

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

УТВЕРЖДАЮ
Декан физического факультета
МГУ
_____/ Н.Н. Сысоев /
«__» _____ 20__ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование дисциплины:

ТЕОРИЯ ФИГУР РАВНОВЕСИЯ НЕБЕСНЫХ ТЕЛ

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 _____

Автор–составитель:

1. Д.ф.-м.н., профессор Кондратьев Борис Петрович, кафедра небесной механики, астрометрии и гравиметрии физического факультета МГУ

Заведующий кафедрой

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

Аннотация к рабочей программе дисциплины «Теория фигур равновесия небесных тел»

Дисциплина «Теория фигур равновесия» является важной частью современной небесной механики и астрофизики; её методы служат основой для решения многих задач в современной астрономии. На лекциях студенты знакомятся с законами теории фигур равновесия вращающейся гравитирующей жидкости, основы которой были заложены великими математиками, механиками и астрономами. В настоящее время теория фигур равновесия совершенствуется не только благодаря разработке новых аналитических методов, но и вследствие быстрого развития наблюдательной базы в астрономии и появления в лабораториях мощных компьютеров. В нашем лекционном курсе классические методы излагаются в новой, более краткой и рациональной форме. Изложение доведено до описания алгоритмов решения типичных задач в теории фигур равновесия. В курсе рассказывается о фигурах относительного равновесия и о фигурах равновесия с внутренним полем скоростей. Актуальность последнего раздела очевидна, так как многие небесные тела – планеты, звезды, галактики – имеют внутренние течения. Благодаря теории фигур равновесия, были получены фундаментальные знания о строении планет в Солнечной системе и о планетах у других звезд.

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

Дисциплина «Теория фигур равновесия небесных тел» реализуется на 4-ом курсе в 8-ом семестре и является составной частью профессионального блока вариативной части.

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

Практикум по небесной механике, научная работа по дисциплинам небесной механики.

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: фундаментальные законы небесной механики и теории фигур равновесия З-2 Знать: основные понятия математической обработки наблюдений небесных тел У-1 Уметь: строить теоретические модели для разных систем в небесной механике, используя критически анализ данных У-2 Уметь: планировать и проводить экспериментальные исследования в области небесной механики, объяснять и оценивать в рамках основных физических законов результаты, полученные в процессе численных расчетов В-1 Владеть: математическим аппаратом, применяемым в теории возмущений В-2 Владеть: методами теоретического исследования явлений и процессов в небесной механике
ОПК-1.Б	З-1 Знать: основные математические методы, используемые при решении задач небесной механики У-1 Уметь: решать типовые задачи небесной механики У-2 Уметь: строить математические модели явлений и процессов небесной механики В-1 Владеть: навыками выполнения аналитических выкладок с помощью специального программного обеспечения и компьютеров

2. **Форма обучения:** очная.

3. **Язык обучения:** русский.

4. **Содержание дисциплины**

Тема 1. Предмет теории фигур равновесия небесных тел.

Исторический обзор. Предмет и задачи теории фигур равновесия. Открытие закона Всемирного тяготения и возникновение теории фигур равновесия. Основные понятия и определения

теории фигур равновесия. Исследования Ньютона по фигуре Земли. Метод каналов. Примеры применения теории фигур равновесия в современной астрономии.

Тема 2. Элементы гидродинамики и теории потенциала.

Сведения из теории потенциала. Потенциалы однородных сфероидов, трехосных эллипсоидов и эллиптических цилиндров. Потенциалы слоисто-неоднородных эллипсоидов. Гидродинамические уравнения Эйлера.

Тема 3. Фундаментальные принципы теории фигур равновесия.

Основное интегро-дифференциальное уравнение проблемы и его решения. Уровенные поверхности и их свойства. Теоремы Пуанкаре и Лихтенштейна. Предел Крудели. Предел сжатия фигуры в модели Роша.

Тема 4. Сфероиды Маклорена и их устойчивость.

