

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ФИЗИКА ЗЕМЛИ»

Направление подготовки
Направленность (профиль)
Год начала обучения

05.03.03 Картография и геоинформатика
Геоинформатика
2026

Ставрополь, 2026

СОДЕРЖАНИЕ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1. Изучение строения и классификации галактик.	3
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2. Изучение интерактивной модели диаграммы Герцшпрунга-Рессела.	13
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3. Изучение спектра Солнца.....	22
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4. Изучение внутреннего строения Земли и ее сейсмической модели.	28
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5. Изучение составляющих нормального гравитационного поля Земли.....	37
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6. Изучение распределения теплофизических параметров земной коры	43
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7. Изучение составляющих магнитного поля Земли	48
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №8. Расчет абсолютного возраста горных пород радиологическим методом.	52

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1.

Изучение строения и классификации галактик

Знать и понимать основные физические характеристики галактик, определяющих наблюдательные особенности. Определить морфологическую принадлежность галактик.

Теоретическая часть

Галактики — гравитационно-связанная система из звёзд, звёздных скоплений, межзвёздного газа и пыли, тёмной материи, планет. Все объекты в составе галактики участвуют в движении относительно общего центра масс.

Существует несколько схем разделения галактик на морфологические типы. Наиболее известная была предложена Эдвином Хабблом (рис. 1.1).

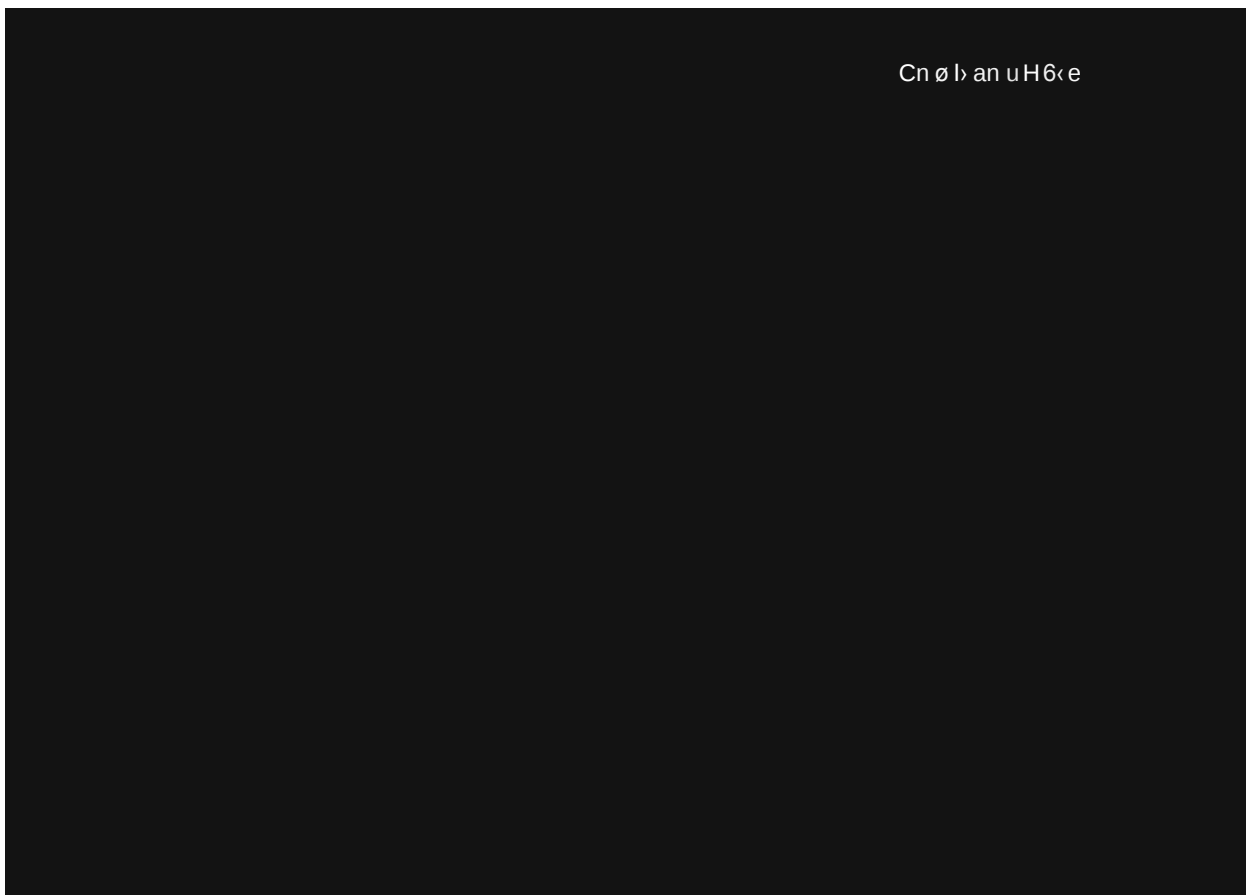


Рис. 1.1 — Последовательность Хаббла

Эллиптические галактики (E) имеют гладкую эллиптическую форму (от сильно сплюснутых до почти круглых) без отличительных деталей с равномерным уменьшением яркости от центра к периферии (рис. 1.2). Они обозначаются буквой E и цифрой, которая является индексом сплюснутости галактики. Эллиптические галактики состоят из старых звёзд и практически полностью лишены газа.



Рис. 1.2 — Эллиптическая галактика

Спиральные галактики (S) состоят из уплощенного диска из звезд и газа, в центре которого находится сферическое уплотнение, называемое балджем, а также обширного сферического гало (рис. 1.3). В плоскости диска формируются яркие спиральные рукава, состоящие преимущественно из молодых звезд, газа и пыли.

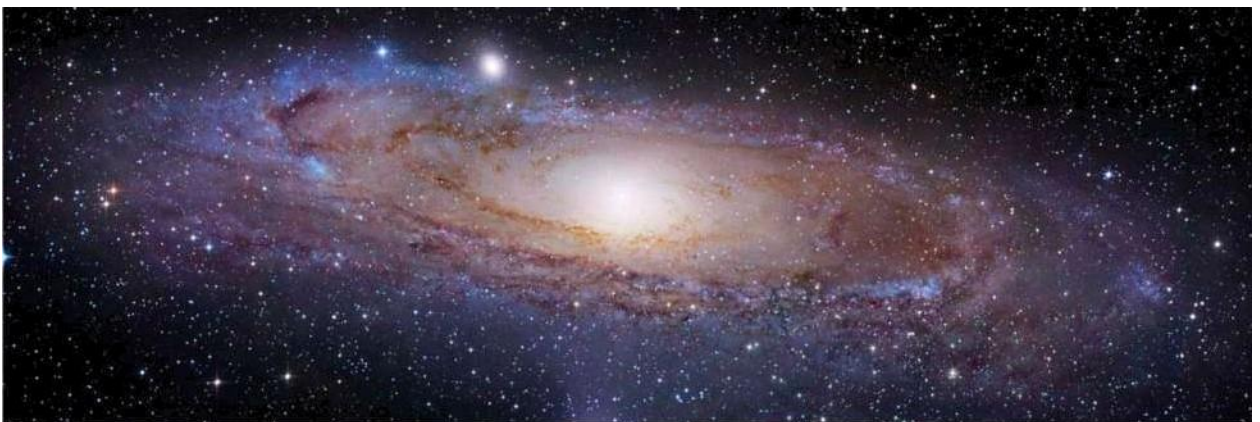


Рис. 1.3 — Спиральная галактика

Спиральные галактики с перемычкой (Sb) — спиральные галактики с перемычкой («баром») из ярких звёзд, выходящей из центра и пересекающей галактику посередине. Спиральные ветви в таких галактиках начинаются на концах перемычек, тогда как в обычных спиральных галактиках они выходят непосредственно из ядра. Наша Галактика Млечный Путь относится именно к этому типу галактик (рис. 1.4).

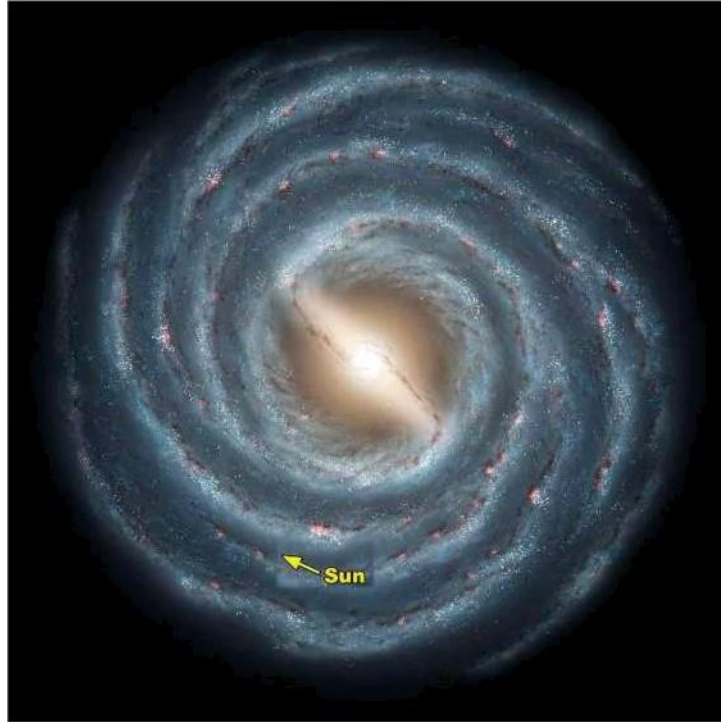


Рис. 1.4 — Спиральная галактика с перемычкой Млечный Путь

Линзовидные галактики (SO) — тип галактик, промежуточный между эллиптическими и спиральными, по своей структуре не отличается от спиральных, за исключением отсутствия чёткого спирального узора (рис. 5). Объясняется это низким содержанием межзвёздного газа, а значит, и низким темпом звездообразования.



Рис. 5 — Линзовидная галактика

Неправильные или иррегулярные галактики (Irr) — галактики, лишённые как вращательной симметрии, так и значительного ядра (рис. 1.6). Неправильные галактики отличаются разнообразием форм, обычно небольшими размерами и обилием газа, пыли и молодых звёзд.

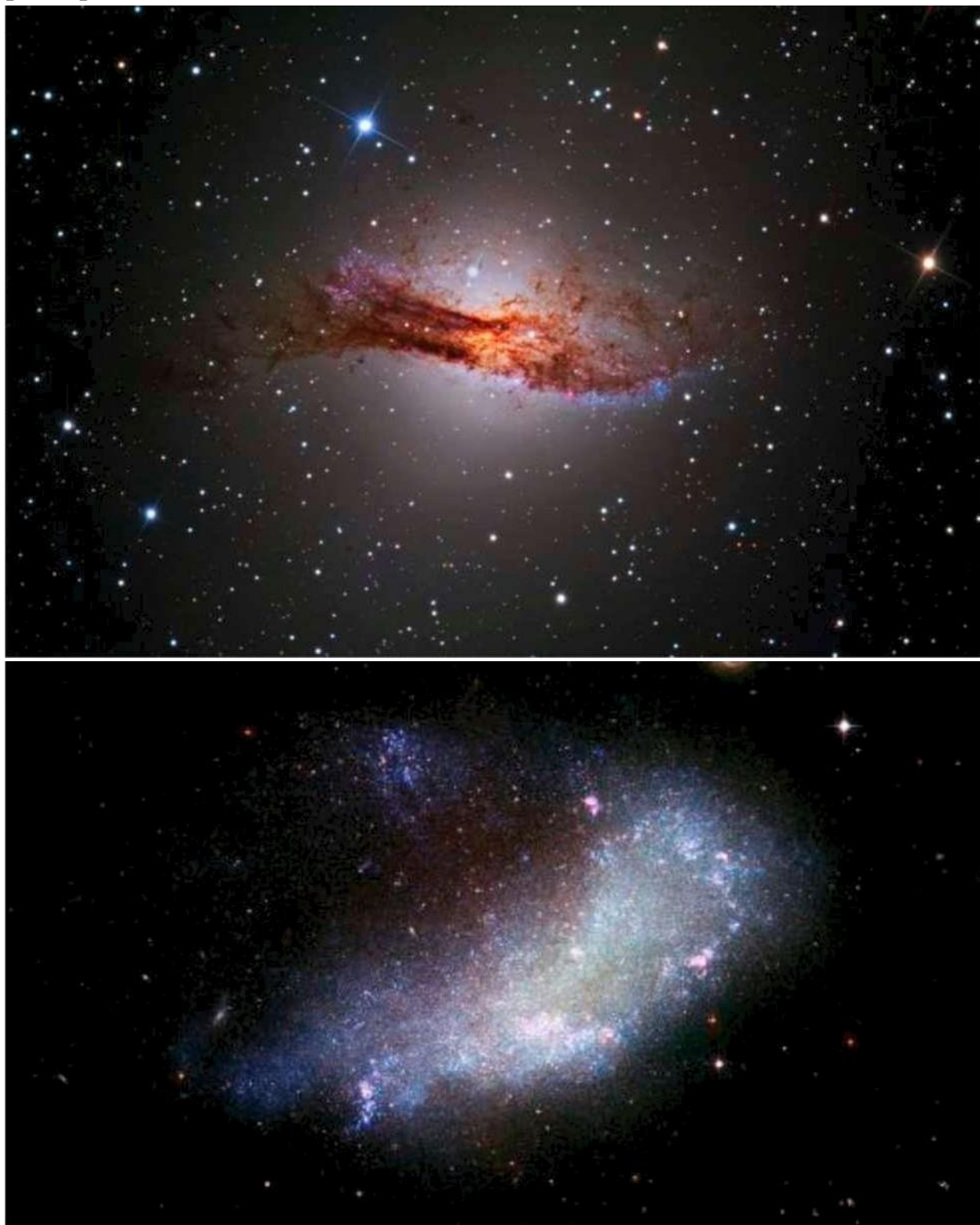


Рис. 1.6 — Неправильные галактики

Пекулярная галактика — это галактика, которую невозможно отнести к определенному классу в последовательности Хаббла, поскольку она обладает ярко выраженными индивидуальными особенностями. К числу пекулярных относятся, в том числе, кольцеобразные и взаимодействующие галактики.

