

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
профессионального образования
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
Геологический факультет

УТВЕРЖДАЮ

**Декан Геологического факультета
академик**

_____ /Д.Ю.Пушаровский/

«___» _____ 20 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Теория геофизических полей

Авторы-составители: Булычев А.А., Пушкарев П.Ю.

Уровень высшего образования:

Магистратура

Направление подготовки:

05.04.01 Геология

Направленность (профиль) ОПОП: Геофизика

Магистерская программа: Геофизика (ММ)

Форма обучения:

Очная

Рабочая программа рассмотрена и одобрена
Учебно-методическим Советом Геологического факультета
(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 направлению подготовки «Геология» в редакции приказа МГУ от 30 декабря 2016 года № 1674.

Год приема на обучение – 2019.

Цель и задачи дисциплины

Целью курса "Теория геофизических полей" является получение знаний о фундаментальных свойствах физических полей, применяемых в геофизике, а также об особенностях их пространственной и временной структуры.

Задачи - изучение математической теории геофизических полей, овладение методами решения задач о поле основных видов возбудителей в простых моделях среды.

1. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО – вариативная часть, профессиональный цикл, курс – I, семестр – 1.

2. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:

освоение дисциплин «Математический анализ», «Аналитическая геометрия», «Линейная алгебра», «Дифференциальные уравнения», «Теория функций комплексного переменного», «Физика».

3. Результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с компетенциями выпускников.

Компетенции выпускников, формируемые (полностью или частично) при реализации дисциплины:

ОПК-3 Способность применять на практике знания фундаментальных и прикладных разделов дисциплин, определяющих профиль подготовки (формируется частично);

СПК-1 Способность самостоятельно ставить задачи научных и практических исследований в области геофизики, а также решать их с использованием современных подходов к проведению геофизических наблюдений, обработке данных, решению прямых и обратных задач, геологической интерпретации результатов (формируется частично).

Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю):

Знать: основные закономерности физических полей (гравитационного, магнитного, электрического, электромагнитного, сейсмического, теплового), существующих в сплошной среде, свойства которой характеризуются усреднёнными параметрами;

Уметь: математически описать физическое поле, создаваемое различными возбудителями, выполнять математическое моделирование физических полей;

Владеть: навыками математического анализа, методами численного расчета геофизических полей с применением современного вычислительного программного обеспечения.

4. Формат обучения – лекционные и семинарские занятия.

5. Объем дисциплины (модуля) составляет **4** з.е., в том числе **70** академических часов, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (**21** часа – занятия лекционного типа, **49** часов – занятия семинарского типа), **74** академических часа на самостоятельную работу обучающихся. Форма промежуточной аттестации – экзамен.

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

Краткое содержание дисциплины (аннотация):

Рассматривается математический аппарат теории геофизических полей: алгебра физических величин, дифференцирование и интегрирование физических полей, криволинейные координатные системы. Исследуются возбудители, уравнения и потенциалы поля, вопросы графического изображения полей, модели безвихревого и вихревого полей. Анализируются электромагнитное поле в вакууме и веществе, уравнения электромагнитного поля и его потенциалов, модели электромагнитного поля.

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), Форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)	В том числе				Самостоятельная работа обучающегося, часы <i>(виды самостоятельной работы – эссе, реферат, контрольная работа и пр. – указываются при необходимости)</i>
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) Виды контактной работы, часы				
		Занятия лекционного типа	Занятия лабораторного типа	Занятия семинарского типа	Всего	
Раздел 1. Введение		2		2	4	
Раздел 2. Математический аппарат теории геофизических полей		6		16	22	Контрольная работа, 14 часов
Раздел 3. Стационарное поле: уравнения и модели		6		16	22	Контрольная работа, 14 часов
Раздел 4. Электромагнитное поле		7		15	22	Контрольная работа, 14 часов
Промежуточная аттестация <i>экзамен</i>						32 часа
Итого	144			70		74

Содержание разделов дисциплины:

ВВЕДЕНИЕ

1). Цели и задачи курса

Введение. Цели и задачи курса. Рекомендуемая литература.

МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АППАРАТ ТЕОРИИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ

2). Алгебра физических величин

Линейная зависимость векторов. Разложение вектора по базису. Преобразование компонент вектора при смене базиса. Скалярное и векторное произведения. Смешанное и двойное векторное произведения. Понятие тензора. Линейное преобразование векторов. Основные правила матричной алгебры.

