

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по учебной работе  Г.Ю. Нагорная

«16» 01 2026 г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Небесная механика

Уровень образовательной программы бакалавриат

Направление подготовки 01.03.02 Прикладная математика и информатика

Направленность(профиль) «Математические и информационные системы и технологии в астрономии»

Форма обучения: очная

Срок освоения ОП 4 года

Институт Цифровых технологий

Кафедра разработчик РПД Астрофизика

Выпускающая кафедра Астрофизика


Начальник
учебно-методического управления


Семенова Л. У.

Директор института ЦТ


Кумратова А. М.

И. О. заведующего выпускающей кафедрой


Валявин Г. Г.

г. Черкесск, 2026 г

СОДЕРЖАНИЕ

1. Цели освоения дисциплины	3
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы	3
3. Планируемые результаты обучения по дисциплине	4
4. Структура и содержание дисциплины	5
4.1. Объем дисциплины и виды учебной работы.....	5
4.2. Содержание дисциплины	6
4.2.1. Разделы (темы) дисциплины, виды учебной деятельности и формы контроля.....	6
4.2.2. Лекционный курс	7
4.2.3. Лабораторный практикум	7
4.2.4. Практические занятия	8
4.3. Самостоятельная работа обучающегося.....	8
5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине	9
6. Образовательные технологии	14
7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины	
7.1. Перечень основной и дополнительной учебной литературы.....	
7.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет».....	
7.3. Информационные технологии, лицензионное программное обеспечение.	
8. Материально-техническое обеспечение дисциплины	
8.1. Требования к аудиториям (помещениям, местам) для проведения занятий	
8.2. Требования к оборудованию рабочих мест преподавателя и обучающихся	
8.3. Требования к специализированному оборудованию.....	
9. Особенности реализации дисциплины для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья	
Приложение 1. Фонд оценочных средств	

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины «Небесная механика» состоит в освоении фундаментальных законов движения небесных тел под действием сил гравитации, формировании навыков аналитического и численного решения уравнений движения, изучении методов расчёта орбит и их возмущений, а также в развитии умения прогнозировать положения и эфемериды астрономических объектов.

При этом задачами дисциплины являются:

- изучить задачу двух тел и вывести законы Кеплера, освоить уравнения эллиптического движения;
- освоить основные интегралы движения (энергии, момента импульса, центра масс) и их применение в небесной механике;
- изучить методы численного интегрирования уравнений движения небесных тел;
- освоить теорию возмущений и метод дифференциального исправления орбит;
- изучить ограниченную задачу трех тел, определить точки либрации и линии Хилла;
- рассмотреть вращательную и приливную деформацию небесных тел и их влияние на движение.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

2.1. Дисциплина «Астрометрия» относится к обязательной части Блока 1. Дисциплины (модули), и имеет тесную связь с другими дисциплинами.

2.2. В таблице приведены предшествующие и последующие дисциплины, направленные на формирование компетенций дисциплины в соответствии с матрицей компетенций ОП.

Предшествующие и последующие дисциплины, направленные на формирование компетенций

№ п/п	Предшествующие дисциплины	Последующие дисциплины
1.	Астрометрия Сферическая астрономия	Проект 3 курса Практическая астрофизика Общая астрофизика

3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Планируемые результаты освоения образовательной программы (ОП) – компетенции обучающихся определяются требованиями стандарта по направлению подготовки 01.03.02 Прикладная математика и информатика и формируются в соответствии с матрицей компетенций ОП

№ п/п	Номер/ индекс компетенции	Наименование компетенции (или ее части)	В результате изучения дисциплины обучающиеся должны:
1	2	3	4
1.	ПК-1	Способен применять современный математический аппарат при решении теоретических задач и при моделировании социальных и экономических процессов	ПК-1.1 Обладает знаниями математических методов в моделировании социальных и экономических процессов ПК-1.2 Способен собирать, анализировать большие массивы данных для проведения научно – исследовательской работы, компьютерной обработки ПК-1.3 Способен моделировать различные задачи прикладного характера, используя научный исследовательский подход

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Вид учебной работы		Всего часов	Семестр
			№ 4
			часов
1		2	3
Аудиторная контактная работа (всего)		14	14
В том числе:			
Лекции (Л)		10	10
Практические занятия (ПЗ), Семинары (С)		4	4
Лабораторные работы (ЛР)		-	-
Контактная внеаудиторная работа, в том числе:			
Индивидуальные и групповые консультации		1,5	1,5
Самостоятельная работа обучающегося (СРО) (всего)		56	56
Работа с лекциями		12	12
Работа с книжными источниками		12	12
Работа с электронными источниками		12	12
Доклад		8	8
Подготовка к тестовому контролю		12	12
Промежуточная аттестация	Зачет (З) в том числе:	3	3
	Прием зачета, час	0,5	0,5
ИТОГО: Общая трудоемкость	часов	72	72
	зач. ед.	2	2

4.2. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

4.2.1. Разделы (темы) дисциплины, виды учебной деятельности и формы контроля

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Виды учебной деятельности, включая самостоятельную работу обучающихся (в часах)					Формы текущей и промежуточной аттестации
		Л	ЛР	ПЗ	СРО	всего	
1	2	3	4	5	6	7	8
Семестр 4							
1.	Раздел 1. Задача двух тел. Законы Кеплера. Уравнения эллиптического движения.	2		1	14	17	Коллоквиум, контрольные вопросы, практические задания, тестирование, реферат
2.	Раздел 2. Интегралы движения. Численное интегрирование уравнений движения небесных тел.	2		1	14	17	Коллоквиум, контрольные вопросы, практические задания, тестирование, реферат
3.	Раздел 3. Теория возмущений. Дифференциальное исправление орбит.	3		1	14	18	Коллоквиум, контрольные вопросы, практические задания, тестирование, реферат
4.	Раздел 4. Ограниченная задача трёх тел. Точки либрации, линии Хилла. Вращательная и приливная деформация тел.	3		1	14	18	Коллоквиум, контрольные вопросы, практические задания, тестирование, реферат
	Контактная внеаудиторная работа, в том числе: индивидуальные и групповые консультации					1,5	
	Промежуточная аттестация					0,5	Зачет
Всего часов:		10		4	56	72	

