

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

УТВЕРЖДАЮ

И.о. декана физического факультета МГУ,
профессор, д.ф.-м.н.



/ В.В. Белокуров /

21 » марта 2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Геофизика

Geophysics

Программа (программы) подготовки
научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре
Геофизика
(103-01-00-169-фмн)

Москва 2024

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с Приказом по МГУ от 24 ноября 2021 года № 1216 «Об утверждении Требований к основным программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре, самостоятельно устанавливаемых Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова».

1. Краткая аннотация:

Название дисциплины: Геофизика.

Дисциплина «Геофизика» посвящена современному изложению представлений о внутреннем строении Земли, процессам её образования и развития. Она включает анализ основных физических полей: гравитационного, сейсмического, теплового и электромагнитного. Рассматриваются проблемы геохронологии, особенности физических параметров в предполагаемых моделях строения Земли. Специальное внимание уделено реологии и характеристикам вещества горных пород при высоких давлениях и температурах.

Цель изучения дисциплины – расширение и углубление знаний о современном состоянии и тенденциях развития в области физики Земли.

2. Уровень высшего образования - подготовка кадров высшей квалификации.

3. Научная специальность: 1.6.9 Геофизика; область науки: естественные науки.

4. Место дисциплины (модуля) в структуре Программы аспирантуры: дисциплины (модули), направленные на подготовку к кандидатским экзаменам - Дисциплина, совпадающая с наименованием научной специальности.

5. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся:

Объем дисциплины (модуля) составляет 3 зачетных единицы, всего 108 часов, из которых 54 часа составляет контактная работа аспиранта с преподавателем (50 часов занятия лекционного типа, 4 часа мероприятия текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации), 54 часа составляет самостоятельная работа учащегося.

6. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия.

Необходимы знания высшей математики и общей физики в объеме курсов, преподаваемых на физических специальностях классических университетов, полученных на предыдущих уровнях высшего образования.

7. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)	В том числе								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них					Самостоятельная работа обучающегося, часы из них			
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Учебные занятия, направленные на проведение текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка к коллоквиумам	Всего
<i>Тема 1. Сейсмология (Упругие деформации и напряжения. Уравнения движения упругой среды. Типы упругих волн. Влияние границ на распространение упругих волн. Годографы. Собственные колебания Земли. Сейсмологические методы исследования строения Земли. Строение земной коры и ее основные типы. Скоростной разрез земного шара. Земное ядро: строение, физическое состояние, состав. Мантия: строение, состав. Сейсмические приборы. Типы</i>	40	18	2				20	20		20

<p>сейсмографов, их частотные характеристики. Аналоговая и цифровая регистрация. Сейсмограмма. Локация землетрясений. Сейсмические каталоги. Природа землетрясений. Энергия землетрясений. Шкалы магнитуд и интенсивности. Физика и механизм очага. Географическое распределение землетрясений. Статистические закономерности сейсмичности. Цунами. Техногенная сейсмичность. Прогноз землетрясений. Физические предпосылки прогноза землетрясений. Модели подготовки землетрясений. Предвестники землетрясений, их классификация. Виды прогноза землетрясений. Стратегия прогноза землетрясений. Районирование сейсмической опасности. Сейсмический риск.)</p>										
<p>Тема 2. Гравитационное поле Земли. (Методы наблюдений. Абсолютные и относительные измерения. Гравиметры. Спутниковая гравиметрия. Теория потенциала. Сила тяжести и ее потенциал. Разложение поля по</p>	16	8					8	8		8

<p><i>сферическим функциям. Механический смысл стоксовых постоянных. Нормальный и возмущающий потенциал. Нормальная сила тяжести. Аналитическое продолжение. Фигура Земли и методы ее изучения. Геоид и квазигеоид. Вычисление высот геоида и квазигеоида. Гравитационная аномалия. Редукции. Гипотеза изостазии. Прямые и обратные задачи теории потенциала. Масса и момент инерции Земли. Решение некорректно поставленных обратных задач. Методы регуляризации.)</i></p>									
<p>Тема 3. Геомагнетизм. <i>(Структура и источники магнитного поля Земли. Аналитическое описание геомагнитного поля, магнитный потенциал, теория Гаусса. Эволюция главного геомагнитного поля. Динамо-теория генерации магнитного поля Земли. Полоидальные и тороидальные магнитные поля. Вековые вариации и инверсии геомагнитного поля. Поле геомагнитных аномалий над</i></p>	28	10	4				14	14	14