Кольцеобразная галактика — разновидность пекулярных галактик, характеризующаяся наличием плотного ядра, окруженного протяженным кольцом ярких молодых звёзд, отделенным от ядра некоторым расстоянием. Визуально кольцеобразные галактики похожи на планетарные туманности (рис. 1.7Рис.).

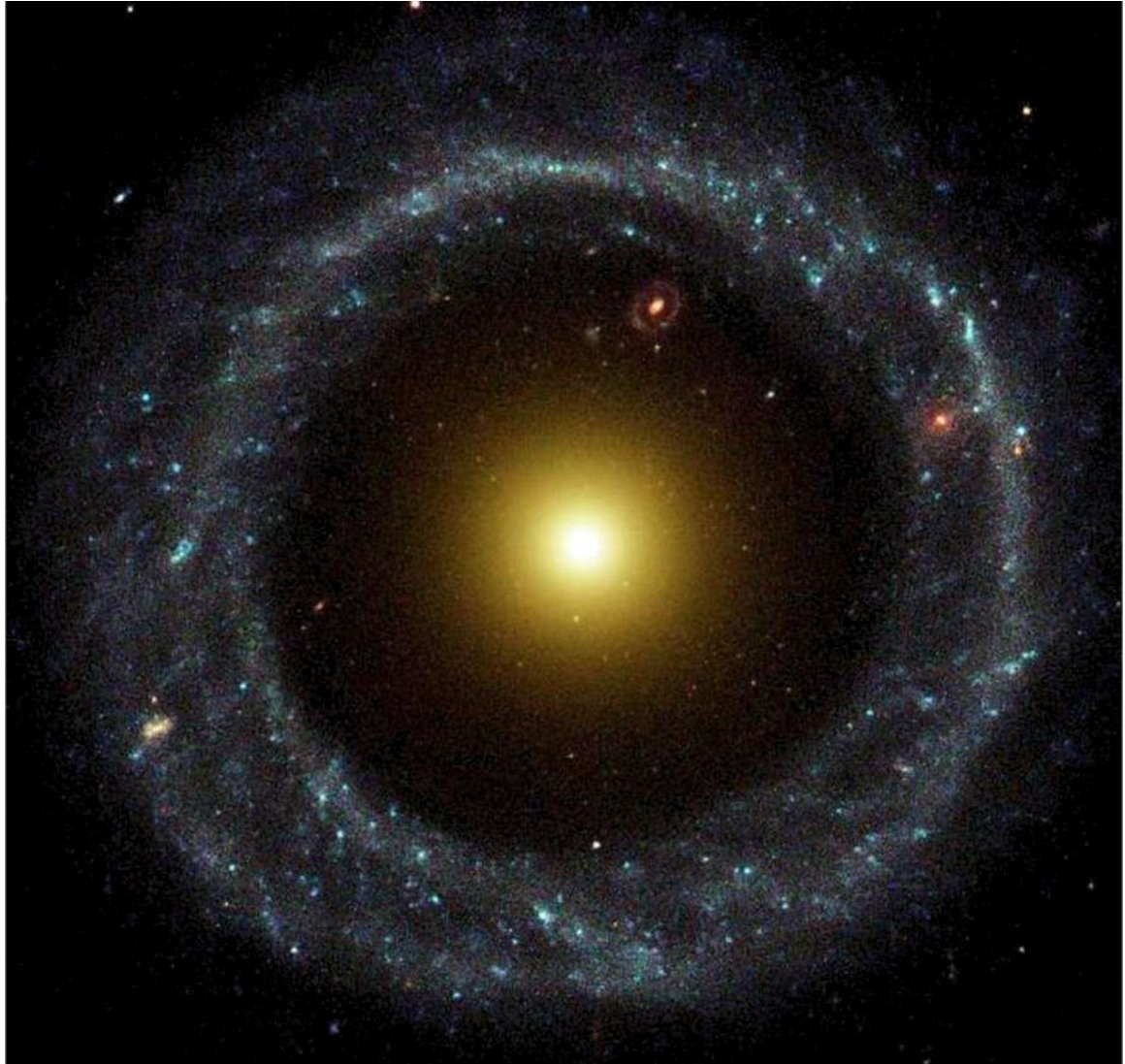


Рис. 1.7 — Кольцевая галактика — объект Хога
В промежутке между ядром и кольцом видна ещё одна кольцеобразная галактика, которая находится гораздо дальше

Взаимодействующие галактики — галактики, расплывающиеся в пространстве достаточно близко, чтобы взаимная гравитация существенно влияла на форму, движение вещества и звёзд, на процессы звездообразования, а в некоторых случаях и на обмен веществом между галактиками. Для взаимодействующих галактик характерно наличие «хвостов», «мостов» и выбросов вещества (рис. 1.8).



Рис. 1.8 — Взаимодействующие галактики

Классификация Хаббла отражает не только особенности видимой формы галактик, но и свойства входящих в них звезд: эллиптические галактики состоят из очень старых звезд, в спиральных галактиках основной вклад в излучение дают звезды, существенно моложе Солнца, а в спиральных галактиках характер спектра выдает присутствие звезд всех возрастов.

Возраст галактик примерно одинаков (более 10 миллиардов лет), и основная причина различия между галактиками — не в возрасте, а в различном характере эволюции этих систем. Если в Е-галактиках звездообразование практически полностью прекратилось миллиарды лет назад, то в спиральных системах образование звезд продолжается, хотя и далеко не так интенсивно, как на начальном этапе их жизни, а в Иг-галактиках звездообразование может быть столь же активно сейчас, как и миллиарды лет назад.

В строении галактик выделяются две основные системы (сферическая и галактический диск) и связанные с ними звездные населения (типа I и II). Рассмотрим основные подсистемы на примере структуры спиральной галактики (рис. 1.1).

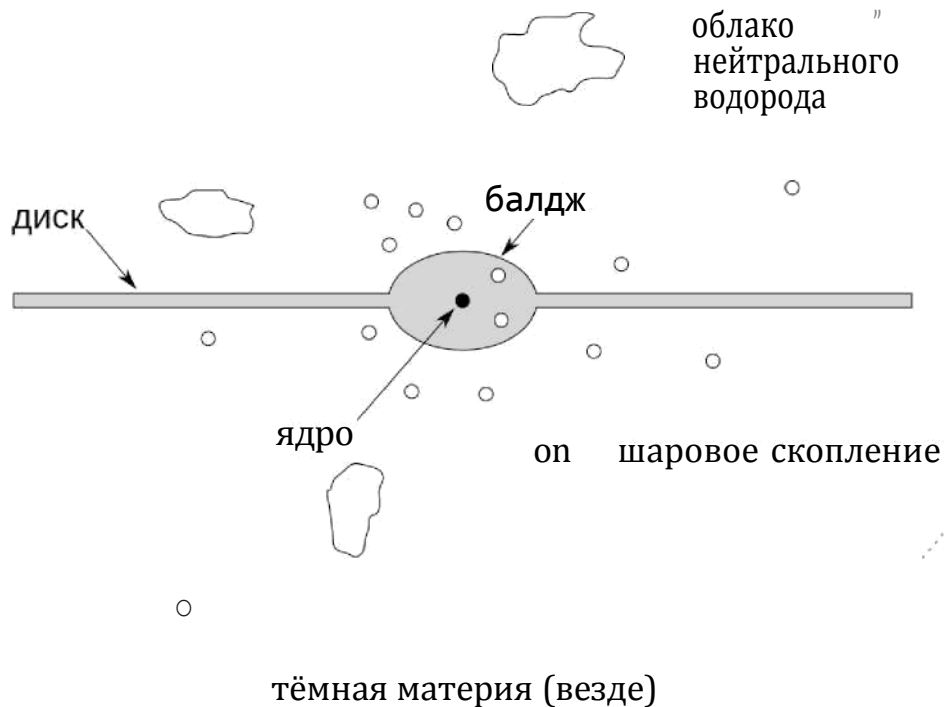


Рис. 1.9 — Схема спиральной галактики

Население I характеризуется заметным содержанием в спектре элементов тяжелее гелия (астрономы называют их «металлами»). Тяжелые элементы образовались в более ранних звёздах и распространились при взрывах сверхновых. ОЛНЦС, как и большинство звёзд ГЛБЛКТИЧСКОГО ДИСКА, является типичным представителем населения I.

В звёздах *населения II* содержание тяжёлых элементов на несколько порядков ниже. Это старые звёзды, сформировавшиеся вскоре после Большого взрыва, старше 10 млрд. лет. В спиральных галактиках население II составляют шаровые скопления в галактическом гало.

Сферическая лосвстепа — составляющая галактик, имеющая приблизительно сферическую симметрию и сравнительно быстрое увеличение плотности к центру. Звездная часть сферической подсистемы состоит из объектов населения II большого возраста и малой металличности. Основную часть массы сферической подсистемы составляет невидимое гало из тёмной материи и она практически лишена межзвездного газа и молодых звезд.

Галактический диск — плоскость, состоящая из газа, пыли и звёзд. В галактическом диске, как правило, содержится больше молодых звёзд, газа и

пыли, чем в галактическом гало, т.е. представлено население I. Газ и пыль образуют *газопылевой диск*. Звёзды — *звёздный диск*.

Типичная E-галактика выглядит как сферическая подсистема в «чистом» виде, диск в ней или полностью отсутствует, или имеет такую низкую светимость по сравнению с остальной галактикой, что выявляется лишь специальными методами фотометрической обработки.

Каждая S- и SO-галактика содержит две основных подсистемы, вложенные одна в другую и гравитационно-связанные друг с другом.

В неправильных (Ir) галактиках сферический звездный компонент практически отсутствует, почти все звезды заключены в толстом диске, существенная доля массы которого приходится на межзвездный газ.

Рождение звезд происходит почти исключительно в дисках галактик. Именно в этом слое и возникают массивные газовые конденсации, внутри которых газ постепенно сгущается в сравнительно небольшие и плотные *молекулярные облака*, а они уже дают начало звездам и молодым звездным группировкам. В S-галактиках самые крупные по размеру области, где концентрируется газ и связанные с ним очаги звездообразования, располагаются длинными неровными цепочками, которые придают клочковатый вид спиральным ветвям.

Ядро — крайне малая область в центре галактики.

Активные ядра галактик — ядра, в которых происходят процессы, сопровождающиеся выделением большого количества энергии, не объясняющиеся активностью находящихся в них отдельных звёзд и газопылевых комплексов.

Балдж — наиболее яркая внутренняя часть сфероидального компонента.

Нвло — внешний сфероидальный компонент. Граница между балджем и гало размыта и достаточно условна.

Спиральная ветвь (спиральный рукав) — уплотнение из межзвёздного газа и преимущественно молодых звёзд в виде спирали. Скорее всего, являются волнами плотности, вызванными различными причинами, однако вопрос об их происхождении до сих пор окончательно не решён.

Бар (перемычка) — выглядит как плотное вытянутое образование, состоящее из звёзд и межзвёздного газа.

Галактики очень сильно отличаются друг от друга по интенсивности происходящего в них звездообразования. Но количественно сравнить темпы образования звезд в них затруднительно, так как, за исключением ближайших галактик, молодые звезды не видны по отдельности из-за большого расстояния. Здесь обычно используют три наиболее надежных признака, характеризующих активность звездообразования.

Во-первых, это *цвет галактики* (молодые массивные звезды делают его более голубым), во-вторых, *яркость свечение газа в оптических спектрах*, которое возникает при облучении газа ультрафиолетовым светом молодых звезд, и в-третьих, *мощное излучение «теплой» межзвездной пыли*. Пыль здесь играет роль преобразователя световой энергии: она поглощает свет молодых звезд, расположенных в областях с высокой плотностью межзвездной среды, и переизлучает захваченную энергию в *далекой инфракрасной области спектра* (в основном, в спектральном диапазоне 50 — 500 микрометров), а это излучение принимается методами внеатмосферных наблюдений.

Оборудование и материалы

Работа выполняется в компьютерном классе с доступом к сети Интернет.

Исходные данные. Приложение В.

Задание 1.

СОСТАВИТЬ ТАБЛИЦУ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГАЛАКТИК ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ХАББЛА.

