Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА НБЕСНОЙ МЕХАНИКИ, АСТРОМЕТРИИ И ГРАВИМЕТРИИ

УТВЕРЖДАЮ
Декан физического факультета
МГУ
_____/ Н.Н. Сысоев /
«___» _____20 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование дисциплины:

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОРБИТ

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
«Методы определения орбит»

В рамках данного курса лекций слушатели знакомятся: с постановкой задачи определения орбит небесных объектов и с основными классическими методами решения этой задачи в теоретической астрономии.

В настоящем лекционном курсе наряду с историей проблемы прогнозирования движений “небесных светил” излагаются основные методы определения орбит по данным астрономических наблюдений: метод Лагранжа-Гаусса, метод Ольберса, метод Лапласа, составляющие базу классической эфемеридной астрономии.

Уделяется внимание методам улучшения орбит и высокоточного прогнозирования движений небесных объектов.

Рассматриваются также классические методы вычисления эфемерид небесных тел.

В лекционном курсе наряду с историей проблемы прогнозирования движений небесных светил излагаются основные методы определения орбит из астрономических наблюдений: метод Лагранжа-Гаусса, метод Лапласа, метод Ольберса – составляющие основу классической эфемеридной астрономии.

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 «Методы определения орбит» реализуется на 4-м курсе в 7-ом семестре и является составной частью профессионального блока вариативной части.

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 небесной механики; ***У-1Уметь:*** 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-1Уметь: :*** решать типовые задачи небесной механики ***У-2Уметь:*** строить математические модели явлений и процессов небесной механики

2. Форма обучения: очная.

3. Язык обучения: русский.

4. Содержание дисциплины

Раздел 1. Развития теоретической астрономии. Проблема прогнозирования движений “небесных светил”. Задача двух тел.

Исторический очерк развития теоретической астрономии. Проблема прогнозирования движений “небесных светил”. Задача двух тел. Общий интеграл уравнений невозмущенного движения. Кеплеровы элементы орбиты. Аналитическое решение задачи двух тел в форме рядов (Коши-Пуанкаре) по степеням времени

Раздел 2. Определение предварительной орбиты

Выражения для отношений площадей треугольников в форме разложений в ряды по степеням времени. Программа поэтапного решения задачи определения предварительной орбиты (по Леонарду Эйлеру). Метод Лагранжа-Гаусса определения орбиты по трем наблюдениям. Итерационная процедура решения уравнений для нахождения геоцентрических расстояний объекта (по Карлу Гауссу). Вычисление геоцентрических расстояний в первом приближении. Формулы Энке для отношений площадей треугольников

Раздел 3. Метод Гаусса. Гауссовы уравнения..

Метод Гаусса определения фокального параметра орбиты из краевых условий невозмущенного движения “светила”. Гауссовы уравнения для отношения площадей сектора и треугольника и их решение методом итераций. Способ Ганзена решения кубического уравнения Гаусса разложением в цепную дробь.

Раздел 4. Уточнение геоцентрических расстояний во втором приближении.

Уточнение геоцентрических расстояний во втором приближении. Формулы Гиббса для отношений площадей треугольников и оценка их точности. Формулы Гаусса для отношений площадей треугольников. Уточнение геоцентрических расстояний в третьем и последующих приближениях итерациями по величинам отношений площадей треугольников. Система уравнений Лагранжа для геоцентрического и гелиоцентрического расстояний объекта в среднем наблюдении. Итерационные способы решения системы уравнений Лагранжа. Определение элементов эллиптической орбиты по методу Лагранжа-Гаусса. Условия единственности решения задачи определения орбиты по трем наблюдениям. Критерий Оппольцера. Границы применимости метода Лагранжа-Гаусса

Раздел 5 Алгоритм Лагранжа-Гаусса

Алгоритм Лагранжа-Гаусса определения предварительной орбиты малой планеты по трем наблюдениям: сводка формул и порядок вычислений

Раздел 6. Определение параболических орбит.

