

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина»

Институт естественных наук и математики

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по науке

В.В. Кружаев

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2017 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ  
СПЕЦИАЛЬНЫЕ ГЛАВЫ НЕБЕСНОЙ МЕХАНИКИ**

<b>Перечень сведений о рабочей программе дисциплины</b>	<b>Учетные данные</b>
<b>Образовательная программа</b> Астрометрия и небесная механика	<b>Код ОП</b> 03.06.01
<b>Направление подготовки</b> Физика и астрономия	<b>Код направления и уровня подготовки</b> 03.06.01
<b>Уровень подготовки</b> Подготовка кадров высшей квалификации	
<b>ФГОС ВО</b>	<b>Реквизиты приказа Минобрнауки РФ об утверждении ФГОС ВО:</b> № 867 от 30.07.2014 г., с изменениями и дополнениями от 30.04.2015 г.

**СОГЛАСОВАНО**  
УПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ  
КАДРОВ ВЫСШЕЙ  
КВАЛИФИКАЦИИ

Екатеринбург, 2017 г.

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

<b>№ п/п</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, ученое звание</b>	<b>Должность</b>	<b>Структурное подразделение</b>	<b>Подпись</b>
1	Кузнецов Эдуард Дмитриевич	доктор. физ.-мат. наук, доцент	заведующий кафедрой	кафедра астрономии, геодезии и мониторинга окружающей среды	

**Рекомендовано учебно-методическим советом Института естественных наук и математики**

Председатель учебно-методического совета  
Протокол №1 от 26.09.2017 г.

Е.С.Буянова

**Согласовано:**

Начальник ОПНПК

О.А.Неволина

# **1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИСЦИПЛИНЫ СПЕЦИАЛЬНЫЕ ГЛАВЫ НЕБЕСНОЙ МЕХАНИКИ**

## **1.1. Аннотация содержания дисциплины**

Небесная механика — динамично развивающийся раздел астрономии. В курсе рассматриваются современные аналитические и численные методы небесной механики, устойчивость движения и средства анализа стохастических свойств траекторий применительно к основным разделам небесной механики: динамике планетных систем и теории движения искусственных спутников Земли.

## **1.2. Язык реализации дисциплины — русский**

## **1.3. Планируемые результаты обучения по дисциплине**

Результатом обучения в рамках дисциплины является формирование у аспиранта следующих компетенций:

УК-1. Способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях.

ОПК-1. Способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий.

ПК-2. Способность развития теоретических основ астрономии и физики с учетом современных достижений отечественной и зарубежной науки и техники.

В результате освоения дисциплины аспирант должен:

Знать:

- современные научные достижения, в том числе в междисциплинарных областях;
- теоретические основы астрономии и физики с учетом современных достижений отечественной и зарубежной науки и техники;
- основы педагогической деятельности в области профессиональной подготовки в образовательных организациях высшего образования, дополнительного профессионального образования, профессиональных образовательных организациях.

Уметь:

- анализировать и оценивать современные научные достижения, генерировать новые идеи при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях;
- проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного системного научного мировоззрения с использованием знаний в области истории и философии науки;

Владеть (демонстрировать навыки и опыт деятельности):

- участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач;
- самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в области астрофизики с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий;
- решать астрономические, физические и математические проблемы, возникающие при проведении научных исследований как теоретического, так и экспериментального (наблюдательного) характера.
- развивать теоретические основы астрономии и физики с учетом современных достижений отечественной и зарубежной науки и техники.
- анализировать результаты научно-исследовательской работы, подготавливать научные

публикации, рецензировать и редактировать научные статьи.

#### 1.4. Объем дисциплины

№ п/п	Виды учебной работы	Объем дисциплины		Распределение объема дисциплины по семестрам (час.)		
		Всего часов	В т.ч. контактная работа (час.)*	5		
1.	Аудиторные занятия	4	4	4		
2.	Лекции	4	4	4		
3.	Практические занятия					
4.	Лабораторные работы					
5.	Самостоятельная работа аспирантов, включая все виды текущей аттестации	104		104		
6.	Промежуточная аттестация	3	0,25	3		
7.	Общий объем по учебному плану, час.	108	4,25	108		
8.	Общий объем по учебному плану, з.е.	3		3		

\*Контактная работа составляет:

в п/п 2,3,4 - количество часов, равное объему соответствующего вида занятий;

в п.5 – количество часов, равное сумме объема времени, выделенного преподавателю на консультации в группе (15% от объема аудиторных занятий).

