

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»**

УТВЕРЖДЕНО

**Директор физтех-школы физики
и исследований им. Ландау
А.В. Рогачев**

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Внутреннее строение планет
по направлению:	Фотоника и оптоинформатика
профиль подготовки:	Фотоника, квантовые технологии и двумерные материалы Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра космической физики
курс:	1
квалификация:	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 15 час.

Всего часов: 45, всего зач. ед.: 1

Программу составил: Т.В. Гудкова, д-р физ.-мат. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры космической физики 10.06.2024

Аннотация

Дисциплина «Внутреннее строение планет» включает современные представления о внутреннем строении планет Солнечной системы и их спутников. Представлено сочетание достижений теоретических представлений с данными наблюдений, полученных при помощи космических аппаратов. Первая часть лекций излагает вопросы сейсмологии, химического состава, термодинамики, реологии, теории потенциала, геотермики, магнетизма на примере Земли. Эти знания имеют общее значение для всех планет. Во второй части лекций продемонстрировано как эти знания применяются для моделирования недр Луны, планет земной группы, планет-гигантов и их спутников.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

Получить знания о внутреннем строении планет Солнечной системы и их спутников.

Задачи дисциплины

1. Освоить теоретическую базу моделирования внутреннего строения планет и спутников.
2. Уметь пользоваться имеющимися данными наблюдений и методами их применения для построения моделей внутреннего строения планет и спутников.
3. Ознакомиться с развитием теорий и представлений о внутреннем строении планет Солнечной системы.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук
	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области фотоники и оптоинформатики
	ОПК-1.3 Понимает междисциплинарные связи в области математики и физики и способен их применять при решении задач в области фотоники и оптоинформатики
ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в области фотоники и оптоинформатики
	ОПК-2.2 Способен оценивать актуальность исследований в области своей профессиональной деятельности и их практическую значимость
	ОПК-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований
	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований в области фотоники и оптоинформатики к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны знать:

идеи о строении Земли и их применение для изучения планет солнечной системы
 уметь:
 применить новые математические и компьютерные методы для решения задач планетологии
 владеть:
 стандартными методами обработки наблюдений

4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Образование Солнечной системы.	2			1
2	Сейсмология: объемные волны, поверхностные волны, собственные колебания.	2			1
3	Состав и строение оболочек Земли. Фазовые превращения.	2			2
4	Магнитное поле Земли. Генерация магнитного поля.	2			1
5	Изостазия.	2			1
6	Конвекция.	2			1
7	Геотермика. Изостазия.	2			1
8	Теория гравитационного потенциала.	2			1
9	Внутреннее строение Луны.	2			1
10	Внутреннее строение Марса.	3			1
11	Внутреннее строение Венеры.	3			1
12	Внутреннее строение Меркурия.	2			1
13	Внутреннее строение планет-гигантов.	2			1
14	Внутреннее строение спутников планет-гигантов.	2			1
Итого часов		30			15
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		45 час., 1 зач.ед.			

4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 1 (Осенний)

1. Образование Солнечной системы.

Образование Солнечной системы и распространенность элементов.

Почем важно выйти за пределы Земли? Развитие теоретических представлений, современные небулярные теории. Гипотеза Шмидта и ее развитие. Строение Солнечной системы. Закон Тициуса-Боде. Приливное трение. Обилие элементов. Распространенность элементов в атмосфере Солнца. Метеориты: недифференцированные метеориты, дифференцированные метеориты, возраст и интервалы времени образования метеоритов.

2. Сейсмология: объемные волны, поверхностные волны, собственные колебания.

Регистрация первого сейсмического события на Земле. Как были получены границы ядро-мантия, кора-мантия, внутреннее ядро. Типы сейсмических волн. Понятие годографа, Определение скоростей волн как функции глубины. Причины, ослабляющие амплитуду сейсмического сигнала при его распространении в недрах планеты. Классы собственных колебаний. Затухание колебаний.

3. Состав и строение оболочек Земли. Фазовые превращения.

Развитие представлений о недрах Земли. уравнении Адамса-Вильямсона, области его применения. Современные модели Земли. Диссипативные свойства земных недр. Динамический модуль сдвига земных недр. Минералогический состав. Пиролитовая модель Земли. Фазовые переходы в основных породообразующих минералах.

4. Магнитное поле Земли. Генерация магнитного поля.

Ядро Земли. История геомагнетизма. Палеомагнитные исследования. Природа геомагнетизма – как генерируется магнитное поле в ядре. Схема работы гидромагнитного динамо.

