

ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Теория геофизических полей

**Рекомендуется для направления подготовки
020700 «Геология», профиль «Геофизика»**

Квалификация (степень) выпускника: бакалавр

DISCIPLINE PLAN

Geophysical Field Theory

**Recommended for training programme
0270700 «Geology» profile «Geophysics»**

Qualification (degree) of the graduate – Bachelor

1. Цели и задачи освоения дисциплины

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

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

1. Goals and objectives of study

The goal of study of discipline “Geophysical field theory” is gaining knowledge about fundamental characteristics of physical fields, applied in geophysics, as well as about peculiarities of their spatial and temporal structure.

The objectives of study of discipline are: study of mathematical theory of geophysical fields, of methods for solution of problems concerning fields of main kinds of sources in simple models of the medium.

2. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина «Теория геофизических полей» относится к вариативной части ООП бакалавриата, к блоку профильной подготовки. Дисциплина базируется на курсах цикла естественнонаучных дисциплин базовой части, входящих в модули «Высшая математика» и «Физика», читаемых в 1 – 3 семестрах, а также дисциплин блока общенаучной подготовки вариативной части («Математический анализ», «Аналитическая геометрия», «Линейная алгебра», «Дифференциальные уравнения», «Теория функций комплексного переменного»), читаемых в 1 – 4 семестрах. Освоение дисциплины «Теория геофизических полей» необходимо для дальнейшего изучения методов интерпретации геофизических данных в рамках курсов «Гравиразведка», «Электроразведка» и «Сейсморазведка», продолжающихся в 6 семестре, а также профильных дисциплин магистерских программ профиля «Геофизика».

2. Discipline as a part of the curriculum:

The discipline “Geophysical field theory” is included into variational part of the bachelors BEP, into the block of profile training. The discipline is based on disciplines of the cycle of natural sciences disciplines of the base part of the BEP, included into modules “Higher mathematics” and “Physics”, studied in 1 – 3 semesters, as well as on disciplines of the general scientific block of variational part of the BEP (“Mathematical analysis”, “Analytic geometry”, “Linear algebra”, “Differential equations”, “Theory of functions of complex variable”), studied in 1 – 4 semesters. Study of the discipline “Geophysical field theory” is necessary for the further study of methods of geophysical data interpretation in the frameworks of the disciplines “Gravity prospecting”, “Electromagnetic prospecting” and “Seismic prospecting”, continuing in the 6th semester, as well as for the study of the profile disciplines of the masters programs of the profile “Geophysics”.

3. Требования к результатам освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины «Теория геофизических полей» направлен на формирование следующих компетенций:

универсальных, в том числе:

а) общекультурных (ОК):

- способность к сотрудничеству и партнерству, владение развитой системой философско-мировоззренческих, социокультурных и нравственных ценностей; способность осознавать свою роль и предназначение в разнообразных профессиональных и жизненных ситуациях; умение использовать нормативные правовые документы в своей деятельности (ОК-1);
- способность ориентироваться в социально-экономической проблематике; адаптироваться к новым профессиональным технологиям, социальным явлениям и

процессам, умение переоценивать накопленный опыт, анализировать собственные достижения и перспективы самосовершенствования (ОК-2);

– способность к самореализации, активной жизненной позиции и эффективной профессиональной деятельности; развитию целеустремленности и настойчивости в достижении целей, самостоятельности и инициативности; способность принимать ответственные решения, эффективно действовать в нестандартных обстоятельствах, в ситуациях профессионального риска (ОК-5);

б) общенаучных (ОНК):

– владение фундаментальными разделами математики, необходимыми для решения научно-исследовательских и практических задач в профессиональной области; способность создавать математические модели типовых профессиональных задач и интерпретировать полученные математические результаты, владение знаниями об ограничениях и границах применимости моделей; способность использовать в профессиональной деятельности базовые знания в области физики (ОНК-6);

в) инструментальных (ИК):

– владение иностранным языком в устной и письменной форме для осуществления коммуникации в учебной, научной, профессиональной и социально-культурной сферах общения; владение терминологией специальности на иностранном языке; умение готовить публикации, проводить презентации, вести дискуссии и защищать представленную работу на иностранном языке (ИК-2);