в п.6 – количество часов, равное сумме объема времени, выделенного преподавателю на проведение соответствующего вида промежуточной аттестации одного аспиранта. (экзамен – 20 мин, зачет – 15 мин)

объем дисциплины, всего часов (экзамен – 18 часов, зачет – 4 часа)

## 2. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины*	Содержание
P1	Современные аналитические методы небесной механики	Метод преобразований Ли в теории возмущений. Малые знаменатели. Резонанс.
P2	Современные численные методы небесной механики	Построение алгоритмов точного численного прогнозирования движения небесных тел на основе применения численных методов высоких порядков и преобразований, регуляризирующих и стабилизирующих уравнения движения; изучаются методы Рунге–Кутты высоких порядков, метод тейлоровских разложений, неявные одношаговые алгоритмы Эверхарта, экстраполяционные методы, многошаговые методы, учитывающие свойства движения, метод многооборотного интегрирования.
P3	Современные проблемы динамики	Современные представления о строении Солнечной системы, основы математической теории устойчивости,

	Солнечной системы	асимптотические методы решения дифференциальных уравнений, теория резонансных систем, аналитические и численные теории движения больших планет, результаты численного моделирования движения больших планет на космогонических интервалах времени.
<b>Р4</b>	Современные проблемы динамики внесолнечных планетных систем	Структура и динамическая эволюция внесолнечных планетных систем. Классификация систем по наличию резонансов. Динамическая эволюция.
<b>Р5</b>	Современные проблемы теории движения искусственных спутников Земли	Учет влияния основных возмущающих факторов: несферичность гравитационного поля Земли, притяжение Луны и Солнца, сопротивление атмосферы, влияние светового давления, а также малые возмущающие факторы. Особенности и закономерности эволюции орбит ИСЗ. Эволюция орбит резонансных спутников.
<b>Р6</b>	Современные проблемы стохастической небесной механики	Критерии стохастичности. Резонансы и формирование стохастических траекторий.

### **3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ УЧЕБНОГО ВРЕМЕНИ**

#### **3.1. Распределение аудиторной нагрузки и мероприятий самостоятельной работы по разделам дисциплин**

Объем дисциплины (зач.ед.): 3

Раздел дисциплины		Аудиторные занятия (час.)				Самостоятельная работа: виды, количество и объемы мероприятий																			
Код раздела, темы	Наименование раздела, темы	Всего по разделу (час.)	Всего аудиторной работы (час.)				Всего самостоятельной работы аспирантов (час.)	Подготовка к аудиторным занятиям (час.)					Выполнение самостоятельных внеаудиторных работ (колич.)						Подготовка к контрольным мероприятиям текущей аттестации (колич.)	Подготовка к промежуточной аттестации по дисциплине (час.)	Подготовка в рамках дисциплины к промежуточной аттестации по модулю (час.)				
			Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	Всего (час.)		Лекция	Практ., семинар. занятие	Лабораторное занятие	Н/и семинар, семинар-конференция, коллоквиум	Всего (час.)	Домашняя работа*	Графическая работа*	Реферат, эссе, творч. работа*	Проектная работа*	Расчетная работа, разработка программного продукта*	Расчетно-графическая работа*				Домашняя работа на иностранном языке*	Перевод иноязычной литературы*	Курсовая работа*	Курсовой проект*
P1	Современные аналитические методы небесной механики	18	1	1		17	17	17																	Зачет Экзамен Интегрированный экзамен по модулю Проект по модулю
P2	Современные численные методы небесной механики	18	1	1		17	17	17																	
P3	Современные проблемы динамики Солнечной системы	17	0.5	0.5		16.5	16.5	16.5																	
P4	Современные проблемы динамики внесолнечных планетных систем	17	0.5	0.5		16.5	16.5	16.5																	
P5	Современные проблемы теории движения искусственных спутников Земли	17	0.5	0.5		16.5	16.5	16.5																	
P6	Современные проблемы стохастической небесной механики	17	0.5	0.5		16.5	16.5	16.5																	
	<b>Всего (час), без учета промежуточной аттестации:</b>	<b>104</b>	<b>4</b>	<b>4</b>		<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>																	
	<b>Всего по дисциплине (час.):</b>	<b>108</b>	<b>4</b>			<b>100</b>	6 В т.ч. промежуточная аттестация													<b>4</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>		

---

\*Суммарный объем в часах на мероприятие  
указывается в строке «Всего (час.)» без учета промежуточной аттестации

#### 4. ОРГАНИЗАЦИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ, САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

##### 4.1. Лабораторные работы

Не предусмотрено

##### 4.2. Практические занятия

Не предусмотрено

##### 4.3. Примерная тематика самостоятельной работы

##### 4.3.1. Примерный перечень тем домашних работ

Не предусмотрено

##### 4.3.2. Примерный перечень тем рефератов (эссе, творческих работ)

Не предусмотрено

##### 4.3.3. Примерная тематика индивидуальных или групповых проектов

Не предусмотрено

##### 4.3.4. Примерная тематика контрольных работ

Не предусмотрено

##### 4.3.5. Примерная тематика коллоквиумов

Не предусмотрено

#### 5. СООТНОШЕНИЕ РАЗДЕЛОВ, ТЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ПРИМЕНЯЕМЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОБУЧЕНИЯ

