

## **Программа спецкурса «Практическая небесная механика» (Н.В.Емельянов)**

### *Тема 1. Предмет практической небесной механики. Основные понятия и особенности.*

Механическая модель. Законы движения и законы взаимодействия. Наблюдения. Измеряемые величины. Определяемые параметры. Точность наблюдений. Время. Введение систем координат. Общая схема построения моделей движения небесных тел на основе наблюдений. Особые свойства необходимых наблюдений

### *Тема 2. Методы построения аналитических теорий движения небесных тел.*

Основной принцип теории возмущений. Применения теории возмущений. Порядок малости. Разложение возмущающей функции, обусловленной несферичностью планеты. Разложение возмущающей функции, обусловленной притяжением внешнего тела. Обобщенная задача двух неподвижных центров. Возмущающие факторы в движении искусственных спутников Земли. Вековые и периодические возмущения. Формулы вековых возмущений углового расстояния перицентра от узла и долготы узла, как явных функций от большой полуоси, эксцентриситета и наклона орбиты. Модель прецессирующего эллипса. Постоянное возмущение большой полуоси орбиты. Возмущения элементов орбит при малых эксцентриситетах. Влияние вязко-упругих приливов в телах планеты и спутника на орбитальное движение. Примеры построенных моделей движения небесных тел. Планетные теории Леверье и Ньюкома. Современные аналитические теории движения планет..

### *Тема 3. Методы численного интегрирования уравнений движения небесных тел.*

Основной принцип одношаговых методов численного интегрирования. Метод ломаных Эйлера. Проблема оценки точности. Зависимость точности от шага интегрирования.. Проблема выбора шага интегрирования. Автоматический выбор шага. Метод Рунге-Кутты. Структура алгоритма применения методов численного интегрирования для построения модели движения небесного тела. Метод и программа Эверхарта. Метод и программа Беликова. Хранение результатов численного интегрирования для вычисления эфемерид. Современные теории движения планет.

### *Тема 4. Позиционные наблюдения небесных тел.*

Способы позиционных наблюдений. Примеры измеряемых величин при наблюдениях небесных тел. Связь измеряемых величин с координатами небесных тел. Системы координат при наблюдениях. Шкалы времени. Наземные наблюдения. Наблюдения с помощью космических аппаратов. Спекл-интерферометрические наблюдения. Лазерные наблюдения ИСЗ. Допплеровские наблюдения ИСЗ. Угломерные наблюдения планет и астероидов. Абсолютные измерения координат спутников планет. - Относительные измерения спутников планет. Радиоинтерферометрия со сверхдлинной базой. Использование каталожных координат звезд. Причины ограничения точности абсолютных и относительных астрометрических наблюдений небесных тел. Базы данных наблюдений.

### *Тема 5. Построение моделей движения небесных тел на основе наблюдений.*

Связь измеряемой величины с координатами небесных тел. Связь координат с параметрами движения. Метод дифференциального уточнения. Составление условных уравнений. Алгоритмы фильтрации. Метод наименьших квадратов. Ковариационная

матрица наблюдений. Ковариационная матрица параметров. Зависимость точности модели от числа наблюдений. Плохая обусловленность. Вычисление изохронных производных. Уточнение массы возмущающего тела из астрометрических наблюдений. Назначение весов условным уравнениям. Отбрасывание грубых наблюдений.

*Тема 6. Извлечение позиционных данных из фотометрии естественных спутников планет во время из взаимных покрытий и затмений.*

Явления взаимных покрытий и затмений спутников планет. Фотометрическая модель явления. Законы рассеяния света на поверхностях небесных тел. Составление уравнений для извлечения позиционных данных из фотометрии спутников во время явлений. Точность получаемых астрометрических данных. Международные кампании наблюдений

*Тема 7. Оценка точности моделей движения небесных тел.*

Оценка точности методом вариации ошибок наблюдений. Оценка точности методом вариации орбитальных параметров. Метод «бутстрап» выборок. Обзор выполненных в мире оценок точности моделей движения далеких спутников больших планет. Открытия и потери спутников.

*Тема 8. Динамические параметры тел Солнечной системы*

Классификация тел Солнечной системы. Расстояния и размеры тел. Номенклатура планет, астероидов и спутников планет. Свойства движения. Возмущающие факторы. Открытие Нептуна. Открытие спутника Плутона Харон.

*Тема 9. Вращение планет и спутников.*

Сжатие небесных тел. Факторы, влияющие на вращение. Вращение естественных спутников. Хаотическое вращение Гипериона. Физическая Либрация Луны.

*Тема 10. Разработка эфемерид небесных тел*

Научные центры в мире, где разрабатываются эфемериды небесных тел: JPL, IMCCE, ИПМ РАН. Массивы используемых наблюдений. Эфемериды астероидов. Способы представления эфемерид.

*Тема 11. Актуальные нерешенные задачи практической небесной механики.*

Препятствия к улучшению точности эфемерид Марса. Проблемы хаотического вращения некоторых малых тел Солнечной системы. Проблемы детектирования диссипации механической энергии орбитального движения и вращения малых тел Солнечной системы.

Связь динамики тел Солнечной системы с планетологией. Проблема эволюции орбит в Солнечной системе. Связь вращательно-поступательного движения Земли с геологией и биосферой.

*Тема 12. Информационные ресурсы практической небесной механики.*

Службы эфемерид планет, астероидов и спутников планет. Система SPICE. Международная служба вращения Земли. Система SOFA. Эфемеридный сервер MULTI-SAT. Международный центр малых планет. Виртуальные обсерватории.