Ньютон и Маклорен. Фигуры равновесия гравитирующих сфероидов и их свойства. Понятие о точке бифуркации. Необходимое условие для существования точки бифуркации. Вторые гармоники колебаний сфероидов. Влияние вязкой диссипации на устойчивость. Вековая и динамическая устойчивость.

Тема 5. Трехосные фигуры равновесия. Эллипсоиды Якоби.

Введение. Открытие Якоби. Лиувиль и Майер. Равновесные фигуры эллипсоидов. Бифуркация эллипсоидов Якоби от сфероидов Маклорена. Критический эллипсоид Якоби и последовательность эллипсоидальных фигур равновесия. Грушевидные фигуры. Астрономические приложения.

Тема 6. Нелинейные колебания жидких гравитирующих эллипсоидов.

Проблема Дирихле-Римана. Вихрь и циркуляция. Поле скоростей с однородной завихренностью внутри эллипсоидов. Нелинейные колебания жидких гравитирующих эллипсоидов. Система дифференциальных уравнений, описывающих нелинейные колебания. Интегралы движения в проблеме Дирихле. Сопряженные эллипсоиды и теорема Дедекинда.

Тема 7. Фигуры равновесия с внутренними течениями в проблеме Дирихле-Римана-Чандрасекара.

Уравнения равновесия фигур с внутренним полем скоростей. Фундаментальная теорема Римана. Равновесные фигуры, когда вектор вихря и угловой скорости параллельны. S-эллипсоиды Римана и их свойства. Три класса фигур равновесия, когда векторы вихря и угловой скорости лежат в одной из главных плоскостей эллипсоида.

Тема 8. Неэллипсоидальные фигуры равновесия.

Грушевидные фигуры равновесия. Случай с внутренними течениями. Двумерные конфигурации. Метод конформных отображений. Потенциал и комплексная напряженность. Новые последовательности неэллиптических фигур равновесия.

Тема 9. Применение теории фигур равновесия к небесным телам.

Модель Роша и строение звезд. Двухкомпонентные модели фигур равновесия небесных тел, состоящих из каменного ядра и ледяной оболочки. Примеры неоднородных фигур равновесия: спутник Сатурна Япет, карликовая планета Хаумеа.

Тема 10. Динамика E-галактик.

Потенциалы и тензор гравитационной энергии слоисто-неоднородных эллипсоидов. Тензорная теорема вириала второго порядка. Уравнения равновесия эллиптических галактик с анизотропией дисперсии скоростей. Применение метода к изучению динамики реальных Е-галактик.

7. Объем дисциплины

НАЗВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	Трудоемкость в зачетных единицах	объем учебной нагрузки в ак. часах				
		Общая трудоем- кость	в том числе			Самостоятельная работа студентов
			ауд.	занятий		
Теория фигур равновесия небесных тел	2	72	34	34	0	38

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

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

№ темы	Наименование раздела дисциплины	Виды учебной нагрузки и их трудоемкость, часы					Форма текущего контроля успе- ваемости и про- межуточной ат- тестации
		Всего часов	Лекции	Научно-практические занятия	Семинары	Самостоятельная ра- бота	
1	Предмет теории фигур равновесия небесных тел	4	2	-	-	2	Собеседование,

2	Элементы гидродинамики и теории потенциала.	4	2	-	-	2	опрос
3	Фундаментальные принципы теории фигур равновесия.	8	4	-	-	4	
4	Сфероиды Маклорена, их динамические свойства и устойчивость.	12	6	-	-	6	
5	Трехосные фигуры равновесия. Эллипсоиды Якоби.	6	3	-	-	3	
6	Нелинейные колебания жидких гравитирующих эллипсоидов.	4	2	-	-	2	
7	Фигуры равновесия с внутренними течениями в проблеме Дирихле-Римана-Чандрасекара.	8	4	-	-	-	
8	Неэллипсоидальные фигуры равновесия.	6	3	-	-	3	
9	Применение теории фигур равновесия к небесным телам.	12	6	-	-	6	
10	Динамика Е-галактик.	4	2		-	2	
	Промежуточная аттестация	4					Зачет в форме письменной работы с последующим собеседованием
ИТОГО:		72	34	-	34	38	

9. Текущий контроль и промежуточная аттестация.