<p>континентами и океанами. Источники геомагнитных аномалий, магнитоактивный слой земной коры. Природа линейных магнитных аномалий в океанах. Физические основы палеомагнетизма. Магнетизм горных пород. Виды намагниченности горных пород. Определение величины и направления древнего магнитного поля по остаточной намагниченности горных пород. Природа переменной составляющей магнитного поля Земли. Ионосфера и периодические геомагнитные вариации. Взаимодействие солнечного ветра с геомагнитным полем, формирование магнитосферы Земли, ее размеры и структура. Геомагнитные возмущения, их природа и источники. Магнитные бури: закономерности и причины.)</p>										
<p>Тема 4. Тепловое поле Земли. (Теплофизические параметры горных пород и методы их измерения. Механизмы переноса тепла в Земле. Тепловой поток. Мантийная конвекция. Оценки температуры в глубинах</p>	8	4					4	4		4

<i>Земли. Источники тепла Земли. Термическая история Земли.)</i>										
Тема 5. Физика Земли. <i>(Современные модели Земли. Природа основных границ в недрах Земли. Вещество Земли в условиях высоких температур и давлений. Фазовые переходы внутри Земли. Реология вещества Земли. Электропроводность Земли. Геодинамика и геодинамические процессы. Геохронология и возраст Земли. Гипотезы о происхождении и развитии Земли.)</i>	8	4					4	4		4
Промежуточная аттестация: допуск к кандидатскому экзамену	8					4		4		4
Итого	108	44	6			4	54	54		54

8. Образовательные технологии

Используемые формы и методы обучения: лекции и семинарские занятия, самостоятельная работа аспирантов.

В процессе преподавания дисциплины преподаватель использует как классические формы и методы обучения (лекции и семинарские занятия), так и активные методы обучения.

При проведении лекционных занятий преподаватель использует при необходимости аудиовизуальные, компьютерные и мультимедийные средства обучения, а также демонстрационные и наглядно-иллюстрационные (в том числе раздаточные) материалы.

9. Учебно-методические материалы для самостоятельной работы по дисциплине (модулю): аспирантам предоставляется программа курса, план занятий и задания для самостоятельной работы, презентации к лекционным занятиям.

10. Ресурсное обеспечение:

Основная литература

1. Аки К., Ричардс П. Количественная сейсмология. Теория и методы. М. Мир, 1983.
2. Ботт М. Внутреннее строение Земли. М: Мир, 1974.
3. Грушинский Н.П. Теория фигуры Земли. М.: Наука, 1976.
4. Жарков В. Н. Внутреннее строение Земли и планет. - М.: Наука и образование, 2013. 413 с.
5. Захаров В.С., Смирнов В.Б. Физика Земли. М. 2016. 328с.
6. Лайонс Л., Уильямс Д. Физика магнитосферы. М., Мир, 1987.
7. Магницкий В.А. Внутреннее строение и физика Земли. М.: Недра, 1965. -379с. или М., Наука, 2006 или М., Физ. ф-т МГУ, 2006.
8. Максимочкин В.И. Геомагнитные вариации и магнитосфера Земли. М., Физический факультет МГУ, 2014, 115 с.
9. Моги К. Предсказание землетрясений. М.: Мир, 1988.
10. Пантелеев В.Л. Теория фигуры Земли. 2000.
11. Соболев Г.А. Основы прогноза землетрясений. М.: Наука, 1993.
12. Соболев Г.А., Пономарев А.В. Физика землетрясений и предвестники. М.: Наука, 2003. 270 с.

Дополнительная литература

1. Жарков В.Н. Физика Земных недр. "Наука и образование". 2012. 384.
2. Касахара К. Механика землетрясений. М.: Мир: 1985.
3. Рикитакэ Т. Предсказание землетрясений. М.: Мир, 1979.
4. Сейсмические опасности / Отв. ред. Г.А. Соболев // Природные опасности. М.: Издательская фирма «КРУК», 2000.
5. Barthelmes F. Definition of Functionals of the Geopotential and Their Calculation from Spherical Harmonic Models. Theory and formulas used by the calculation service of the International Centre for Global Earth Models (ICGEM) <http://icgem.gfz-potsdam.de/ICGEM/>
6. Stacey F.D, Devis P.M. Physics of the Earth. Cambridg Univ. Press. 2008.
7. Stein S., Wysession M. An introduction to seismology, earthquakes and Earth structure. Blackwell Publishing, 2003. 498 p.
8. Treatise on geophysics / G. Schubert – ed. Elsevier, 2009. 5602 p.
9. Стейси Ф.Д. Физика Земли. М.: Мир, 1972.
10. Теркотт Д., Шуберт Дж. Геодинамика. Т. 1,2. М. 1985.

11. Трухин В.И. и др. Ферриманетизм минералов. Изд.-во Моск. ун.-та, 1983. 96 с
12. Яновский Б.М. Земной магнетизм. Ч. 1, 2. Л.: Изд-во ЛГУ, 1963-1964.