4.2.2. Лекционный курс

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Наименование темы лекции	Содержание лекции	Всего часов
1	2	3	4	5
Семестр 4				
1	Раздел 1. Задача двух тел. Законы Кеплера. Уравнения эллиптического движения.	Тема 1.1. Задача двух тел. Законы Кеплера.	Вывод задачи двух тел, приведение к задаче об относительном движении. Первый, второй и третий законы Кеплера, их аналитическая форма.	1
		Тема 1.2. Уравнения эллиптического движения.	Уравнение орбиты в полярных координатах. Эксцентрическая аномалия, уравнение Кеплера. Элементы орбиты.	1
2	Раздел 2. Интегралы движения. Численное интегрирование уравнений движения небесных тел.	Тема 2.1. Интегралы движения в задаче двух тел.	Интеграл энергии, интеграл момента импульса, интеграл центра масс. Их применение.	1
		Тема 2.2. Численное интегрирование уравнений движения.	Методы численного интегрирования (Рунге–Кутта, методы прогноза-коррекции). Применение для расчёта эфемерид.	1
3	Раздел 3. Теория возмущений. Дифференциальное исправление орбит.	Тема 3.1. Теория возмущений.	Возмущающая функция, уравнения Лагранжа для оскулирующих элементов. Вековые и периодические возмущения.	2
		Тема 3.2. Дифференциальное исправление орбит.	Метод наименьших квадратов для уточнения орбит по наблюдениям. Итерационный процесс, матрица нормальных уравнений.	1
4	Раздел 4. Ограниченная задача трёх тел. Точки либрации, линии Хилла. Вращательная и приливная деформация тел.	Тема 4.1. Ограниченная задача трёх тел.	Постановка задачи, уравнения движения в синодической системе координат. Точки либрации (Лагранжа), их устойчивость. Линии Хилла.	1
		Тема 4.2. Вращательная и приливное	Вращение небесных тел, приливное	2

		приливная деформация тел.	взаимодействие, приливное трение. Синхронизация орбитального и вращательного движения.	
Итого:				10

4.2.3. Лабораторный практикум (не предусмотрен)

4.2.4. Практические занятия

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Наименование темы практического занятия	Содержание практического занятия	Всего часов
1	2	3	4	5
Семестр 4				
1	Раздел 1. Задача двух тел. Законы Кеплера. Уравнения эллиптического движения.	Расчёт орбитальных элементов по положению и скорости.	Решение задачи Ламберта. Вычисление большой полуоси, эксцентриситета, наклона и других элементов по заданным векторам положения и скорости.	1
2	Раздел 2. Интегралы движения. Численное интегрирование уравнений движения небесных тел.	Моделирование движения небесного тела численными методами.	Реализация метода Рунге–Кутты 4-го порядка для задачи двух тел. Сравнение с аналитическим решением. Оценка ошибок интегрирования.	1
3	Раздел 3. Теория возмущений. Дифференциальное исправление орбит.	Вычисление вековых возмущений от планет.	Расчёт возмущающей функции для упрощённой модели (например, влияние Юпитера на астероид). Определение вековых изменений элементов орбиты.	1
4	Раздел 4. Ограниченная задача трёх тел. Точки либрации, линии Хилла. Вращательная и приливная деформация тел.	Исследование точек либрации.	Построение поверхностей нулевой скорости (кривых Хилла). Определение координат точек Лагранжа для системы Земля–Луна или Солнце–Юпитер.	1
Итого:				4

4.3. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА ОБУЧАЮЩЕГОСЯ

№ п/п	Наименование раздела (темы) дисциплины	№ п/п	Виды СРО	Всего часов
1	3	4	5	6
Семестр 4				
1.	Раздел 1. Задача двух тел. Законы Кеплера. Уравнения эллиптического движения.	1.1. 1.2.	Работа с лекциями Работа с книжными источниками Работа с электронными источниками Доклад Подготовка к тестированию	14
2.	Раздел 2. Интегралы движения. Численное интегрирование уравнений движения небесных тел.	2.1. 2.2.	Работа с лекциями Работа с книжными источниками Работа с электронными источниками Доклад Подготовка к тестированию	14
3.	Раздел 3. Теория возмущений. Дифференциальное исправление орбит.	3.1 3.2	Работа с лекциями Работа с книжными источниками Работа с электронными источниками Доклад Подготовка к тестированию	14
4.	Раздел 4. Ограниченная задача трёх тел. Точки либрации, линии Хилла. Вращательная и приливная деформация тел.	4.1 4.2	Работа с лекциями Работа с книжными источниками Работа с электронными источниками Доклад Подготовка к тестированию	14
Итого:				56

5. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

5.1. Методические указания для подготовки обучающихся к лекционным занятиям

Основными формами обучения дисциплины являются лекции, практические занятия, а также самостоятельная работа.

На лекциях рекомендуется деятельность обучающихся в форме активного слушания, т.е. предполагается возможность задавать вопросы на уточнение понимания темы и рекомендуется конспектирование основных положений лекции. Основная дидактическая цель лекции — обеспечение ориентировочной основы для дальнейшего усвоения учебного материала.

На лекциях раскрываются основные теоретические аспекты, приводятся примеры реализации на практике, освещается достигнутый уровень формализации деятельности по автоматизации экономических процессов.

Специфической чертой изучения данного курса является то, что приобретение умений и навыков работы невозможно без систематической тренировки, которая

осуществляется на практических занятиях. Консультации проводятся с целью оказания помощи обучающимся в изучении учебного материала, подготовки их к практическим занятиям.