Используя данные теоретической части и сети Интернет занесите в таблицу 1.1 основные характеристики галактик последовательности Хаббла.

Таблица **Ошибка! Текст указанного стиля в документе отсутствует.** 1.1 Основные характеристики галактик

Тип	Сфероидальный компонент (есть, нет)	Дисковая составляющая (есть, нет)	Спиральные ветви (есть, нет)	Интенсивность звездообразования (высокая, низкая)	Процент от общего числа галактик
E					
SO					
S					
Irr					

Задание 2.

СОСТАВИТЬ ТАБЛИЦУ ВИДИМЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГАЛАКТИК.

Используйте набор галактик из своего варианта (см. исходные данные). Используйте информацию сети Интернет и занесите в таблицу 1.2 видимые характеристики данных галактик.

Таблица 1.2 — Характеристики некоторых галактик

Галактика	Изображение галактики	Тип галактики	Расстояние до Земли	Размер галактики	Особенности

Содержание отчета

Отчет оформляется в соответствии с требованиями, приведенными в Приложении А.

Еонтрольные вопросы

1. Что такое галактика и что входит в ее состав?
2. Охарактеризуйте основные типы галактик? Что положено в основу классификации Хаббла?
3. Как связан морфологический тип галактики с интенсивностью звездообразования?
4. В какой подсистеме галактики наиболее интенсивно происходит процесс звездообразования?
5. Что такое звездные населения? К звездному населению какого типа относится наше Солнце?
6. С какими физическими характеристиками галактик, определяющие наблюдаемые особенности, вы познакомились в данной работе?
7. Как по виду галактики можно определить интенсивность звездообразования?
8. Как по цвету галактики можно определить из каких звезд (молодых или старых) она состоит?

Указания по технике безопасности

К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, ознакомившиеся с правилами работы в лаборатории, прошедшие инструктаж безопасности (см. приложение Б).

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2.

Изучение интерактивной модели диаграммы Герцшпрунга-Рессела

Цель работы

Познакомиться с основными звездными характеристиками. Изучить модель диаграммы Герцшпрунга-Рессела.

Теоретическая часть

Основными свойствами звёзд являются светимость, температура поверхности, масса и радиус.

Между всеми этими характеристиками существует связь.

Диаграмма Герцшпрунга-Рессела (рис. 2.1) является диаграммой, на которой сопоставляются светимости (или абсолютные звездные величины) звезд с их эффективной температурой или спектральным классом.

На диаграмме звездой образуют отдельные группировки, именуемые по следовательностям.

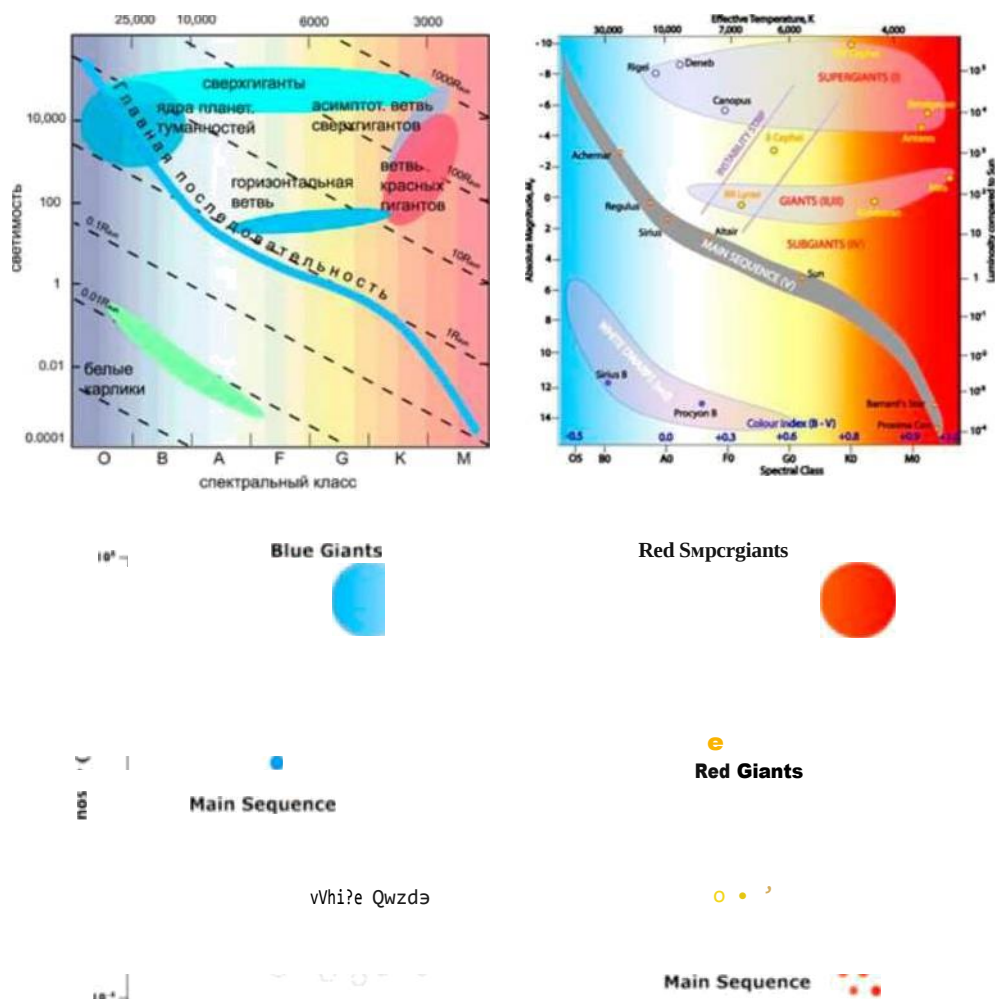


Рисунок 2.1 — Примеры диаграмм Герцшпрунга-Рессела

Около 90 % наблюдаемых звезд — это звезды главной последовательности, которая тянется узкой полосой от горячих звезд высокой светимости до холодных звезд-карликов низкой светимости. Входят в состав ПГК. Число объектов в звезд-карликов, звезд-свет. звезд и др.

Положение звезды на диаграмме Герцшпрунга-Рессела определяется ее массой, возрастом и химическим составом.

Светимость — полная энергия, излучаемая астрономическим объектом (планетой, звездой, галактикой и т. п.) в единицу времени. Измеряется в абсолютных единицах (СИ Вт) либо в единицах светимости Солнца $L_{\odot} = 3,86 \cdot 10^{26}$ Вт).

Светимость самых ярких звезд в миллионы раз превышает светимость Солнца. Светимость взрыва гиперновой превышает светимость Солнца примерно в миллиард раз. Светимость самых ярких квазаров может превышать солнечную в сотни раз.

Видимая звездная величина — безразмерная характеристика, используемая для сравнения небесных тел (табл. 2.1 и 2.2). Характеризует энергию всех фотонов, падающих на единицу площади поверхности в секунду. Зависит от светимости объекта и расстояния до него. Чем меньше звездная величина, тем ярче объект. Обозначается буквой m . Солнце имеет $-26,7m$, Луна $-12,7m$, Венера $0,03$ и, если наблюдать с Земли.

Таблица 2.1 — Звездные величины некоторых объектов

Имя звезды	Светимость, $L_{\odot}$	Видимая звездная величина, m	Абсолютная звездная величина, M
Ригель	$\approx 700\,000$	12,54	$-12,6$
Эта Киля	5 000 000	$-0,8$ до 7,9	$-12,0$
Ригель	60000	0,58	$-7,2$
Полярная звезда	2200	1,97	$-3,6$
Альдебаран	140	0,85	$-0,6$
Антарес	110	$-0,04$	$-0,31$
Сириус	22	$-1,46$	1,4
Солнце	1,00	$-26,8$	4,75
Альфа Центавра B	0,5	1,34	5,71
Звезда Фигарлена	0,000009	15,1	17,2

Таолиця 2.2 — Видимая звездная величина некоторых объектов

Об'єкт	лі
Солнце	—26,7 (в 400 000 раз ярче ползкой :Чуиы)
Луна в полнолуние	-12,74
Сверхновая 1054 года (максимум)	—6,0
Венера (максимум)	- 4,07
Земля (при наблюдении с Соединия)	—3,84
Звёзды дольшого Ковніа	->2
І тактика АІ-Ідромеды	+3,44
Ізроксима Центавра	+11,1
Самый слабый объект, заснятый Д Космический телескоп «Хаббл»	+31,5



Рисунок 2.2 — Видимая звездная величина

Абсолютная звездная величина — это звездная величина объекта, которую он имел бы, если бы был на расстоянии 10 парсек от наблюдателя. Абсолютная величина, в отличие от видимой, позволяет сравнивать светимость разных звезд, поскольку не зависит от расстояния до них. Обозначается буквой *M* (табл. 2.1).

Температура поверхности. Известные законы термодинамики позволяют нам определить температуру тела, измеряя длину волны в максимуме излучения черного цвета.

Так, если температура поверхности 3 000—4 000 К, то её цвет красноватый, 6 000-7 000 К — желтый, 10 000—12 000 К — белый и голубой.

На рисунке 2.2 и в таблице 2.3 приведены *спектральные классы звезд*.

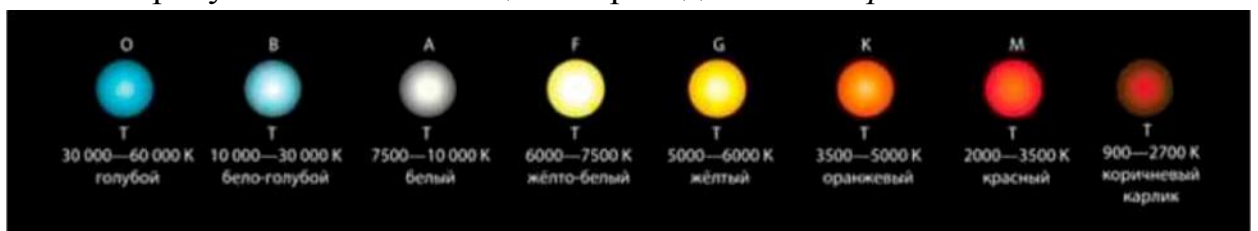


Рисунок 2.2 — Спектральные классы звезд

Внутри класса звёзды делятся на *полк.массы* от 0 (самые горячие) до 9 (самые холодные). Солнце имеет спектральный класс G2 и эквивалентную температуру фотосферы 5780 К

Таблица 2.3 — Спектральные классы звезд

Класс	Цвет	Масса, $M_{\odot}$	Радиус, /R $_{\odot}$	Температура в «неухнгс'ли, У	Светимость, /L $_{\odot}$
O	голубой	60	15	30 000 — 60 000	1 400 000
B	голубо-белый	18	7	10 000 — 30 000	20 000
A	белый	3,1	2,1	7 500 — 10 000	50
F	желто-белый	1,7	1,3	6 000 — 7 500	6
G	желтый	1,1	1,1	5 000 — 6 000	1,2
K	оранжевый	0,8	0,9	3 500 — 5 000	0,4
M	красный	0,3	0,4	2 000 — 3 500	0,04

Классы светимости. Звёзды одного и того же спектрального класса имеют разную светимость, но есть и исключения, как следствие, светимости. Зависимость вида спектра от светимости отражена в *гравитационной светимости*.

- I — гиганты;
- II — яркие гиганты,
- III — гиганты;
- IV — субгиганты;
- V — звёзды главной последовательности, иногда «карлики»;
- VI — карлики;
- VII — белые карлики.

Абсолютное большинство звёзд, 90 %, относятся к главной последовательности. Солнце — жёлтая звезда главной последовательности (или просто жёлтый карлик), соответственно, его спектральный класс — G2V.

Оборудование и материалы

Работа выполняется в компьютерном классе с доступом к сети Интернет.

Исходные данные

Масса звезды

Варианты									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,2	0,65	1	2	4	6	10	20	30	40

Задание. ИЗУЧИТЬ ИНТЕРАКТИВНУЮ МОДЕЛЬ ДИАГРАММЫ ГЕРЦШПРУНГА-РЕССЕЛА И ПОСТРОИТЬ ГРАФИКИ ЗАВИСИМОСТЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ, ЯРКОСТИ И МАССЫ ЗВЕЗДЫ ОТ ЕЕ ВОЗРАСТА.

1. Перейдите по ссылке [linps://slaceuid.covз/media/star/index.lhtml](https://slaceuid.covз/media/star/index.lhtml) и изучите изменение основных звездных характеристик и их взаимосвязь.
2. В Excel для звезды с заданной массой (в соответствии с вариантом) заполните таолииу звездных характеристик (10—15 случайнв выбранных значении, ох ватывающие х весь пе риод нки зни звезд ы).

Значения копируите из модели (возраст, масса) или определяйте по гра-
фику (рис. 2.2). Ооратите внимание, что в модели под яркостью имеется в виду
свыимость в единицах светимости Солнца. Пример заполнения — таблица 2.4.

