет. | 4 | |
| 10 | Направление и абсолютная величина вектора угловой скорости вращения Земли и ее влияние на пространственно-временные системы отсчета. Основы теории вращения Земли, параметры вращения и ориентации Земли. Прецессия и нутация, их влияние и учет. Орбитальное движение Земли. | 6 | |
| 11 | Астрометрические каталоги как способы реализации пространственных систем координат и их ошибки Геометрические реализации: каталоги звезд до эпохи открытия собственных движений, современные каталоги внегалактических радиоисточников. | 6 | |
| 12 | Кинематические реализации: определения параллаксов и собственных движений звезд, принцип формирования фундаментального каталога звезд, современный каталог FK5 и его расширения, каталог звезд проекта HIPPARCOS | 6 | |
| 13 | Понятие о динамических реализациях пространственно-временных систем координат: шкалы времени UT и ET и теории движения тел Солнечной системы, шкалы времени TDB и TDT и релятивистские теории движения тел Солнечной системы. | 4 | |

| | | | |
|----|--|-----------|--|
| 14 | Проблема астрономических постоянных. Значение и классификация астрономических постоянных. Методы определения астрономических постоянных. Система фундаментальных астрономических постоянных 1976 года и дополнения к ней. | 8 | |
| 15 | Нерешенные задачи астрометрии. Определение фигуры Земли. Вековое движение полюса, дрейф континентов. Обнаружение планетных систем. Определение диаметров звезд. Пульсары как новый астрономический эталон времени. Распределение звезд в Галактике и их кинематические движения, вращение Галактики, проблема скрытой массы. Астрометрические проекты будущих орбитальных обсерваторий, измерение собственных движений внегалактических объектов. | 4 | |
| | Итого: | 68 | |

СОДЕРЖАНИЕ ЛЕКЦИЙ, САМОСТОЯТЕЛЬНЫХ ЗАНЯТИЙ И КОЛЛОКВИУМОВ

Тема 1. Лекция 1.

Предмет и задачи астрометрии, связь с другими разделами астрономии. Триединая задача астрометрии – “точно, много, быстро” - определение наиболее точных координат наибольшего количества небесных тел за наиболее короткие сроки. Соотношения между точностями, количеством и промежутками времени для решения триединой задачи. Астрометрические наблюдения тел Солнечной системы с целью навигации космических аппаратов для близких пролетов и посадки на поверхность астероидов, комет, спутников планет. Астрометрические наблюдения звезд нашей Галактики для определения собственных движений и кинематики звезд, принадлежащих различным подсистемам Галактики.

Тема 1. Лекция 2.

Влияние современных достижений астрометрии на развитие смежных разделов науки - астрофизики и геофизики. Астрометрические наблюдения квазаров (наиболее удаленных от нас объектов Вселенной), галактик с активными ядрами, тесных двойных звездных систем с компактными источниками (белыми карликами, пульсарами, черными дырами) с целью оптического отождествления источников жесткого рентгеновского излучения, обнаруживаемых космическими орбитальными обсерваториями.

Тема 2. Лекция 3.

Установление пространственно-временной системы координат - фундаментальная проблема астрометрии. Эклиптическая система координат - основа первых реализаций систем координат на небесной сфере. Исторический экскурс в методы астрометрии до эпохи появления оптических телескопов. Астрометрические каталоги до 17 века (Китайские, греческие - Гиппарх, Среднеазиатские – Улугбек, Бируни, европейские - Тихо Браге, и др.)

Тема 2. Лекция 4.

Экваториальная система координат - основа современных реализаций системы координат наземными оптическими методами. Причины отказа от эклиптической системы координат и перехода к экваториальной системе координат в конце 17 века. Оптические телескопы как визирные приспособления для фиксирования направления на небесные светила. Внедрение меридианного принципа наблюдений для определения координат светил наиболее точными - абсолютными – методами.

Тема 3. Лекция 5.

Системы счета времени (местное, поясное, всемирное, декретное). Вращение Земли вокруг своей оси как основной природный ритм для счета времени. Местное звездное и местное солнечное время. Поясное время, теоретические и реальные границы часовых поясов. Всемирное время гринвичского меридиана. Связь между местным, поясным и всемирным временами. Декретное время на территории России. Переходы на летнее и зимнее время в Европейских странах и России. Особенности счета времени в Татарстане (отсутствие декретного часа, использование “московского времени”). Учет летнего времени при фиксации моментов астрономических наблюдений.