5.2. Методические указания для подготовки обучающихся к лабораторным занятиям

- не предусмотрены

5.3. Методические указания для подготовки обучающихся к практическим занятиям

Подготовка к практическим занятиям

Подготовку к практическому занятию каждый обучающийся должен начать с ознакомления с планом практического занятия, который отражает содержание предложенной темы. Тщательное продумывание и изучение вопросов плана основывается на проработке текущего материала, а затем изучение обязательной и дополнительной литературы, рекомендованной к данной теме. На основе индивидуальных предпочтений обучающемуся необходимо самостоятельно выбрать тему доклада по проблеме семинара и по возможности подготовить по нему презентацию.

Если программой дисциплины предусмотрено выполнение практического задания, то его необходимо выполнить с учетом предложенной инструкции (устно или письменно). Все новые понятия по изучаемой теме необходимо выучить наизусть и внести в глоссарий, который целесообразно вести с самого начала изучения курса. Результат такой работы должен проявиться в способности обучающегося свободно ответить на теоретические вопросы семинара, его выступлении и участии в коллективном обсуждении вопросов изучаемой темы, правильном выполнении практических заданий и контрольных работ.

Структура практического занятия

В зависимости от содержания и количества отведенного времени на изучение каждой темы семинарское занятие может состоять из четырех-пяти частей:

1. Обсуждение теоретических вопросов, определенных программой дисциплины.
2. Доклад и/ или выступление с презентациями по проблеме семинара.
3. Обсуждение выступлений по теме - дискуссия.
4. Выполнение практического задания с последующим разбором полученных результатов или обсуждение практического задания, выполненного дома, если это предусмотрено программой.
5. Подведение итогов занятия.

Первая часть - обсуждение теоретических вопросов - проводится в виде фронтальной беседы со всей группой и включает выборочную проверку преподавателем теоретических знаний обучающихся. Примерная продолжительность - до 15 минут. Вторая часть - выступление обучающихся с докладами, которые должны сопровождаться презентациями с целью усиления наглядности восприятия, по одному из вопросов семинарского занятия. Обязательный элемент доклада - представление и анализ статистических данных, обоснование социальных последствий любого экономического факта, явления или процесса. Примерная продолжительность - 20-25 минут.

После докладов следует их обсуждение - дискуссия. В ходе этого этапа практического/семинарского занятия могут быть заданы уточняющие вопросы к докладчикам. Примерная продолжительность - до 15-20 минут. Если программой предусмотрено выполнение практического задания в рамках конкретной темы, то преподавателем определяется его содержание и дается время на его выполнение, а затем идет обсуждение результатов. Если практическое задание должно было быть выполнено дома, то на семинарском занятии преподаватель проверяет его выполнение (устно или письменно). Примерная продолжительность - 15-20 минут. Подведением итогов заканчивается семинарское занятие. Обучающимся должны быть объявлены оценки за работу и даны их четкие обоснования. Примерная продолжительность - 5 минут.

5.4. Методические указания по самостоятельной работе обучающихся

Работа с литературными источниками и интернет ресурсами

В процессе подготовки к практическим занятиям, обучающимся необходимо обратить особое внимание на самостоятельное изучение рекомендованной учебно-методической (а также научной и популярной) литературы.

Самостоятельная работа с учебниками, учебными пособиями, научной, справочной и популярной литературой, материалами периодических изданий и Интернета, статистическими данными является наиболее эффективным методом получения знаний, позволяет значительно активизировать процесс овладения информацией, способствует более глубокому усвоению изучаемого материала, формирует у обучающихся свое отношение к конкретной проблеме.

Более глубокому раскрытию вопросов способствует знакомство с дополнительной литературой, рекомендованной преподавателем по каждой теме семинарского или практического занятия, что позволяет обучающимся проявить свою индивидуальность в рамках выступления на данных занятиях, выявить широкий спектр мнений по изучаемой проблеме.

Подготовка презентации и доклада

Презентация, согласно толковому словарю русского языка Д.Н. Ушакова: «... способ подачи информации, в котором присутствуют рисунки, фотографии, анимация и звук». Для подготовки презентации рекомендуется использовать: PowerPoint, MS Word, AcrobatReader, LaTeX-овский пакет beamer. Самая простая программа для создания презентаций – MicrosoftPowerPoint. Для подготовки презентации необходимо собрать и обработать начальную информацию.

Последовательность подготовки презентации:

1. Четко сформулировать цель презентации: вы хотите свою аудиторию мотивировать, убедить, заразить какой-то идеей или просто формально отчитаться.
2. Определить каков будет формат презентации: живое выступление (тогда, сколько будет его продолжительность) или электронная рассылка (каков будет контекст презентации).
3. Отобразить всю содержательную часть для презентации и выстроить логическую цепочку представления.
4. Определить ключевые моменты в содержании текста и выделить их.
5. Определить виды визуализации (картинки) для отображения их на слайдах в соответствии с логикой, целью и спецификой материала.
6. Подобрать дизайн и форматировать слайды (количество картинок и текста, их расположение, цвет и размер).
7. Проверить визуальное восприятие презентации.

К видам визуализации относятся иллюстрации, образы, диаграммы, таблицы. Иллюстрация - представление реально существующего зрительного ряда. Образы – в отличие от иллюстраций - метафора. Их назначение - вызвать эмоцию и создать отношение к ней, воздействовать на аудиторию. С помощью хорошо продуманных и представляемых образов, информация может надолго остаться в памяти человека. Диаграмма - визуализация количественных и качественных связей. Их используют для убедительной демонстрации данных, для пространственного мышления в дополнение к логическому. Таблица - конкретный, наглядный и точный показ данных. Ее основное назначение - структурировать информацию, что порой облегчает восприятие данных аудиторией.