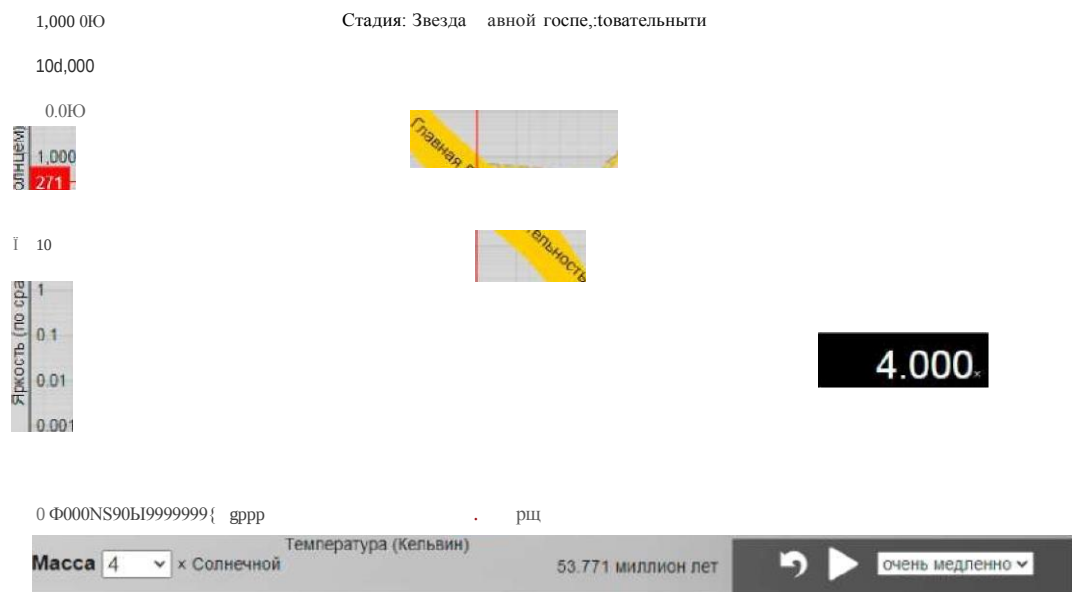


Рисунок 2.2

Таблица 2.4

Яоспаст, .в.ун. 7елі	Те.vnv мат)'j>a, Іх"	t.'веніш і>спінь, 1-р	Масса, Ма	t“maoup
0,00	14564,f10	234	5	ЗГП
53,77	l4t)35.t)0	271	5	ЗГП
134,40	12824,00	370	4,991	ЗГП
180.22	4650,00	419	4,871	Ветвь гигантов
205.24	4704.00	6l O	3.971	Ветвь гигантов
214,01	3247,00	16662	2,867	Ветвь ги гаитов
215.26	2639.00	э3107	1.023	Ветвь гигантов
215.2\$	47230.00	24231	fL872	Ветвь гигантов
215.31	314331,00	2407	0,867	Ветвь гигантов
326.49	l3\$95.0t1	0.003	h.867	Бе,зый карлик

Обратите внимание, что в качестве десятичного разделителя в значениях
возраста и массы необходимо использовать запятую, а не точку. Чтобы испра-
вить срыу все точки на запятые, используйте функцию *Найтiи и заієнипiь*

(рис. 2.4). Убедитесь, что все количественные значения имеют числовой формат.

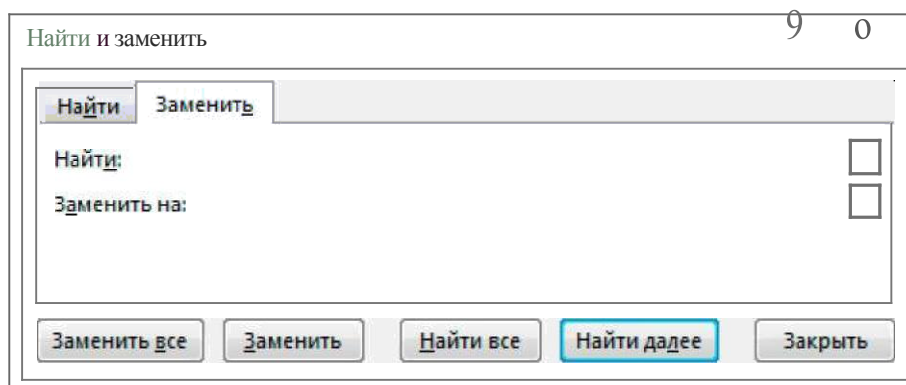


Рисунок 2.4

3. Построите графики зависимостей температуры, яркости и массы звезды от возраста (пример на рисунке 2.5). Ниже приведен один из возможных способов построения диаграмм.

Выделите нужные столбцы. Если необходимо выделить несмежные ячейки и диапазоны ячеек, выберите их, удерживая нажатой клавишу CTRL.

Заходим во вкладку *Вставка* и выбираем тип диаграммы «Точечная с гладкими кривыми и маркерами» или «Точечная с прямыми отрезками и маркерами»).



Рисунок 2.5

Измените оформление диаграммы, нажав на + в ее верхнем углу.

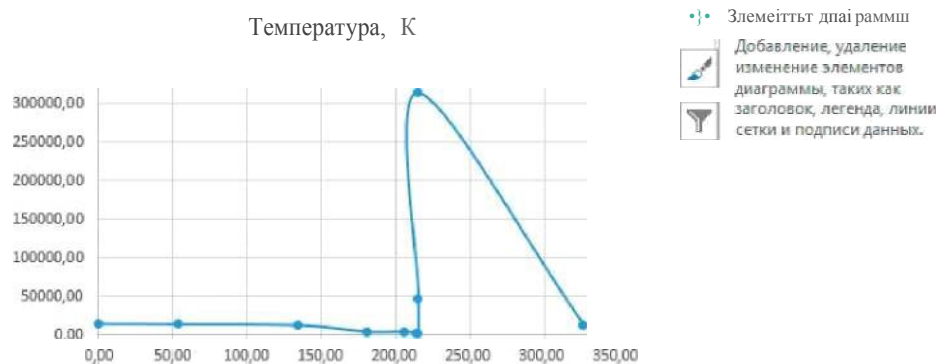


Рисунок 2.6

Измените название диаграммы, название осей, указав единицы измерения, откорректируйте число десятичных знаков в подписях осей, при необходимости используете логарифмический масштаб осей и др.

В итоге ваши диаграммы должны выглядеть приблизительно как на рисунках 2.7-2.9.

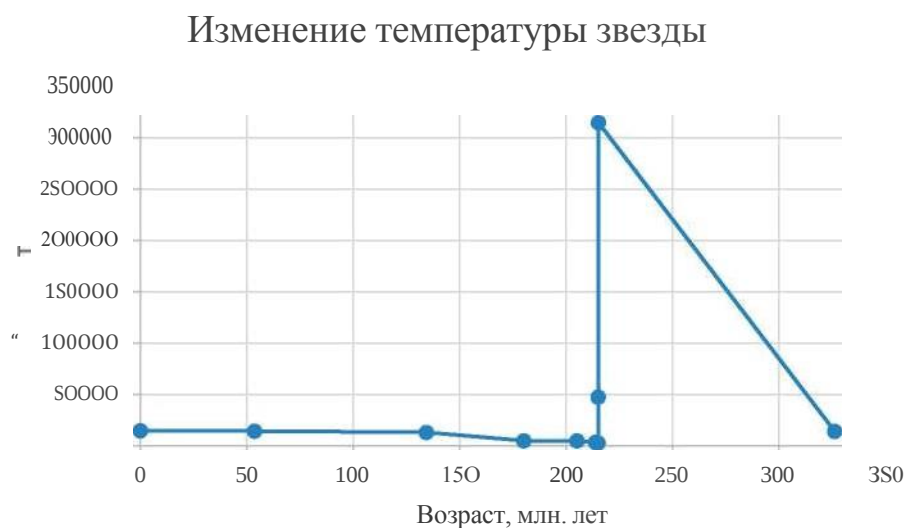


Рисунок 2.7

Изменение светимости звезды

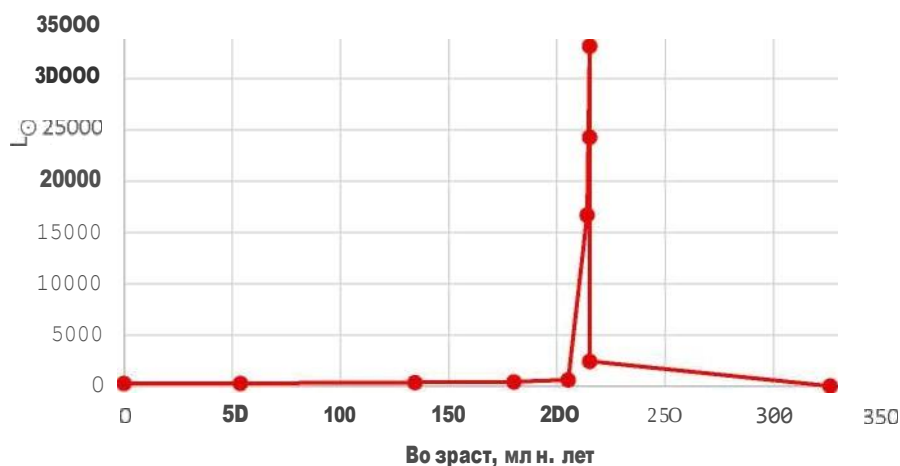


Рисунок 2.8

Изменение массы звезды

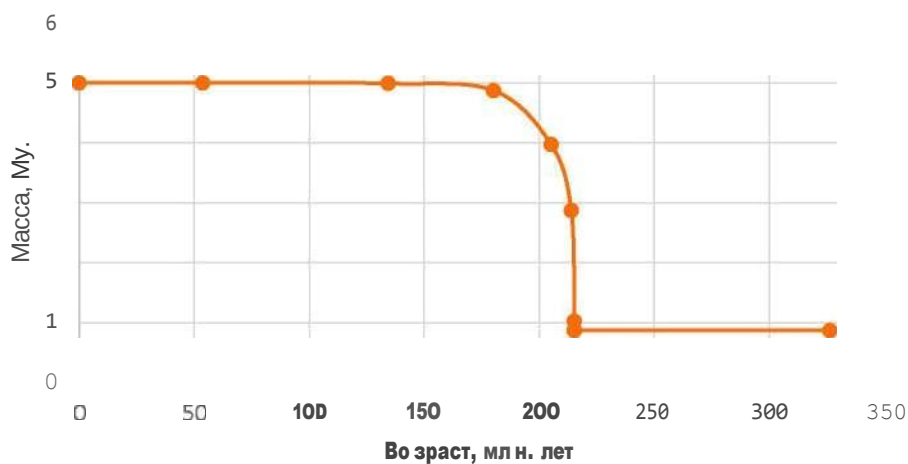


Рисунок 2.9

Содержание отчета

Отчет оформляется в соответствии с требованиями, приведенными в Приложении А.

Контрольные вопросы

1. Что такое диаграмма Герцшпрунга-Рессела?
2. Объясните, почему яркие звезды не располагаются на главной последовательности?
3. Дайте объяснение эволюционному смыслу диаграммы Герцшпрунга-Рессела.
4. Перечислите основные звездные характеристики и дайте их определения.
5. К какому спектральному классу относится Солнце?

6. Почему жизненный цикл Солнце не закончится взрывом сверхновой?

Указания по технике безопасности

К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, ознакомившиеся с правилами работы в лаборатории, прошедшие инструктаж безопасности (см. приложение Б).

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3.

Изучение спектра Солнца

Цель работы. Изучить теорию спектрального анализа. Осуществить идентификацию на регистрирующей диаграмме солнечного спектра спектральных линий водорода, сделать вывод о химическом составе Солнца.

Теоретическая часть

Спектрометрические данные являются основным источником информации о космических объектах. Изучение спектров излучения и поглощения дает информацию о химическом составе источника, механизме излучения, температуре и другую информацию.

Спектром называют зависимость интенсивности излучения от длины волны, представленную графически.

Первоначально спектры получали на фотопластинках.

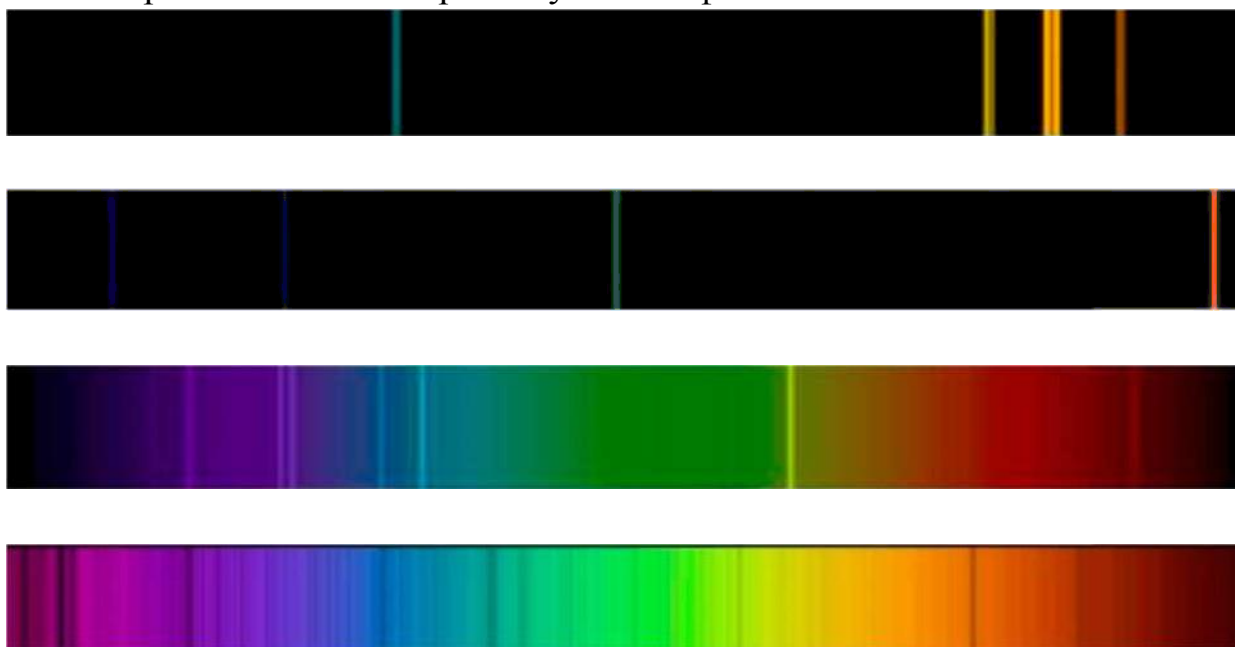


Рис. 3.1 — Фотографический вид спектров
сверху вниз — излучения Na, излучения H, излучения He, поглощения Солнца

С развитием технологии приема электромагнитных волн появилась возможность получать регистрируемые спектры (рис. 3.2).

