

«УТВЕРЖДАЮ»
Декан геологического факультета МГУ
академик Д.Ю. Пущаровский
«2» сентября 2015 года



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА ГОРНЫХ ПОРОД

Уровень высшего образования

ПОДГОТОВКА НАУЧНО-ПЕДАГОГИЧЕСКИХ КАДРОВ В АСПИРАНТУРЕ

Направление подготовки: **05.06.01. Науки о Земле**

Направленность программы *Геофизика, геофизические методы поиска и разведки полезных ископаемых.*

Квалификация:

Исследователь. Преподаватель-исследователь.

МОСКВА 2015

1. Код и наименование дисциплины – **Математическая физика горных пород**

2. Уровень высшего образования – подготовка научно-педагогических кадров в аспирантуре.

3. Направление подготовки **05.06.01. «Науки о Земле»**

Направленность программы *Геофизика, геофизические методы поиска и разведки полезных ископаемых.*

4. Место дисциплины в структуре ООП: **относится к вариативной части ОПОП, дисциплина по выбору для освоения в 3 семестре второго года обучения**

5. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

(заполняется в соответствии с картами компетенций)

Формируемые компетенции (код компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций
<i>способность самостоятельно формулировать цели исследований, устанавливать последовательность решения профессиональных задач (ОПК-2);</i>	З(ОПК-2) Знать базовые принципы теории эффективных сред; основные методы теории эффективных сред для определения макроскопических физических свойств микронеоднородных сред
	У(ОПК-2) Уметь на основании информации о физических свойствах, составе и информации о микроструктуре пород строить модельные среды, отражающие основные черты внутреннего строения пород

<i>умение профессионально выбирать и творчески использовать современное научное и техническое оборудование и компьютерные технологии, в том числе ГИС-технологии для решения научных и практических задач (ОПК-3);</i>	З(ОПК-3) Знать принципы построения параметрических математических моделей эффективных физических свойств горных пород; значение математического моделирования физических свойств для разведочной геофизики
	У(ОПК-3) Уметь параметризовать модели и выбирать наиболее подходящий метод теории эффективных сред для связи параметров модели с физическими свойствами, измеряемыми в эксперименте.

6. Объем дисциплины составляет 6 зачетных единицы, всего 216 часов, из которых 28 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (20 часов занятия семинарского типа, 4 часа индивидуальные консультации, 4 часа мероприятия промежуточной аттестации), 188 часа составляет самостоятельная работа обучающегося

7. Входные требования для освоения дисциплины: **знание основ разведочной геофизики**

8. Образовательные технологии: При реализации программы дисциплины используются различные образовательные технологии – во время аудиторных занятий (24 часа) занятия проводятся в виде лекций и семинаров с использованием ПК и компьютерного проектора, самостоятельная работа студентов подразумевает работу под руководством преподавателя (консультации и помощь в подготовке к контрольным работам) и индивидуальную работу студента в библиотеке Геологического факультета МГУ и других библиотеках.

9. Содержание дисциплины, структурированное по темам с указанием отведенного на них количества академических или астрономических часов и виды учебных занятий.

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	В том числе				
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) (часы)			Самостоятельная работа обучающегося (часы)	
		Занятия сем-кого типа	Инд-ные кон-ции	всего	домашние задания	всего
<p>Тема 1.* Основные понятия механики сплошных сред. Теория упругости анизотропных сред</p> <p>Основные сведения из векторного и тензорного анализа. Понятия скаляра и вектора. Тензоры напряжения и деформации. Преобразование координат. Общее понятие тензора. Ковариантные и контравариантные тензоры. Тензоры в декартовой системе координат. Тензорная алгебра. Специальные тензоры. Псевдотензоры. Главные значения и главные направления симметричных тензоров второго ранга.</p> <p>Понятие анизотропных сред. Причины анизотропии горных пород в разных масштабах. Геофизические примеры. Обобщенный закон Гука. Тензор упругих модулей. Матрицы модулей упругости и податливости. Переход от тензорной формы записи к матричной. Типы симметрии. Трансверсально-изотропная и орторомбическая среда. Теоретическое толкование упругих констант кристаллической решетки.</p> <p>Уравнения равновесия и движения. Функция Грина уравнения равновесия.</p>	34	2	0	2	32	32
Тема 2.*	36	4	0	4	32	32