– владение навыками использования программных средств и работы в компьютерных сетях, использования ресурсов Интернет; владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации (ИК-3);

– способность использовать современную вычислительную технику и специализированное программное обеспечение в научно-исследовательской работе (ИК-5);

г) системных (СК):

– способность к творчеству, порождению инновационных идей, выдвижению самостоятельных гипотез (СК-1);

– способность к поиску, критическому анализу, обобщению и систематизации научной информации, к постановке целей исследования и выбору оптимальных путей и методов их достижения (СК-2);

– способность к самостоятельному обучению и разработке новых методов исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля деятельности; к инновационной научно-образовательной деятельности (СК-3);

профессиональных (ПК):

– способность глубоко осмысливать и формировать диагностические решения проблем геологии путем интеграции фундаментальных разделов геологии, геофизики, геохимии, гидрогеологии и инженерной геологии, геологии горючих ископаемых, экологической геологии и специализированных геологических знаний (ПК-2);

– способность самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований и решать их с помощью современной аппаратуры, оборудования, информационных технологий, с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта (ПК-3);

– готовность в составе научно-исследовательского коллектива участвовать в составлении отчетов, рефератов, библиографий и обзоров по тематике научных исследований, в подготовке докладов и публикаций (ПК-4);

– способность применять на практике методы сбора, обработки, анализа и обобщения фондовой, полевой и лабораторной геологической информации (ПК-5);

– способность применять на практике базовые общепрофессиональные знания теории и методов геологических исследований при решении научно-производственных задач (ПК-7);

– умение использовать углубленные специализированные профессиональные теоретические и практические знания для проведения научных фундаментальных и прикладных исследований (ПК-8);

- способность свободно и творчески пользоваться современными методами обработки и интерпретации комплексной геологической, геофизической, геохимической, гидрогеологической, инженерно-геологической, геокриологической, нефтегазовой и эколого-геологической информации для решения научных и практических задач, в том числе находящихся за пределами непосредственной сферы деятельности (ПК-11);
- готовность к использованию практических навыков организации и управления научно-исследовательскими и научно-производственными работами при решении фундаментальных и прикладных геологических задач (ПК-12).

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

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 расчёта геофизических полей с применением современного вычислительного программного обеспечения, основными терминами на английском языке.

3. Discipline requirements:

The result of studying the discipline “Geophysical field theory” is the formation of the following competences:

Universal competencies:

a) cultural (social and personal):

ability to cooperation and partnership, awareness of the advanced system of philosophical and ideological, social, cultural and moral values, the ability to understand their role and purpose in various professional and life situations, the ability to use regulatory instruments in their work (GC-1);

the ability to navigate in social and economic issues; adapt to new professional technologies, social phenomena and processes, the ability to re-evaluate the accumulated experience, to analyze their own achievements and prospects of self-improvement (GC-2);

the ability to self-realization, active life position and effective professional activity; development of determination and perseverance in achieving the objectives, independence and initiative; ability to make decisions, to act effectively in unusual circumstances, in situations of occupational risk (GC-5);

b) general science:

understanding of the fundamental sections of Mathematics, necessary for solving scientific and practical problems in the professional field; ability to create mathematical models of typical professional tasks and interpret mathematical results, the control of knowledge about the restrictions and limits of the models applicability; the ability to use fundamental Physics in the professional activities (GSC-6);

c) instrumental:

foreign language skills in oral and written form for communication in academic, scientific, professional and socio-cultural spheres of communication, the possession of special terminology in a foreign language, the ability to prepare publications, presentations, discuss and defend the submitted work in a foreign language (IC-2);

possession of skills in use of software tools and work in computer networks, the use of Internet resources, the possession of the principal methods, ways and means of obtaining, storing and processing of information (IC-3);

the ability to use modern computer equipment and specialized software in the research work (IC-5);

awareness of basic legal concepts, skills, understanding of the legal text, the ability to use legal documents in their professional activities, and the ability to use the legal knowledge to protect their civil rights and interests (IC-6);

the ability to use the knowledge of Economics in the context of their social and professional activities (IC-7);

willingness to work with the geophysical instruments, installations and equipment in the field and in the laboratory (IC-8);

