

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

КАФЕДРА НЕБЕСНОЙ МЕХАНИКИ АСТРОМЕТРИИ И ГРАВИМЕТРИИ

УТВЕРЖДАЮ

Декан физического факультета

МГУ

_____/ Н.Н. Сысоев /

«__» _____ 20__ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование дисциплины:

НЕБЕСНАЯ МЕХАНИКА

Уровень высшего образования:

Специалитет

Направление подготовки:

03.05.01 Астрономия

Направленность (профиль) ОПОП:

Общая специальность

Квалификация «Специалист»

Форма обучения: Очная форма обучения

Рабочая программа рассмотрена и одобрена
Ученым советом физического факультета МГУ

(протокол №_____, _____)

Москва 20__

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по специальности 03.05.01 Астрономия.

Год (годы) приема на обучение _____

Авторы–составители:

1. К.ф.-м.н., доцент, Ширмин Геннадий Иванович, кафедра небесной механики астрометрии и гравиметрии физического факультета МГУ

Заведующий кафедрой

Д.ф.-м.н. профессор Жаров Владимир Евгеньевич

Аннотация к рабочей программе дисциплины «Небесная механика»

Курс является одним из базовых общеобразовательных лекционных курсов по специальности “астрономия”. В нем излагаются принципы динамического моделирования движений небесных тел и их систем, а также аналитические и качественные методы классической небесной механики с приложениями к задачам теоретической астрономии. В курсе дается также краткое введение в астродинамику - теорию движения космических аппаратов и искусственных спутников тел Солнечной системы. Данный курс лекций служит цели ознакомления слушателей с теорией движения небесных тел как основой современных средств (и методов) высокоточного прогнозирования движений естественных и искусственных космических объектов на основе астрономических наблюдений.

Курс делится на шесть частей.

Первая часть курса посвящена основаниям небесной механики – трем законам механики и закону всемирного тяготения Ньютона.

Во второй части рассматриваются задача двух тел как основа теории невозмущенного движения небесных тел.

Третья часть курса посвящена возмущенному движению в рамках задачи “N” тел.

Четвертая часть курса посвящена вопросам интегрирования уравнений возмущенного движения и структуре их решения, а также классификации возмущений в элементах орбит небесных тел.

Основы теории задачи трех тел излагаются в пятой части курса.

В шестой части курса дается краткое введение в астродинамику как теорию движения искусственных спутников тел Солнечной системы и межпланетных космических аппаратов.

Разделы рабочей программы

1. Место дисциплины в структуре основной профессиональной образовательной программы высшего образования (ОПОП ВО).
2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия (при наличии)
3. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с формируемыми компетенциями
4. Форма обучения.
5. Язык обучения.
6. Содержание дисциплины.
7. Объем дисциплины
8. Структурированное по темам (разделам) содержание дисциплины (модуля) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий
9. Текущий контроль и промежуточная аттестация.
10. Фонд оценочных средств (ФОС) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю).
11. Шкала оценивания.
12. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости.
13. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации.

14. Материально-техническая база, информационные технологии, программное обеспечение
и информационные справочные системы

1. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО

1. Дисциплина «Небесная механика» реализуется на 3-м курсе в 5-ом и 6-ом семестрах и является составной частью модуля «Астрономия» базовой части. Профессиональный блок.

2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия

Отсутствуют.

3. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с формируемыми компетенциями

В результате освоения дисциплины у обучающихся должны быть сформированы:

Формируемые компетенции (код компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)
УК-1.Б	З-1 Знать: базовые астрономические и физико-математические теории и их взаимосвязь З-2 Знать: знать математический аппарат теоретической астрономии и небесной механики; У-1 Уметь: применять базовые астрономические и физико-математические теории в научных исследованиях В-1 Владеть: математическим аппаратом, применяемым в небесной механике В-2 Владеть: методами теоретического исследования явлений и процессов в небесной механике
ОПК-1.Б	З-1 Знать: основные математические методы, используемые при решении задач небесной механики У-1 Уметь: : решать типовые задачи небесной механики У-2 Уметь: строить математические модели явлений и процессов небесной механики

2. **Форма обучения:** очная.