<p>Волны в анизотропных средах</p> <p>Плоские волны в анизотропной среде. Тензор Грина-Кристоффеля. Фазовые и групповые скорости. Поверхности фазовых и групповых скоростей для сред, относящихся к различным классам упругой симметрии. Источник в анизотропной среде.</p> <p>Признаки сейсмической анизотропии. Экспериментальные методы изучения анизотропных сред в геофизике. Причины сейсмической анизотропии в слоях Земли. Геофизическая информативность сейсмической анизотропии. Распространение волн в слоистой среде.</p>						
<p>Тема 3.*</p> <p>Горная порода как микронеоднородная макроанизотропная среда</p> <p>Закон Гука в микронеоднородной и макроскопически однородной среде. Понятие эффективного тензора упругости. Поликристаллические среды. Различие средних и эффективных модулей упругости. Усреднения по объему и статистическое усреднение. Повороты кристаллографической системы координат. Углы Эйлера.</p> <p>Энергетические границы для эффективного тензора упругости (методы Фойгта и Реусса). Метод Фойгта-Реусса-Хилла. Ограничения на компоненты эффективного тензора упругости.</p>	36	4	2	6	30	30

<p>Тема 4.* Модели пористо-трещиноватых сред и строение нефтяных резервуаров</p> <p>Теоретические методы расчета эффективных упругих свойств сред типа «матрица – включения». Метод Эшелби. Методы Нишизавы и самосогласования. Графицы Хашина-Штрикмана. Обобщенное сингулярное приближение. Понятие корреляционной функции. Метод парных корреляционных функций.</p> <p>Использование результатов теории микронеоднородных сред для поиска углеводородов.</p>	34	4	0	4	30	30
<p>Тема 5.* Основы построения разномасштабных математических моделей эффективных физических свойств горных пород</p> <p>Разномасштабность строения горной породы. Понятия апскейлинга и даунскейлинга.</p> <p>Понятие математической модели физических свойств. Базовые принципы построения математической модели. Параметризация модели. Подходы к определению параметров модели. Исследование чувствительности математической модели к ее параметрам. Верификация математических моделей физических свойств.</p>	36	4	2	6	30	30
<p>Тема 6.*</p>	36	2	0	2	34	34

<p>Единый математический подход в изучении транспортных свойств порово- трещиноватых сред.</p> <p>Корреляция электро-, теплопроводности и проницаемости с упругими характеристиками порово-трещиноватых сред.</p> <p>Одновременное определение упругих и транспортных свойств на основе единого строения породы.</p>						
Промежуточная аттестация**	4	-	4	4	-	-
Итого	216	20	8	28	188	188

**Текущий контроль успеваемости может быть реализован в рамках занятий семинарского типа или индивидуальных консультаций*

*** Промежуточная аттестация проходит в форме зачета*

10. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы аспирантов по дисциплине.

а) основная литература:

1. Шермергор Т.Д. 1977. Теория упругости микронеоднородных сред. Москва, Наука.
2. Беликов Б.П., Александров К.С., Рыжова Т.В. 1970. Упругие свойства породообразующих минералов и горных пород. Москва, Наука.
5. Тимошенко С.П., Гудьер Дж., 1979. Теория упругости (глава 1). Москва. Наука.

б) дополнительная литература:

6. Федоров Ф.И. 1965. Теория упругих волн в кристаллах. Москва. Наука.
3. Димитриенко Ю.И. 2001. Тензорное исчисление. Высшая школа.
4. Кочин И.Е. 1965. Векторное исчисление и начала тензорного исчисления. Москва. Наука.