awareness of the primary methods of protection of industrial workers and the public from the consequences of accidents, catastrophes and natural disasters (IC-9);

independent, methodologically correct use of methods of physical training and health promotion, willingness to achieve the proper level of physical preparedness for full social and professional activities (IC-10);

d) system:

creativity, the generation of innovative ideas, the nomination of independent hypotheses (SC-1);

the ability for the search, critical analysis, generalization and systematization of scientific information, to the formulation of the study purpose and choice of optimal ways and methods of their achievement (SC-2);

the ability for independent study and the development of new methods of research, changes in the scientific and scientific-production activity profile; innovative scientific and educational activities (SC-3);

Professional competencies:

General:

research activities:

the ability to deeply comprehend and generate diagnostic decisions of problems of Geology integrating fundamental branches of Geology, Geophysics, Geochemistry, Hydrogeology and engineering Geology, Geology of fossil fuels, environmental Geology and specialized geological knowledge (PC-2);

the ability to independently set specific research tasks and solve them with means of modern facilities, equipment, information technology, with the latest national and international experience (PC-3);

readiness to be involved in the preparation of reports, essays, bibliography and reviews on the subject of research, preparation of reports and publications within the research team (PC-4);

production and technological activities :

the ability to apply in practice the methods of collection, processing, analysis and synthesis of the fund, field and laboratory geological and geophysical data (PC-5);

the ability to practice basic general professional knowledge of the theory of geological research methods in solving scientific and industrial problems (PC-7);

the ability to use specialized professional extended theoretical and practical knowledge to carry out fundamental and applied scientific research (PC-8);

the ability to freely and creatively use the modern methods of processing and interpretation of complex geophysical information to solve scientific and practical problems, including those beyond the immediate sphere of activity (PC-11);

organizational and management activity:

willingness to use practical skills of organization and management of scientific-research and scientific-production works for solution of fundamental and applied geological tasks (PC-12).

As a result of discipline “Geophysical field theory” development the being trained has to:

know: the main regularities of physical fields (gravitational, magnetic, electric, electromagnetic, seismic, thermal), existing in the continuous environment which properties are characterized by average parameters;

to be able: mathematically to describe the physical field created by various activators, to carry out mathematical modeling of physical fields;

master: skills of the mathematical analysis, methods of numerical calculation of geophysical fields with application of the modern computing software, the main terms in English.

4. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины «Теория геофизических полей» составляет 4 зачетные единицы или 144 часа.

4.1 Структура дисциплины

№ п/п	Раздел дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов (трудоемкость в часах)					Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Форма промежуточной аттестации (по семестрам)	
				лекции	семинары	практические занятия	лабораторные работы	самостоятельная работа		
1	Введение	5	1	4						
2	Математический аппарат теории геофизических полей	5	2-6	10	10			20	Контрольная работа	
3	Физическое поле: его уравнения и его модели	5	7-12	18	6			30	Контрольная работа	
4	Электромагнитное поле	5	13-16	12	4			30	Контрольная работа	
5	Промежуточная аттестация	5							Экзамен	
Всего: 4 ЗЕ или 144 часа						44	20		80	

4.2 Содержание 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.

Физическое поле: его уравнения и его 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 Хевисайда), 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.

4. The structure and content of the discipline:

Overall study content discipline “Geophysical field theory” is 4 credits or 144 hours.

4.1 Discipline structure

Number	Section of the discipline	Semester	Week of the semester	Kinds of study activities, including independent work of students (labor content in hours)					Forms of progress control (in weeks of semester) Form of intermediate assessment (in semesters)
				lectures	seminars	practical work	laboratory work	independent work	
1	Introduction	5	1	4					
2	Mathematical tools of the geophysical field theory	5	2-6	10	10			20	Written test
3	Physical field: its equations and models	5	7-12	18	6			30	Written test
4	Electromagnetic field	5	13-16	12	4			30	Written test
5	Intermediate assessment	5							Examination
Total: 4 credits or 144 hours				44	20			80	

4.2 Discipline content

Introduction

1). Aims and tasks of the discipline

Introduction. Aims and tasks of the discipline. Recommended literature.

