

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

УТВЕРЖДАЮ
Декан геологического
факультета, чл.-корр. РАН
Еремин Н.Н.



25 сентября 2025 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование дисциплины:

Теория геофизических полей

Уровень высшего образования:

Бакалавриат

Направление подготовки:

05.03.01. Геология

Профиль программы бакалавриата:

Геофизика

Форма обучения:

Очная

Рабочая программа рассмотрена и одобрена
Учебно-методическим Советом
Геологического факультета МГУ
(протокол № 6 от 8 сентября 2025 г.)

Москва 2025

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», утвержденным приказом по МГУ от 30.12.2016 № 1674 (в действующей редакции).

Год приема на обучение: 2023.

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.

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.

1. Место дисциплины в структуре ОПОП. Относится к профильному блоку вариативной части ОПОП, является обязательной для освоения. Курс – 3, семестр – 5.

2. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия. Базируется на знаниях по дисциплинам «Высшая математика», «Математический анализ», «Аналитическая геометрия», «Линейная алгебра», «Дифференциальные уравнения», «Теория функций комплексного переменного», «Физика», «Физика вещества».

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с требуемыми компетенциями выпускников.

Компетенции выпускников (коды)	Индикаторы достижения компетенций	Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с индикаторами достижения компетенций
ОПК-1.Б.	Б.ОПК-1.И-1. Использует базовые знания фундаментальных разделов наук естественнонаучного и математического циклов в	<i>Знать:</i> основные закономерности физических полей (гравитационного, магнитного, электрического, электромагнитного, сейсмического, теплового), существующих в сплошной среде, свойства которой характеризуются усреднёнными параметрами; <i>Уметь:</i> математически описать физическое поле, создаваемое различными возбудителями, выполнять математическое моделирование физических полей;

	профессиональной деятельности	Владеть: навыками математического анализа и методами вычисления геофизических полей.
СПК-1.Б.	Б.СПК-1.И-2. Владеет методами решения прямых задач геофизики для сред различной размерности	Знать: постановку прямых задач основных геофизических методов; Уметь: определять и графически изображать структуру полей простых скалярных и векторных возбудителей; Владеть: методами вычисления физических полей для основных моделей возбудителей среды, применяемых в разведочной геофизике.

4. Объем дисциплины 4 з.е., в том числе 64 академических часов на контактную работу обучающихся с преподавателем (48 часов лекции, 16 часов семинары), 80 академических часов на самостоятельную работу обучающихся. Форма промежуточной аттестации – экзамен.

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

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, Форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего (часы)	В том числе					
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) <i>Виды контактной работы, часы</i>			Самостоятельная работа обучающегося <i>Виды самостоятельной работы, часы</i>		
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Всего	Подготовка к контрольной работе	Работа с литературой	Всего
Введение	2	2		2			
Раздел 1. Математические основы	30	14	6	20		10	10
Текущая аттестация 1: контрольная работа	15				15		15
Раздел 2. Физическое поле	30	16	4	20		10	10
Текущая аттестация 2: контрольная работа	15				15		15
Раздел 3. Электромагнитное поле	37	16	6	22		15	15
Текущая аттестация 3: контрольная работа	15				15		15
Промежуточная аттестация ¹		Устный экзамен					
Итого	144	64			80		

¹ Промежуточная аттестация в форме экзамена проводится во время экзаменационной сессии, предусмотренной графиком учебного процесса.

РАЗВЕРНУТОЕ СОДЕРЖАНИЕ ТЕМ И РАЗДЕЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ

СОДЕРЖАНИЕ ЛЕКЦИЙ

ВВЕДЕНИЕ

I. Цели и задачи курса

Введение. Цели и задачи курса. Рекомендуемая литература.

1. МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АППАРАТ

II. 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.

III. 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.

IV. 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.

V. 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.

2. СТАЦИОНАРНОЕ ПОЛЕ

VI. Возбудители поля

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

VII. Уравнения поля

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

VIII. Потенциалы векторного поля

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

IX. Графическое изображение полей

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

X. 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.

XI. 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.

3. ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ПОЛЕ

XII. Электромагнитное поле в вакууме

Электрическое поле в опытах Кулона. Возбудители электростатического поля. Движение электрических зарядов. Закон сохранения заряда. Магнитное поле в опытах Кулона. Закон Био-Савара-Лапласа о магнитном поле тока. Закон Ампера о взаимодействии токов. Возбудители постоянного магнитного поля. Закон электромагнитной индукции Фарадея. Ток смещения. Система уравнений Максвелла в вакууме.

XIII. 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 . Уравнения поля в веществе при наличии сторонних возбудителей поля. Релаксация свободных зарядов в однородной среде. Заряды в неоднородной среде. Кусочно-однородные среды, граничные условия. Магнитное

возбуждение поля. Классификация электромагнитных полей. Гармонические колебания электромагнитного поля. Уравнения Максвелла в случае гармонического возбуждения.

XIV. Потенциалы электромагнитного поля

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. Следствия из решений уравнений Гельмгольца. Вычисление поля в кусочно-однородной среде.

XV. Модели электромагнитного поля

Гармонический электрический диполь в однородной среде. Решение уравнения Гельмгольца для электрического диполя. Ближняя зона электрического диполя. Дальняя зона электрического диполя. Дальняя зона, диэлектрик (волновое поле). Дальняя зона, проводник (квазистационарное поле). Импеданс. Магнитный диполь в однородной среде. Вертикальный магнитный диполь над однородной землёй. Плоская волна в однородной среде. Падение плоской волны на плоскую границу двух сред. Задача Тихонова-Каньяра.

ПЛАН ПРОВЕДЕНИЯ СЕМИНАРОВ

1. Решение задач по алгебре физических величин
2. Решение задач по дифференцированию физических полей
3. Решение задач по интегрированию полей и криволинейным системам координат
4. Примеры расчётов потенциальных полей различных источников
5. Примеры расчётов вихревых полей различных возбудителей
6. Анализ первичного поля гармонического электрического диполя
7. Анализ нормального поля гармонического магнитного диполя
8. Анализ гармонического плосковолнового поля в слоистой среде

6. Фонд оценочных средств для оценивания результатов обучения по дисциплине:

6.1. Проведение текущей аттестации (контрольные работы и доклады)

Примеры вопросов на контрольных работах

- Найти смешанное произведение векторов (координаты векторов даны);
- Найти источники и вихри поля (поле дано в виде функции);
- Нарисовать потенциал и поле дипольного источника;
- Нарисовать поле кругового/прямолинейного вихря;
- Записать закон Кулона/Ампера/Фарадея/Ома в интегральной/дифференциальной форме;
- Записать уравнения Максвелла для стационарного/квазистационарного/волнового приближения.

6.2. Проведение промежуточной аттестации

Примерный перечень вопросов при проведении промежуточной аттестации (экзамен):

- (1) Сложение векторов, скалярное и векторное произведения.
- (2) Смешанное произведение, двойное векторное произведение.
- (3) Матрицы, действия над матрицами.
- (4) Переход от одного декартового базиса к другому.
- (5) Преобразование компонент вектора при смене базисов.
- (6) Тензор, линейные векторные функции векторного аргумента.
- (7) Дифференцирование скалярного поля, градиент, производная по направлению.
- (8) Оператор Гамильтона (оператор «набла»).
- (9) Дифференцирование векторного поля.
- (10) Градиент скалярных полей: $\text{grad}(a + b)$, $\text{grad}(ab)$, $\text{grad}F(a)$, $\text{grad}(\vec{A} \cdot \vec{B})$.
- (11) Дивергенция полей: $\text{div}(\vec{A} + \vec{B})$, $\text{div}(a\vec{A})$, $\text{div}(\vec{A} \times \vec{B})$.
- (12) Ротор полей: $\text{rot}(\vec{A} + \vec{B})$, $\text{rot}(a\vec{A})$, $\text{rot}(\vec{A} \times \vec{B})$.
- (13) Вторые производные скалярных и векторных полей, лапласиан.
- (14) Объёмные, поверхностные и криволинейные интегралы.
- (15) Теорема Гаусса-Остроградского и ее векторные формулировки.
- (16) Теорема Стокса и ее векторные формулировки.
- (17) Теоремы (формулы) Грина.