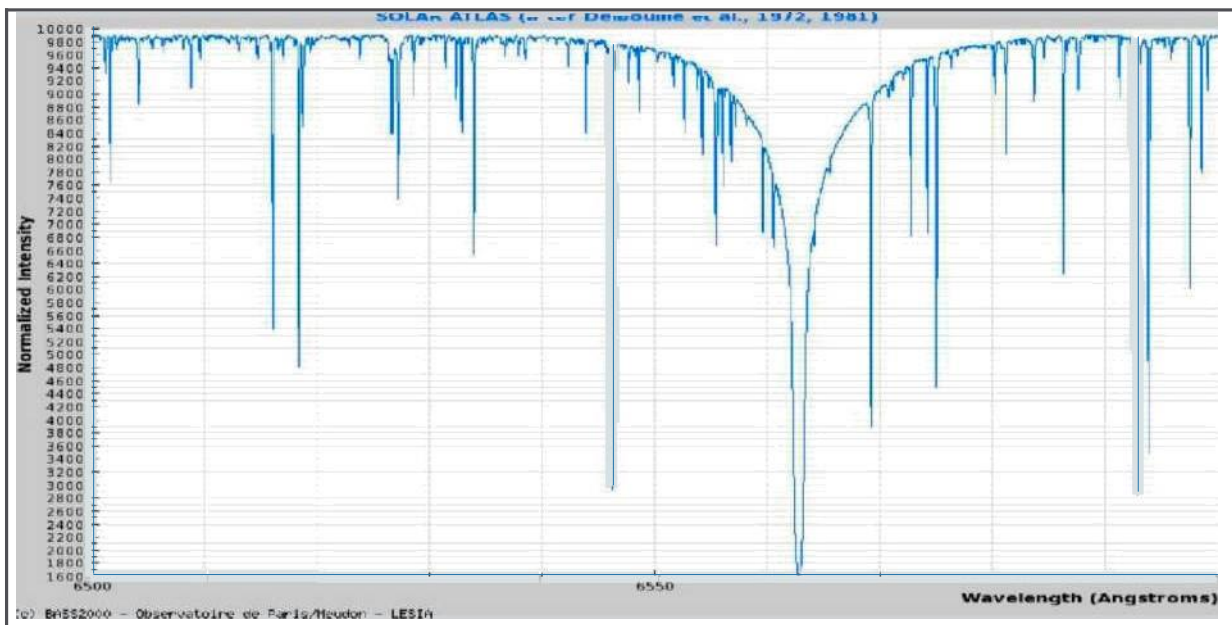


Рисунок 3.2 — Регистрограмма спектра поглощения

Существуют следующие виды спектров.

Сплошной, или непрерывный, спектр в виде радужной полосы дают твердые раскаленные тела (раскаленный уголь, нить электролампы) и находящиеся под большим давлением громадные массы газа.

Линейчатый спектр излучения дают разреженные газы и пары при сильном нагревании или под действием электрического разряда.

Составлены таблицы с перечнем линии каждого газа и с указанием яркости каждой линии. Например, в спектре натрия особенно ярки две желтые линии. Установлено, что спектр атома или молекулы связан с их строением и отражает определенные изменения, происходящие в них в процессе свечения.

Линейчатый спектр поглощения дают газы и пары, когда за ними находится яркая и более горячая источник, дающий непрерывный спектр. Спектр поглощения состоит из непрерывного спектра, перерезанного темными линиями, которые находятся в тех самых местах, где должны быть расположены яркие линии. В данном случае, две темные линии поглощения натрия расположены в желтой части спектра.

Сказанное выше позволяет производить анализ химического состава паров, излучающих свет или поглощающих его, находятся ли они в лаборатории или на небесном светиле. Количество атомов или молекул, лежащих на нашем луче зрения, излучающих или поглощающих, определяется по интенсивности линий. Чем больше атомов, тем ярче линия или тем она темнее в спектре поглощения. Солнце и звезды окружены газовыми атмосферами. Непрерывный спектр их видимой поверхности перерезан темными линиями поглощения, возникающими при прохождении света через атмосферу звезд. Поэтому спектры Солнца и звезд — это спектры поглощения.

Надо помнить, что спектральный анализ позволяет определять химический состав только самосветящихся или поглощающих излучение газов. Химический состав звездной атмосферы или жидкого тела при помощи спектрального анализа определить нельзя.

Оборудование и материалы

Работа выполняется в компьютерном классе с доступом к сети Интернет. Для работы используется интернет-сайт Парижской обсерватории, содержащий инфокоммуникационную версию атласа солнечного спектра доступного по адресу http://bass2000.obspm.fr/solar_spect.plp

Задание

ОПРЕДЕЛИТЬ ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ АТМОСФЕРЫ СОЛ ПО ЕГО СПЕКТРУ.

Разумеется, химический состав атмосферы Солнца нам известен, при выполнении задачи мы будем исходить из предположения, что нам надо заново его определить, сравнив длины волн спектральные линии с теоретически рассчитанными длинами волн водорода.

Рассчитайте длины волн линий водорода в оптической области спектра (примерно от 600 нм до 300 нм) по формуле Бальмера (3.1).

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right), \quad n=3, 4, 5, 6. \quad (3.1)$$

где $R_H = 10967759,3 \text{ м}^{-1}$ — постоянная Ридберга для водорода.

Результаты расчетов занесите в таблицу 3.1 столбец 2.

Таблица 3.1 — Расчет длин волн серии Бальмера

<i>n</i>	<i>λ, нм (по формуле Бальмера)</i>	<i>λ, нм (по данным регистраграммы)</i>
	2	3
3		
4		

Определите длины волн серии Бальмера по регистраграмме на сайте http://bass2000.obspm.fr/solar_spect.plp

- зайдите на сайт;
- в диалоговом окне WaveLength в ячейке CentralWavelength наберите 6550, это центральная часть никелей границы видимой области спектра Солнца в ангстремах ($1 \text{ Å} = 10^{-10} \text{ м} = 0,1 \text{ нм}$);

- в ячейке Range & наберите 100, это максимальная ширина области спектра в ангстремах;
- нажмите Ok;
- в окне появится участок регистрограммы спектра Солнца в промежуток длин волн от 650 нм до 660 нм. Линию поглощения в атмосфере Солнца с высокой температурой можно отличить от линий поглощения в земной атмосфере (при низкой температуре) по значительной ширине.

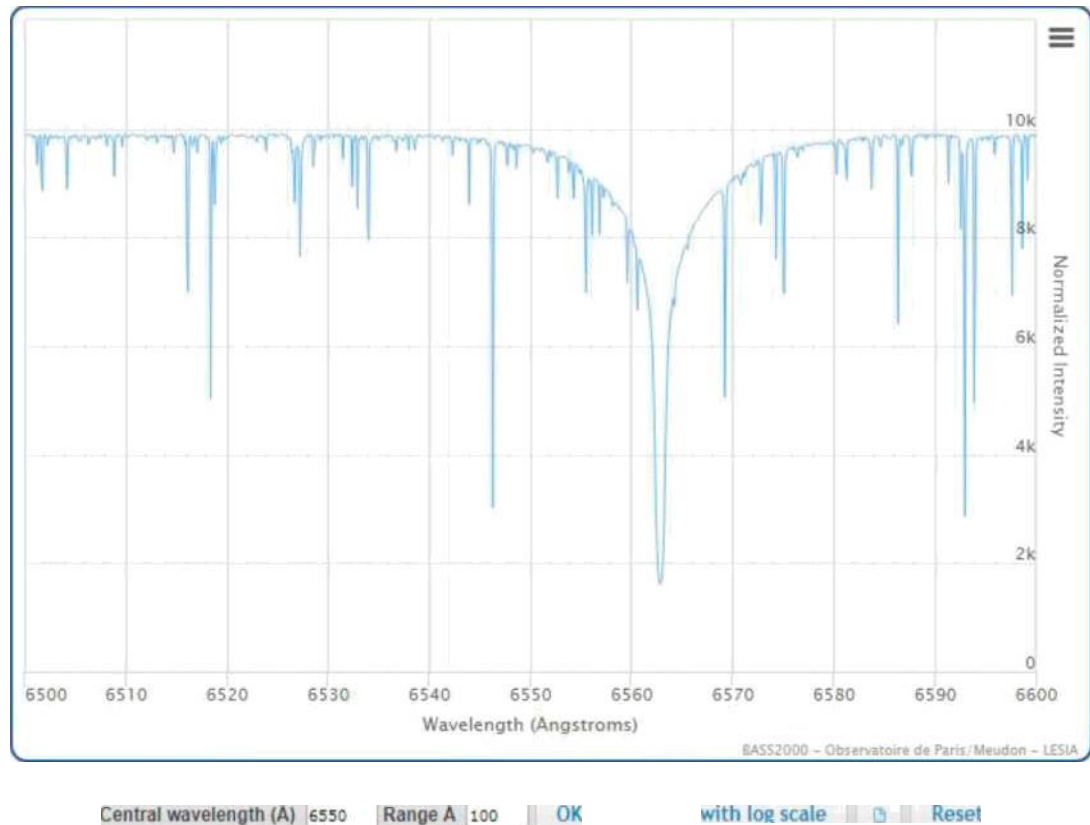


Рис. 3.3

- подведите курсор мыши к самой глубокой точке широкого провала регистрограммы и нажмите левую кнопку. После этого во всплывающем окошке появится длина волны.

'\a'.ele 9tл 6 S 6Э. 898
lr.te n s it\ J 6 3S

Рис. 3.4

Занесите полученный результат в таблицу 3.1.

Путем изменения диапазона регистрограммы с помощью кнопки Previous Step найдите другие широкие линии поглощения, результаты занесите в таблицу 3.1.

Внесите в отчет скрин одной любой линии поглощения.

Сравните результаты, полученные разными способами, и сделайте вывод о составе поглощающего свет газа и, соответственно, о составе атмосферы Солнца.

Содержание отчета

Отчет оформляется в соответствии с требованиями, приведенными в приложении А.

Контрольные вопросы

1. Что такое спектр?
2. Перечислите виды спектров.
3. Что называют абсолютно черным телом?
4. ОБЪЯСНИТЬ ЯЭaГП]ЭСДСЛСНИС ИНТСНГМВНОГТИ ИЗЛ ЧСНИЯ fю дfиинdM волн в спектре Солнца.
5. Каким образом можно определить температуру нагретого тела?
6. Объясните различие механизмов возникновения широких и узких линий поглощения в спектре Солнца.
7. Почему по ширине линий поглощения можно определять температуру пвглоіцающей среды?
8. Охарактеризуйте физическую природу, строение и состав Солнца.

Указания по технике безопасности

К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, ознакомившиеся с правилами работы в лаборатории, прошедшие инструктаж безопасности (см. приложение Б).

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4.

Изучение внутреннего строения Земли и ее сейсмической модели

Цель работы. Изучить сейсмическую модель внутреннего строения Земли. Выделить внутренние геосферы и слои планеты, определить их морфологию.

Теоретическая часть

Сейсмология — это наука, в которой фактические данные представляют собой записи механических колебаний Земли, называемых сейсмограммами. Колебания могут быть вызваны искусственными взрывами или естественными причинами — землетрясениями и извержениями вулканов.

Упругой волной называется процесс передачи на расстояние деформаций, возникающих в теле.

По типу деформаций упругие объемные волны классифицируются на продольные и поперечные.

Продольная сейсмическая волна распространяется в виде деформаций расширения и сжатия, а **поперечная волна** — в виде деформаций сдвига. Продольные волны обозначаются буквой P, поперечные — буквой S. Эти обозначения были даны в сейсмологии, поскольку на сейсмограммах землетрясений продольные волны появлялись первыми (leading wave), а поперечные волны — за ними (вторые — «secunda»).

Смещения в продольной волне происходят в направлении ее распространения, а в поперечной волне — в плоскостях, перпендикулярных к направлению распространения волны.