3. **Язык обучения:** русский.

4. **Содержание дисциплины**

Раздел 1. Предмет методы и физические основы теоретической астрономии и небесной механики

Предмет теоретической астрономии и небесной механики, межпредметные связи курса. Краткий исторический обзор развития небесной механики как динамической астрономии. Основные задачи и методы небесной механики как математической астрономии. Связь небесной механики с теоретической астрономией: динамическое моделирование движений небесных объектов с целью прогнозирования их положений на небесной сфере. Основные понятия теории динамических систем: элементы, параметры состояния, силы взаимодействия, уравнения эволюции. Основная задача математической теории

динамических систем. Система небесных тел как динамическая система. Механика и теория тяготения Ньютона как физические основы классической небесной механики.

Раздел 2. Невозмущенное движение небесных тел. Дифференциальные уравнения и интегралы движения.

Дифференциальные уравнения абсолютного движения. Интегралы движения центра масс. Уравнения барицентрического движения. Уравнения относительного движения двух небесных тел.

Первые интегралы относительного движения двух тел: интегралы площадей и энергии, интегралы Лапласа. Аналитические зависимости между интегралами. Интеграл, явно зависящий от времени.

Общий интеграл уравнений относительного движения.

Траектория движения небесного объекта. Уравнение орбиты в относительных координатах.

Орбитальная система координат. Кеплеровские орбитальные элементы.

Общее решение задачи двух тел в орбитальных координатах. Общее решение дифференциальных уравнений относительного движения двух небесных тел. Уравнение Бине.

Первые интегралы уравнений абсолютного движения двух тел. Связь постоянных интегрирования абсолютного и относительного движений. Общее решение уравнений абсолютного движения двух небесных тел.

Матрицы преобразования координат.

Типы невозмущенного движения. Определение типа (кеплеровской) орбиты. Круговое, эллиптическое, параболическое, гиперболическое и прямолинейное движения. Вычисление эфемерид небесных тел.

Ряды невозмущенного эллиптического движения. Тригонометрические ряды. Ряды по степеням эксцентриситета. Ряды по степеням средней аномалии.

Проблема регуляризации дифференциальных уравнений движения небесных тел.

Неравенство Зундмана.

Раздел 3. Возмущенное движение небесных тел. Задача "N" тел: дифференциальные уравнения и интегралы движения.

Дифференциальные уравнения абсолютного движения в задаче "N" тел. Десять классических интегралов задачи "N" тел: интегралы движения центра масс, интегралы площадей и энергии.

Дифференциальные уравнения и первые интегралы барицентрического движения системы небесных тел.

Дифференциальные уравнения возмущенного движения. Определение оскулирующего движения. Вывод дифференциальных уравнений в оскулирующих элементах с помощью основной операции теории возмущений. Дифференциальные уравнения Ньютона-Эйлера в оскулирующих элементах

Метод вариации произвольных постоянных для гамильтоновых систем дифференциальных уравнений. Орбитальные элементы Якоби. Лагранжевы дифференциальные уравнения возмущенного движения в оскулирующих эллиптических элементах.

Раздел 4. Интегрирование дифференциальных уравнений возмущенного движения. Структура возмущений в орбитальных элементах

Основные положения классической теории возмущений в небесной механике. Приближенное интегрирование дифференциальных уравнений возмущенного движения. Аналитическая структура решения уравнений возмущенного движения в оскулирующих элементах.

Классификация возмущений в элементах орбиты.

Основные результаты теории возмущений в классической небесной механике. Теорема Лагранжа-Лапласа о вековых возмущениях первого порядка в больших полуосях планетных орбит. Результаты Пуассона и Спиру Харету о вековых возмущениях второго и третьего порядков в больших полуосях орбит планет.