Тема 3. Лекция 6.

Приборы для хранения времени - маятниковые часы, кварцевые часы, атомные часы. Проблемы стабильности хода часов. Маятниковые часы – основные приборы для регистрации моментов астрономических наблюдений в 17 – 19 веках. Астрономические маятниковые часы Шорта и Федченко, стабильность их хода. Кварцевые часы, принцип действия, старение кварца и стабильность хода кварцевых часов. Атомные часы и атомные стандарты частоты – основные приборы для регистрации моментов астрономических наблюдений в 21 веке. Хранение и передача времени в космических навигационных системах GPS и ГЛОНАСС.

Тема 4. Лекция 7.

Определения времени с помощью астрономических наблюдений: оптические инструменты и методы (визуальные, фотографические, фотоэлектрические) наблюдения. Пассажные инструменты для визуальных наблюдений в 19 веке. Фотоэлектрические наблюдения с пассажными инструментами в 20 веке. Фотографическая зенитная труба, ее достоинства и недостатки. Погрешности определения времени разными методами.

Тема 4. Лекция 8.

Применение радиоинтерферометров, лазерная локация Луны и ИСЗ для определения времени. Принцип определения времени с помощью длиннобазового радиоинтерферометра. Использование уголкового отражателей, установленных на поверхности Луны и искусственных спутниках Земли для лазерной локации в задаче определения точного времени.

Тема 5. Лекция 9.

Сравнение астрономического и атомного времени, обнаружение и исследование неравномерностей вращения Земли вокруг своей оси. Сезонная неравномерность вращения Земли, вековые составляющие. Колебания полюса и их вклад в ошибку определения времени. Модели внутреннего строения Земли, приливное воздействие Луны на неравномерности вращения Земли.

Тема 5. Лекция 10.

Международная и национальные службы точного времени. Передача точного времени в системе глобального спутникового позиционирования (GPS). Исторические методы передачи точного времени с помощью радиосигналов. Современные способы передачи точного времени с помощью ИНТЕРНЕТ и космических навигационных систем.

Тема 6. Лекция 11.

Классические абсолютные методы: теория меридианного круга, современные меридианные инструменты. Соотношение между звездным временем и прямым восхождением светила. Погрешности меридианного инструмента – коллимация визирной линии, наклонность и азимут инструмента. Формула Майера для учета погрешностей измерений прямого восхождения светила. Учет изменения широты места наблюдений при определении склонения светил. Горизонтальный меридианный круг Пулковской обсерватории. Современные автоматические меридианные инструменты. Привязка системы оптических координат звезд к радиоастрономической системе координат далеких источников - квазаров.

Тема 7. Лекция 12.

Классические относительные методы: визуальные наблюдения, фотографические наблюдения, фотоэлектрические наблюдения с ПЗС-матрицами, методы редукций координат в фотографической астрометрии. Система опорных звезд. Проекция небесной сферы на плоскость изображения (фотопластинку). Идеальная система координат. Уравнения связи между экваториальной, идеальной и измеренной системами координат. Метод 6 постоянных. Уравнение блеска и уравнения цвета. Метод 8 и 12 постоянных. Массовые определения координат звезд относительным методом.

Тема 7. Лекция 13.

Координатно-измерительные машины, "стеклянные библиотеки" - архивы фотографических наблюдений.

Принципиальное устройство координатно-измерительных машин для редукиции фотографических наблюдений. Источники погрешности измерений координатно-измерительных машин. Проблема массовых обмеров фотографических пластинок. Автоматизированные комплексы для массовых измерений координат звезд на фотопластинках. Преимущества и недостатки редукиции наблюдений с использованием ПЗС-матриц.

Тема 8. Лекция 14.