Практические советы по подготовке презентации готовьте отдельно:

- печатный текст + слайды + раздаточный материал;
- слайды - визуальная подача информации, которая должна содержать минимум текста, максимум изображений, несущих смысловую нагрузку, выглядеть наглядно и просто;
- текстовое содержание презентации – устная речь или чтение, которая должна включать аргументы, факты, доказательства и эмоции;
- рекомендуемое число слайдов 17-22;
- обязательная информация для презентации: тема, фамилия и инициалы выступающего; план сообщения; краткие выводы из всего сказанного; список использованных источников;
- раздаточный материал – должен обеспечивать ту же глубину и охват, что и живое выступление: люди больше доверяют тому, что они могут унести с собой, чем исчезающим изображениям, слова и слайды забываются, а раздаточный материал остается постоянным осязаемым напоминанием; раздаточный материал важно раздавать в конце презентации; раздаточный материалы должны отличаться от слайдов, должны быть более информативными.

Тема доклада должна быть согласованна с преподавателем и соответствовать теме учебного занятия. Материалы при его подготовке, должны соответствовать научно-методическим требованиям вуза и быть указаны в докладе. Необходимо соблюдать регламент, оговоренный при получении задания. Иллюстрации должны быть достаточными, но не чрезмерными.

Работа обучающегося над докладом-презентацией включает отработку умения самостоятельно обобщать материал и делать выводы в заключении, умения ориентироваться в материале и отвечать на дополнительные вопросы слушателей, отработку навыков ораторства, умения проводить диспут.

Докладчики должны знать и уметь: сообщать новую информацию; использовать технические средства; хорошо ориентироваться в теме всего семинарского занятия; дискутировать и быстро отвечать на заданные вопросы; четко выполнять установленный регламент (не более 10 минут); иметь представление о композиционной структуре доклада и др.

Структура выступления

Выступление помогает обеспечить успех выступления по любой тематике. Выступление должно содержать: название, сообщение основной идеи, современную оценку предмета изложения, краткое перечисление рассматриваемых вопросов, живую интересную форму изложения, акцентирование внимания на важных моментах, оригинальность подхода.

Основная часть, в которой выступающий должен глубоко раскрыть суть затронутой темы, обычно строится по принципу отчета. Задача основной части – представить достаточно данных для того, чтобы слушатели заинтересовались темой и захотели ознакомиться с материалами. При этом логическая структура теоретического блока не должны даваться без наглядных пособий, аудио-визуальных и визуальных материалов.

Заключение – ясное, четкое обобщение и краткие выводы, которых всегда ждут слушатели

Промежуточная аттестация

По итогам 4 семестра проводится экзамен. При подготовке к сдаче экзамена рекомендуется пользоваться материалами практических занятий и материалами, изученными в ходе текущей самостоятельной работы.

Экзамен проводится в устной или письменной форме, включает подготовку и ответы обучающегося на теоретические вопросы. По итогам экзамена выставляется оценка.

По итогам обучения в семестре к экзамену допускаются обучающиеся, имеющие положительные результаты по защите практических работ.

5.4.2 Методические указания по подготовке к тестированию для текущего контроля

Тестирование является одной из форм форма оценки полученных знаний и занимает важное место в учебном процессе.

Цель тестирования состоит не только в систематическом контроле за знанием, но и в развитии умения и навыков специалистов анализировать, обобщать наиболее существенные связи, признаки, проблемы экономических процессов и явлений.

В соответствии с рабочей программой дисциплины «Экономика» тестирование проводится по всем темам дисциплины в процессе проведения практического занятия. Тестирование проводится для оценки знания текущего материала.

На тестирование отводится 20 минут. При прохождении тестирования пользоваться конспектами лекций, учебниками, рабочими тетрадями не разрешается. Оценка результатов тестирования происходит на занятии. Для успешного прохождения тестирования рекомендуется, прежде всего, посмотреть конспект лекций, конспект практических занятий, а также рекомендованную учебную литературу по соответствующей по соответствующей теме дисциплины, по которой проводится тестирование знаний.

5.4.3. Методические указания к решению практических задач для текущего контроля

Решение практических задач в процессе текущего и промежуточного контроля осуществляется с целью проверки уровня навыков «владения» обучающегося по применению основных теоретических положений и ключевых концепций определенной темы или раздела дисциплины в целом для решения конкретной экономической ситуации или проблемы.

Длительность решения задачи – не более 10 минут.

При оценке решения задач анализируется понимание обучающимся правильность применения правил, графических моделей, способность объяснить используемые правила и формулы, а также степень проработки учебного материала.

5.4.4 Методические указания по подготовке к опросу

Самостоятельная работа обучающихся включает подготовку к опросу на практическом занятии. Опрос представляет собой форму текущего контроля успеваемости обучающегося по изучаемой дисциплине. При подготовке к опросу необходимо изучить материалы лекции, основную и дополнительную литературу, а также информацию с использованием Интернет-ресурсов по заявленной теме. Темы практических занятий, вопросы для обсуждения, а также контрольные вопросы даются в методических указаниях по соответствующим темам дисциплины. Обучающийся должен обратить внимание на основные термины и понятия по теме, на проблемные вопросы, подобрать дополнительную литературу для их освещения, составить тезисы выступления. Ответ обучающегося должен быть развернутым, аргументированным, логически выстроенным. При выставлении оценки учитывается правильность ответа по содержанию,

самостоятельность суждений и выводов, умение анализировать и связывать теоретические положения с практикой.