Деформации сдвига, а, следовательно, **поперечные волны не возникают в газах и жидкостях**; в таких средах распространяются только продольные сейсмические волны.

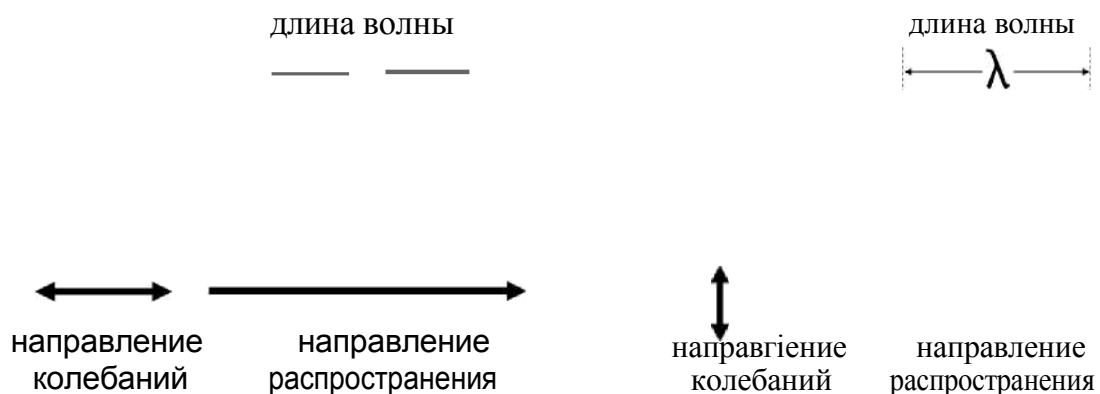


Рисунок 4.1 — Продольная и поперечная волны

Изучение путей и скорости распространения в недрах Земли сейсмических волн позволили разработать сейсмическую модель её внутреннего строения.

На рис. 4.2 приведены графики изменения скоростей продольных и поперечных упругих волн от поверхности Земли по её центра.

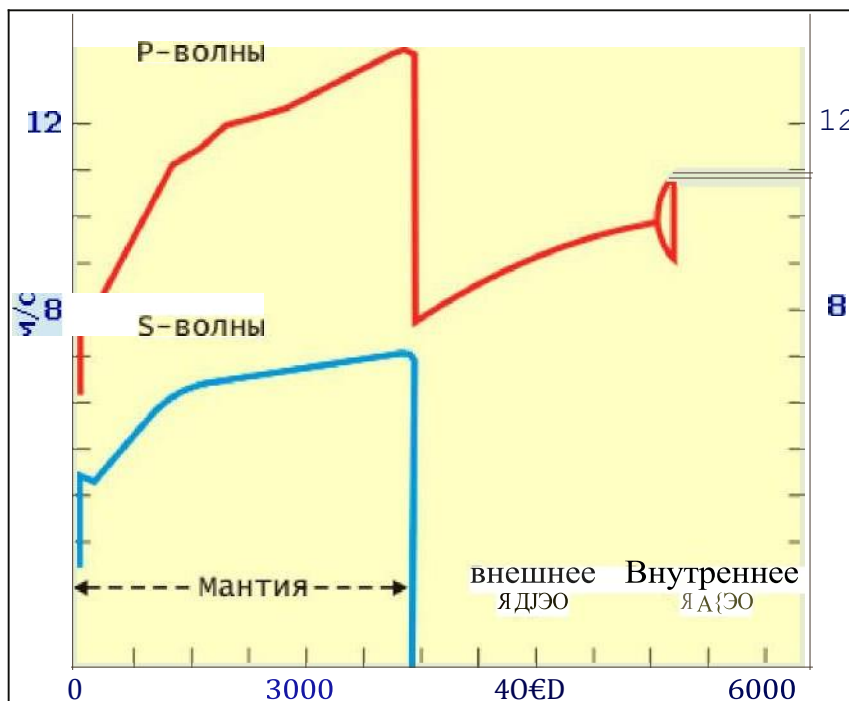


Рисунок 4.2 — Скорости сейсмических волн на различных глубинах

Земля состоит из трёх основных геосфер: коры, мантии и ядра, подразделяющихся, в свою очередь, на ряд слоев.

В зависимости от величины скоростей сейсмических волн и характера их изменения с глубиной "твёрдую" Землю делят на восемь сейсмических слоев: A, B, C, D', D'', E, F и C. Кроме того, в Земле выделяют особо прочный слой — *литосферу* и ниже лежащий размягчённый слой — *астеносферу*.

Литосфера (от греческого lithos — камень и sphaira — шар) — внешняя, относительно прочная оболочка твёрдой Земли, расположенная над менее вязкой и более пластичной астеносферой.

Астеносфера — слой пониженной вязкости в верхней мантии Земли. Кровля астеносферы лежит под материками на глубине 80-100 км, под океанами 50—70 км (иногда менее), нижняя граница астеносферы — на глубине 250—300 км, нерезкая.

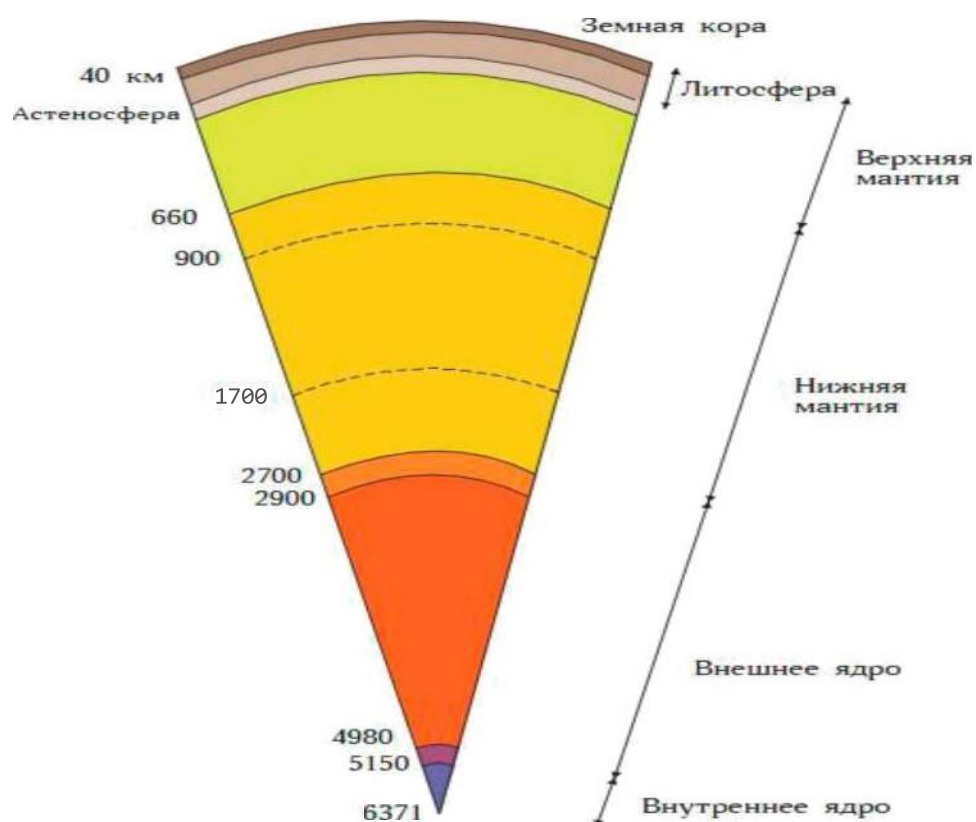


Рисунок 4.3 — Внутреннее строение Земли

Темная кора или Слой А — это наружный слой Земли. Имеет переменную толщину. В качестве подошвы козызи принимают геосинклизальную границу Мохоровичича (граница Мохо) в окрестности которой происходит изменение скорости продольных упругих продольных сейсмических волн с 6,7—7,6 до 7,9-8,2 км/с и поперечных — с 3,63,2 до 4,3,7 км/с.

Земная кора (от среднегреческого *mePtion* покрывало, плащ) — геосфера, расположенная между земной корой и ядром. Этот слой простирается от основания земной коры на глубину 2 900 км. В мантию входят слои В, С, D', D".

Слой В простирается от поверхности Мохоровичича до глубины 400 км. Между слоем В и корой происходит интенсивный обмен веществом.

Слой С (слой Голицына) занимает область глубин 400—900 км и характеризуется резким ростом скоростей волн, связанным с переходом минералов в более плотные модификации.

В слое D' (900—2700 км) скорость волн в основном растёт за счёт сжатия однородного вещества.

Ядро. Слои Е, F и G образуют ядро земли (радиусом 3486 км). На границе с ядром (на поверхности Гутенберга) скорость продольных волн уменьшается скачком на 30%, а поперечные волны исчезают, что указывает на то, что внешнее ядро (слой Е, простирающийся до глубины 4980 км) жидкое. Ниже

затвердевающего переходного слоя (слой F, 4980-5120 км) находится твёрдое внутреннее ядро (слой G), в котором распространяются поперечные волны.

Оборудование и материалы

Работа выполняется в компьютерном классе с доступом к сети Интернет.

Исходные данные. Приложение В.

Задание

ВЫПОЛНИТЬ РАСЧЕТЫ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВНУТРЕННИХ ГЕОСФЕР И СЛОЕВ ПЛАНЕТЫ.

В качестве исходных данных используем классическую сейсмическую модель Джеффриса-Гутенберга, построенную на основе изменения по радиусу Земли скоростей распространения продольных ∂p и поперечных U , сейсмических волн (рис. 4.4).

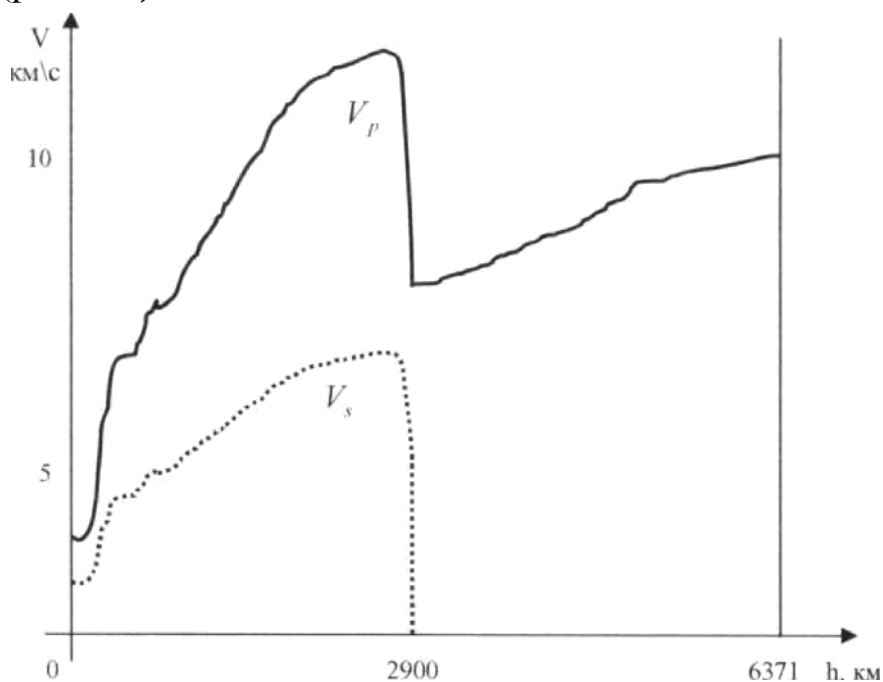


Рисунок 4.4

Вспомним, что продольные волны имеют наибольшую скорость ∂p и проходят через твердые и жидкие среды. Поперечные волны проходят только через твердое тело и затухают в жидком и газообразном веществах. Скорость поперечных волн U , меньше скорости продольных волн.

Если бы наша планета от поверхности до центра была бы однородным телом, т.е. плотность повсюду была бы постоянной, то на всех глубинах скорость сейсмических волн была бы одинаковой. В действительности скорость волн, как видно на рис. 4.4, с глубиной меняется скачкообразно.

Самый заметный скачок скорости сейсмических волн наблюдается на глубине 2900 км: скорость продольных волн (∂p) резко падает с 13,6 км/с до

8,1 км/с, скорость поперечных волн (V_s) резко снимается и приближается к нулю. Это означает, что практически глубже 2900 км поперечные волны не проникают, и можно предположить, что глубже 2900 км вещество Земли обладает свойствами жидкого тела.

Резкое изменение скоростей сейсмических волн происходит также в поверхностном слое Земли до глубины в среднем 41 км: ρ возрастает от 5,0 до 8,0 км/с, U , от 1,5 до 4,5 км/с.

Скачкообразное изменение скоростей продольных и поперечных волн отражает скачкообразное изменение плотности земных недр. Скачкообразное изменение плотности земных недр свидетельствует о расслоенности Земли и существовании внутри неё трех оболочек или геосфер: земной коры в среднем до глубины 41 км, мантии на глубинах от 41 до 2900 км и ядра, находящегося на глубинах свыше 2900 км от поверхности Земли.

Выделяем геосферы и слои на графике по точкам скачкообразных изменений скоростей и опустим перпендикуляры на ось глубин h (рис. 4.5).