Современные относительные методы и космические астрометрические эксперименты: наблюдения на орбитальных обсерваториях (астрометрическая система Космического телескопа им.Хаббла); система регистрации координат спутника HIPPARCOS. Принцип определения высокоточных относительных координат объектов в малом поле зрения космического телескопа им. Хаббла. Призма Кестнера. Метод сканирования неба в системе спутника Гиппаркос и измерения углов между светилами. Источники погрешности в регистрации моментов прохождения светил через просветы прозрачной дифракционной решетки. Точности определения относительных координат звезд космическими телескопами. Массовые высокоточные определения координат спутником Гиппаркос.

Тема 8. Лекция 15.

Определение относительных координат в методе спекл-интерферометрии.

Определение координат светил в нетрадиционных спектральных диапазонах, способы измерений координат в рентгеновском диапазоне. Корреляционные функции для выявления двойственности звездных изображений в методе спекл-интерферометрии. Определение элементов орбит и масс звезд в двойных системах по изменению относительных координат на шкале времени в несколько лет. Специфика определения координат рентгеновских источников с помощью системы регистрации орбитальных обсерваторий.

Тема 9. Лекция 16.

Метод радиоинтерферометрии со сверхдлинной базой – основа для построения инерциальной системы координат. Наземные радио и оптические интерферометры. Проблема связи оптической и радиоастрометрической систем координат.

Космические радио и оптические интерферометры - основа для определения координат звезд с наивысшей точностью в астрометрии на микросекундном уровне.

Тема 9. Лекция 17.

Проблема рефракции в наземной астрометрии и ее учет. 4 слоя над поверхностью Земли и способы учета отклонений хода оптических лучей при прохождении через эти слои. Зальная (аномальная) рефракция в подкупольном

пространстве телескопа. Приземный слой высотой 50 метров и источники искусственной (дополнительной) турбулентности атмосферы в приземном слое. Зона основных (естественных) турбулентных движений на высотах 50-500 метров. Зона устойчивых атмосферных параметров на высотах более 500 метров. Использование аэростатов и воздушных шаров для фиксации локальных метеопараметров в зоне расположения обсерватории.

Тема 10. Лекция 18.

Направление и абсолютная величина вектора угловой скорости вращения Земли и ее влияние на пространственно-временные системы отсчета. Общие уравнения движения абсолютно твердого тела. Уравнения Пуассона. Вращательные движения экваториальной системы координат.

Тема 10. Лекция 19.

Основы теории вращения Земли, параметры вращения и ориентации Земли. Кинематическая картина вращения Земли. Движение оси фигуры относительно оси вращения и мгновенная угловая скорость абсолютно твердой Земли. Свободные и вынужденные колебания Земли. Особенности движения Луны.

Тема 10. Лекция 20.

Прецессия и нутация, их влияние и учет. Орбитальное движение Земли. Физические причины возникновения лунно-солнечной прецессии и прецессии от планет. Величина и формулы изменения координат светил из-за прецессионного смещения координатной сетки. Причина нутационных колебаний оси вращения Земли. Долгопериодические и короткопериодические составляющие нутации и их учет. Движение Земли в системе “Земля - Луна”. Местоположение центра системы “Земля - Луна” в теле Земли.

Тема 11. Лекция 21.

Астрометрические каталоги как способы реализации пространственных систем координат и их ошибки. Каталоги как реализация инерциальной системы. Эпоха каталога. Равноденствие 2000.0 года. Фиксирование положений линии небесного экватора и точки весеннего равноденствия. Переход от наблюдаемых систем координат к инерциальной через фундаментальные каталоги. Случайные и систематические ошибки каталогов и их источники.

Тема 11. Лекция 22.

Геометрические реализации каталогов: каталоги звезд до эпохи открытия собственных движений. Каталог эклиптических долгот и широт Гиппарха (2 век до н.э.). Каталог “Альмагест” Птолемея (2 век н.э.). Исправление положений звезд за эффект лунно-солнечной прецессии. Каталоги Албатения и Аль-Сухи (10 век), Толедские таблицы (11 век), Таблицы Альфонса (13 век). Каталоги Улугбека (15 век) и Тихо Браге (17 век). Каталоги европейских обсерваторий 17-18 веков по измерениям положений в экваториальной системе координат.

Тема 11. Лекция 23.

Современные каталоги внегалактических радиоисточников. Определение инерциальной системы отсчета через наиболее точные положения 600 радиоисточников – квазаров, путем наблюдений их методом радиоинтерферометрии со сверхдлинной базой (РСДБ). Привязка всех других каталогов к положениям квазаров.