3). Дифференцирование физических полей

Градиент скалярного поля. Производная скалярного и векторного полей по направлению. Дивергенция и ротор векторного поля. Вторые производные, лапласиан. Оператор Гамильтона, основные формулы дифференцирования.

4). Интегрирование физических полей

Поток скалярного поля. Скалярный и векторный потоки векторного поля. Напряжение и циркуляция векторного поля. Векторные формулировки теорем Остроградского–Гаусса и Стокса. Градиент, дивергенция и ротор как объемные производные. Формулы Грина.

5). Криволинейные координатные системы

Понятие ортогональной криволинейной системы координат. Коэффициенты Ламэ. Переход от центрального базиса к локальному. Преобразование компонент вектора при смене базиса. Элементы длины, площади и объема в криволинейной системе координат. Градиент скалярного поля, дивергенция и ротор векторного поля, лапласиан скалярного и векторного поля в криволинейной системе координат. Сферические и цилиндрические координаты.

СТАЦИОНАРНОЕ ПОЛЕ: УРАВНЕНИЯ И МОДЕЛИ

6). Возбудители поля

Условия существования поля. Определение векторного поля по его дивергенции и ротору. Источники и вихри поля. Гидродинамическая интерпретация. Безвихревые и вихревые поля.

7). Уравнения поля

Функция включения (функция Хэвисайда), функция Дирака (единичный импульс), функция Грина для решения скалярного уравнения Пуассона. Решение скалярного и векторного уравнений Пуассона.

8). Потенциалы векторного поля

Скалярный и векторный потенциалы. Калибровочное условие Кулона. Потенциальное и соленоидальное поля. Лапласово поле. Принцип суперпозиции полей. Классификация полей.

9). Графическое изображение полей

Графическое изображение поля. Уровенные поверхности, уровенные слои, векторные линии и трубки.

10). Модели безвихревого поля

Статическое поле. Точечный и дипольный источники. Линейные источники, логарифмический потенциал. Простой и двойной слои. Объемные источники и их поляризация. Линейный вихрь. Поверхностный и объемный вихри. Теоремы эквивалентности (замена вихрей источниками), формула Пуассона. Основные модели (поле кольца, диска, плоского слоя, сферического слоя, сферы). Непрерывность поля и потенциала и ее нарушения. Уравнение Пуассона. Прямые и обратные задачи. Задачи

Дирихле и Неймана. Функция Грина. Физические иллюстрации. Гравитационное, электрическое и магнитостатические поля. Энергия.

11). Модели вихревого поля

Линейный вихрь. Элемент линейного вихря. Эквивалентность линейного вихря однородному двойному слою. Различные выражения поля диполя. Круговой линейный вихрь. Бесконечный прямолинейный вихрь. Поверхностный вихрь. Плоский вихрь. Эквивалентность поверхностного вихря неоднородному двойному слою. Граничные условия на поверхностном вихре. Объемный вихрь.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ПОЛЕ

12). Электромагнитное поле в вакууме

Электрическое поле в опытах Кулона. Возбудители постоянного электрического поля. Движение электрических зарядов. Закон сохранения количества электричества. Магнитное поле в опытах Кулона. Закон Био-Савара-Лапласа. Закон Ампера о взаимодействии токов. Возбудители постоянного магнитного поля. Закон Фарадея. Ток смещения. Система уравнений Максвелла в вакууме.

13). Электромагнитное поле в веществе

Макроскопическая модель вещества. Свободные и связанные заряды. Ток проводимости. Поляризационный ток. Ток намагничивания. Источники и вихри поля D . Источники и вихри поля H . Сторонние возбудители поля. Уравнения поля в веществе. Релаксация свободных зарядов в однородной среде. Заряды в неоднородной среде. Кусочно-однородные среды, граничные условия. Магнитное возбуждение поля. Модели электромагнитного поля. Гармонические колебания электромагнитного поля. Уравнения Максвелла в случае гармонического возбуждения.

14). Уравнения электромагнитного поля и его потенциалов

Разделение уравнений Максвелла. Электродинамические потенциалы электрического типа. Электродинамические потенциалы магнитного типа. Стационарное поле в безграничной однородной среде. Функция Грина для уравнения Гельмгольца. Решение уравнения Гельмгольца для скалярного потенциала. Следствия из решений уравнений Гельмгольца. Вычисление поля в кусочно-однородной среде.