Теорема Лапласа об устойчивости Солнечной системы.

Лагранжево движение больших планет Солнечной системы.

Раздел 5. Задача трёх тел в классической небесной механике.

Постановка задачи. Ограниченная круговая задача трех тел. Уравнения движения. Частные решения и точки либрации. Интеграл Якоби, поверхности нулевой относительной скорости Хилла и области возможности движения.

Ограниченная эллиптическая задача трех тел: дифференциальные уравнения и точки либрации. Закон сохранения энергии. Поверхности минимальной энергии и их особые точки. Построение поверхностей минимальной энергии. Астрономические приложения поверхностей минимальной энергии.

Постановка задачи о движениях в тройных системах небесных тел. Дифференциальные уравнения и строгие частные решения общей задачи трех тел.

Поверхности Зундмана.

Раздел 6. Введение в астродинамику.

Задача двух тел переменной массы.

Импульсные маневры космических аппаратов.

Влияние нецентральности полей тяготения тел Солнечной системы и сил атмосферного сопротивления на движение искусственных спутников и космических аппаратов.

7. Объем дисциплины

НАЗВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	Трудоемкость в зачетных единицах	объем учебной нагрузки в ак. часах				
		Общая трудоемкость	в том числе ауд. занятий			Самостоятельная работа студентов
			Общая аудиторная нагрузка	Лекций	Семинаров	
Небесная механика	5	180	104	70	34	76

8. Структурированное по темам (разделам) содержание дисциплины (модуля) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий

Изучение курса «Небесная механика» включает в себя лекции, на которых рассматривается теоретическое содержание курса; семинарские занятия, предусматривающие углубленное изучение и обсуждение вопросов, обозначенных в темах дисциплины; самостоятельную работу, заключающуюся в подготовке к лекционным и семинарским занятиям. Темы, рассматриваемые на лекциях и изучаемые самостоятельно, закрепляются на семинарских занятиях, по вопросам, вызывающим затруднения, проводятся консультации.

№ темы	Наименование раздела дисциплины	Виды учебной нагрузки и их трудоемкость, часы					Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации
			Лекции	Научно-практические занятия	Семинары	Самостоятельная работа	
1	Предмет методы и физические основы теоретической астрономии и небесной механики		6	-	2	14	Собеседование, опрос
2	Невозмущенное движение небесных тел . Дифференциальные уравнения и интегралы движения.		20	-	10	26	
3	Возмущенное движение небесных тел. Задача "N" тел: дифференциальные уравнения и интегралы движения.		10	-	8	6	
4	Интегрирование дифференциальных уравнений возмущенного движения. Структура возмущений в орбитальных элементах		10	-	4	6	
5	Задача трёх тел в классической небесной механике.		10	-	4	10	
6	Введение в астродинамику.		14	-	6	14	

	Промежуточная аттестация						Зачет в форме письменной работы с последующим собеседованием
	Промежуточная аттестация						Экзамен в форме письменной работы с последующим собеседованием
ИТОГО:		180	70	-	34	76	

9. Текущий контроль и промежуточная аттестация.

Текущий контроль по дисциплине «Небесная механика» осуществляется на лекциях и семинарских занятиях и заключается в оценке активности и качества участия в опросах и собеседованиях по проблемам, изучаемых в рамках тем лекционных занятий, аргументированности позиции; оценивается ширина используемых теоретических знаний.

Промежуточная аттестация по дисциплине «Небесная механика» проводится в осеннем семестре в форме зачета и в весеннем семестре в форме экзамена. Зачет в форме письменной работы с последующим собеседованием по программе, экзамен в форме письменной работы с последующим собеседованием по программе.

Результаты сдачи экзамена оцениваются по шкале «неудовлетворительно», «удовлетворительно», «хорошо», «отлично». Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешное прохождение промежуточной аттестации.

10. Фонд оценочных средств (ФОС) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю).