Тема 12. Лекция 24.

Кинематические реализации при создании каталогов путем учета параллаксов и собственных движений звезд. Методика и точности определения значений параллаксов и собственных движений по наземным и космическим наблюдениям.

Тема 12. Лекция 25.

Принцип формирования фундаментального каталога звезд. Учет и исправление погрешностей исходных каталогов. Фундаментальные каталоги FC, NFC, FK3, FK4. Современный каталог FK5 и его расширения.

Тема 12. Лекция 26.

Каталог звезд проекта HIPPARCOS. Привязка каталога к системе 600 радиоисточников. Общее число звезд в космическом каталоге Гиппаркос, точность определения положений, собственных движений и параллаксов. Использование данных каталога Гиппаркос для решения астрофизических задач. Каталог Гиппаркос – реализация инерциальной системы координат в оптическом диапазоне.

Тема 13. Лекция 27.

Понятие о динамических реализациях пространственно-временных систем координат: шкалы времени UT и ET и теория движения тел Солнечной системы. Точности расчета эфемеридных положений. Неопределенность в распределении массы малых тел Солнечной системы как источник ограничения точности эфемерид.

Тема 13. Лекция 28.

Шкалы времени TDB и TDT и релятивистские теории движения тел Солнечной системы. Учет релятивистских эффектов при расчете траекторий космических аппаратов для сближений, пролетов и посадки на тела Солнечной системы.

Тема 14. Лекция 29.

Проблема астрономических постоянных. Физические величины, входящие в формулы для описания движений небесных тел. Необходимость определения этих величин из наблюдений или экспериментов. Проблема существования

системы астрономических постоянных без изменений в течение длительного времени.

Тема 14. Лекция 30.

Значение и классификация астрономических постоянных. Фундаментальные астрономические постоянные как стандарт в астрономии. Три группы астрономических постоянных, для определения которых используют геометрический, динамический и кинематический подходы.

Тема 14. Лекция 31.

Методы определения астрономических постоянных. Наземные и космические методы, радиолокация Луны и планет. Методы определения и хранения времени.

Тема 14. Лекция 32.

Система фундаментальных астрономических постоянных 1976 года и дополнения к ней. Гауссова гравитационная постоянная – определяющая постоянная. Основные постоянные – скорость света, экваториальный радиус Земли, динамический коэффициент сжатия Земли, постоянная тяготения, отношения масс Луны и Земли, общая прецессия в долготе, наклон эклиптики к экватору и др. Выводимые постоянные – астрономическая единица, параллакс Солнца, постоянная абберации, гелиоцентрическая гравитационная постоянная, отношение масс Солнца и Земли, и др.

Тема 15. Лекция 33.

Нерешенные задачи астрометрии. Определение фигуры Земли. Вековое движение полюса, дрейф континентов. Обнаружение планетных систем. Определение диаметров звезд.

Тема 15. Лекция 34.

Пульсары как новый астрономический эталон времени.

Распределение звезд в Галактике и их кинематические движения, вращение Галактики, проблема скрытой массы.

Астрометрические проекты будущих орбитальных обсерваторий, измерение собственных движений внегалактических объектов.

Самостоятельная работа студентов

Самостоятельное занятие 1.

Эклиптическая система координат - основа первых реализаций систем координат на небесной сфере. Исторический экскурс в методы астрометрии до эпохи появления оптических телескопов.

Самостоятельное занятие 2.

Экваториальная система координат - основа современных реализаций системы координат наземными оптическими методами. Причины отказа от эклиптической системы координат и перехода к экваториальной системе координат в конце 17 века.

Самостоятельное занятие 3.

Системы счета времени (местное, поясное, всемирное, декретное). Вращение Земли вокруг своей оси как основной природный ритм для счета времени. Местное звездное и местное солнечное время. Поясное время, теоретические и реальные границы часовых поясов. Всемирное время гринвичского меридиана. Связь между местным, поясным и всемирным временами.

Самостоятельное занятие 4.

Приборы для хранения времени - маятниковые часы, кварцевые часы, атомные часы. Проблемы стабильности хода часов. Маятниковые часы – основные приборы для регистрации моментов астрономических наблюдений в 17 – 19 веках.