Основные соотношения невозмущенного параболического движения. Теорема Эйлера о времени пролета по параболической дуге. Формулы Оппольцера для отношений площадей треугольников. Метод Ольберса определения параболической орбиты кометы

Раздел 7. Метод Лапласа.

Метод Лапласа определения предварительной орбиты небесного объекта. Отличительные особенности методов Лапласа и Лагранжа-Гаусса. Очерк метода Лапласа: последовательность выполнения операций в методе Лапласа. Основные уравнения для определения геоцентрического расстояния и его производных по времени. Условия единственности решения задачи определения орбиты по методу Лапласа

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	2	72	36	36	0	36

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

Изучение курса «Задача трёх тел» включает в себя лекции, на которых рассматривается теоретическое содержание курса; предусматривается углубленное изучение и обсуждение вопросов, обозначенных в темах дисциплины; самостоятельную работу, заключающуюся в подготовке к лекционным занятиям. По вопросам, вызывающим затруднения, проводятся консультации.

№ темы	Наименование раздела дисциплины	Виды учебной нагрузки и их трудоемкость, часы					Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации
		Всего часов	Лекции	Научно-практические занятия	Семинары	Самостоятельная работа	
1	Развития теоретической астрономии. Проблема прогнозирования движений “небесных светил”. Задача двух тел..	8	4	-	-	4	Собеседование, опрос
2	Определение предварительной орбиты	12	6	-	-	6	
3	Метод Гауса. Гаусовы уравнения.	12	6	-	-	6	
4	Уточнение геоцентрических расстояний во втором приближении.	16	8	-	-	8	
5	Алгоритм Лагранжа-Гаусса	8	4	-	-	4	
6	Определение параболических орбит.	8	4	-	-	4	
7	Метод Лапласа.	8	4	-	-	4	

	Промежуточная аттестация						Зачет в форме письменной работы с последующим собеседованием
ИТОГО:		**72**	**36**	**-**	**-**	**36**	

9. Текущий контроль и промежуточная аттестация. Промежуточная аттестация проводится на 8 неделе в форме коллоквиума с оценкой. Критерии формирования оценки – уровень знаний прочитанной части курса.
Текущая аттестация проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях, а также уровень подготовки к лекциям и степень освоения материала прочитанной части курса.

Текущий контроль по дисциплине «Методы определения орбит» осуществляется на лекциях и заключается в оценке посещаемости, активности и качества участия в опросах и собеседованиях по проблемам, изучаемых в рамках тем лекционных занятий, аргументированности позиции; оценивается уровень подготовки к лекциям и степень освоения материала прочитанной части курса.

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

Результаты сдачи зачета оцениваются по шкале «зачет», «незачет», Оценка «зачет», означает 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**			
	незачет	**зачет**		
ЗНАТЬ: базовые астрономические и физико-математические теории и их взаимосвязь УК-1.Б З-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 успешное, 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 З-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 успешное, но содержащее отдельные пробелы знание математического аппарата теоретической астрономии и небесной механики;	Успешное и систематическое знание математического аппарата теоретической астрономии и 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 успешное, 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 успешное, 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 успешное, 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 строить математические модели явлений и процессов небесной механики	В целом успешное, но не систематическое умение строить строить математические модели явлений и процессов небесной механики	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение строить математические модели явлений и процессов небесной механики	Успешное и систематическое умение строить строить математические модели явлений и процессов небесной механики

ВЛАДЕТЬ: математическим аппаратом, применяемым в небесной механике УК-1.Б В-1	Отсутствие/фрагментарное владение математическим аппаратом, математическим аппаратом, применяемым в небесной механике	В целом успешное, но не систематическое владение математическим аппаратом, математическим аппаратом, применяемым в небесной механике	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение математическим аппаратом, математическим аппаратом, применяемым в небесной механике	Успешное и систематическое владение математическим аппаратом, математическим аппаратом, применяемым в небесной механике
ВЛАДЕТЬ: методами теоретического исследования явлений и процессов в небесной механике УК-1.Б В-2	Отсутствие/фрагментарное владение методами теоретического исследования явлений и процессов в небесной механике	В целом успешное, но не систематическое владение методами теоретического исследования явлений и процессов в небесной механике	В целом успешное, 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:

1 вариант

1). Проблема определения орбиты светила по его положениям на небесной сфере.