Требования к структуре и содержанию фонда оценочных средств текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине

Перечень оценочных средств, применяемых на каждом этапе проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине, представлены в таблице

Наименование оценочного средства	Краткая характеристика оценочного средства	Представление оценочного средства в фонде
Оценочные средства текущего контроля		
Тематический опрос (в форме ответов на вопросы)	Средство контроля, организованное как специальная беседа по тематике предыдущей лекции и рассчитанное на выяснение объема и качества знаний, усвоенных обучающимися по определенному разделу, теме, проблеме.	Перечень тем, изучаемых в рамках дисциплины
Собеседование (в форме беседы, дискуссии по теме)	Средство контроля, организованное как свободная беседа, дискуссия по тематике изучаемой дисциплины, рассчитанное на выяснение объема знаний обучающегося по всем изученным разделам, темам; свободного	Перечень тем, изучаемых в рамках дисциплины

	использования терминологии для аргументированного выражения собственной позиции.	
Тестирование	Средство контроля, позволяющее получить оценку уровня фактических знаний студента по изученной теме.	Образцы тестов
Оценочные средства промежуточной аттестации		
Письменная работа	Средство, позволяющее оценить сформированность систематических представлений о методах научно-исследовательской деятельности.	Перечень вопросов и задач к экзамену, зачету, контрольной работе
Собеседование	Средство, позволяющее получить экспертную оценку знаний, умений и навыков по для оценивания и анализа различных фактов и явлений в своей профессиональной области.	Требования к порядку проведения собеседования

11. Шкала оценивания.

Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения			
	2	3	4	5
ЗНАТЬ: базовые астрономические и физико-математические теории и их взаимосвязь УК-1.Б 3-1	Отсутствие знаний базовых астрономических и физико-математических теорий и их взаимосвязей	В целом успешные, но не систематические знания базовых астрономических и физико-математических теорий и их взаимосвязей	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы знания базовых астрономических и физико-математических теорий и их взаимосвязей	Успешные и систематические знания базовых астрономических и физико-математических теорий и их взаимосвязей
ЗНАТЬ: знать математический аппарат теоретической астрономии и небесной механики; УК-1.Б 3-2	Отсутствие знаний или фрагментарное знание математического аппарата теоретической астрономии и небесной механики;	В целом успешное, но не систематическое знание математического аппарата теоретической астрономии и небесной механики;	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы знание математического аппарата теоретической астрономии и	Успешное и систематическое знание математического аппарата теоретической астрономии и небесной механики;

			небесной механики;	
ЗНАТЬ: основные математические методы, используемые при решении задач небесной механики ОПК-1.Б З-1	Отсутствие знаний или фрагментарное применение основных математических методов, при решении задач небесной механики	В целом успешное, но не систематическое применение основных математических методов, при решении задач небесной механики	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы знание основных математических методов, при решении задач небесной механики	Успешное и систематическое знание основных математических методов, при решении задач небесной механики
УМЕТЬ: применять базовые астрономические и физико-математические теории в научных исследованиях УК-1.Б У-1	Отсутствие умения применять базовые астрономические и физико-математические теории в научных исследованиях	В целом успешное, но не систематическое умение применять базовые астрономические и физико-математические теории в научных исследованиях	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы умение применять базовые астрономические и физико-математические теории в научных исследованиях	Успешное и систематическое умение применять базовые астрономические и физико-математические теории в научных исследованиях
УМЕТЬ: решать типовые задачи небесной механики ОПК-1.Б У-1	Отсутствие умения решать типовые задачи небесной механики	В целом успешное, но не систематическое умение решать типовые задачи небесной механики	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы умение решать типовые задачи небесной механики	Успешное и систематическое умение решать типовые задачи небесной механики
УМЕТЬ: строить математические модели явлений и процессов небесной механики ОПК-1.Б У-2	Отсутствие умения строить математические модели явлений и процессов небесной механики	В целом успешное, но не систематическое умение строить математические модели явлений и	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы умение строить математические модели явлений и	Успешное и систематическое умение строить математические модели явлений и процессов небесной механики