Самостоятельное занятие 5.

Кварцевые часы, принцип действия, старение кварца и стабильность хода кварцевых часов. Атомные часы и атомные стандарты частоты – основные приборы для регистрации моментов астрономических наблюдений в 21 веке.

Самостоятельное занятие 6.

Определения времени с помощью астрономических наблюдений: оптические инструменты и методы (визуальные, фотографические, фотоэлектрические) наблюдения. Пассажные инструменты для визуальных наблюдений в 19 веке. Фотоэлектрические наблюдения с пассажными инструментами в 20 веке. Фотографическая зенитная труба, ее достоинства и недостатки. Погрешности определения времени разными методами.

Самостоятельное занятие 7.

Сравнение астрономического и атомного времени, обнаружение и исследование неравномерностей вращения Земли вокруг своей оси. Сезонная неравномерность вращения Земли, вековые составляющие. Колебания полюса и их вклад в ошибку определения времени. Модели внутреннего строения Земли, приливное воздействие Луны на неравномерности вращения Земли.

Самостоятельное занятие 8.

Классические абсолютные методы: теория меридианного круга, современные меридианные инструменты. Соотношение между звездным временем и прямым восхождением светила. Погрешности меридианного инструмента – коллимация визирной линии, наклонность и азимут инструмента. Формула Майера для учета погрешностей измерений прямого восхождения светила.

Самостоятельное занятие 9.

Классические относительные методы: визуальные наблюдения, фотографические наблюдения, фотоэлектрические наблюдения с ПЗС-матрицами, методы редукции координат в фотографической астрометрии. Система опорных звезд. Проекция небесной сферы на плоскость изображения (фотопластинку). Идеальная система координат. Уравнения связи между экваториальной, идеальной и измеренной системами координат. Метод 6 постоянных. Уравнение блеска и уравнения цвета. Метод 8 и 12 постоянных. Массовые определения координат звезд относительным методом.

Самостоятельное занятие 10.

Современные относительные методы и космические астрометрические эксперименты: наблюдения на орбитальных обсерваториях (астрометрическая система Космического телескопа им.Хаббла); система регистрации координат спутника HIPPARCOS.

Самостоятельное занятие 11.

Метод радиоинтерферометрии со сверхдлинной базой – основа для построения инерциальной системы координат. Наземные радио и оптические интерферометры. Проблема связи оптической и радиоастрометрической систем координат.

Самостоятельное занятие 12.

Проблема рефракции в наземной астрометрии и ее учет. 4 слоя над поверхностью Земли и способы учета отклонений хода оптических лучей при прохождении через эти слои. Зальная (аномальная) рефракция в подкупольном пространстве телескопа. Приземный слой высотой 50 метров и источники искусственной (дополнительной) турбулентности атмосферы в приземном слое. Зона основных (естественных) турбулентных движений на высотах 50-500 метров. Зона устойчивых атмосферных параметров на высотах более 500 метров.

Самостоятельное занятие 13.

Основы теории вращения Земли, параметры вращения и ориентации Земли. Кинематическая картина вращения Земли. Движение оси фигуры относительно оси вращения и мгновенная угловая скорость абсолютно твердой Земли. Свободные и вынужденные колебания Земли.

Самостоятельное занятие 14.

Прецессия и нутация, их влияние и учет. Орбитальное движение Земли. Физические причины возникновения лунно-солнечной прецессии и прецессии от планет. Величина и формулы изменения координат светил из-за прецессионного смещения координатной сетки. Причина нутационных колебаний оси вращения Земли. Долгопериодические и короткопериодические составляющие нутации и их учет.

Самостоятельное занятие 15.

Принцип формирования фундаментального каталога звезд. Учет и исправление погрешностей исходных каталогов. Фундаментальные каталоги FC, NFC, FK3, FK4. Современный каталог FK5 и его расширения.

Самостоятельное занятие 16.

Каталог звезд проекта HIPPARCOS. Привязка каталога к системе 600 радиоисточников. Общее число звезд в космическом каталоге Гиппаркос, точность определения положений, собственных движений и параллакс. Использование данных каталога Гиппаркос для решения астрофизических задач. Каталог Гиппаркос – реализация инерциальной системы координат в оптическом диапазоне.