6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

№ п/п	Виды учебной работы	Образовательные технологии	Всего часов
1	2	3	4
Семестр 4			
1	Лекция «Задача двух тел. Законы Кеплера. Уравнения эллиптического движения»	Мультимедийная презентация с выводом ключевых уравнений, анимация движения по орбите (эллипс, гипербола). Разбор решения уравнения Кеплера.	2
2	Лекция «Интегралы движения. Численное интегрирование уравнений движения»	Презентация, демонстрация работы численных методов (Рунге–Кутта) на интерактивной доске. Сравнение аналитического и численного решений.	2
3	Лекция «Теория возмущений. Дифференциальное исправление орбит»	Презентация, live-демонстрация вычисления возмущений в среде Python/Jupyter Notebook (пример: влияние Юпитера на астероид).	3
4	Лекция «Космические астрометрические миссии: HIPPARCOS и GAIA»	Презентация, работа с онлайн-доступом к каталогам GAIA (демонстрация интерфейса Vizier, Gaia Archive).	3
5	Практическое занятие «Расчёт орбитальных элементов по положению и скорости»	Работа в малых группах с использованием вычислительных средств (калькулятор, Excel или Python). Решение задачи Ламберта.	1
6	Практическое занятие «Моделирование движения численными методами»	Лабораторная работа на компьютере: реализация метода Рунге–Кутта для задачи двух тел, анализ ошибок интегрирования.	1
7	Практическое занятие «Вычисление вековых возмущений от планет»	Вычислительный практикум с использованием готовых скриптов (Python). Построение графиков изменения элементов орбиты во времени.	1
8	Практическое занятие «Исследование точек либрации»	Компьютерное моделирование в среде научных пакетов (SciPy, Matplotlib). Построение кривых Хилла, определение координат точек Лагранжа.	1
Итого часов за 4 семестр:			14

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

7.1. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

	Список основной литературы
1.	Дубошин, Г. Н. Небесная механика. Основные задачи и методы : учебное пособие для университетов / Г. Н. Дубошин. – Москва : Физматгиз, 1963. – 588 с
2.	Емельянов, Н. Практическая небесная механика : учебное пособие / Н. Емельянов. – Москва : Физический факультет МГУ, 2018. – 270 с.
	Список дополнительной литературы
1.	Чаругин, В. М. Астрономия : учебник / В. М. Чаругин. – Москва : [Издательство], 2024. – [кол-во страниц].
2.	Благин, А. В. Астрономия : учебное пособие / А. В. Благин, О. В. Котова. – Москва : ИНФРА-М, 2026. – 272 с.

7.2 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

<http://elibrary.ru> – Научная электронная библиотека.

7.3. Информационные технологии, лицензионное программное обеспечение

Лицензионное программное обеспечение	Реквизиты лицензий/ договоров
Антивирус Dr.Web Desktop Security Suite	Лицензионный договор № 621 Срок действия: с 25.09.2025 до 24.09.2026
Консультант Плюс	Договор № 7 от 15.01.2026 г.
Цифровой образовательный ресурс IPR SMART	Лицензионный договор № 12873/25П от 02.07.2025 г. Срок действия: с 01.07.2025 г. до 30.06.2026 г.
MATLAB	Гос. контракт № 0379100003114000018 от 16 мая 2014 г.
Кодекс	Лицензионное соглашение № 5/4072 от 29.03.2026 г.
Бесплатное ПО	
LibreOffice, OpenOffice, МойОфис, Visual Studio Community, Sumatra PDF, 7-Zip, Adobe Acrobat Reader, МТС Линк, 1С: Предприятие Учебная версия, Lazarus, Firebird, IBE Expert, VBA, MySQL, Virtual box, Visual Studio Code, StarUML – унифицированный язык моделирования, PostgreSQL, Blender 3D, ArchiCAD. Учебная версия, Simulink, Electronics Workbench, Компас 3d/. Учебная версия, Project, STDU Viewer, МКБ-10, Графический векторный редактор Inkscape, Графический редактор Krita, Программа для чертежей и 3d – Компас, Nanocad, Астрософт	

8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

8.1. Требования к аудиториям (помещениям, местам) для проведения занятий

1. Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа:

Специализированная мебель:

Кафедра - 1 шт., доска меловая - 1 шт., парты - 27 шт., стулья - 61 шт.,

Технические средства обучения, служащие для предоставления учебной информации большой аудитории: Проектор - 1 шт. Экран моторизованный - 1 шт.

2. Учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.

Специализированная мебель:

Кафедра - 1 шт., доска меловая - 1 шт., парты - 27 шт., стулья - 61 шт.,

Технические средства обучения, служащие для предоставления учебной информации большой аудитории: Проектор - 1 шт. Экран моторизованный - 1 шт.

3. Учебная аудитория для проведения занятий лекционного и лабораторного типа, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации

Специализированная мебель: Компьютерные столы - 13 шт., стулья - 20 шт., книжный шкаф - 1 шт., доска маркерная - 1 шт.;

Лабораторное оборудование, технические средства обучения, служащие для предоставления учебной информации большой аудитории: Персональный компьютер (сервер) – 1 шт. Персональный компьютер (учебный) – 10 шт. Доска интерактивная/экран - 1 шт. Проектор – 1 шт.

4. Помещение для самостоятельной работы. Библиотечно-издательский центр.

Отдел обслуживания печатными изданиями. Специализированная мебель: Рабочие столы на 1 место – 21 шт. Стулья – 55 шт. Набор демонстрационного оборудования и учебно-наглядных пособий, обеспечивающих тематические иллюстрации: экран настенный – 1 шт. Проектор – 1 шт. Ноутбук – 1 шт.

Информационно-библиографический отдел. Специализированная мебель:

Рабочие столы на 1 место - 6 шт. Стулья - 6 шт.

Компьютерная техника с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду ФГБОУ ВО «СевКавГА»:

Персональный компьютер – 1 шт. Сканер – 1 шт. МФУ – 1 шт. Отдел обслуживания электронными изданиями Специализированная мебель:

Рабочие столы на 1 место – 24 шт. Стулья – 24 шт.

Набор демонстрационного оборудования и учебно-наглядных пособий, обеспечивающих тематические иллюстрации:

Интерактивная система - 1 шт. Монитор – 21 шт. Сетевой терминал – 18 шт.