5. Изостазия.

Землетрясения, извержения вулканов, изменения уровня моря показывают, что Земля не только изменялась в прошлом, но и теперь остается динамичной планетой. Какие же силы вызывали вертикальные движения, и как Земля реагирует на эти силы? Теория тектоники плит. Понятие изостазии. Время релаксации упругих напряжений. Теория пластичности твердых тел. Температура плавления и реология горных пород Граница литосфера-астеносфера.

6. Конвекция.

Адиабатический градиент температуры. Кондуктивный теплоперенос.

Конвективный теплоперенос, общее уравнение переноса тепла. Свободная тепловая конвекция. Схема движения жидкости в ячейке Бенара. Число Рэлея, число Нуссельта. О возможности свободной тепловой конвекции в мантии Земли.

7. Геотермика. Изостазия.

Геотермика изучает тепловое состояние Земли и распределение температуры в ее недрах. Вопрос о распределении температуры тесно связан с распределением источников тепла в глубинах Земли. Величина теплового потока, Измерения теплового потока в приповерхностных областях Земли. Изменения представлений о тепловом режиме земной коры по результатам глубокого континентального бурения. Как оценить температуру в недрах Земли: метод реперных точек. Горячие точки: горячие точки как реперы определения абсолютной скорости движения литосферных плит.

8. Теория гравитационного потенциала.

Гравиметрия связана с формой Земли, и таким образом, в геодезии, а последняя с топографией. Гравитационное поле определяет внешнюю баллистику планеты, значение которой в космический век не требует комментариев, данные гравитационного поля служат граничными условиями при построении моделей планет. Теорема Клеро. Эквипотенциальные поверхности. Фигура Земли. Высоты геоида. Формула Буге. Поверхностные аномалии силы тяжести.

9. Внутреннее строение Луны.

Аккреционный разогрев: понятие океана магмы. Фигура и гравитационное поле Луны. Масконы. Геология поверхности. Реголит. Сейсмология Луны. Модель внутреннего строения Луны. О возбуждении собственных колебаний. Магнитное поле Луны. Распределение электропроводности и температуры. Тепловой поток.

10. Внутреннее строение Марса.

Рельеф поверхности. Построение модели внутреннего строения Марса. Сейсмический эксперимент на Марсе. Движение гравитационного поля и топографии: определение плотностных неоднородностей в приповерхностных областях планеты. Магнитное поле.

11. Внутреннее строение Венеры.

Геология поверхности. Данные наблюдений. Землеподобные модели внутреннего строения Венеры. Оценки сейсмической активности. О возможности фиксации сейсмических событий по измерению изменений в атмосфере температуры, электронной плотности.

12. Внутреннее строение Меркурия.

Геология поверхности. Гипотезы образования. Данные наблюдений. Модели внутреннего строения Меркурия. Магнитное поле.

13. Внутреннее строение планет-гигантов.

История построения моделей внутреннего строения. Теория фигуры. Почему планеты-гиганты являются газо-жидкими телами. Адиабатическая модель. Уравнение состояния. Модели внутреннего строения. Сейсмология Юпитера и Сатурна.

14. Внутреннее строение спутников планет-гигантов.

Размер, форма и масса. Приливное трение. Данные спектроскопии как ограничение на состав. Данные наблюдений для моделирования внутренней структуры. Гравитационное поле. Двух и трехслойные модели внутреннего строения. Фазовые переходы. Океаны. Наведенные магнитные поля.

5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Учебная аудитория, доска, медиапроектор, экран.

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Внутреннее строение Земли и планет [Текст]/В. Н. Жарков, -М., Наука, 1983

Дополнительная литература

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

Не используются

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

Не предусмотрено.

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Студент, изучающий дисциплину, должен, с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике. В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения и понятия, уметь применять полученные знания для решения различных задач.

Успешное освоение курса требует:

- посещения всех занятий, предусмотренных учебным планом по дисциплине;
- ведения конспекта занятий;
- напряжённой самостоятельной работы студента.

Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала, подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения;
- решение задач, предлагаемых студентам на занятиях;
- подготовку к выполнению заданий текущей и промежуточной аттестации.

Показателем владения материалом служит умение без конспекта отвечать на вопросы по темам дисциплины.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями преподавателю.

Возможен промежуточный контроль знаний студентов в виде решения задач в соответствии с тематикой занятий.