Перечень используемых информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса, включая программное обеспечение, информационные справочные системы (при необходимости), интернет-ресурсы:

1. <http://www.pnsn.org/seismosurfing.html>
2. <http://seismos-u.ifz.ru/personal/index.htm>
3. <https://earthquake.usgs.gov/>
4. <http://www.isc.ac.uk/>
5. <http://www.emsd.ru/seismicity>
6. <http://www.ceme.gsras.ru/new/news/>
7. <http://lnfm1.sai.msu.ru/grav/russian/lecture/geophys/index.html>
8. <https://ifz.ru/institut/struktura/nauchnyie-podrazdeleniya/i-otdelenie/laboratoriya-102>
9. <https://fireras.su/biblio/wp-content/uploads/22456.pdf>
10. <https://www.sciencedirect.com/>
11. <http://vmu.phys.msu.ru/file/2008/1/08-1-68.pdf>
12. <http://www.izmiran.ru>
13. <http://ipg.geospace.ru/>
14. <http://wiki.web.ru/>
15. <http://www.iris.edu/>
16. https://www.equalis.com/?page=Equalis_russian
17. <http://igiis.ru/>
18. <http://geo.web.ru/>
19. [kosmofizika.ru>irkutsk/mishin.htm](http://kosmofizika.ru/irkutsk/mishin.htm)
20. https://sites.google.com/a/physics.msu.ru/geomag_mvi/bookfi.netbook/688472
21. <http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/index.html>

11. Язык преподавания – русский.

12. Преподаватели:

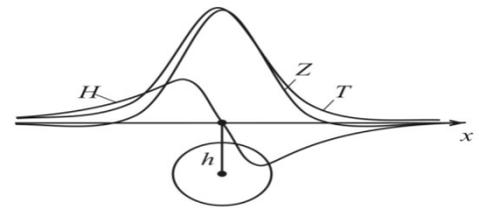
1. Д.ф.-м.н., профессор Смирнов Владимир Борисович; e-mail: vs60@mail.ru.
2. Д.ф.-м.н., профессор Максимочкин Валерий Иванович; e-mail: maxvi@mail.ru.
3. К.ф.-м.н., доцент Воронина Елена Викторовна; e-mail: voronina@physics.msu.ru.

Фонды оценочных средств, необходимые для оценки результатов обучения

Образцы домашних заданий:

1. Рассчитать скорость сейсмических волн, глубину залегания второго слоя и угол наклона второго слоя по годографу отраженной волны (МОВ) по характерным точкам: $t_0=0.1$ с, $t_{min}=0,0985$, $X_{min}=34.7$ м.
2. Чему равны скорости продольных и поперечных волн, если известны модуль Юнга ($E=100$ ГПа) и коэффициент Пуассона ($\delta=0.29$), плотность породы 3 г/см³.
3. Рассчитать модуль Юнга и коэффициент Пуассона, если измерены скорости продольных ($V_p=4.5$ км/с) и поперечных ($V_s=3$ км/с) волн в среде с плотностью 3 г/см³.

4. Рассчитать глубину залегания вертикально намагниченного шара и его магнитный момент, если расстояние между точками экстремума горизонтальной составляющей поля равно 10 м, Горизонтальная составляющая поля в точке экстремума равна 5 мкТл
5. Рассчитать на какой глубине залегает горизонтальный цилиндр (железная труба), если расстояние между точками экстремума горизонтальной составляющей аномального поля крест простирания равно 10 м. Наклонение намагниченности равно $j=60^\circ$.
6. Рассчитать на какой глубине залегает горизонтальный цилиндр (железная труба), если расстояние между точками, где вертикальная составляющая аномального поля равна нулю вкрест простирания равно 10 м. Наклонение намагниченности равно $j=60^\circ$.
7. Определить глубину залегания и наклонение намагниченности горизонтального кругового цилиндра, если расстояние между точками, где равна нулю горизонтальная составляющая - $\Delta X_0(H) = 100$ м. Расстояние между точками равенства нулю вертикальной составляющей $\Delta X_0(Z) = 100$ м
8. Определить по методу Пятницкого мощность (b) и глубину (h) залегания пластообразного намагниченного тела, если расстояние между координатами характерных точек равны $X_3 - X'_3 = 200$ м, $X_1 - X'_1 = 100$ м.
9. Определить геомагнитную широту точки наблюдения, если наклонение геомагнитного поля в этой точке равно 60° .
10. Куда направлена намагниченность шара, если распределение магнитного поля, создаваемого намагниченностью представлено на рис.
11. Рассчитать максимальную величину гравитационной аномалии и глубину залегания шара плотностью $\sigma = 3$ г/см³, радиуса $R = 100$ м, находящегося в среде с плотностью 2,5 г/см³, если расстояние между точками, где величина $\Delta g_{1/2} = (1/2)\Delta g_{\max}$, равно 500 м
12. Рассчитать глубину залегания шара создающего гравитационную аномалию, если расстояние между экстремумами горизонтальной составляющей градиента аномалии равно 400 м.
13. Чему равен вертикальный тепловой поток в гранитах, если вертикальный градиент температуры составляет 30 °/км?