11. Ресурсное обеспечение:

Для материально-технического обеспечения дисциплины используются: специализированные аудитории с возможностью использования компьютерного проектора. Библиотеки Геологического факультета МГУ и ИФЗ РАН.

12. Язык преподавания – **русский**

13. Краткое содержание дисциплины (аннотация)

В курсе дисциплины «Математическая физика горных пород» даются основные понятия теории эффективных сред, связывающей вещественный состав и микроструктуру породы с ее физическими свойствами. Излагается математический аппарат, составляющий основу этой теории. Рассматриваются основные подходы к построению как самих методов теории эффективных сред, так и разномасштабных параметрических математических моделей физических свойств (в общем случае разномасштабных и анизотропных) горных пород. Демонстрируется роль математического моделирования физических свойств для разведочной геофизики.

14. Преподаватель (преподаватели)

д.ф.м.н. Баяк Ирина Олеговна (ibayuk@yandex.ru)

к.г.-м.н., доцент Шалаева Наталия Владимировна (nvshalaeva@geol.msu.ru)

**Оценочные средства для промежуточной аттестации по дисциплине «Математическая физика горных пород»
на основе карт компетенций выпускников**

РЕЗУЛЬТАТ ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю)	КРИТЕРИИ и ПОКАЗАТЕЛИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТА ОБУЧЕНИЯ по дисциплине «Математическая физика горных пород» (критерии и показатели берутся из соответствующих карт компетенций, при этом пользуются БРС)					ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА
	1	2	3	4	5	
З(ОПК-2) Знать базовые принципы теории эффективных сред; основные методы теории эффективных сред для определения макроскопических физических свойств микронеоднородных сред	отсутствие знаний	фрагментарные представления о теории эффективных сред	сформированные представления об основных методах теории эффективных сред	сформированные представления об основных методах теории эффективных сред для определения макроскопических физических свойств микронеоднородных сред	Систематизированные знания об основных методах теории эффективных сред для определения макроскопических физических свойств микронеоднородных сред	<i>индивидуальное собеседование</i>
У(ОПК-2) Уметь на основании информации о физических свойствах, составе и информации о микроструктуре пород строить модельные среды, отражающие основные черты внутреннего строения пород	отсутствие умений	фрагментарные представления о моделировании геологических сред	сформированные представления о моделировании геологических сред	сформированные представления о моделировании геологических сред на основании информации о физических свойствах, составе и информации о микроструктуре пород	Системные знания о моделировании геологических сред на основании информации о физических свойствах, составе и информации о микроструктуре пород	<i>практические контрольные задания</i>
З(ОПК-3) Знать принципы построения	отсутствие знаний	Знает основные принципы построения	Знает основные принципы построения	Знает значение математического моделирования	В совершенстве знает принципы построения параметрических	<i>индивидуальное собеседование</i>

параметрических математических моделей эффективных физических свойств горных пород; значение математического моделирования физических свойств для разведочной геофизики		параметрических математических моделей	параметрических математических моделей геологических объектов	физических свойств для разведочной геофизики	математических моделей сложных геологических объектов	
У(ОПК-3) Уметь параметризовать модели и выбирать наиболее подходящий метод теории эффективных сред для связи параметров модели с физическими свойствами, измеряемыми в эксперименте.	отсутствие умений	умеет параметризовать модели	умеет параметризовать модели и использовать методы теории эффективных сред	умеет параметризовать модели и выбирать наиболее подходящий метод теории эффективных сред	в совершенстве осуществляет параметризацию модели и выбор наиболее подходящий метод теории эффективных сред для связи параметров модели с физическими свойствами, измеряемыми в эксперименте	<i>практические контрольные задания</i>

Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения

Примерные темы рефератов по разделам дисциплины

1. История применения и развития теории эффективных сред в геофизике.
2. Необходимость использования тензорных величин для описания физических явлений.
3. Принципы построения разномасштабных математических моделей эффективных физических свойств.
4. Классификация методов теории эффективных сред.
5. Классификация подходов к определению эффективных упругих свойств порово-трещиноватых сред.
6. Методы решения задач апскейлинга и даунскейлинга.
7. Типы упругой симметрии геофизических объектов и природа их анизотропии.