Код раздела, темы дисциплины	Активные методы обучения						Дистанционные образовательные технологии и электронное обучение					
	Проектная работа	Кейс-анализ	Деловые игры	Проблемное обучение	Командная работа	Другие (указать, какие)	Сетевые учебные курсы	Виртуальные практикумы и тренажеры	Вебинары и видеоконференции	Асинхронные web-конференции и семинары	Совместная работа и разработка контента	Другие (указать, какие)
P1				*						*		
P2				*						*		
P3				*						*		
P4				*						*		
P5				*						*		
P6				*						*		

#### 6. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (Приложение 1)



## **7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **7.1.Рекомендуемая литература**

#### **7.1.1. Основная литература**

1. Мюррей К., Дермотт С. Динамика Солнечной системы. М.: Физматлит, 2010.
2. Язев С.А. Лекции о Солнечной системе.— Изд. 2-е, испр. и доп. — СПб. [и др.] : Лань, 2011 .— 381, [1] с.
3. Шази Ж. Теория относительности и небесная механика. Т. 1.— Москва ; Ижевск : Ижевский институт компьютерных исследований, 2011 .— 260 с.

#### **7.1.2. Дополнительная литература**

1. Ковалевский Ж. Современная астрометрия. Фрязино: Век-2, 2004.
2. Холшевников К.В., Титов В.Б. Задача двух тел. СПб.: Изд-во СПб ун-та, 2007.
3. Дубошин Г.Н. Небесная механика: основные задачи и методы. М., Наука, 1975.
4. Дубошин Г.Н. Небесная механика. Аналитические и качественные методы. М.: Наука, 1964.
5. Субботин М.Ф. Введение в теоретическую астрономию. М., Наука, 1968.
6. Холшевников. К.В. Асимптотические методы небесной механики. Л.: Изд-во ЛГУ, 1985.
7. Антонов В.А., Тимошкова Е.И., Холшевников К.В. Введение в теорию ньютоновского
8. Куликов К.А. Сферическая астрономия. М.: Наука, 1975.
9. Подобед В.В., Нестеров В.В. Общая астрометрия. М.: Наука, 1982.

### **7.2. Методические разработки**

Не используется

### **7.3. Программное обеспечение**

1. Microsoft Visual Studio

### **7.4. Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы**

1. Научная электронная библиотека, <http://elibrary.ru/defaultx.asp>
2. Цифровая библиотека по физике и астрономии ADS, [http://adsabs.harvard.edu/abstract\\_service.html](http://adsabs.harvard.edu/abstract_service.html)
3. Российская астрономическая сеть Астронет, <http://www.astronet.ru>
4. Сервис доступа к опубликованным астрономическим базам данных и каталогам, <http://vizier.u-strasbg.fr/viz-bin/VizieR>

### **7.5. Электронные образовательные ресурсы**

1. Центр новых образовательных технологий УрФУ, <http://media.ls.urfu.ru/cet/>

## **8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Сведения об оснащённости дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием**

Специально оборудованные аудитории УрФУ с видеопроекционным комплексом на базе мультимедийного проектора и настольного ПК.

## ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

### 8.1. КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ КОНТРОЛЬНО-ОЦЕНОЧНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Применяются утвержденные на кафедре критерии оценивания достижений аспирантов по каждому контрольно-оценочному мероприятию. Система критериев оценивания опирается на три уровня освоения компонентов компетенций: пороговый, повышенный, высокий.

Компоненты компетенций	Признаки уровня освоения компонентов компетенций		
	пороговый	повышенный	высокий
<b>Знания</b>	Аспирант демонстрирует знание-знакомство, знание-копию: узнает объекты, явления и понятия, находит в них различия, проявляет знание источников получения информации, может осуществлять самостоятельно репродуктивные действия над знаниями путем самостоятельного воспроизведения и применения информации.	Аспирант демонстрирует аналитические знания: уверенно воспроизводит и понимает полученные знания, относит их к той или иной классификационной группе, самостоятельно систематизирует их, устанавливает взаимосвязи между ними, продуктивно применяет в знакомых ситуациях.	Аспирант может самостоятельно извлекать новые знания из окружающего мира, творчески их использовать для принятия решений в новых и нестандартных ситуациях.
<b>Умения</b>	Аспирант умеет корректно выполнять предписанные действия по инструкции, алгоритму в известной ситуации, самостоятельно выполняет действия по решению типовых задач, требующих выбора из числа известных методов, в предсказуемо изменяющейся ситуации	Аспирант умеет самостоятельно выполнять действия (приемы, операции) по решению нестандартных задач, требующих выбора на основе комбинации известных методов, в непредсказуемо изменяющейся ситуации	Аспирант умеет самостоятельно выполнять действия, связанные с решением исследовательских задач, демонстрирует творческое использование умений (технологий)
<b>Личностные качества</b>	Аспирант имеет низкую мотивацию учебной деятельности, проявляет безразличное, безответственное отношение к учебе, порученному делу	Аспирант имеет выраженную мотивацию учебной деятельности, демонстрирует позитивное отношение к обучению и будущей трудовой деятельности, проявляет активность.	Аспирант имеет развитую мотивацию учебной и трудовой деятельности, проявляет настойчивость и увлеченность, трудолюбие, самостоятельность, творческий подход.