2). Соотношения между координатами небесного объекта в трех его гелиоцентрических положениях.

3). Вывод уравнений для определения геоцентрических расстояний небесного объекта.

2 вариант

1). Уравнения гелиоцентрического движения тела Солнечной системы.

2). Фундаментальная теорема Коши-Пуанкаре об аналитическом решении системы обыкновенных дифференциальных уравнений.

3). Структура уравнений для определения геоцентрических расстояний светила.

3 вариант

1). Формулы невозмущенного гелиоцентрического движения тела Солнечной системы.

2). Элементы оскулирующей орбиты космического объекта.

3). Стратегия определения орбиты из астрономических наблюдений (по Эйлеру).

4 вариант

1). Аналитическое решение задачи двух тел в форме рядов по степеням времени.

2). Количество наблюдений, требуемое для определения предварительной орбиты.

3). Гауссова итерационная процедура уточнения геоцентрических расстояний светила.

Форма отчетности: экзамен.

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

Материалы промежуточной аттестации обучающихся

Вопросы к зачету:

1. Проблема прогнозирования движений небесных светил. Развитие прикладной и вычислительной математики в процессе решения задач динамической астрономии.

2. Постановка задачи об определении орбит из астрономических наблюдений.

3. Фундаментальная теорема Коши-Пуанкаре об аналитическом решении системы обыкновенных дифференциальных уравнений.

4. Аналитическое решение уравнений невозмущенного движения светила в форме рядов по степеням времени.

5. Соотношения между координатами светила в трех его гелиоцентрических положениях.

6. Система уравнений для нахождения геоцентрических расстояний небесного объекта и гауссова итерационная процедура их решения.

7. Вывод формул Энке для отношений площадей треугольников.

8. Первое приближение гауссовой процедуры определения расстояний до объекта. Система уравнений Лагранжа для определения расстояний в среднем наблюдении.

9. Краевая задача для уравнений невозмущенного гелиоцентрического движения объекта.

10. Метод Гаусса определения фокального параметра орбиты.

11. Вывод уравнений Гаусса для отношения площадей сектора и треугольника.

12. Решение уравнений Гаусса методом итераций.

13. Анализ корней кубического уравнения Гаусса.

14. Способ Ганзена решения кубического уравнения Гаусса.

15. Нахождение точных значений геоцентрических расстояний объекта. Итерационные методы решения уравнений Лагранжа.

16. Вывод формул Гиббса для отношений площадей треугольников.

17. Особые случаи при определении орбиты по трем наблюдениям.

18. Определение элементов орбиты по граничным условиям движения объекта.

19. Учет параллакса в случае топоцентрических координат объекта.

20. Определение орбиты небесного объекта, наблюдаемого впервые.

21. Метод Ольберса определения элементов параболической орбиты кометы.

22. Отличительные особенности метода Лапласа определения предварительной орбиты из астрономических наблюдений.

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

Основная литература

1. Лукьянов Л.Г., Ширмин Г.И. Лекции по небесной механике. Учебное пособие для высших учебных заведений.
Алматы: “Эверо”, 2009. 277 с.
2. Субботин М.Ф. Введение в теоретическую астрономию, Москва: ”Наука”, 1968, 800 с.
3. Дубяго А.Д. Определение орбит. Москва- Ленинград: “Гостехиздат”, 1949, 444 с.
4. Эскобал, Педро. Методы определения орбит. Перевод с английского. Москва: “Мир”, 1970, 470 с.
5.Дубошин Г.Н. Небесная механика. Основные задачи и методы. Учебник для студентов университетов, обучающихся по специальности "Астрономия". Издание 3-е, дополненное. М: Наука, 1975 . 800 с.

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.

Интернет-ресурсы

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.