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

Промежуточная аттестация по дисциплине «Теория фигур равновесия небесных тел» проводится на восьмой неделе в восьмом семестре в форме зачета.

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

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

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

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

Наименование оценочного средства	Краткая характеристика оценочного средства	Представление оценочного средства в фонде
Оценочные средства текущего контроля		
Тематический опрос (в форме ответов на вопросы)	Средство контроля, организованное как специальная беседа по тематике предыдущей лекции и рассчитанное на выяснение объема и качества знаний, усвоенных обучающимися по определенному разделу, теме, проблеме.	Перечень тем, изучаемых в рамках дисциплины
Собеседование (в форме беседы, дискуссии по теме)	Средство контроля, организованное как свободная беседа, дискуссия по тематике изучаемой дисциплины, рассчитанное на выяснение объема знаний обучающегося по всем изученным разделам, темам; свободного 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 к экзамену
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: фундаментальные законы механики и их взаимосвязь УК-1.Б 3-1	Отсутствие знаний фундаментальных законов небесной механики и их взаимосвязей	В целом успешные, но не систематические знания фундаментальных законов механики и их взаимосвязей	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы знания фундаментальных законов механики и их взаимосвя-	Успешные и систематические знания фундаментальных законов небесной механики и их взаимосвязей

			зей	
ЗНАТЬ: основные понятия математической обработки эксперимента небесной механики УК-1.Б 3-2	Отсутствие знаний или фрагментарное знание основных понятий математической обработки эксперимента небесной механики	В целом успешное, но не систематическое знание основных понятий математической обработки эксперимента небесной механики	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы знание основных понятий математической обработки эксперимента небесной механики	Успешное и систематическое знание основных понятий математической обработки эксперимента 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 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: строить теоретические модели небесной механики, используя критически анализ данных УК-1.Б У-1	Отсутствие умения строить теоретические модели небесной механики, используя критически анализ данных	В целом успешное, но не систематическое умение строить теоретические модели небесной механики, используя критически анализ данных	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение строить теоретические модели небесной механики, используя критически анализ данных	Успешное и систематическое умение строить теоретические модели небесной механики, используя критически анализ данных
УМЕТЬ: планировать и проводить экспериментальные исследования в области небесной механики, объяснять и оценивать в рамках основных физических законов результаты, полученные в процессе эксперимента	Отсутствие умения планировать и проводить экспериментальные исследования в области небесной механики, объяснять и оценивать в рамках основных физических законов результаты, полученные в процессе эксперимента	В целом успешное, но не систематическое умение планировать и проводить экспериментальные исследования в области небесной механики, объяснять и оценивать в рамках основных физических законов результаты, полученные	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение планировать и проводить экспериментальные исследования в области небесной механики, объяснять и оценивать в рамках основных физических законов	Успешное и систематическое планировать и проводить экспериментальные исследования в области небесной механики, объяснять и оценивать в рамках основных физических законов результаты, полученные в процессе эксперимента