Mathematical tools of the geophysical field theory

2). Algebra of physical values

Linear dependence of vectors. Decomposition of vector using basis. Transformation of vector components corresponding to change of basis. Scalar and vector products. Triple and double vector products. Tensor concept. Linear transformation of vectors. Main rules of matrix algebra.

3). Differentiation of physical fields

Gradient of a scalar field. Directional derivatives of scalar and vector fields. Divergence and curl of vector field. Second derivatives, Laplace operator. Hamilton operator, basic differentiation formulas.

4). Integration of physical fields

Flow of a scalar field. Scalar and vector flows of a vector field. Tension and circulation of a vector field. Vector formulation of Ostrogradsky-Gauss and Stokes theorems. Gradient, divergence and curl as volume derivatives. Green's formulas.

5). Curvilinear coordinate system

Concept of a curvilinear coordinate system. Lamé coefficients. Transition from central to local basis. Transformation of vector components during basis change. Elements of length, square and volume in curvilinear coordinate system. Gradient of scalar field, divergence and curl of vector field, Laplace operator of scalar and vector fields in curvilinear coordinate system. Spherical and cylindrical coordinate systems.

Physical field: its equations and models

6). Field generators

Conditions of existence of a field. Definition of vector field using its divergence and curl. Field sources and vortices. Hydrodynamic interpretation. Curl-free and divergence-free fields.

7). Field equations

Heaviside step function, Dirac delta function, Green's function for the solution of scalar Poisson's equation. Solution of scalar and vector Poisson's equations.

8). Vector field potentials

Scalar and vector potentials. Coulomb's gauge. Potential and solenoidal fields. Laplace field. Principle of fields superposition. Fields classification.

9). Field graphic representation

Field graphic representation. Level surfaces, level layers, vector lines and vector tubes.

10). Models of curl-free fields

Static field. Point and dipole sources. Linear sources, logarithm potential. Simple and double layers. Volume sources and their polarization. Linear curl. Surface and volume curls. Equivalence theorems (replacement of curls by sources), Poisson's formula. Basic models (fields of ring, disk, flat layer, spherical layer, sphere). Continuity of field and potential and its violations. Poisson's equation. Forward and inverse problems. Dirichlet and Neumann's problems. Green's function. Physical illustrations. Gravity, electric and static magnetic fields. Energy.

11). Models of divergence-free fields

Linear curl. Element of a linear curl. Equivalence of linear curl and homogeneous double layer. Various expressions of a dipole field. Circular linear curl. Infinite rectilinear curl. Surface curl. Two-dimensional curl. Equivalence of surface curl and inhomogeneous double layer. Boundary conditions on a surface curl. Volume curl.

Electromagnetic field

12). Electromagnetic field in vacuum

Electric field in Coulomb's experiments. Generators of an invariable electric field. Movement of electric charges. Charge conservation law. Magnetic field in Coulomb's experiments. Bio-Savard-Laplace law. Ampere's law about electric currents interaction. Generators of a constant magnetic field. Faraday's law. Displacement current. Maxwell's system of equations in vacuum.

13). Electromagnetic field in a substance

Macroscopic substance model. Free and bound charges. Conduction current. Polarization current. Magnetization current. Sources and vortices of D field. Sources and vortices of H field. Foreign generators of field. Field equations in a substance. Relaxation of free charges in a homogeneous medium. Charges in inhomogeneous medium. Piecewise-homogeneous mediums, boundary conditions. Magnetic generation of a field. Models of electromagnetic field. Harmonic oscillation of electromagnetic field. Maxwell's equations in case of harmonic field generation.

14). Equations of electromagnetic field and its potentials

Division of Maxwell's equations. Electrodynamical potentials of electric type. Electrodynamical potentials of magnetic type. Stationary field in infinite unbounded medium. Green's function for Helmholtz equation. Solution of Helmholtz equation for scalar potential. Consequences from Helmholtz equations solutions. Field computations in piecewise-homogeneous medium.

15). Standard models of electromagnetic field

Electric dipole in infinite homogeneous medium. Solution of Helmholtz equation for electric dipole. Near-field zone of electric dipole. Far-field zone of electric dipole. Impedance. Magnetic dipole in infinite homogeneous medium. Vertical magnetic dipole above a

homogeneous half-space. Plane wave in a homogeneous medium. Incidence of a plane wave on a plane boundary of two mediums. Tikhonov-Cagniard problem.