Самостоятельное занятие 17.

Значение и классификация астрономических постоянных. Фундаментальные астрономические постоянные как стандарт в астрономии. Три группы

астрономических постоянных, для определения которых используют геометрический, динамический и кинематический подходы.

Самостоятельное занятие 18.

Система фундаментальных астрономических постоянных 1976 года и дополнения к ней. Гауссова гравитационная постоянная – определяющая постоянная. Основные постоянные – скорость света, экваториальный радиус Земли, динамический коэффициент сжатия Земли, постоянная тяготения, отношения масс Луны и Земли, общая прецессия в долготе, наклон эклиптики к экватору и др. Выводимые постоянные – астрономическая единица, параллакс Солнца, постоянная аберрации, гелиоцентрическая гравитационная постоянная, отношение масс Солнца и Земли, и др.

Самостоятельное занятие 19.

Нерешенные задачи астрометрии. Определение фигуры Земли. Вековое движение полюса, дрейф континентов. Обнаружение планетных систем. Определение диаметров звезд.

Самостоятельное занятие 20.

Пульсары как новый астрономический эталон времени.

Распределение звезд в Галактике и их кинематические движения, вращение Галактики, проблема скрытой массы.

Астрометрические проекты будущих орбитальных обсерваторий, измерение собственных движений внегалактических объектов.

Коллоквиум 1.

Время проведения конец марта – начало апреля, коллоквиум проводится по содержанию лекций 1 - 17

Основные вопросы к коллоквиуму 1.

1. Предмет и задачи астрометрии, связь с другими разделами астрономии.
2. Влияние современных достижений астрометрии на развитие смежных разделов науки - астрофизики и геофизики.
3. Эклиптическая система координат - основа первых реализаций систем координат на небесной сфере.
4. Экваториальная система координат - основа современных реализаций системы координат наземными оптическими методами.
5. Системы счета времени (местное, поясное, всемирное, декретное).
6. Приборы для хранения времени - маятниковые часы, кварцевые часы, атомные часы.
7. Определения времени с помощью астрономических наблюдений.
8. Сравнение астрономического и атомного времени, обнаружение и исследование неравномерностей вращения Земли вокруг своей оси.
9. Классические абсолютные методы: теория меридианного круга, современные меридианные инструменты.
10. Классические относительные методы: визуальные наблюдения, фотографические наблюдения, фотоэлектрические наблюдения с ПЗС-матрицами.

11. Методы редукций координат в фотографической астрометрии. Система опорных звезд. Проекция небесной сферы на плоскость изображения (фотопластинку).
12. Современные относительные методы и космические астрометрические эксперименты: наблюдения на орбитальных обсерваториях.
13. Метод радиоинтерферометрии со сверхдлинной базой – основа для построения инерциальной системы координат.
14. Проблема связи оптической и радиоастрометрической систем координат.
15. Проблема рефракции в наземной астрометрии и ее учет.

Коллоквиум 2.

Время проведения конец мая, коллоквиум проводится по содержанию лекций 18 - 34

Основные вопросы к коллоквиуму 2.

16. Общие уравнения движения абсолютно твердого тела. Уравнения Пуассона.
17. Основы теории вращения Земли, параметры вращения и ориентации Земли.
18. Прецессия и нутация, их влияние и учет. Орбитальное движение Земли.
19. Астрометрические каталоги как способы реализации пространственных систем координат и их ошибки. Каталоги как реализация инерциальной системы.
20. Геометрические реализации каталогов: каталоги звезд до эпохи открытия собственных движений.
21. Современные каталоги внегалактических радиоисточников. Определение инерциальной системы отсчета через наиболее точные положения 600 радиоисточников
22. Кинематические реализации при создании каталогов путем учета параллаксов и собственных движений звезд.
23. Принцип формирования фундаментального каталога звезд. Учет и исправление погрешностей исходных каталогов.
24. Каталог звезд проекта HIPPARCOS. Привязка каталога к системе 600 радиоисточников.
25. Понятие о динамических реализациях пространственно-временных систем координат: шкалы времени UT и ET и теория движения тел Солнечной системы.
26. Проблема астрономических постоянных. Физические величины, входящие в формулы для описания движений небесных тел.
27. Три группы астрономических постоянных, для определения которых используют геометрический, динамический и кинематический подходы.
28. Система фундаментальных астрономических постоянных 1976 года и дополнения к ней.
29. Вековое движение полюса, дрейф континентов.
30. Пульсары как новый астрономический эталон времени.