перимента УК-1.Б У-2		в процессе экс- перимента	результаты, полученные в процессе экс- перимента	
УМЕТЬ: решать типо- вые задачи небесной ме- ханики ОПК-1.Б У-1	Отсутствие уме- ния решать ти- повые задачи	В целом успешное, но не системати- ческое умение решать типо- вые задачи	В це- лом успешное, но содержащее отдельные пробелы уме- ние решать ти- повые задачи	Успешное и си- стематическое умение решать типовые задачи
УМЕТЬ: строить мате- матические модели явле- ний и процес- сов небесной механики ОПК-1.Б У-2	Отсутствие уме- ния строить ма- тематические модели физиче- ских явлений и процессов	В целом успешное, но не системати- ческое умение строить мате- матические модели физиче- ских явлений и процессов	В це- лом успешное, но содержащее отдельные пробелы уме- ние строить математиче- ские модели физических яв- лений и про- цессов	Успешное и си- стематическое умение строить математические модели физиче- ских явлений и процессов
ВЛАДЕТЬ: математиче- ским аппара- том, применя- емым в небесной ме- ханике УК-1.Б В-1	Отсут- ствие/фрагмента рное владение математическим аппаратом, ма- тематическим аппаратом, при- меняемым в небесной меха- нике	В целом успешное, но не системати- ческое владе- ние математи- ческим аппара- том, математи- ческим аппара- том, применя- емым в небес- ной механике	В це- лом успешное, но содержащее отдельные пробелы вла- дение матема- тическим аппа- ратом, матема- тическим аппа- ратом, приме- няемым в небесной меха- нике	Успешное и си- стематическое владение мате- матическим ап- паратом, мате- матическим ап- паратом, приме- няемым в небес- ной механике
ВЛАДЕТЬ: методами теоретическо- го исследова- ния явлений и процессов в небесной ме- ханике УК-1.Б В-2	Отсут- ствие/фрагмента рное владение методами теоре- тического ис- следования яв- лений и процес- сов в небесной механике	В целом успешное, но не системати- ческое владе- ние методами теоретического исследования явлений и про- цессов в небес- ной механике	В це- лом успешное, но содержащее отдельные пробелы вла- дение метода- ми теоретиче- ского исследо- вания явлений и процессов в небесной меха- нике	Успешное и си- стематическое владение мето- дами теоретиче- ского исследо- вания явлений и процессов в небесной меха- нике
ВЛАДЕТЬ: навыками проведения физического эксперимента	Отсут- ствие/фрагмента рное владение навыками про- ведения физиче-	В целом успешное, но не системати- ческое владе- ние навыками	В це- лом успешное, но содержащее отдельные пробелы вла-	Успешное и си- стематическое владение навы- ками проведения физического

и обработки его результатов ОПК-1.Б В-1	ского эксперимента и обработки его результатов	проведения физического эксперимента и обработки его результатов	дение навыками проведения физического эксперимента и обработки его результатов	эксперимента и обработки его результатов
---	--	---	--	--

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

Материалы текущего контроля успеваемости обучающихся

Задачи можно найти по адресу: http://www.sai.msu.ru/neb/rw/cm_monog.htm

Пример: Доказать, что расстояние между двумя бесконечно близкими уровнями поверхностями dr обратно пропорционально силе тяжести g в испытываемой точке.

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

Материалы промежуточной аттестации обучающихся

Вопросы к экзамену и зачету можно найти по адресу: <http://genphys.phys.msu.ru/rus/edu/>

Пример: Сфероиды Маклорена, их свойства и устойчивость.

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

Основная литература

1. Аппель П. Фигуры равновесия вращающейся однородной жидкости. Л.-М.: ОНТИ, 1936.
2. Субботин М. Ф. Курс небесной механики. Т. 3. Л.-М.: ГИТТЛ, 1949.
3. Чандрасекар С. Эллипсоидальные фигуры равновесия. М.: Мир, 1972.
4. Кондратьев Б.П. Теория потенциала. Новые методы и задачи с решениями. Учебное пособие для студентов высших учебных заведений. М.: Мир, 2007. 512 с.
5. Кондратьев Б.П. Теория потенциала и фигуры равновесия. Москва - Ижевск, изд. «РХД», 2003, 624 с.
6. Кондратьев Б.П. Динамика эллипсоидальных гравитирующих фигур. М.: Наука, 1989. 272 с.

Дополнительная литература

1. Кондратьев Б. П. Некоторые принципиальные вопросы теории фигур равновесия. // Кинематика и физика небесных тел. –1999. -№2. с. 16.
2. Кондратьев Б. П. К вопросу о происхождении экваториального горного кольца на спутнике Сатурна Япете. // Астрономический вестник. Исследования солнечной системы–2018. –Т. 52. с. 136.

3. Kondratyev B.P., Kornoukhov V.S. Determination of the body of the dwarf planet Haumea from observations of a stellar occultation and photometry data. //MNRAS. –2018. –V. 478. с. 1359.

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.