Персональный компьютер – 3 шт. МФУ – 2 шт. Принтер – 1 шт.

8.2. Требования к оборудованию рабочих мест преподавателя и обучающихся

1. Рабочее место преподавателя, оснащенное компьютером с доступом в Интернет.

2. Рабочие места обучающихся, оснащенные компьютерами с доступом в Интернет, предназначенные для работы в цифровой образовательной среде.

8.3. Требования к специализированному оборудованию нет

9. ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ ДЛЯ ИНВАЛИДОВ И ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ

Для обеспечения образования инвалидов и обучающихся с ограниченными возможностями здоровья разрабатывается (в случае необходимости) адаптированная образовательная программа, индивидуальный учебный план с учетом особенностей их психофизического развития и состояния здоровья, в частности применяется индивидуальный подход к освоению дисциплины, индивидуальные задания: рефераты, письменные работы и, наоборот, только устные ответы и диалоги, индивидуальные консультации, использование диктофона и других записывающих средств для воспроизведения лекционного и семинарского материала.

В целях обеспечения обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья комплектуется фонд основной учебной литературой, адаптированной к ограничению электронных образовательных ресурсов, доступ к которым организован в БИЦ Академии. В библиотеке проводятся индивидуальные консультации для данной категории пользователей, оказывается помощь в регистрации и использовании сетевых и локальных электронных образовательных ресурсов, предоставляются места в читальном зале.

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

ПО ДИСЦИПЛИНЕ Небесная механика

1. ПАСПОРТ ФОНДА ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Небесная механика

Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Индекс	Формулировка компетенции
ПК-1	Способен применять современный математический аппарат при решении теоретических задач и при моделировании социальных и экономических процессов

2. Этапы формирования компетенции в процессе освоения дисциплины

Основными этапами формирования указанных компетенций при изучении обучающимися дисциплины являются последовательное изучение содержательно связанных между собой разделов (тем) учебных занятий. Изучение каждого раздела (темы) предполагает овладение обучающимися необходимыми компетенциями. Результат аттестации обучающихся на различных этапах формирования компетенций показывает уровень освоения компетенций обучающимися.

Этапность формирования компетенций прямо связана с местом дисциплины в образовательной программе.

Разделы (темы) дисциплины	Формируемые компетенции (коды)
	ПК-1
Задача двух тел. Законы Кеплера. Уравнения эллиптического движения.	+
Интегралы движения. Численное интегрирование уравнений движения небесных тел.	+
Теория возмущений. Дифференциальное исправление орбит.	+
Ограниченная задача трёх тел. Точки либрации, линии Хилла. Вращательная и приливная деформация тел.	+

3. Показатели, критерии и средства оценивания компетенций, формируемых в процессе изучения дисциплины

ПК-1 Способен применять современный математический аппарат при решении теоретических задач и при моделировании социальных и экономических процессов

Индикаторы достижения компетенции	Критерии оценивания результатов обучения				Средства оценивания результатов обучения	
	неудовлетв	удовлетв	хорошо	отлично	Текущий контроль	Промежуточный контроль
ПК-1.1. Обладает знаниями математических методов моделирования социальных и экономических процессов	Не знает основы фундаментальных наук и их задачи.	Имеет представление об основах фундаментальных наук и их задачах.	Знает основы фундаментальных наук и их задачи.	Демонстрирует знания основ фундаментальных наук и их задачи.	Контрольные вопросы, тестирование, собеседование	Зачет
ПК-1.2. Способен собирать, анализировать большие массивы данных для проведения научно – исследовательской работы, компьютерной обработки	Не может обосновать подход к решению конкретных математических задач.	Неуверенно обосновывает подход к решению конкретных математических задач.	Умеет обосновать подход к решению конкретных математических задач.	Готов и может обосновать подход к решению конкретных математических задач.	Контрольные вопросы, тестирование, собеседование	Зачет
ПК-1.3. Способен моделировать различные задачи прикладного характера, используя научный исследовательский подход	Не владеет развитыми навыками практических работ на компьютере.	Частично владеет развитыми навыками практических работ на компьютере.	Владеет развитыми навыками практических работ на компьютере.	Демонстрирует владение развитыми навыками практических работ на компьютере.	Контрольные вопросы, тестирование, собеседование	Зачет

4. Комплект контрольно-оценочных средств по дисциплине

Вопросы для устного опроса по дисциплине Небесная механика

Вопросы к разделу 1.

1. Сформулируйте и запишите закон всемирного тяготения. Как выводится задача двух тел?
2. Приведите к задаче об относительном движении. Что такое приведённая масса?
3. Перечислите три закона Кеплера и запишите их математически.
4. Выведите первый закон Кеплера (эллипс) из уравнений движения.
5. Что такое эксцентрическая аномалия? Запишите уравнение Кеплера и объясните его смысл.
6. Какие элементы орбиты вы знаете? Дайте определение каждому.

Вопросы к разделу 2.

1. Запишите и поясните интеграл энергии в задаче двух тел.
2. Запишите интеграл момента импульса. Какая плоскость сохраняется?
3. Что такое интеграл центра масс? Для чего он используется?
4. Почему для задачи трёх и более тел необходимо численное интегрирование?
5. Назовите основные методы численного интегрирования (Рунге–Кутта, методы прогноза-коррекции). Какой метод наиболее популярен и почему?
6. Как оценить точность численного интегрирования при расчёте эфемерид?

Вопросы к разделу 3

1. Что такое возмущающая функция? Запишите её для случая возмущений от планет.
2. Запишите уравнения Лагранжа для оскулирующих элементов.
3. Чем отличаются вековые возмущения от периодических?
4. Что такое метод дифференциального исправления орбит?
5. Как применяется метод наименьших квадратов для уточнения орбиты по наблюдениям?
6. Что такое матрица нормальных уравнений и как она используется?