- (18) Понятие криволинейных координат, коэффициенты Ламэ.
- (19) Переход от центрального базиса к локальному и обратно.
- (20) Градиент скалярного поля в криволинейной системе координат.
- (21) Дивергенция векторного поля в криволинейной системе координат.
- (22) Ротор векторного поля в криволинейной системе координат.
- (23) Лапласиан скалярного поля в криволинейной системе координат.
- (24) Цилиндрическая система координат.
- (25) Сферическая система координат.
- (26) Гармоническая функция, лемма об её регулярности, теорема о тождественном нуле.
- (27) Теоремы единственности определения скалярной и векторной функции.
- (28) Скалярные возбудители поля.
- (29) Векторные возбудители поля.
- (30) Функция Хэвисайда и функция Дирака.
- (31) Функция Грина для скалярного уравнения Пуассона.
- (32) Решение скалярного уравнения Пуассона.
- (33) Решение векторного уравнения Пуассона.
- (34) Скалярный потенциал безвихревого поля.
- (35) Векторный потенциал вихревого поля.
- (36) Классификация полей.
- (37) Изображение скалярного поля.
- (38) Графическое изображение векторного поля.
- (39) Безвихревое векторное поле в графическом изображении.
- (40) Вихревое поле в графическом изображении.
- (41) Поле точечного источника.
- (42) Поле дипольного источника.
- (43) Линейный источник, поле однородного прямолинейного источника.
- (44) Бесконечный однородный прямолинейный источник. Логарифмический потенциал.
- (45) Поле однородного кругового цилиндра.
- (46) Поверхностный источник, поле кругового диска. Граничные условия.
- (47) Плоскость с постоянной поверхностной плотностью. Граничные условия.
- (48) Двойной поверхностный источник (двойной слой, дипольный слой).
- (49) Однородный двойной слой в виде диска. Граничные условия.
- (50) Поле однородной сферы.

- (51) Поляризованный объемный источник. Граничные условия.
- (52) Поле однородно поляризованной сферы.
- (53) Линейный вихрь.
- (54) Элемент линейного вихря.
- (55) Эквивалентность линейного вихря однородному двойному слою.
- (56) Различные выражения поля диполя.
- (57) Круговой линейный вихрь.
- (58) Бесконечный прямолинейный вихрь.
- (59) Поверхностный вихрь.
- (60) Плоский вихрь.
- (61) Эквивалентность поверхностного вихря неоднородному двойному слою.
- (62) Граничные условия на поверхностном вихре.
- (63) Объемный вихрь.
- (64) Электрическое поле в опытах Кулона.
- (65) Возбудители электростатического поля.
- (66) Движение электрических зарядов.
- (67) Закон сохранения заряда.
- (68) Магнитное поле в опытах Кулона.
- (69) Закон Био – Савара – Лапласа о магнитном поле тока.
- (70) Закон Ампера о взаимодействии токов.
- (71) Возбудители постоянного магнитного поля.
- (72) Закон электромагнитной индукции Фарадея.
- (73) Ток смещения.
- (74) Система уравнений Максвелла в вакууме.
- (75) Макроскопическая модель вещества. Свободные и связанные заряды.
- (76) Ток проводимости.
- (77) Поляризационный ток.
- (78) Ток намагничивания.
- (79) Источники и вихри поля D .
- (80) Источники и вихри поля H .
- (81) Уравнения поля в веществе при наличии сторонних возбудителей поля.
- (82) Релаксация свободных зарядов в однородной среде.
- (83) Заряды в неоднородной среде.