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Ж.Ковалевский “Современная астрометрия”, пер. с англ. Под. ред. В.Е.Жарова, Фрязино, 2004, 478 стр.
2. Н.Г.Ризванов, И.Ф.Бикмаев, Ю.А.Нефедьев “Основные концепции ПЗС и фотографической астрометрии”, Казань, изд-во КГУ, 2005
3. Подобед В.В. Нестеров В.В. “Общая астрометрия”, 1982.
4. Подобед В.В., учебник "Фундаментальная астрометрия", 1968.
5. Маррей К.Э. "Векторная астрометрия", 1986.
6. Нефедьева А.И., Подобед В.В. "Фундаментальная астрометрия", 1989

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Проект HIPPARCOS - описание и каталог в 18 томах, 1997.
2. Ю.А.Нефедьев, А.И.Нефедьева, В.С.Боровских “Космический эксперимент HIPPARCOS”, Казань, УНИПРЕСС, 2002.
3. Положенцев Д.Д. "Новые идеи и методы классической астрометрии", 1985.
4. Положенцев Д.Д. "Радио- и космическая астрометрия", 1982.

БИЛЕТЫ К ЗАЧЕТУ по «ОБЩЕЙ АСТРОМЕТРИИ»

Билет 1

1. Предмет и задачи астрометрии, связь с другими разделами астрономии.
2. Относительные методы определения координат с помощью визуальных наблюдений. Фотографические методы определения относительных координат звезд, координатно-измерительные машины, "стеклянные библиотеки" - архивы фотографических наблюдений. Проблема автоматизации измерений и редуциций.

Билет 2

1. Влияние современных достижений астрометрии на развитие смежных разделов науки - астрофизики и геофизики.
2. Теория мериданного круга и абсолютные методы определения координат звезд. Современные меридианные инструменты.

Билет 3

1. Построение инерциальной системы координат - фундаментальная проблема астрометрии.
2. Значение и классификация астрономических постоянных

Билет 4

1. Эклиптическая система координат - основа первых реализаций систем координат на небесной сфере. Каталоги звезд до 18 века.
2. Метод радиоинтерферометрии со сверхдлинной базой – основа для построения инерциальной системы координат.

Билет 5

1. Экваториальная система координат - основа современных реализаций системы координат наземными оптическими методами.
2. Оптические интерферометры и метод спекл-интерферометрии.

Билет 6

1. Системы счета времени – местное, поясное, UT, декретное.
3. Проблема рефракции в наземной астрометрии и ее учет.

Билет 7

1. Приборы для измерения времени - маятниковые часы, кварцевые часы, атомные часы. Проблемы стабильности хода часов.
2. Определения параллаксов и собственных движений звезд.

Билет 8

1. Оптические инструменты и методы астрономического определения времени.
2. Фундаментальные каталоги звезд.

Билет 9

1. Определение времени по фотографическим наблюдениям, фотоэлектрические наблюдения на пассажном инструменте
2. Каталог звезд проекта HIPPARCOS

Билет 10

1. Сравнение астрономического и атомного времени, обнаружение и исследование неравномерностей вращения Земли вокруг своей оси.
2. Системы фундаментальных астрономических постоянных.

Билет 11

1. Международная и национальные службы точного времени. Передача точного времени в системе глобального спутникового позиционирования (GPS)
2. Наблюдения с современными панорамными приемниками изображений (ПЗС-матрицы) - основа повышения точности массовых наземных определений координат звезд.

Билет 12

1. Астрометрическая система Космического телескопа им.Хаббла,
2. Орбитальное движение Земли.

Билет 13

1. Система регистрации координат спутника HIPPARCOS
2. Прецессия и нутация, их влияние и учет

Билет 14

1. Космические радио и оптические интерферометры - основа для определения координат звезд с наивысшей точностью в астрометрии
2. Параметры вращения и ориентации Земли, международная служба вращения Земли.