

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:

ОСНОВЫ МЕХАНИКИ ЗВЁЗДНЫХ ДВИЖЕНИЙ

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 «Основы механики звёздных движений»

В лекционном курсе содержатся базовые знания о движениях звезд и их систем. В рамках курса слушатели знакомятся с основными моделями классической небесной механики, а также с количественными (аналитическими и численными) и качественными методами, используемыми при исследовании задач звездной динамики. Излагаются основные принципы и теоремы механики звездных движений как совокупности результатов приложения “микроскопического” подхода теории динамических систем к звездно-астрономическим задачам.

Излагаются методы построения небесно-механических моделей звездных движений и результаты приложения их к реальным космическим системам (со звездным населением).

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 «Основы механики звёздных движений» реализуется на 5-м курсе в 9-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 | <i>З-1 Знать:</i> базовые астрономические и физико-математические теории и их взаимосвязь <i>З-2 Знать:</i> знать математический аппарат небесной механики; <i>У-1 Уметь:</i> применять базовые астрономические и физико-математические теории в научных исследованиях <i>В-1 Владеть:</i> математическим аппаратом, применяемым в небесной механике <i>В-2 Владеть:</i> методами теоретического исследования явлений и процессов в небесной механике |
| ОПК-1.Б | <i>З-1 Знать:</i> основные математические методы, используемые при решении задач небесной механики <i>У-1 Уметь:</i> : решать типовые задачи небесной механики <i>У-2 Уметь:</i> строить математические модели явлений и процессов небесной механики |

2. **Форма обучения:** очная.

3. **Язык обучения:** русский.

4. Содержание дисциплины

Раздел 1. Объект, предмет, методы и задачи механики звездных движений.

Объект, предмет, методы и задачи механики звездных движений. Законы классической механики и закон всемирного тяготения И.Ньютона как физические основы звездной динамики. Количественные (аналитические и численные) и качественные методы исследования звездных движений. Строение звездных систем, проблема их происхождения и динамической эволюции

Раздел 2. Задача “N” тел.

Задача “N” тел в качестве основной модели механики звездных движений. Дифференциальные уравнения задачи “N” тел в абсолютных осях. Теорема Э.Нетер о связи интегралов движения со свойствами симметрии пространства и времени. Десять классических интегралов задачи “N” тел. Силовая функция Лагранжа и потенциальная энергия гравитационно-связанной системы небесных тел. Формула Лагранжа-Якоби и необходимое условие устойчивости и достаточное условие неустойчивости системы небесных тел в смысле Лагранжа *Раздел*

3. Теорема Клаузиуса. Теорема Пуанкаре. Уравнение Эддингтона

Теорема Клаузиуса о вириале в механике системы материальных точек. Теорема Пуанкаре о вириале системы гравитирующих тел. Доказательство Хильми теоремы вириала Пуанкаре. Уравнение Эддингтона и его связь с формулой Лагранжа-Якоби. Приложение теоремы вириала Пуанкаре к сферически симметричным системам небесных тел. Фриц Цвикки и проблема “скрытой массы” в скоплениях галактик

Раздел 4. Исследование динамики двойных звезд методами классической небесной механики .

Общая задача трех тел как модель для описания движений в тройных системах: уравнения движения, первые интегралы, эйлеровы и лагранжевы точные частные решения и соответствующие им движения в тройных системах небесных тел. Классификация В.Себехея финальных движений в тройных звездных системах. Исследование динамики двойных звезд методами классической небесной механики и его значение для звездной астрономии

Раздел 5 Задача “многих” тел.

Задача “многих” тел. Различные способы описания строения и эволюции звездных систем: небесно-механический, статистический, гидродинамический. Сфера действия Лапласа звездной системы и вероятность тесных сближений звезд. Формула Джинса для угла поворота вектора скорости звезды. Характеристические параметры парных сближений в звездных системах. Оценки параметров тесных сближений Солнца со звездами галактического фона

Раздел 6. Основные понятия звездной статистики.

Основные понятия звездной статистики: фазовая плотность звездная плотность функция распределения скоростей в звездной системе. Теорема Лиувилля о сохранении фазового объема динамической системы. Дифференциальное уравнение в частных производных первого порядка для фазовой плотности. Теорема Джинса о неизменности фазовой плотности вдоль траектории динамической системы.

Раздел 7 Простейшая модель строения галактики “Млечный Путь”

Вращение галактик. Вывод постоянных Оорта. Параметры движения центроида системы околосолнечных звезд в качестве характеристик вращения Млечного Пути. Угловая скорость и период вращения Нашей Галактики. Линейная скорость околосолнечного центроида в круговом движении вокруг галактического центра

Простейшая модель строения галактики “Млечный Путь” (по Оорту). Оценка полной массы Нашей Галактики по модели Оорта