5. Рекомендуемые технологии

При реализации программы дисциплины «Теория геофизических полей» используются различные образовательные технологии. Часть лекций проводится с использованием персонального компьютера, проектора и специальных вычислительных программ, моделирующих геофизические поля. Самостоятельная работа студентов подразумевает работу под руководством преподавателей (консультации и помощь в освоении теоретического курса и решении задач) и индивидуальную работу студента в компьютерном классе отделения геофизики и библиотеке геологического факультета.

Основные темы семинарских занятий: векторная и тензорная алгебра, дифференцирование и интегрирование векторных и скалярных полей, криволинейные системы координат, расчет скалярных и векторных полей от различных источников, задачи по электродинамике.

5. Recommended methodology

Different educational technologies are used during the implementation of “Geophysical field theory” discipline program. A part of lectures is conducted with a computer, video projector and special computational software for geophysical fields modeling. Independent work of students includes both work under lecturer’s guidance (tutorials, help in learning theory and solving tasks) and individual work in the computer class of the Geophysical department and in the library of the Faculty of Geology.

The main topics of seminars are: vector and tensor algebra, differentiation and integration of scalar and vector fields, curvilinear coordinate systems, computation of scalar and vector fields of different generators, tasks of electrodynamics.

6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

В течение преподавания дисциплины «Теория геофизических полей» в качестве форм текущего контроля успеваемости студентов используются контрольные работы и опрос во время семинарских занятий.

Контрольные вопросы к экзамену:

1. Сложение и умножение векторов.
2. Матрицы, действия над матрицами.
3. Переход от одного базиса к другому.
4. Преобразование компонент вектора при смене базисов.
5. Тензор, линейные векторные функции векторного аргумента.
6. Дифференцирование скалярного поля, градиент, производная поля 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 на бесконечности, теорема о тождественном нуле.
25. Теоремы единственности определения скалярной и векторной функции.
26. Скалярные возбудители поля.
27. Векторные возбудители поля.
28. Функция Хевисайда 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. Бесконечная плоскость с постоянной поверхностной плотностью. Граничные условия.
46. Двойной поверхностный источник (двойной слой, дипольный слой).
47. Двойной слой в виде диска с $m_s = \text{const}$. 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.
56. Бесконечный прямолинейный вихрь.
57. Поверхностный вихрь.
58. Плоский вихрь.
59. Эквивалентность поверхностного вихря неоднородному двойному слою.
60. Граничные условия на поверхностном вихре.
61. Объемный вихрь.
62. Электрическое поле в опытах Кулона.
63. Возбудители постоянного электрического поля.
64. Движение электрических зарядов.
65. Закон сохранения количества электричества.
66. Магнитное поле в опытах Кулона.
67. Закон Био-Савара-Лапласа.
68. Закон Ампера о взаимодействии токов.
69. Возбудители постоянного магнитного поля.
70. Закон Фарадея.
71. Ток смещения.
72. Система уравнений Максвелла в вакууме.
73. Макроскопическая модель вещества.

74. Свободные и связанные заряды.
75. Ток проводимости.
76. Поляризационный ток.
77. Ток намагничивания.
78. Источники и вихри поля D .
79. Источники и вихри поля H .
80. Сторонние возбудители поля.
81. Уравнения поля в веществе.
82. Релаксация свободных зарядов в однородной среде.
83. Заряды в неоднородной среде.
84. Кусочно-однородные среды, граничные условия.
85. Магнитное возбуждение поля.
86. Модели электромагнитного поля.
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 уравнения Гельмгольца для скалярного потенциала.
95. Следствия из решений уравнений Гельмгольца.
96. Вычисление поля в кусочно-однородной среде.
97. Электрический диполь в безграничной однородной среде.
98. Решение уравнения Гельмгольца для электрического диполя.
99. Ближняя зона электрического диполя.
100. Дальняя зона электрического диполя.
101. Импеданс.
102. Магнитный диполь в безграничной однородной среде.
103. Вертикальный магнитный диполь над однородным полупространством.
104. Плоская волна в однородной среде.
105. Падение плоской волны на плоскую поверхность раздела двух сред.
106. Задача Тихонова-Каньяра.