		процессов небесной механики	процессов небесной механики	
ВЛАДЕТЬ: математическ им аппаратом, применяемым в небесной механике УК-1.Б В-1	Отсутствие/фраг ментарное владение математическим аппаратом, математическим аппаратом, применяемым в небесной механике	В целом успешное, но не систематическо е владение математически м аппаратом, математически м аппаратом, применяемым в небесной механике	В целом успешно е, но содержащее отдельные пробелы владение математически м аппаратом, математически м аппаратом, применяемым в небесной механике	Успешное и систематическое владение математическим аппаратом, математическим аппаратом, применяемым в небесной механике
ВЛАДЕТЬ: методами теоретическог о исследования явлений и процессов в небесной механике УК-1.Б В-2	Отсутствие/фраг ментарное владение методами теоретического исследования явлений и процессов в небесной механике	В целом успешное, но не систематическо е владение методами теоретического исследования явлений и процессов в небесной механике	В целом успешно е, но содержащее отдельные пробелы владение методами теоретического исследования явлений и процессов в небесной механике	Успешное и систематическое владение методами теоретического исследования явлений и процессов в небесной механике

12. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости.

Материалы текущего контроля успеваемости обучающихся

Список задач для контрольной работы

1 вариант

- 1) Вывести интегралы площадей относительного движения в задаче двух тел.
- 2) Вычислить наименьшее и наибольшее гелиоцентрические расстояния Меркурия (среднее расстояние Меркурия от Солнца $a = 0,3871$ а. е., а его орбитальный эксцентриситет $e = 0,2056$).
- 3) Вычислить истинную аномалию астероида на орбите с эксцентриситетом $e = 0,5$ в момент времени, когда его эксцентрическая аномалия была равна $E = 90$ градусов.

2 вариант

- 1) Вывести интеграл энергии в задаче Кеплера
- 2) Вычислить наименьшее и наибольшее расстояния от Солнца планеты “Венера” (большая полуось орбиты $a = 0,7233$ а. е., орбитальный эксцентриситет $e = 0,006821$).
- 3) Малое тело Солнечной системы обращается вокруг Солнца по орбите с эксцентриситетом $e = 0,5$. Вычислить среднюю аномалию M этого тела в момент времени, когда его эксцентрическая аномалия была равна $E = 90$ градусов.

3 вариант

- 1) Вывести интегралы Лапласа в ограниченной задаче двух тел.
- 2) Большая полуось орбиты Земли равна $a = 1$ а. е. (или 149.6 миллионов километров), а ее орбитальный эксцентриситет составляет $1/60$ (или $e = 0,01679$).
Вычислить перигелийное и афелийное расстояния Земли (в километрах).
- 3) Метеороид на гелиоцентрической кеплеровой орбите с эксцентриситетом $e = 0,5$ в некоторый момент времени имеет эксцентрическую аномалию $E = 90$ градусов. Вычислить: чему равна в этот момент средняя аномалия метеороида?

4 вариант

- 1) Вывести аналитические соотношения между произвольными постоянными интегрирования в задаче об относительном движении двух тел.
- 2) Среднее расстояние планеты Марс от Солнца равно $a = 1,524$ а. е., а эксцентриситет ее орбиты $e = 0,09331$. Вычислить расстояния от Солнца до перигелия и афелия Марса.
- 3) Малая планета на кеплеровой орбите с эксцентриситетом $e = 0,5$ в некоторый момент времени имеет истинную аномалию $v = 90$ градусов. Чему равна в этот момент ее эксцентрическая аномалия?

13. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации.