15). Стандартные модели электромагнитного поля

Электрический диполь в безграничной однородной среде. Решение уравнения Гельмгольца для электрического диполя. Ближняя зона электрического диполя. Дальняя зона электрического диполя. Импеданс. Магнитный диполь в безграничной однородной среде. Вертикальный магнитный диполь над однородным полупространством. Плоская волна в однородной среде. Падение плоской волны на плоскую границу двух сред. Задача Тихонова-Каньяра.

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

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

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

Примерный перечень контрольных вопросов при проведении контрольных работ и промежуточной аттестации (экзамен):

- (1) Сложение и умножение векторов.
- (2) Матрицы, действия над матрицами.
- (3) Переход от одного декартового базиса к другому.
- (4) Преобразование компонент вектора при смене базисов.
- (5) Тензор, линейные векторные функции векторного аргумента.
- (6) Дифференцирование скалярного поля, градиент, производная по направлению.

- (7) Оператор Гамильтона (оператор «набла»).
- (8) Дифференцирование векторного поля.
- (9) Градиент скалярных полей: $grad(a + b)$, $grad(ab)$, $gradF(a)$, $grad(\vec{A} \cdot \vec{B})$.
- (10) Дивергенция полей: $div(\vec{A} + \vec{B})$, $div(a\vec{A})$, $div(\vec{A} \times \vec{B})$.
- (11) Ротор полей: $rot(\vec{A} + \vec{B})$, $rot(a\vec{A})$, $rot(\vec{A} \times \vec{B})$.
- (12) Вторые производные скалярных и векторных полей, лапласиан.
- (13) Теорема Остроградского-Гаусса и ее векторные формулировки.
- (14) Теорема Стокса и ее векторные формулировки.
- (15) Теоремы Грина.
- (16) Понятие криволинейных координат, коэффициенты Ламэ.
- (17) Переход от центрального базиса к локальному и обратно.
- (18) Градиент скалярного поля в криволинейной системе координат.
- (19) Дивергенция векторного поля в криволинейной системе координат.
- (20) Ротор векторного поля в криволинейной системе координат.
- (21) Лапласиан скалярного поля в криволинейной системе координат.
- (22) Цилиндрическая система координат.
- (23) Сферическая система координат.
- (24) Гармоническая функция, лемма об её регулярности, теорема о тождественном нуле.
- (25) Теоремы единственности определения скалярной и векторной функции.
- (26) Скалярные возбудители поля.
- (27) Векторные возбудители поля.
- (28) Функция Хэвисайда и функция Дирака.
- (29) Функция Грина для скалярного уравнения Пуассона.
- (30) Решение скалярного уравнения Пуассона.
- (31) Решение векторного уравнения Пуассона.
- (32) Скалярный потенциал безвихревого поля.
- (33) Векторный потенциал вихревого поля.
- (34) Классификация полей.
- (35) Изображение скалярного поля.
- (36) Графическое изображение векторного поля.
- (37) Безвихревое векторное поле в графическом изображении.
- (38) Вихревое поле в графическом изображении.
- (39) Поле точечного источника.
- (40) Поле дипольного источника.
- (41) Линейный источник, поле однородного прямолинейного источника.
- (42) Бесконечный однородный прямолинейный источник. Логарифмический потенциал.
- (43) Поле однородного кругового цилиндра.
- (44) Поверхностный источник, поле кругового диска. Граничные условия.
- (45) Плоскость с постоянной поверхностной плотностью. Граничные условия.
- (46) Двойной поверхностный источник (двойной слой, дипольный слой).
- (47) Однородный двойной слой в виде диска. Граничные условия.
- (48) Поле однородной сферы.
- (49) Поляризованный объемный источник. Граничные условия.
- (50) Поле однородно поляризованной сферы.
- (51) Линейный вихрь.
- (52) Элемент линейного вихря.
- (53) Эквивалентность линейного вихря однородному двойному слою.
- (54) Различные выражения поля диполя.
- (55) Круговой линейный вихрь. Бесконечный прямолинейный вихрь.
- (56) Поверхностный вихрь.
- (57) Плоский вихрь.