Литература для самостоятельного изучения:

1. Ph.A.Bland et al. An introduction to the Solar System, The Open University, Cambridge Univ. Press, 2004 Eds. N.McBride and I.Gilmour
2. Treatise on Geophysics, V.10, Planets and Moons, 2015. Eds. T.Spohn, G.Schubert
3. Рингвуд А.Е. Происхождение Земли и Луны. Недра, Москва, 1982
4. Болт Б. В глубинах Земли. Мир, 1984
5. Д.Браун, А.Массет. Недоступная Земля, Москва, Мир, 1984
6. Жарков В.Н. Геофизические исследования планет и спутников, Москва, ИФЗ РАН, 2003.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Фотоника и оптоинформатика
профиль подготовки:	Фотоника, квантовые технологии и двумерные материалы Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра космической физики
курс:	<u>1</u>
квалификация:	магистр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Дифференцированный зачет	
Разработчик:	Т.В. Гудкова, д-р физ.-мат. наук

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук
	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области фотоники и оптоинформатики
	ОПК-1.3 Понимает междисциплинарные связи в области математики и физики и способен их применять при решении задач в области фотоники и оптоинформатики
ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в области фотоники и оптоинформатики
	ОПК-2.2 Способен оценивать актуальность исследований в области своей профессиональной деятельности и их практическую значимость
	ОПК-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований
	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований в области фотоники и оптоинформатики к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Внутреннее строение планет» обучающийся должен:

знать:

идеи о строении Земли и их применение для изучения планет солнечной системы

уметь:

применить новые математические и компьютерные методы для решения задач планетологии

владеть:

стандартными методами обработки наблюдений

3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

1. Может ли начаться тепловая конвекция, если число Релея равно 600 ?
2. Если у планеты нет магнитного поля, можно ли сказать, что ядро планеты твердое ?
3. Почему уравнение Адамса-Вильямсона не применимо для всех оболочек Земли ?
4. Откуда мы получаем информацию о составе планеты ?
5. Как понять, что камень, который вы нашли, метеорит ?
6. Чем объясняется различие плотностей планет земной группы и планет-гигантов

4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

1. Состав ядра Земли. Как оценить температуру внешнего ядра Земли.
2. В чем отличие понятий граница литосферы-астеносферы, и кора-мантия.
3. Перечислить аргументы в пользу адиабатических моделей планет-гигантов.
4. Как была получена пиrolитовая модель.
5. Причины, ослабляющие амплитуду сейсмического сигнала.
6. По каким данным можно определить жидкое или твердое ядро у планеты.
7. Три группы веществ по летучести. Состав планет земной группы. Состав планет-гигантов.
8. Типы сейсмических волн.
9. Уравнение Адамса-Вильямсона.
10. Задачи сейсмического эксперимента на Марсе.

Примеры контрольных заданий:

1. Оценить расстояние, на котором происходит уменьшение амплитуды поперечной и продольной волны с периодом $T=1\text{с}$ в ϵ раз ?
 $Q_s=500$, $V_s=6\text{км/с}$, $Q_p/Q_s=2/3$, $V_p/V_s=1.7$
2. Оценить температуру в недрах Земли
3. Провести оценку эффективной вязкости мантии по послеледниковому поднятию Балтийского щита.
4. Найти гравитационное притяжение аномальной плотности шаровой области в т. X
5. У спутника есть наведенное магнитное поле, что можно сказать о его строении

Билет 1.

1. Три группы веществ по летучести.
Состав планет земной группы. Состав планет-гигантов.
2. Сейсмические границы в недрах Земли.

Билет 2.

1. Процесс аккреции.
2. Типы сейсмических волн.

Билет 3.

1. Уравнение Адамса-Вильямсона.
2. Задачи сейсмического эксперимента на Марсе.

Билет 4.

1. Конвекция. Ячейки Бенара.
2. Внутреннее строение Луны. Понятия: селеноид, маскон, реголит.

Билет 5.

1. Время релаксации упругих напряжений, природа пластичности
2. Аргументы в пользу адиабатических моделей планет-гигантов, их строение и состав.

Критерии оценивания

Оценка отлично 10 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 9 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 8 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо 7 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо 6 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка хорошо 5 баллов - выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно 4 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно 3 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно 2 балла - выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка неудовлетворительно 1 балл - выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Дифференцированный зачёт проводится в устной форме по билетам. В каждом билете представлено два теоретических вопроса. При проведении зачёта обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку. Опрос обучающегося не должен превышать одного астрономического часа.