Материалы промежуточной аттестации обучающихся

Вопросы к экзамену и зачету:

1. Уравнения абсолютного движения в общей задаче трех тел. Определение первого интеграла, общего интеграла и общего решения уравнений движения. Вывод интегралов движения центра масс.
2. Вывод уравнений относительного движения. Определение общего решения уравнений абсолютного движения по общему решению уравнений относительного движения.
3. Вывод уравнений барицентрического движения и уравнений движения в поле неподвижного притягивающего центра.
4. Вывод интеграла площадей в относительном движении. Уравнение плоскости орбиты.
5. Вывод интеграла энергии в относительном движении. Поверхность нулевой скорости.
6. Вывод интегралов Лапласа.
7. Вывод двух зависимостей между интегралами относительного движения.
8. Интеграл, явно зависящий от времени, в относительных декартовых и орбитальных полярных координатах.
9. Общий интеграл дифференциальных уравнений относительного движения.
10. Вывод уравнения орбиты в относительных (декартовых) и орбитальных координатах.
11. Переход от относительной системы координат к орбитальной системе координат.

12. Кеплеровские элементы орбиты и их связь с произвольными постоянными интегрирования.
13. Получение общего решения в относительной системе координат двумя способами.
14. Интегрирование задачи двух тел с помощью уравнения Бине.
15. Общий интеграл дифференциальных уравнений абсолютного движения. Связь произвольных постоянных интегрирования в абсолютном и относительном движениях.
16. Определение типа невозмущенного движения по кеплеровским элементам орбиты, по произвольным постоянным интегрирования, по начальным условиям движения.
17. Определение эксцентрической аномалии. Вывод зависимости между эксцентрической и истинной аномалиями.
18. Вывод уравнения Кеплера. Решение уравнения Кеплера методом итераций.
19. Период обращения по эллиптической орбите. Определение масс планет, обладающих спутниками.
20. Алгоритм вычисления координат и скоростей в эллиптическом движении.
21. Вывод аналога уравнения Кеплера для гиперболического движения.
22. Алгоритм определения координат и скоростей в гиперболическом движении.
23. Вывод уравнения Баркера.
24. Алгоритм вычисления координат и скоростей в параболическом движении.
25. Вычисление невозмущенных эфемерид для малых тел Солнечной Системы.
26. Разложение координат и составляющих скорости эллиптического движения в ряды Фурье.
27. Разложения координат и скоростей эллиптического движения в ряды по возрастающим степеням эксцентриситета орбиты. Предел Лапласа.
28. Разложение координат и скоростей в эллиптическом движении в ряды по степеням времени.
29. Задача двух тел с переменными массами. Вывод уравнений Мещерского. Уравнения Гильдена-Мещерского и уравнения Мещерского-Леви Чивиты. Консервативная задача двух тел с переменными массами: вывод первых интегралов относительного движения в этой задаче.
30. Дифференциальные уравнения абсолютного движения и десять интегралов задачи "N" тел. Формулировки теорем о несуществовании других интегралов отличных от десяти классических.
31. Вывод формулы Лагранжа-Якоби и ее астрономические приложения.
32. Дифференциальные уравнения относительного движения в задаче "N" тел. Пертурбационная функция. Дифференциальные уравнения барицентрического движения. Уравнения движения задачи "N" тел в относительных координатах Якоби.
33. Определение оскулирующего движения небесного объекта. Основная операция для вывода дифференциальных уравнений в оскулирующих элементах.
34. Вывод уравнений Ньютона-Эйлера для фокального параметра, долготы восходящего узла и наклона орбиты.
35. Вывод уравнений Ньютона-Эйлера для орбитального эксцентриситета, аргумента перигея и средней аномалии в эпоху. Особенности в правых частях уравнений Ньютона-Эйлера.
36. Метод вариации произвольных постоянных для канонических уравнений задачи двух тел. Элементы Якоби. Вывод явной зависимости элементов Якоби и кеплеровых элементов с помощью решения уравнения Гамильтона-Якоби методом разделения переменных.
37. Вывод уравнений Лагранжа в оскулирующих кеплеровских элементах, используя канонические уравнения возмущенного движения в элементах Якоби.
38. Аналитическая структура решения уравнений для оскулирующих элементов с учетом зависимости их правых частей от малого параметра. Форма рядов для представления правых частей дифференциальных уравнений возмущенного движения. Порядок возмущений в элементах, вековые и периодические возмущения.