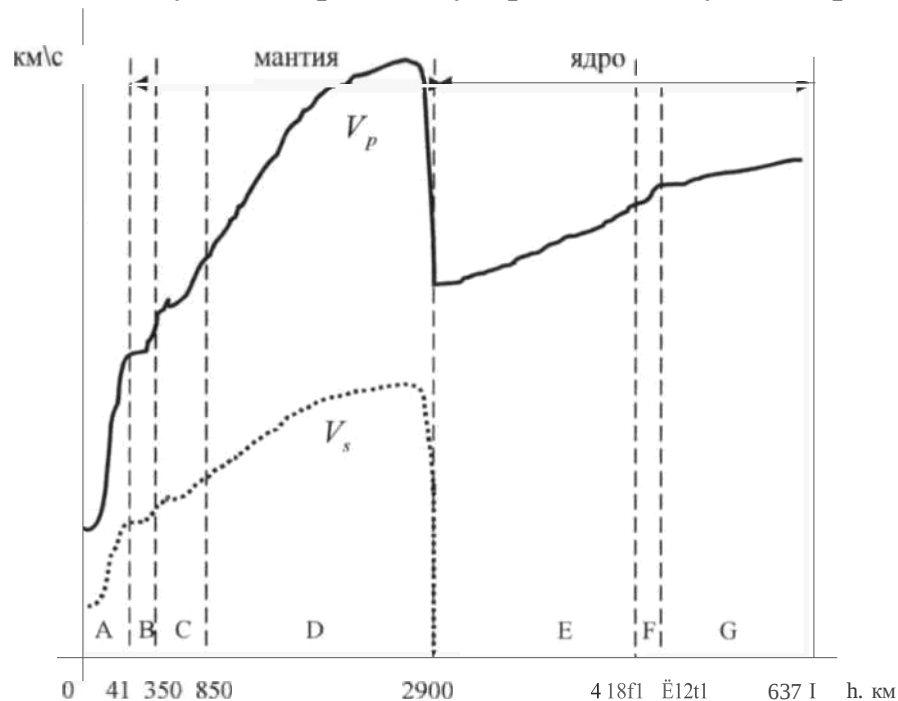


РИСУНОК 4.5

Обозначаем слои: A, B, C, D, E, F, G.

Поверхностный слой — земная кора, получает обозначение A.

В мантии выделяем верхнюю — слой B, среднюю мантию — слой C и нижнюю мантию — слой D.

В ядре выделяем внешнее ядро — слой E, внутреннее ядро — G, и переходный слой от внешнего к внутреннему ядру — слой F.

По характеру изменения скоростей распространения продольных и поперечных волн делаем вывод о агрегатном состоянии слоев — внешнее ядро жидкое.

Определяем границы глубин геосфер и слоев.

Определяем толщину внутренних геосфер и слоев Земли. Для этого вычисляем разность глубин внешней и внутренней границы каждого слоя. Например, для слоя А: $41 - 0 = 41$ (км).

Вычисляем толщину каждого слоя в процентах к радиусу Земли. Для слоя А: $100\% \cdot 41/6371 = 0,6\%$.

Вычисляем объем внутренних геосфер и слоев. В данном случае Земля, которую в некотором приближении можно считать шаром, представляет собой внутреннее ядро G (шар) покрытый оболочками F, E, D, C, B, A.

Объем шара вычислим по формуле $V = \frac{4}{3}\pi r^3$, а объем оболочек найдем как разность объемов соответствующих шаров.

Для вычисления объемов геосфер и слоев найдем промежуточные данные: радиусы верхней поверхности слоя и объемы, ограниченные этими радиусами.

Для вычисления объема слоя А найдем объем шара радиуса, соответствующего его верхней поверхности (т.е. объем всей Земли), и объем шара радиуса, соответствующего нижней поверхности слоя А. Разность найденных объемов составит объем слоя А: $1083,2 - 1062,4 = 20,8 \cdot 10^9 \text{ км}^3$.

Затем найдем объемы внутренних геосфер и слоев Земли в км^3 и %.

Таблица 4.1 Расчетная таблица для нахождения объемов внутренних геосфер и слоев Земли

Геосфера	Слой	Агрегатное состояние	Граница глубины, км	Толщина слоя		Радиус верхней поверхности слоя ..	Объем, ограниченный радиусом верхней поверхности слоя, 10^9 км^3	Объем слоя	
								$10^9, \text{ км}^3$	$^\circ\text{F}, V_3$
Кора	A	Твердый	0 — 41	41	0,6	6371	$4/3\pi 6,371^3=1083,3$	1083,2-1062,4=20,8	1,9
Мантия	B	Твердый	41 — 350	309	4,9	6371-41=6330	$4/3\pi 6,33^3=1062,4$	1062,4-914,3=148,1	13,7
	c	Твердый	350 — 850	500	7,8	6371-350=5921	$4/3\pi 6,021^3=914,3$	914,3-704,9=209,4	19,3
	D	Твердый	850 — 2900	2050	32,2	6371-850=5521	$4/3\pi 5,521^3=704,9$	704,8-175,2=529,7	48,9
Вся мантия			41—2900	2859	44,9			1062,4-175,2=887,2	81,9
Ядро	E	Твердый	2900—4980	2080	32,7	6371-2900=3471	$4/3\pi 3,471^3=175,2$	175,2-11,3=163,9	15,1
	F	Переходный	4980—5120	140	2,2	6371-4980=391	$4/3\pi 1,391^3=11,3$	11,3-8,2=3,1	0,3
	G	Жидкий	5120—6371	1251	19,6	6371-5120=1251	$4/3\pi 1,251^3=8,2$	8,2	0,8
Все ядро			2900—6371	3471	54,5			175,2	16,2
Вся Земля			0—6371	6371	100,0			1083,2	100,0

Таблица 4.2 Морфометрические характеристики внутренних геосфер и слоев Земли

Геосфера	Слой	Агрегатное состояние	Граница глубины, км	Толщина слоя		Объем слоя	
				км	$\% R_3$	$10^9, \text{ км}^3$	$\%, V_3$
кора	A	Твердый	0-41	41	0,6	20,8	1,9
мантия	B	Твердой	41-350	309	4,9	148,1	13,7
	c	Твердый	350-850	500	7,8	209,4	19,3
	D	Твердый	850-2900	2050	32,2	529,7	48,9
Вся мантия			41-2900	2859	44,9	887,2	81,9
ядро	E	Твердой	2900-4980	2080	32,7	163,9	15,1
	F	Переходный	4980-5120	140	2,2	3,1	0,3
	G	Жидкий	5120-6371	1251	19,6	8,2	0,8
Все ядро			2900-6371	3471	54,5	175,2	16,2
Вся Земля			0-6371	6371	100,0	1083,2	100,0

Делаем *выводы*:

Из внутренних геосфер наибольшую толщину имеет ядро: его радиус составляет 3471 км, или 54,5 % от радиуса Земли. Значительна толщина мантии — 2859 км или 44,9 % R . Самой тонкой является земная кора — 41 км или 0,6 %

Из слоев Земли наибольшей толщиной обладают слои D и E, т.е. нижняя мантия и внешнее ядро — 2050 км или 32,2% R_3 и 2080 км или 32,7% R_3 соответственно. Самым тонким, если не принимать во внимание слой A (земную кору), является переходный слой F — от внешнего к внутреннему ядру. Толщина слоя F составляет 140 км или 2,2 % R_3 .

Объем Земли составляет $1083,2 \cdot 10^9$ км³.

Из внутренних геосфер наибольший объем имеет мантия $887,2 \cdot 10^9$ км³, что составляет 81,9 % от объема всей Земли. Ядро имеет сравнительно небольшой объем — $175,2 \cdot 10^9$ км³ или 16,2 % V_3 . Самой малой по объему является земная кора — $20,8 \cdot 10^9$ км³ или 1,9 % V_3 .

Из слоев Земли наибольший объем имеет слой D (нижняя мантия) $529,7 \cdot 10^9$ км³ или 48,9 % V_3 . Наименьший объем имеет слой F (переходный слой от внешнего ядра к внутреннему) — $3,1 \cdot 10^9$ км³ или 0,3 % V_3 .

Содержание отчета

Отчет оформляется в соответствии с требованиями, приведенными в Приложении А.

Гео-сфера	Слой	Агрегатное состояние	Глубина, км	Толщина слоя		Объем слоев	
				км	% R	10 ⁹	%, V_3
Кора							
Вся мантия							
Все ядро							
Вся Земля							

Контрольные вопросы

1. Каким образом получают информацию о глубинном строении Земли?
2. Что изучает сейсмология?
3. Что такое упругая волна?
4. Что такое продольные и поперечные волны? В каких средах они рас-

пространяются?

Указания по технике безопасности

К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, ознакомившиеся с правилами работы в лаборатории, прошедшие инструктаж безопасности (см. приложение Б).

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5.

Изучение составляющих нормального гравитационного поля Земли

Цель работы. Ознакомиться с основами теории и составляющими нормального гравитационного поля Земли. Произвести расчет составляющих нормального гравитационного поля

Теоретическая часть

Гравитация (от лат. *gravitas* «тяжесть») универсальное фундаментальное взаимодействие между всеми материальными телами.

В рамках классической механики гравитационное притяжение описывается законом всемирного тяготения Ньютона, который гласит, что сила гравитационного притяжения между двумя материальными точками массы m_1 и m_2 , разделёнными расстоянием r , пропорциональна обоим массам и обратно пропорциональна квадрату расстояния —то есть:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}.$$

Здесь G — гравитационная постоянная, равная примерно $6,67 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3/(\text{кг} \cdot \text{с}^2)$.

Сила тяжести —сила, действующая на любое материальное тело, находящееся вблизи поверхности Земли или другого астрономического тела.

Сила тяжести на поверхности планеты складывается из гравитационного притяжения планеты и центробежной силы инерции, вызванной суточным вращением планеты.

Ускорение, сообщаемое телу силой тяжести, называется **ускорением свободного падения**.

Одной из основных характеристик гравитационного поля является его **напряженность** или соответствующая ей величина ускорения силы тяжести.

Напряжённость гравитационного поля векторная величина, характеризующая гравитационное поле в данной точке и численно равная отношению силы тяготения, действующей на тело, помещённое в данную точку поля, к гравитационной массе этого тела, поэтому имеющее размерность ускорения свободного падения

$$g = G \frac{m_2}{r^2} \quad (5.1)$$

где m_2 — масса Земли.

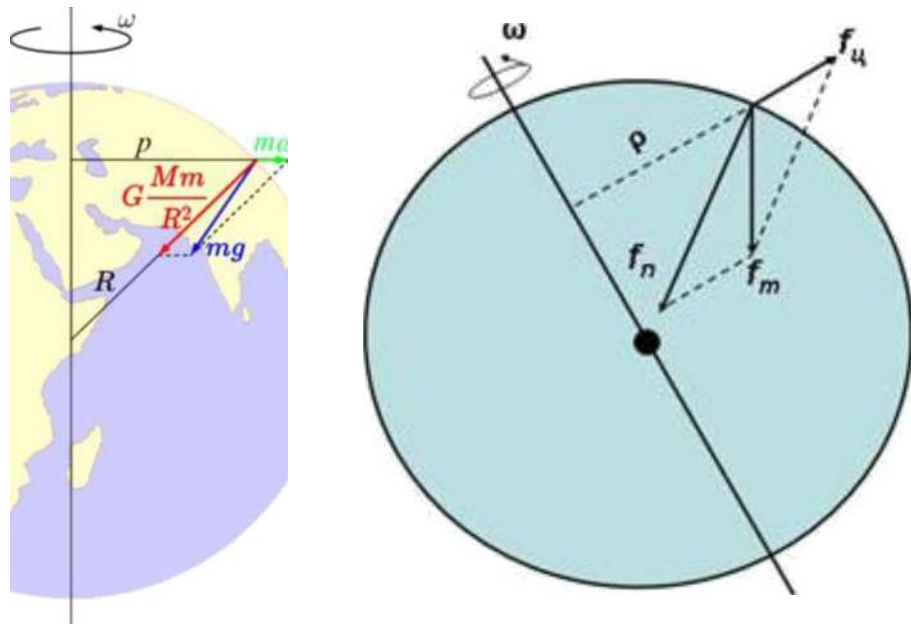


Рисунок 5.1 Составляющие силы тяжести на поверхности Земли
 $G \frac{Mm}{R^2}$ — сила гравитационного притяжения; ω — центробежная сила;
 f — сила тяжести

Потенциал силы тяжести скалярная величина, градиент которой равен напряженности или ускорению свободного падения в данном случае:

$$U = G \quad (5.2)$$

Обратим внимание на то, что и ускорение силы тяжести, и потенциал гравитационного поля зависят от z , т.е. если z описывает поверхность Земли, то *фигура Земли и гравитационное поле на её поверхности взаимосвязаны*.

Условно гравитационное поле можно разделить на составляющие:

$$g = g + Z^0 g \quad (5.3)$$

где g — гравитационные силы тяжести;

$Z^0 g$ — гравитационные аномалии (возмущения), связанные с плотностными неоднородностями в недрах Земли.