Вопросы к разделу 4.

1. Сформулируйте ограниченную круговую задачу трёх тел.
2. Что такое синодическая система координат? Запишите уравнения движения.
3. Дайте определение точек либрации (Лагранжа). Назовите их и укажите расположение.
4. Какие точки Лагранжа устойчивы? При каких условиях?
5. Что такое линии Хилла и сфера Хилла? Где они применяются?
6. Объясните механизм приливного взаимодействия. Что такое приливное трение?
7. Как происходит синхронизация орбитального и вращательного движения (пример Меркурия, Луны)?

Вопросы к зачёту

1. Задача двух тел: вывод, приведённая масса, интегралы движения.
2. Законы Кеплера: формулировка, вывод из задачи двух тел.
3. Эллиптическое движение: уравнение эллипса, эксцентрическая аномалия, уравнение Кеплера.
4. Элементы орбиты (кеплеровы элементы): определения, геометрический смысл.
5. Интеграл энергии и интеграл момента импульса.

6. Численное интегрирование уравнений движения: методы Рунге–Кутты, оценка точности.
7. Теория возмущений: возмущающая функция, уравнения Лагранжа.
8. Дифференциальное исправление орбит: постановка задачи, метод наименьших квадратов.
9. Ограниченная задача трёх тел: уравнения в синодической системе, интеграл Якоби.
10. Точки либрации (Лагранжа): координаты, устойчивость.
11. Поверхности нулевой скорости (кривые Хилла) и сфера Хилла.
12. Вращательная и приливная деформация небесных тел: приливный потенциал, приливное трение.
13. Примеры практического применения небесной механики (расчёт орбит спутников, астероидов, космических аппаратов).

СЕВЕРО-КАВКАЗСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ

Кафедра «Астрофизика»

20__ - 20__ уч. год

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 5

По дисциплине Небесная механика

Для обучающихся 2 курса

направления подготовки 01.03.02 Прикладная математика и информатика

Вопросы:

1. Задача двух тел. Интегралы движения. Законы Кеплера.
2. Ограниченная задача трёх тел. Точки либрации, их устойчивость. Сфера Хилла.
3. Задача: По известной большой полуоси $a = 1,5$ а.е. и эксцентриситету $e = 0,2$ вычислите перигелийное и афелийное расстояния. Определите период обращения (масса центрального тела — солнечная).

И. о. заведующий кафедрой _____ **Г. Г. Валявин**

**Тестовые вопросы
по дисциплине «Небесная механика»**

1. Приведённая масса μ в задаче двух тел вычисляется как:

- a) $\mu = m_1 + m_2$
- b) $\mu = m_1 \cdot m_2 / (m_1 + m_2)$
- c) $\mu = m_1 / m_2$
- d) $\mu = \sqrt{(m_1 \cdot m_2)}$

2. Вторым закон Кеплера (закон площадей) является следствием сохранения:

- a) энергии
- b) момента импульса
- c) центра масс
- d) массы

3. Уравнение Кеплера для эллиптического движения имеет вид:

- a) $E - e \cdot \sin E = M$
- b) $M - e \cdot \cos M = E$
- c) $E + e \cdot \cos E = M$
- d) $\tan(E/2) = \sqrt{((1+e)/(1-e))} \cdot \tan(M/2)$

4. Какая из точек Лагранжа лежит за планетой на продолжении линии «звезда–планета» и является условно устойчивой?

- a) L_1
- b) L_2
- c) L_3
- d) L_4

5. Интеграл Якоби сохраняется в:

- a) задаче двух тел
- b) ограниченной круговой задаче трёх тел
- c) задаче n тел без ограничений
- d) приливной задаче

6. Вековые возмущения вызывают:

- a) периодические колебания элементов орбиты с малым периодом
- b) монотонное изменение элементов орбиты (например, поворот линии апсид)
- c) только изменение наклона
- d) только изменение эксцентриситета

7. Метод дифференциального исправления орбит используется для:

- a) вычисления эфемерид на короткий срок
- b) уточнения орбитальных элементов по наблюдениям
- c) численного интегрирования уравнений движения
- d) определения масс планет

8. Если эксцентриситет орбиты $e = 0$, то орбита является:

- a) эллипсом
- b) параболой
- c) окружностью
- d) гиперболой

9. Для перехода от физического времени к средней аномалии используется:
- уравнение Кеплера
 - интеграл энергии
 - интеграл Якоби
 - уравнение Лагранжа
10. Сфера Хилла — это область, в которой:
- гравитация планеты доминирует над гравитацией звезды
 - гравитация звезды равна нулю
 - возможны устойчивые точки либрации L_4 и L_5
 - движение всегда хаотично
11. Какая из точек Лагранжа (L_1 , L_2 , L_3) расположена между двумя массивными телами?
- L_1
 - L_2
 - L_3
 - L_4 и L_5
12. Метод Рунге–Кутты 4-го порядка требует вычисления производных:
- 2 раза на шаг
 - 3 раза на шаг
 - 4 раза на шаг
 - 1 раз на шаг
13. Приливное трение в системе Земля–Луна приводит к:
- удалению Луны от Земли и замедлению вращения Земли
 - приближению Луны к Земле
 - увеличению эксцентриситета орбиты Луны
 - изменению наклона орбиты Луны
14. Большая полуось орбиты связана с периодом обращения третьим законом Кеплера:
- $a^2 \propto T^3$
 - $a^3 \propto T^2$
 - $a \propto T$
 - $a \propto T^2$
15. Уравнения Лагранжа для оскулирующих элементов описывают изменение элементов орбиты под действием:
- только центральной силы
 - возмущающей функции
 - только приливных сил
 - релятивистских поправок
16. Какой численный метод чаще всего используется в современной небесной механике для долгосрочного интегрирования?
- Эйлера
 - Рунге–Кутты 4-го порядка
 - Адамса–Башфорта–Мултона (прогноз-коррекция)
 - Верле
17. Интеграл центра масс в задаче двух тел означает, что:
- центр масс движется равномерно и прямолинейно