6. Marking for current performance control and interim assessment during and at the end of the course

During the study of “Geophysical field theory” discipline to control the current progress written tests and oral tests during seminars are used.

Questions for the examination:

1. Addition and multiplication of vectors.
2. Matrixes, operations with matrixes.
3. Transfer from one basis to another.
4. Transformation of vector components during basis change.
5. Tensor, linear vector functions of vector argument.
6. Differentiation of a scalar field, gradient, directional derivative.
7. Hamilton operator (“nabla” operator).
8. Differentiation of a vector field.
9. Gradients of scalar fields: $grad(a + b)$, $grad(ab)$, $gradF(a)$, $grad(\vec{A} \cdot \vec{B})$.
10. Field divergence: $div(\vec{A} + \vec{B})$, $div(a\vec{A})$, $div(\vec{A} \times \vec{B})$.
11. Field curl: $rot(\vec{A} + \vec{B})$, $rot(a\vec{A})$, $rot(\vec{A} \times \vec{B})$.
12. Second derivatives of scalar and vector fields, Laplace operator.
13. Ostrogradsky-Gauss theorem and its vector formulations.
14. Stokes theorem and its vector formulations.

15. Green's theorems.
16. Concept of curvilinear coordinates, Lamé coefficients.
17. Transfer from central basis to local and back.
18. Gradient of a scalar field in curvilinear coordinate system.
19. Divergence of a vector field in curvilinear coordinate system.
20. Curl of a vector field in curvilinear coordinate system.
21. Laplace operator of a scalar field in curvilinear coordinate system.
22. Cylindrical coordinate system.
23. Spherical coordinate system.
24. Harmonic function, lemma about its regularity at infinity, theorem about null equation.
25. Uniqueness theorems of the definition of scalar and vector functions.
26. Scalar field generators.
27. Vector field generators.
28. Heaviside function, Dirac function.
29. Green's function for the scalar Poisson's equation.
30. Solution of a scalar Poisson's equation.
31. Solution of a vector Poisson's equation.
32. Scalar potential of curl-free field.
33. Vector potential of divergence-free field.
34. Classification of fields.
35. Scalar field graphic representation.
36. Vector field graphic representation.
37. Curl-free field graphic representation.
38. Divergence-free field graphic representation.
39. Field of a point source.
40. Field of a dipole source.
41. Linear source, field of a homogeneous rectilinear source.
42. Infinite homogeneous rectilinear source. Logarithmic potential.
43. Field of a homogeneous circular cylinder.
44. Surface source, field of a circular disk. Boundary conditions.
45. Infinite plane with constant surface density. Boundary conditions.
46. Double surface source (double layer, dipole layer).
47. Double layer in the shape of disk with $m_s = \text{const}$. Boundary conditions.
48. Field of a homogeneous sphere.
49. Polarized volume source. Boundary conditions.
50. Field of a homogeneously polarized sphere.
51. Linear curl.
52. Element of a linear curl.
53. Equivalence of linear curl and homogeneous double layer.
54. Various expressions of a dipole field.
55. Circular linear curl.
56. Infinite rectilinear curl.
57. Surface curl.
58. Two-dimensional curl.
59. Equivalence of surface curl and inhomogeneous double layer.
60. Boundary conditions on a surface curl.
61. Volume curl.
62. Electric field in Coulomb's experiments.
63. Generators of an invariable electric field.
64. Movement of electric charges.
65. Charge conservation law.
66. Magnetic field in Coulomb's experiments.
67. Bio-Savard-Laplace law.
68. Ampere's law about electric currents interaction.