- (84) Кусочно-однородные среды, граничные условия.
- (85) Магнитное возбуждение поля.
- (86) Классификация электромагнитных полей.
- (87) Гармонические колебания электромагнитного поля.
- (88) Уравнения Максвелла в случае гармонического возбуждения.
- (89) Разделение уравнений Максвелла.
- (90) Электродинамические потенциалы электрического типа.
- (91) Электродинамические потенциалы магнитного типа.
- (92) Стационарное поле в безграничной однородной среде.
- (93) Функция Грина для уравнения Гельмгольца.
- (94) Решение уравнений Гельмгольца.
- (95) Следствия из решений уравнений Гельмгольца.
- (96) Вычисление поля в кусочно-однородной среде.
- (97) Гармонический электрический диполь в однородной среде.
- (98) Решение уравнения Гельмгольца для электрического диполя.
- (99) Ближняя зона электрического диполя.
- (100) Дальняя зона электрического диполя.
- (101) Дальняя зона, диэлектрик (волновое поле).
- (102) Дальняя зона, проводник (квазистационарное поле).
- (103) Импеданс.
- (104) Магнитный диполь в однородной среде.
- (105) Вертикальный магнитный диполь над однородной землёй.
- (106) Плоская волна в однородной среде.
- (107) Падение плоской волны на плоскую границу двух сред.
- (108) Задача Тихонова – Каньяра.

6.3. Шкала и критерии оценивания

Результаты обучения, соответствующие виды оценочных средств	«Неудовлетворительно»	«Удовлетворительно»	«Хорошо»	«Отлично»
Знания основных закономерностей физических полей (гравитационного, магнитного, электрического, электромагнитного, сейсмического, теплового), существующих в сплошной среде, свойства которой характеризуются усреднёнными параметрами (устный опрос)	Знания отсутствуют	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Систематические знания
Умения математически описать физическое поле, создаваемое различными возбудителями, выполнять математическое моделирование физических полей (устный опрос)	Умения отсутствуют	В целом успешное, но не систематическое умение, допускает непринципиальные неточности	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы	Успешное умение
Навыки владения методами математического анализа и численного расчета геофизических полей с применением современного программного обеспечения (устный опрос)	Навыки владения отсутствуют	Фрагментарное владение методикой, наличие отдельных навыков	В целом сформированные навыки	Свободное владение и использование

7. Ресурсное обеспечение

Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная

- 1) Бердичевский М.Н., Дмитриев В.И., Булычев А.А., Пушкарев П.Ю. Теория геофизических полей. Москва, Изд-во МГУ, 2024. 194 с.
- 2) Альпин Л.М., Даев Д.С., Каринский А.Д. Теория полей, применяемых в разведочной геофизике. М.: Недра, 1985.

- 3) Кудрявцев Ю.И. Теория поля и ее применение в геофизике. Л.: Недра, 1988.
- 4) Овчинников И.К. Теория поля. М.: Недра, 1979.
- 5) Булах Е.Г., Шуман В.Н. Основы векторного анализа и теория поля. Киев: Наукова думка, 1998.
- 6) Кауфман А.А. Введение в теорию геофизических методов. М.: Недра, ч. I, 1997, ч. II, 2000, ч. III, 2001.

Дополнительная

- 1) Кочин Н.Е. Векторное исчисление и начала тензорного исчисления. Л.: ОНТИ, 1934.
- 2) Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики. М.: Изд-во МГУ, 1999.
- 3) Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория поля. М.: Наука, 1988.
- 4) Тамм И.Е. Основы теории электричества. Л.: Гостехиздат, 1949.
- 5) Стрэттон Дж. Теория электромагнетизма. Л.: Гостехиздат, 1948.
- 6) Фейнман Р. Фейнмановские лекции по физике. М.: Мир, т. 5, 1966, т. 6, 1966.
- 7) Бурсиан В.Р. Теория электромагнитных полей, применяемых в электроразведке. Л.: Недра, 1972.
- 8) Жданов М.С. Геофизическая электромагнитная теория и методы. М.: Научный мир, 2012.
- 9) Вычислительная математика и техника в разведочной геофизике. Справочник геофизика / Под ред. В.И. Дмитриева. М.: Недра, 1990.

8. Язык преподавания: русский

9. Преподаватели: зав. кафедрой Булычев А.А., проф. Пушкарев П.Ю. (ответственный за дисциплину – Булычев А.А.)

10. Разработчики программы: зав. кафедрой Булычев А.А., проф. Пушкарев П.Ю.