- b) центр масс покоится
- c) центр масс движется по круговой орбите
- d) массы тел равны

18. Эксцентрическая аномалия E связана с истинной аномалией θ соотношением:

- a) $\tan(\theta/2) = \sqrt{\frac{1+e}{1-e}} \cdot \tan(E/2)$
- b) $\theta = E + e \cdot \sin E$
- c) $\theta = 2 \arctan(E)$
- d) $\theta = \pi - E$

19. Период обращения по эллиптической орбите зависит:

- a) только от большой полуоси
- b) только от эксцентриситета
- c) от большой полуоси и эксцентриситета
- d) от большой полуоси и массы центрального тела

20. Точки Лагранжа L_4 и L_5 находятся:

- a) на линии, соединяющей два массивных тела
- b) в вершинах равносторонних треугольников с этими телами
- c) за пределами системы
- d) на бесконечности

5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания компетенции

5.1. Критерии оценки устного опроса

При оценке ответа обучающегося надо руководствоваться следующими критериями, учитывать:

- 1) полноту и правильность ответа;
- 2) степень осознанности, понимания изученного;
- 3) языковое оформление ответа.

Отметка "5" ставится, если обучающийся:

- 1) полно излагает изученный материал, даёт правильное определение понятий;
- 2) обнаруживает понимание материала, может обосновать свои суждения, применить знания на практике, привести необходимые примеры не только по учебнику, но и самостоятельно составленные;
- 3) излагает материал последовательно и правильно с точки зрения норм литературного языка.

Отметка "4" ставится, если обучающийся даёт ответ, удовлетворяющий тем же требованиям, что и для отметки "5", но допускает 1-2 ошибки, которые сам же исправляет, и 1-2 недочёта в последовательности и языковом оформлении излагаемого.

Отметка "3" ставится, если обучающийся обнаруживает знание и понимание основных положений данной темы, но:

- 1) излагает материал неполно и допускает неточности в определении понятий или формулировке правил;
- 2) не умеет достаточно глубоко и доказательно обосновать свои суждения и привести свои примеры;

3) излагает материал непоследовательно и допускает ошибки в языковом оформлении излагаемого.

Отметка "2" ставится, если обучающийся обнаруживает незнание большей части соответствующего раздела изучаемого материала, допускает ошибки в формулировке определений и правил, искажающие их смысл, беспорядочно и неуверенно излагает материал. Оценка "2" отмечает такие недостатки в подготовке ученика, которые являются серьезным препятствием к успешному овладению последующим материалом.

5.2. Критерии оценивания качества выполнения лабораторного практикума:

Оценка «зачтено» выставляется обучающемуся, если лабораторная работа выполнена правильно и обучающийся ответил на все вопросы, поставленные преподавателем на защите.

Оценка «не зачтено» выставляется обучающемуся, если лабораторная работа выполнена не правильно или обучающийся не проявил глубоких теоретических знаний при защите работы

5.3. Критерии оценивания тестирования

При тестировании все верные ответы берутся за 100%.

90%-100% отлично

75%-90% хорошо

60%-75% удовлетворительно

менее 60% неудовлетворительно

5.4. Критерии оценивания экзамена

Итоговой формой контроля знаний, умений и навыков. Экзамен проводится в форме собеседования по билетам, которые включают 2 (два) теоретических вопроса и 1 задача. Экзамен предполагает получение обучающихся одной из оценок по 5-балльной шкале: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» или «неудовлетворительно».

Проведение экзаменов как основной формы проверки знаний обучающихся предполагает соблюдение ряда условий, обеспечивающих педагогическую эффективность оценочной процедуры. Важнейшие среди них:

1. степень охвата разделов учебной программы и понимание взаимосвязей между ними;
2. глубина понимания существа обсуждаемых конкретных проблем, а также актуальности и практической значимости изучаемой дисциплины;
3. диапазон знания философской литературы;
4. логически корректное, непротиворечивое, последовательное и аргументированное построение ответа на экзамене;
5. уровень самостоятельного мышления с элементами творческого подхода к изложению материала.

Оценки «отлично» заслуживает ответ, содержащий:

1. глубокое и систематическое знание всего программного материала и структуры конкретной дисциплины, а также основного содержания и новаций лекционного курса по сравнению с учебной литературой;
2. отчетливое и свободное владение концептуально-понятийным аппаратом, научным языком и терминологией соответствующей научной области;
3. знание основной литературы и знакомство с дополнительно рекомендованной литературой;
4. умение выполнять предусмотренные программой задания;
5. логически корректное и убедительное изложение ответа.

Оценки «хорошо» заслуживает ответ, содержащий:

1. знание узловых проблем программы и основного содержания лекционного курса;
2. умение пользоваться концептуально-понятийным аппаратом в процессе анализа основных проблем программы;
3. знание важнейших работ из списка рекомендованной литературы;
4. умение выполнять предусмотренные программой задания;
5. в целом логически корректное, но не всегда точное и аргументированное изложение ответа.

Оценки «удовлетворительно» заслуживает ответ, содержащий:

1. фрагментарные, поверхностные знания важнейших разделов программы и содержания лекционного курса;
2. затруднения с использованием научно-понятийного аппарата и терминологии дисциплины;
3. неполное знакомство с рекомендованной литературой;
4. частичные затруднения с выполнением предусмотренных программой заданий;
5. стремление логически определенно и последовательно изложить ответ.

Оценка «неудовлетворительно» ставится при:

1. незнании либо отрывочном представлении учебно-программного материала;
2. неумении выполнять предусмотренные программой задания.

Итоговая оценка за экзамен выставляется преподавателем в совокупности, учитывая оценивание тестирования и практико-ориентированной части экзамена.