Вопросы для промежуточной аттестации – зачета:

1. Вектор и тензор напряжений, его свойства.
2. Напряжения и деформации в заданном направлении. Экстремальные напряжения.
3. Физическая природа упругости. Термоупругость.
4. Виды упругой анизотропии.
5. Уравнения движения. Условия квазиоднородности.
6. Теорема Бети.
7. Коэффициенты отражения, преломления, обмена.
8. Собственные колебания шара, учет гравитационных сил.
9. Однородные и неоднородные волны в полупространстве.
10. Интеграл Зоммерфельда.
11. Волны Стоунли.
12. Какова погрешность оценки физических параметров очага землетрясения по данным о магнитуде?
13. В чем суть закона повторяемости землетрясений Гуттенберга-Рихтера? В чем суть обобщенного закона повторяемости землетрясений?

14. Что такое дилатансия? В чем суть дилатантно-диффузной модели подготовки землетрясения? В чем суть модели ЛНТ?
15. Принципы измерения гравитационного поля Земли. Что такое триангуляция.
16. Каков принцип спутниковой альтиметрии? Чем отличаются проекты CHAMP, GRACE и GOCE? Как работает GPS?
17. Что такое фигура Земли?
18. Как определяются коэффициенты Гаусса
19. Как определить вклад аномального магнитного поля в наблюдаемое поле в любой точке земной поверхности?
20. Как рассчитываются мировые аномалии? Где находятся источники поля мировых аномалий?
21. Как можно определить координаты геомагнитного полюса?
22. Где находятся источники локальных магнитных аномалий? Как они рассчитываются?
23. Какие факты свидетельствуют о том, что магнитное поле Земли не дипольное?
24. Как определить величину дипольного магнитного момента Земли?
25. Как можно определить геомагнитную широту места наблюдения по результатам измерения магнитного поля.
26. Удельный тепловой поток: определение, единицы измерения, характерные значения для различных тектонических структур. Геотермический градиент, геотермическая ступень, их связь и характерные значения.
27. Закон Фурье. Коэффициент теплопроводности, единицы измерения и физический смысл. Изотропная и анизотропная среда.
28. Уравнение теплопроводности (одномерный и трехмерный случай). Коэффициент температуропроводности. Число Фурье. Уравнение теплопроводности в анизотропном случае.
29. Начально-краевая задача для уравнения теплопроводности. Граничные условия III рода. Коэффициент теплообмена. Число Био.
30. Уравнение Вильямсона—Адамса, связь теплофизических и сейсмических свойств.

**Методические материалы
для проведения процедур оценивания результатов обучения**

Зачет проходит по билетам, включающем 3 вопроса. Уровень знаний аспиранта по каждому вопросу на «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно». В случае если на все вопросы был дан ответ, оцененный не ниже чем «удовлетворительно», аспирант получает общую оценку «зачтено».

Шкала оценивания знаний, умений и навыков

Результат освоения дисциплины	Критерии оценивания знаний, умений и навыков			
	2/ не зачтено	3/ зачтено	4/ зачтено	5/ зачтено
Знания основных законов и тенденций развития геофизических процессов	Отсутствие знаний основных законов и тенденций развития геофизических процессов	В целом успешные, но не систематические знания основных законов и тенденций развития	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы знания основных законов и тенденций развития геофизических	Успешные и систематические знания основных законов и тенденций развития геофизических

		геофизических процессов	процессов	процессов
Умения применять знания основных законов физики для исследования геофизических процессов	Отсутствие умения применять знания основных законов физики для исследования геофизических процессов	В целом успешное, но не систематическое применять знания основных законов физики для исследования геофизических процессов	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение применять знания основных законов физики для исследования геофизических процессов	Успешное и систематическое умение применять знания основных законов физики для исследования геофизических процессов
Владение навыками решения научных задач в области геофизики	Отсутствие/фрагментарное владение навыками решения научных задач в области геофизики	В целом успешное, но не систематическое владение навыками решения научных задач в области геофизики	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение навыками решения научных задач в области геофизики	Успешное и систематическое владение навыками решения научных задач в области геофизики