Контрольные вопросы и задания для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

В течение преподавания курса в качестве форм текущего контроля успеваемости студентов используются такие формы, как доклад по теме реферата и его оценка; контрольные работы по теме, требующей владения аппаратом тензорной алгебры (с отметкой), собеседование в процессе прохождения (контрольные вопросы) и при окончании каждой темы. По итогам выполнения и сдачи контрольной работы и реферата проводится зачет.

Контрольные вопросы:

1. Горная порода как микронеоднородная, макроскопически анизотропная среда и ее эффективные физические свойства.
2. Закон Гука для однородной среды и горной породы. Запись тензоров упругости и податливости в матричной форме.
3. Уравнение, описывающее упругие волны в безграничной произвольно анизотропной среде. Плоские волны. Общее решение однородного волнового уравнения (без источника). Уравнение Грина – Кристоффеля и определение фазовых скоростей упругих волн. Поверхность Кристоффеля (или поверхность медленности).

4. Определение групповой скорости. Волновой пакет. Уравнение баланса энергии в среде, вектор Умова-Пойтинга и его физический смысл. Физический смысл групповой скорости. Геометрическая интерпретация: положение векторов групповой скорости на поверхности медленности.
5. Особенности распространения волн в сильно анизотропной среде. Обычные волны и каспы.
6. Волновое уравнение с источником. Точечный источник. Определение динамического тензора Грина. Запись решения неоднородного волнового уравнения с произвольным источником.
7. Общая постановка задачи об эффективных свойствах микронеоднородной среды. Математическая формулировка задачи – определение эффективного оператора (например, волнового оператора, в динамике, или оператора уравнения равновесия, в статике).
8. Методы Фойгта и Ройсса определения эффективного тензора упругости поликристаллов. Получение ограничений на компоненты эффективного тензора упругости с помощью усреднений Фойгта и Ройсса.
9. Основные методы расчета эффективных упругих свойств порово-трещиноватых сред. Модель изолированных включений. Аспектное отношение. Метод Эшелби.
10. Эффективные динамические свойства. Задание случайно-неоднородной среды с помощью корреляционных функций. Корреляционное приближение и рассеяние волн на неоднородностях среды. Зависимость скоростей и затухания упругих волн в случайно-неоднородной среде от частоты и направления.

Типовые задачи:

Раскрыть выражение C_{iikk} для произвольной изотропной среды.

Раскрыть выражение C_{iikk} для произвольной среды с гексагональной симметрией.

Записать плотность упругой энергии $C_{ijkl}\varepsilon_{ij}\varepsilon_{kl}$ для произвольной изотропной среды при $\varepsilon_{11} = \varepsilon_{22} = \varepsilon_{33} = 1, \varepsilon_{12} = \varepsilon_{13} = \varepsilon_{23} = 0$.

Записать плотность упругой энергии $C_{ijkl}\varepsilon_{ij}\varepsilon_{kl}$ для произвольной гексагональной среды при $\varepsilon_{11} = \varepsilon_{22} = 1, \varepsilon_{33} = \varepsilon_{12} = \varepsilon_{13} = \varepsilon_{23} = 0$.

Пусть известно поле $\sigma_{ij}(\mathbf{x})$ тензора напряжений действующих в среде, записать выражение для силы действующей: а) на произвольно выделенную в среде площадку, б) на произвольную замкнутую поверхность, ограничивающую некоторую область внутри среды.