## **8.2. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ**

### **8.2.1. Примерные задания для проведения мини-контрольных в рамках учебных занятий**

Не предусмотрено

### **8.2.2. Примерные контрольные задачи в рамках учебных занятий**

Не предусмотрено

### **8.2.3. Примерные контрольные кейсы**

Не предусмотрено

### **8.2.4. Перечень примерных вопросов для зачета**

1. Неявные одношаговые алгоритм Эверхарта. Принципы построения. Узлы разбиения шага интегрирования.
2. Типы алгоритмов Эверхарта. Контроль величины шага интегрирования
3. Экстраполяционные схемы Невилла и Штера. Метод Булирша и Штера. Выбор шага интегрирования
4. Многошаговые методы. Принципы построения.
5. Алгоритмы Адамса – Мультона – Коуэлла.
6. Многошаговый метод с неравноотстоящими узлами.
7. Орбитально устойчивые многошаговые методы. Выбор шага интегрирования. Оценка погрешности алгоритма.
8. Улучшенный метод Адамса – Мультона – Коуэлла
9. Методы многооборотного интегрирования. Принципы построения.
10. Многооборотный алгоритм предсказания и коррекции.
11. Модифицированные многооборотные алгоритмы.
12. Особенности реализации многооборотного метода. Определение частот
13. Определения устойчивости по Лагранжу, по Пуассону, по Хиллу, по Ляпунову.
14. Положение равновесия: устойчивость, асимптотическая устойчивость, неустойчивость.
15. Устойчивость по части переменных. Орбитальная устойчивость.
16. Устойчивость при постоянно действующих возмущениях. Устойчивость по первому приближению.
17. Характеристический показатель Ляпунова. Экспоненциальное разбегание траекторий. Время Ляпунова.
18. Асимптотические ряды. Условно-периодические функции. Альфа-резонанс. Проблема малых знаменателей.
19. Нелинейные колебания. Выбор начального приближения.
20. Метод преобразований Ли. Уравнения замены переменных. Решение уравнений замены переменных. Геометрическая интерпретация решений многочастотных систем.
21. Почти соизмеримость средних движений. Резонансные системы. Основные соотношения теории резонансов. Теория одиночного резонанса.
22. Резонанс средних движений. Люки Кирквуда.
23. Динамика астероидов в резонансе 3/1 с Юпитером.
24. Вековые резонансы. Захват в резонанс. Происхождение орбиты Плутона.
25. Взаимодействие резонансов. Спутники Урана. Соизмеримость средних движений спутников планет. Хаотические резонансы.
26. Динамика астероидов в резонансе 2/1 с Юпитером. Люк Гекубы.
27. Хаос и устойчивость на больших временах. Астероиды группы Гильды. Резонанс 3/2 с Юпитером.
28. Астероиды-трояницы планет-гигантов.
29. Динамика комет семейства Юпитера.
30. Динамика объектов во внешней области Солнечной системы.
31. Аналитические теории движения больших планет.

32. Численные теории движения больших планет.
33. Эволюция системы Земля-Луна.
34. Инсоляция поверхности Земли. Эволюция наклона оси вращения Земли. Луна и происхождение жизни на Земле.
35. Хаос в наклонах осей вращения планет.
36. Эволюция орбит планет на космогонических интервалах времени. Сближения звезд с Солнечной системой.
37. Планетные системы пульсаров.
38. Планетные системы солнцеподобных звезд.
39. Формы представления потенциала Земли в виде функции элементов орбит.
40. Особенности вычисления лунно-солнечных возмущений.
41. Особенности численного интегрирования уравнений движения ИСЗ.
42. Рекуррентные алгоритмы для вычисления шаровых функций  $V_{n,m}$  и их производных.
43. Вычисление возмущений от приливных деформаций центрального тела.
44. Особенности представления других возмущений в численном моделировании движения ИСЗ.

#### **8.2.5. Перечень примерных вопросов для экзамена**

Не предусмотрено