69. Generators of a constant magnetic field.
70. Faraday's law.
71. Displacement current.
72. Maxwell's system of equations in vacuum.
73. Macroscopic substance model.
74. Free and bound charges.
75. Conduction current.
76. Polarization current.
77. Magnetization current.
78. Sources and vortices of D field.
79. Sources and vortices of H field.
80. Foreign generators of field.
81. Field equations in a substance.
82. Relaxation of free charges in a homogeneous medium.
83. Charges in inhomogeneous medium.
84. Piecewise-homogeneous mediums, boundary conditions.
85. Magnetic generation of a field.
86. Models of electromagnetic field.
87. Harmonic oscillation of electromagnetic field.
88. Maxwell's equations in case of harmonic field generation.
89. Division of Maxwell's equations.
90. Electrodynamic potentials of electric type.
91. Electrodynamic potentials of magnetic type.
92. Stationary field in infinite unbounded medium.
93. Green's function for Helmholtz equation.
94. Solution of Helmholtz equation for scalar potential.
95. Consequences from Helmholtz equations solutions.
96. Field computations in piecewise-homogeneous medium.
97. Electric dipole in infinite homogeneous medium.
98. Solution of Helmholtz equation for electric dipole.
99. Near-field zone of electric dipole.
100. Far-field zone of electric dipole.
101. Impedance.
102. Magnetic dipole in infinite homogeneous medium.
103. Vertical magnetic dipole above a homogeneous half-space.
104. Plane wave in a homogeneous medium.
105. Incidence of a plane wave on a plane boundary of two mediums.
106. Tikhonov-Cagniard problem.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины:

7. Methodological and informational support:

а) основная литература:

а) primary list of books:

- 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.

б) дополнительная литература:

б) secondary list of books (bibliography):

- 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.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

с) software and Internet-resources:

Специальные вычислительные компьютерные программы, созданные сотрудниками и преподавателями кафедры геофизики геологического факультета МГУ.

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Для материально-технического обеспечения дисциплины «Теория геофизических полей» используются: специализированная аудитория с ПК и компьютерным проектором, компьютерный класс, библиотека геологического факультета МГУ.

8. Necessary facilities and equipment

For the material and technical support of the discipline “Geophysical field theory” lecture room with a computer and video projector, computer class and the library of the Faculty of geology are used.

9. 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.

9. Discipline content (annotation)

Mathematical tools of the theory of geophysical fields are considered: algebra of physical quantities, differentiation and integration of physical fields, curvilinear coordinate system. Field generators, equations and potentials, graphic representation of fields, models of curl-free and divergence-free fields are studied. Electromagnetic fields in vacuum and in substance, equations of electromagnetic field and its potentials, models of electromagnetic field are analyzed.

10. Учебно-методические рекомендации для обеспечения самостоятельной работы студентов

Темы для самостоятельной работы студентов:

- Разложение гравитационного потенциала в ряд;
- Краевые задачи электростатики;
- Поле намагниченных тел;
- Электрический и магнитный диполи на поверхности однородного полупространства;
- Плоские волны в слоистой среде;
- Спектральное представление поля.

10. Educational and methodological recommendations for self-study

Topics for independent work of students:

- Expansion of gravity potential in series;
- Boundary-value problem of electrostatics;

- Field of magnetized bodies;
- Electric and magnetic dipoles on the surface of a homogeneous half-space;
- Plane waves in a layered medium;
- Field spectral representation.

Разработчики:

Геологический факультет МГУ профессор Булычев А.А.
8(495)939-5766, 8(916)978-6627, aabul@geophys.geol.msu.ru

Геологический факультет МГУ доцент Пушкарев П.Ю.
8(495)939-4912, 8(905)703-7950, pavel_pushkarev@list.ru

Эксперты:

Геологический факультет МГУ доцент Бобачев А.А.

ЦГЭМИ ИФЗ РАН директор Варенцов Ив.М.

Программа одобрена на заседании Ученого совета Геологического факультета МГУ (протокол № _____ от _____).

Developers:

Moscow State University, Faculty of Geology professor Bulychev A.A.
8(495)939-5766, 8(916)978-6627, aabul@geophys.geol.msu.ru

Moscow State University, Faculty of Geology associate professor Pushkarev P.Yu.
8(495)939-3013, 8(905)703-7950, pavel_pushkarev@list.ru

Experts:

Moscow State University, Faculty of Geology associate professor Bobachev A.A.

GEMRC IPE RAS director Varentsov Iv.M.

The program has been approved by Academic Council of Faculty of Geology, MSU (protocol № _____ from _____).