7. Объем дисциплины

| НАЗВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ | Трудоемкость в зачетных единицах | объем учебной нагрузки в ак. часах | | | | |
|---------------------|-------------------------------------|------------------------------------|-------------|-----------|---|-------------------------------------|
| | | Общая трудоемкость | в том числе | | | Самостоятельная работа студентов |
| | | | ауд. | занятий | | |
| | | 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 | Объект, предмет, методы и задачи механики звездных движений. | 8 | 4 | - | - | 4 | Собеседование, опрос |
| 2 | Задача “N” тел. | 8 | 4 | - | - | 4 | |
| 3 | Теорема Клаузиуса. Теорема Пуанкаре. Уравнение Эддингтона | 8 | 4 | - | - | 4 | |
| 4 | Исследование динамики двойных звезд методами классической небесной механики . | 16 | 8 | - | - | 8 | |
| 5 | Задача “многих” тел. | 8 | 4 | - | - | 4 | |

| | | | | | | | |
|---------------|---|-----------|-----------|----------|----------|-----------|--|
| 6 | Основные понятия звездной статистики. | 12 | 6 | - | - | 6 | |
| 7 | Основные понятия звездной Простейшая модель строения галактики “Млечный Путь” | 12 | 6 | - | - | 6 | |
| | 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 «Основы механики звёздных движений» 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 «Основы механики звёздных движений» 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 использования терминологии для аргументированного выражения собственной позиции. | Перечень тем, изучаемых в рамках дисциплины |
| 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 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 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 3-1 | 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 | Успешное и систематическое умение решать типовые задачи небесной механики |

| | | | | |
|--|---|--|--|--|
| | | | механики | |
| УМЕТЬ: строить математическ ие 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 систематическо е умение строить строить математически е модели явлений и процессов небесной механики | В целом успешно е, но содержащее отдельные пробелы умение строить математически е модели явлений и процессов небесной механики | Успешное и систематическое умение строить строить математические модели явлений и 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:

1 вариант

- 1). Фундаментальные принципы механики звездных движений.
- 2). Вывод дифференциальных уравнений задачи “N” тел.
- 3). Вывод интегралов движения центра масс изолированной звездной системы.

2 вариант

- 1). Теорема Нетер о связи законов сохранения с симметриями пространства и времени.
- 2). Вывод интегралов момента количества движения звездной системы.
- 3). Определение устойчивости по Лагранжу системы гравитирующих небесных тел.

3 вариант

- 1). Потенциальная энергия тяготения изолированной звездной системы.
- 2). Вывод интеграла энергии изолированной системы небесных тел.
- 3). Достаточный критерий гравитационной неустойчивости звездной системы.

4 вариант

- 1). Уравнения и интегралы барицентрического движения звездной системы.
- 2). Вывод формулы Лагранжа-Якоби изолированной системы небесных тел.
- 3). Необходимое условие устойчивости в смысле Лагранжа системы гравитирующих тел.

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

Материалы промежуточной аттестации обучающихся

Вопросы к зачету:

1. Предмет, методы и физические основы механики звездных движений.
2. Характерные особенности строения звездных систем.
3. Задача “N” тел как основная модель звездной динамики.
4. Дифференциальные уравнения движения и первые интегралы звездной системы.
5. Гравитационная потенциальная энергия изолированной системы небесных тел.
6. Формула Лагранжа-Якоби и устойчивость изолированной звездной системы.

7. Теорема Пуанкаре о вириале Клаузиуса.
8. Проблема интегрирования задачи "N" тел. Количественные (аналитические и численные) и качественные методы небесной механики.
9. Задача трех тел: лагранжевы и эйлеровы решения. Ряды Зундмана и их значение.
10. Классификация движений в тройных системах (по В.Себехею). Необходимое условие устойчивости тройной звезды.
11. Космогонические проблемы звездной динамики.
12. Гравитационная сфера действия звездной системы.
13. Оценка вероятности тесных сближений звезд.
14. Изменение вектора относительной скорости в процессе парного сближения звезд. Формулы Джинса.
15. Классификация звездных сближений (по Джинсу). Характеристические параметры близких проходов и тесных сближений звезд.
16. Космогоническая значимость близких проходов и тесных звездных сближений.
17. Параметры состояния, фазовая траектория, фазовая и звездная плотность, функция распределения скоростей звездной системы.
18. Теорема Лиувилля о сохранении фазового объема динамической системы.
19. Теорема Джинса о сохранении фазовой плотности вдоль траектории звезды в фазовом пространстве.
20. Распределение угловых скоростей центроидов во вращающихся звездных системах.
21. Угловая скорость и период вращения Нашей Галактики.
22. Галактическая орбита барицентра Солнечной системы.
23. Оценка массы Нашей Галактики (по способу Оорта).
24. Общая картина вращения Млечного Пути вокруг галактического центра.
25. Галактические орбиты звезд.
26. Динамическая эволюция сферически симметричных звездных систем.
27. Орбиты звезд в сферически симметричных звездных системах.

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. 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.
3. Субботин М.Ф. Введение в теоретическую астрономию. Москва: "Наука", 1968, 800 с.
4. Рой, Арчи Э. Движение по орбитам. Пер с англ., Москва: "Мир", 1981, 544 с.
5. Мартынова А.И., Орлов В.В., Рубинов А.В., Соколов Л.Л., Никифоров И.И. Динамика тройных систем. Учебное пособие. СПб: "Изд-во С.-Петербур. ун-та", 2010, 216 с.

Дополнительная литература

- 1) Лукьянов Л.Г. О законе сохранения энергии в ограниченной эллиптической задаче трех тел. Астрономический журнал, т.82, № 12, с. 1137-1147, 2005.
- 2.) Лукьянов Л.Г., Ширмин Г.И. Поверхности Зундмана и устойчивость по Хиллу в задаче трех тел. Письма в Астрономический журнал, т. 33, № 8, с. 618-630, 2007.
- 3). Гребеников Е.А., Рябов Ю.А. Новые качественные методы в небесной механике. Москва: "Наука", Гл. ред. физ. - мат. лит., 1971, 442 стр.
- 4). Дубошин Г.Н. НЕБЕСНАЯ МЕХАНИКА. Аналитические и качественные методы. Москва: "Наука", Гл. ред. физ.-мат. лит., 1964, 560 стр.

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.