39. Теорема Лапласа о возмущениях первого порядка в большой полуоси (орбиты).
40. Теорема Лапласа об устойчивости Солнечной системы.
41. Ограниченная круговая задача трех тел. Вывод дифференциальных уравнений движения и первого интеграла Якоби.
42. Точки либрации в ограниченной круговой задаче трех тел.
43. Поверхности нулевой относительной скорости. Устойчивость движения по Хиллу.
44. Ограниченная эллиптическая задача трех тел: вывод уравнений движения. Строгие частные решения и точки либрации.
45. Гомографические частные решения общей задачи трех тел.
46. Поверхности Зундмана в общей задаче трех тел.
47. Квазиинтеграл Якоби в ограниченной эллиптической задаче трех тел. Закон сохранения энергии. Поверхности минимальной энергии.
48. Гомановские перелеты космических аппаратов. Межпланетные перелеты.
49. Влияние нецентральности поля тяготения Земли на движения искусственных спутников Земли (ИСЗ).
50. Влияние сопротивления атмосферы на движение искусственных спутников Земли.

14. Материально-техническая база, информационные технологии, программное обеспечение и информационные справочные системы

Основная литература

1. Дубошин Г.Н. НЕБЕСНАЯ МЕХАНИКА. Основные задачи и методы. Изд. 3-е, доп., Москва: "Наука", Гл. ред. физ. - мат. лит., 1975, 799 стр.
2. Субботин М.Ф. Введение в теоретическую астрономию. Москва: "Наука", Гл. ред. физ.-мат. лит., 1968, 800 стр.
3. Лукьянов Л.Г., Ширмин Г.И. Лекции по небесной механике. Учеб пособие для вузов. – Алматы: "Эверо", 2009. – 277 стр.
4. Холшевников К.В., Титов В.Б. Задача двух тел. Санкт Петербург: изд-во СПбГУ, 2007, 178 стр.
5. Балк М.Б., Демин В.Г., Куницын А.Л. Сборник задач по небесной механике и космодинамике. Москва: "Наука", 1972, 336 стр.

Дополнительная литература

- 1). Аксенов Е.П. Движение искусственных спутников Земли. Москва: "Наука", Гл. ред. физ.-мат. лит., 1977, 360 стр.
- 2). Гребеников Е.А., Рябов Ю.А. Новые качественные методы в небесной механике. Москва: "Наука", Гл. ред. физ. - мат. лит., 1971, 442 стр.
- 3). Дубошин Г.Н. НЕБЕСНАЯ МЕХАНИКА. Аналитические и качественные методы. Москва: "Наука", Гл. ред. физ.-мат. лит., 1964, 560 стр.
- 4). Эльясберг П.Е. Введение в теорию полета искусственных спутников Земли. Москва: "Наука", Гл. ред. физ.-мат. лит., 1965, 540 стр.

Периодическая литература

- 1). Лукьянов Л.Г. О законе сохранения энергии в ограниченной эллиптической задаче трех тел. *Астрономический журнал*, том 82, № 12, 2005, с. 1137-1147.
- 2). Лукьянов Л.Г., Ширмин Г.И. Поверхности Зундмана и устойчивость по Хиллу в задаче трех тел. *Письма в Астрономический Журнал*, т. 33, № 8, 2007, с. 618-630.
- 3). Poincare H. Les limites de la loi de Newton. *Bull. astr.*, vol. 17, pp. 121-269.

Интернет-ресурсы

1. <http://www.sai.msu.ru/neb/rw/textbook.htm>
2. http://www.sai.msu.ru/neb/rw/cm_monog.htm

Материально-техническое обеспечение

В соответствии с требованиями п. 5.3. образовательного стандарта МГУ по направлению подготовки «Астрономия».

Курс может быть прочитан в поточной аудитории при наличии: работающих электрических розеток, компьютера, проектора, экрана, учебной доски.