- (58) Эквивалентность поверхностного вихря неоднородному двойному слою.
- (59) Граничные условия на поверхностном вихре.
- (60) Объемный вихрь.
- (61) Электрическое поле в опытах Кулона.
- (62) Возбудители постоянного электрического поля.
- (63) Движение электрических зарядов.
- (64) Закон сохранения количества электричества.
- (65) Магнитное поле в опытах Кулона.
- (66) Закон Био-Савара-Лапласа.
- (67) Закон Ампера о взаимодействии токов.
- (68) Возбудители постоянного магнитного поля.
- (69) Закон Фарадея.
- (70) Ток смещения.
- (71) Система уравнений Максвелла в вакууме.
- (72) Макроскопическая модель вещества.
- (73) Свободные и связанные заряды.
- (74) Ток проводимости.
- (75) Поляризационный ток.
- (76) Ток намагничивания.
- (77) Источники и вихри поля D .
- (78) Источники и вихри поля H .
- (79) Сторонние возбудители поля.
- (80) Уравнения поля в веществе.
- (81) Релаксация свободных зарядов в однородной среде.
- (82) Заряды в неоднородной среде.
- (83) Кусочно-однородные среды, граничные условия.
- (84) Магнитное возбуждение поля.
- (85) Модели электромагнитного поля.
- (86) Гармонические колебания электромагнитного поля.
- (87) Уравнения Максвелла в случае гармонического возбуждения.
- (88) Разделение уравнений Максвелла.
- (89) Электродинамические потенциалы электрического типа.
- (90) Электродинамические потенциалы магнитного типа.
- (91) Стационарное поле в безграничной однородной среде.
- (92) Функция Грина для уравнения Гельмгольца.
- (93) Решение уравнения Гельмгольца.
- (94) Следствия из решений уравнений Гельмгольца.
- (95) Вычисление поля в кусочно-однородной среде.
- (96) Электрический диполь в безграничной однородной среде.
- (97) Решение уравнения Гельмгольца для электрического диполя.
- (98) Ближняя зона электрического диполя.
- (99) Дальняя зона электрического диполя.
- (100) Импеданс.
- (101) Магнитный диполь в безграничной однородной среде.
- (102) Вертикальный магнитный диполь над однородным полупространством.
- (103) Плоская волна в однородной среде.
- (104) Падение плоской волны на плоскую границу двух сред.
- (105) Задача Тихонова-Каньяра.

Шкала и критерии оценивания результатов обучения по дисциплине

Результаты Обучения	«Неудовлетворительно»	«Удовлетворительно»	«Хорошо»	«Отлично»
Знания: основные закономерности физических полей (гравитационного, магнитного, электрического, электромагнитного, сейсмического, теплового), существующих в сплошной среде, свойства которой характеризуются усреднёнными параметрами	Знания отсутствуют	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Систематические знания
Умения: математически описать физическое поле, создаваемое различными возбудителями, выполнять математическое моделирование физических полей	Умения отсутствуют	В целом успешное, но не систематическое умение, допускает неточности не принципиального характера	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы	Успешное умение
Владения: навыками математического анализа, методами численного расчета геофизических полей с применением современного вычислительного программного обеспечения	Навыки владения методами отсутствуют	Фрагментарное владение методикой, наличие отдельных навыков	В целом сформированные навыки использования методов	Владение методами, использование их для решения задач

8. Ресурсное обеспечение:

А) Перечень основной и дополнительной литературы.

- основная литература:

- Альпин Л.М., Даев Д.С., Каринский А.Д. Теория полей, применяемых в разведочной геофизике. М.: Недра, 1985.
- Кауфман А.А. Введение в теорию геофизических методов. М.: Недра, Ч. I, 1997, Ч. II, 2000, Ч. III., 2001.
- Кудрявцев Ю.И. Теория поля и ее применение в геофизике. Л., Недра, 1988.
- Овчинников И.К. Теория поля. М.: Недра, 1979.
- Булах Е.Г., Шуман В.Н. Основы векторного анализа и теория поля. Киев: Наукова думка, 1998.

- дополнительная литература:

- Кочин Н.Е. Векторное исчисление и начала тензорного исчисления. Л.: ОНТИ, 1934.
- Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики. М.: Изд-во МГУ, 1999.
- Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория поля. М.: Наука, 1988.
- Тамм И.Е. Основы теории электричества. Л.: ГОСТЕХИЗДАТ, 1949.
- Стрэттон Дж. Теория электромагнетизма. Л.: ГОСТЕХИЗДАТ, 1948.
- Фейнман Р. Фейнмановские лекции по физике. М.: Мир, Т. 5, 1966, Т. 6, 1966.
- Бурсиан В.Р. Теория электромагнитных полей, применяемых в электроразведке. Л.: Недра, 1972.
- Никитин А.А. Теоретические основы обработки геофизической информации. М.: Недра, 1986.

9. Язык преподавания – русский.

10. Преподаватели – Булычев А.А., Пушкарев П.Ю.

11. Авторы программы – Булычев А.А., Пушкарев П.Ю.