В зависимости от размеров и глубины залегания плотностных неоднородностей гравитационные аномалии могут быть планетарными, вызванными *глобальной плотностной неоднородностью мантии*, и *региональными и локальными*, связанными с плотностной неоднородностью земной коры.

Нормальное гравитационное поле включает:

- а) влияние масс Земли с плотностью, зависящей только от радиуса, z ;
- б) эффект сжатия Земли;
- в) вклад центробежного ускорения.

Последние два эффекта обусловлены вращением Земли: центробежное ускорение непосредственно, а сжатие как результат приспособления фигуры Земли к длительному вращению. В этом процессе вещество Земли ведет себя как вязкая жидкость. Равновесная фигура Земли соответствует фигуре вращения жидкой планеты.

Центробежное значительно меньше по величине, чем ускорение гравитационного притяжения, их соотношение на экваторе составляет

$$q = \frac{f_c}{g} \approx 3,45 \cdot 10^{-3} \quad (5.4)$$

$$f_c = m a_u \quad (5.5)$$

$$a_u = \omega^2 r = \omega^2 R_3 \cos \varphi \quad (5.6)$$

где h — сила гравитационного притяжения; f_c — центробежная сила; m — центробежное ускорение, r — радиус вращения; ω — угловая скорость вращения, $\omega = 2\pi/T$, T — время одного оборота Земли 86164,1 с, r — широта, R — радиус Земли.

В 1971 г. Международным союзом геофизики и геодезии была рекомендована следующая формула для вычисления нормального значения ускорения силы тяжести:

$$g_0 = 9,780318(1 + 0.0053024 \sin^2 \varphi - 0.0000059 \sin^2 2\varphi) \quad (5.7)$$

где φ — географическая широта.

Как видно из формулы, нормальное значение силы тяжести не зависит от долготы и увеличивается от экватора к полюсам. Последнее связано как с уменьшением расстояния до центра Земли, так и с уменьшением центробежного ускорения. В целом, уравнение описывает гравитационное поле на поверхности вращающегося сфероида со сжатием p .

Отклонения наблюдаемых (или вычисленных) значений ускорения силы тяжести от нормальных называют **аномалиями** bg . Аномалии обусловлены плотностными неоднородностями в Земле. Они создают небольшие отклонения гравитационного потенциала от земного эллипсоида, превращая его в геоид.

Оборудование и материалы

Работа выполняется в компьютерном классе с доступом к сети Интернет.

Исходные данные

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Начальное значение $\varphi, ^\circ$	-90	-89	-88	-87	-86	-85	-84	-90	-89	-88
Шаг $\Delta \varphi, ^\circ$		4	5	6	3	4	5	6		4

Вариант	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Начальное значение $\varphi, ^\circ$	-87	-86	-85	-84	-90	-89	-88	-87	-86	-85
Шаг $\Delta\varphi, ^\circ$	5	6	3	4	5	6	3	4	5	6

Вариант	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Начальное значение $\varphi, ^\circ$	-84	-90	-89	-88	-87	-86	-85	-84	-90	-89
Шаг $\Delta\varphi, ^\circ$	3	4	5	6	3	4	5	6	7	8

Задание

ПОСТРОИТЬ ГРАФИКИ ИЗМЕНЕНИЯ НОРМАЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ УСКОРЕНИЯ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ И ЦЕНТРОБЕЖНОГО УСКОРЕНИЯ ОТ ШИРОТЫ.

1. Задайте в таблице 5.1 значения широты в соответствии с вариантом в интервале от -90° до 90° .

Например, для варианта 1, используйте значения широты -90° , -87° , -84° , -81° и так далее до 90° .

Для вариант 2, используйте значения широты -89° , -85° , -81° и так далее до 87° .

2. Используя формулу для вычисления нормального значения ускорения силы тяжести (5.7) рассчитайте значения g .

3. Используя формулу (5.6) рассчитайте значения центробежного ускорения at .

4. Постройте графики зависимости g_0 и at от широты (образец оформления на рис. 5.26).

5. Сделайте вывод о закономерности измерения g_0 и at от широты при удалении от экватора.

Таблица 5.1

Широта $\varphi, ^\circ$	Нормальное значение ускорения силы тяжести g_0, dc'	Центробежное ускорение a_p, dc'

Широта, °	Длина, °	Ускорение, м/с²
0	9,780318	0,033877756
5	9,780710189	0,03374884
10	9,781874995	0,033363076
15	9,783777479	0,032723399
20	9,786350527	0,03183463
25	9,789546505	0,030703674
30	9,793239512	0,029338997
35	9,797328187	0,027751033
40	9,801688991	0,025951866
45	9,806189875	0,023955191
50	9,810694239	0,021776201
55	9,815065064	0,019431482
60	9,819169091	0,016938878
65	9,822880929	0,014317358
70	9,826086947	0,011586876
75	9,828888827	0,008768208
80	9,830666663	0,005888827
85	9,83178749	0,002952641
90	9,832177158	0,000000000
-5	9,780710189	0,03374884
-10	9,781874995	0,033363076
-15	9,783777479	0,032723399
-20	9,786350527	0,03183463
-25	9,789546505	0,030703674
-30	9,793239512	0,029338997
-35	9,797328187	0,027751033
-40	9,801688991	0,025951866
-45	9,806189875	0,023955191

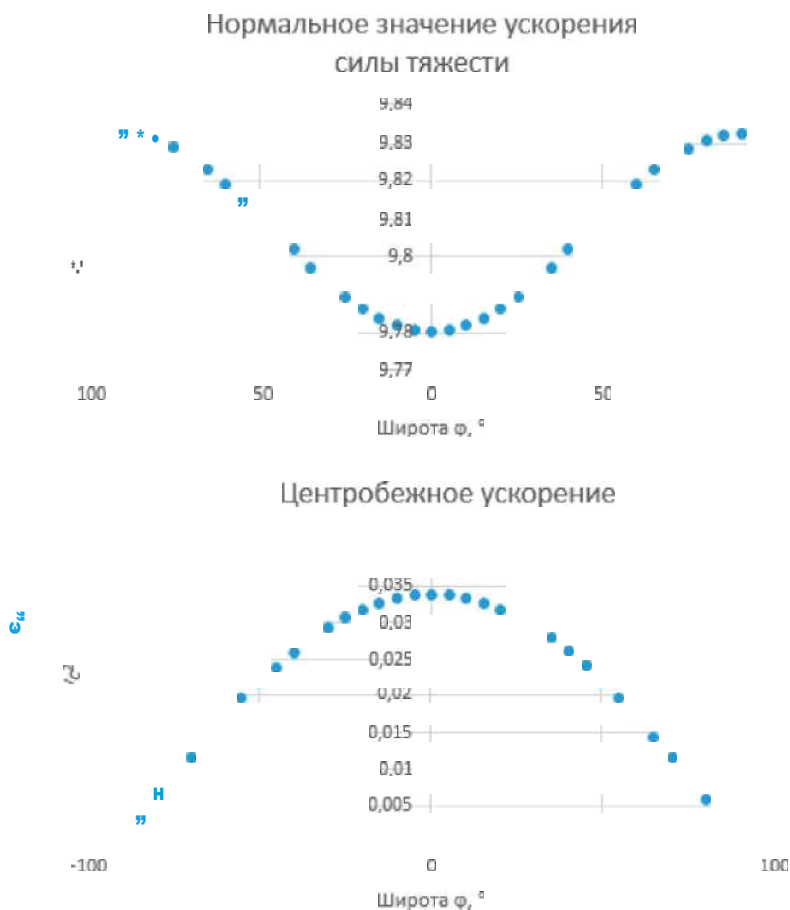


Рисунок 5.2

Содержание отчета

Отчет оформляется в соответствии с требованиями, приведенными в приложении А.

Контрольные вопросы

1. Что такое гравитация и какие теории ее описывают?
2. Почему несмотря на то, что гравитация самое слабое взаимодействие оно является одним из важнейших?
3. Сила тяжести и гравитационное поле — что общего и в чем отличие?
4. Из чего складывается нормальное гравитационное поле?
5. Чем обусловлены сжатие Земли и центробежное ускорение?
6. Как вычисляют нормальное значение гравитационной силы тяжести?
7. Как соотносятся между собой величины силы притяжения и центробежной силы?

Указания по технике безопасности

К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, ознакомившиеся с правилами работы в лаборатории, прошедшие инструктаж безопасности (см. приложение Б).

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6.

Изучение распределения теплофизических параметров литосферы

Цель работы. Ознакомится с распределением температур внутри Земли. Рассчитать теплофизические параметры земной коры. Построить графики изменения температур внутри континентальной и океанической литосферы.

Теоретическая часть

Тепловое поле Земли формируется за счет различных источников тепла, его переноса и перераспределения.

Источниками тепла служат внутренние (эндогенные) глубинные тепловые процессы и солнечная энергия (экзогенные). Перенос и перераспределение тепла в земной коре осуществляется молекулярной теплопроводностью горных пород, конвекцией и излучением.

На глубинах свыше 10 км наибольшую роль в теплопереносе играют излучение нагретого вещества недр и конвекция. Измеряемыми параметрами теплового поля Земли являются температура горных пород, приращение ее с глубиной и теплопроводность.

Наиболее мощными внутриземными энергетическими процессами являются: процесс гравитационной дифференциации земного вещества по плотности, процесс распада радиоактивных элементов и процесс приливного взаимодействия Луны с Землей. Влиянием остальных источников энергии на тепловое состояние Земли можно пренебречь. Не оказывает на внутреннюю энергетику нашей планеты и сколько-нибудь существенного влияния тепловой поток солнечного излучения, так как он активно влияет лишь на проявление: процессов — выветривание пород, поверхностный перенос продуктов их разрушения, осадконакопление и т.д.

К теплофизическим свойствам горных пород относятся: *теплопроводность* λ , характеризующая свойства среды передавать тепло; *теплоемкость* c , т.е. количество тепла, необходимое для нагревания 1 кг вещества на 1 °С, и *температуропроводность* A , характеризующая скорость изменения температуры при поглощении или отдаче тепла веществом.

Различают объемную $C_{об}$ и удельную $\{c\}$ теплоемкости.

$$C_{об} = \sigma c, \quad (6.1)$$

где σ — плотность горной породы кг/м^3

В международной системе единиц СИ объемная теплоемкость $C_{об}$ имеет размерность $\text{Дж}/(\text{м}^3 \text{ К})$, а удельная c $\text{Дж}/(\text{кг К})$. Теплоемкость горных пород отличается сравнительным постоянством и возрастает с увеличением водонасыщенности и температуры.

$$A \rightarrow p, \quad (6.2)$$

Работа выполняется в компьютерном классе с доступом к сети Интернет.

[illegible][illegible]

Оболочка	Вариант									
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
			2, Вт	(м К)						
Осадочный	1,25	1,20	1,21	1,22	1,23	1,24	1,25	1,20	1,21	1,22
Гранитный	3,5	3,4	3,3	3,2	3,1	3,0	3,4	3,2	3,1	2,8
Базальтовый	4,0	4,1	4,2	4,3	4,4	4,5	4,0	4,1	4,2	4,3
Литосфера:										
континентальная	1,55	1,56	1,57	1,58	1,59	1,6	1,61	1,62	1,63	1,64
океаническая	2,7	2,66	2,67	2,68	2,69	2,7	2,71	2,72	2,73	2,74
			сг, 10'	кг/м'						
Осадочный	2,5	2,4	2,3	2,4	2,3	2,5	2,4	2,5	2,3	2,4
Гранитный	2,8	2,7	2,8	2,7	2,8	2,8	2,7	2,8	2,7	2,8
Базальтовый	3,0	3,1	3,2	3,0	3,1	3,2	3,0	3,1	3,2	3,0
			с, 10 ³ ·Дж/(кг·К)							
Осадочный	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Гранитный	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Базальтовый	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9

Задание 1.

ВЫЧИСЛИТЬ ОБЪЕМНУЮ ТЕПЛОЕМКОСТЬ $C_{об}$ и ЗНАЧЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРОПРОВОДНОСТИ A ДЛЯ КАЖДОГО СЛОЯ (ОСАДОЧНЫЙ, ГРАНИТНЫЙ, БАЗАЛЬТОВЫЙ).

Используйте формулы 6.1 и 6.2.

Результаты представьте в виде таблицы.

Параметр	Слой		
	Осадочный	Гранитный	Базальтовый
λ , Вт/(м·К)			
σ , 10 ³ ·кг/м ³			
c , 10 ³ ·Дж/(кг·К)			
$C_{об}$ Дж/(м ³ ·К)			
A , м ² /с			

Задание 2.

ПОСТРОИТЬ ГРАФИКИ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ T НА РАЗЛИЧНЫХ ГЛУБИНАХ z , ДЛЯ КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ И ОКЕАНИЧЕСКОЙ ЛИТОСФЕРЫ.

Используя данные своего варианта вычислите величины температуры T на глубинах z , от 20 до 50 с шагом 10 км по эмпирическим формулам В.А. Магницкого для континентальной:

$$T, \text{ — } (18z, -0,093,^2 + 0,000273;)^{1,6}$$

и океанической литосферы

$$T, \text{ — } (20a, -0,05 + 0,0001;)^{236}$$

Постройте график изменения температур внутри континентальной и океанической литосферы. Пример графика на рисунки 6.1.

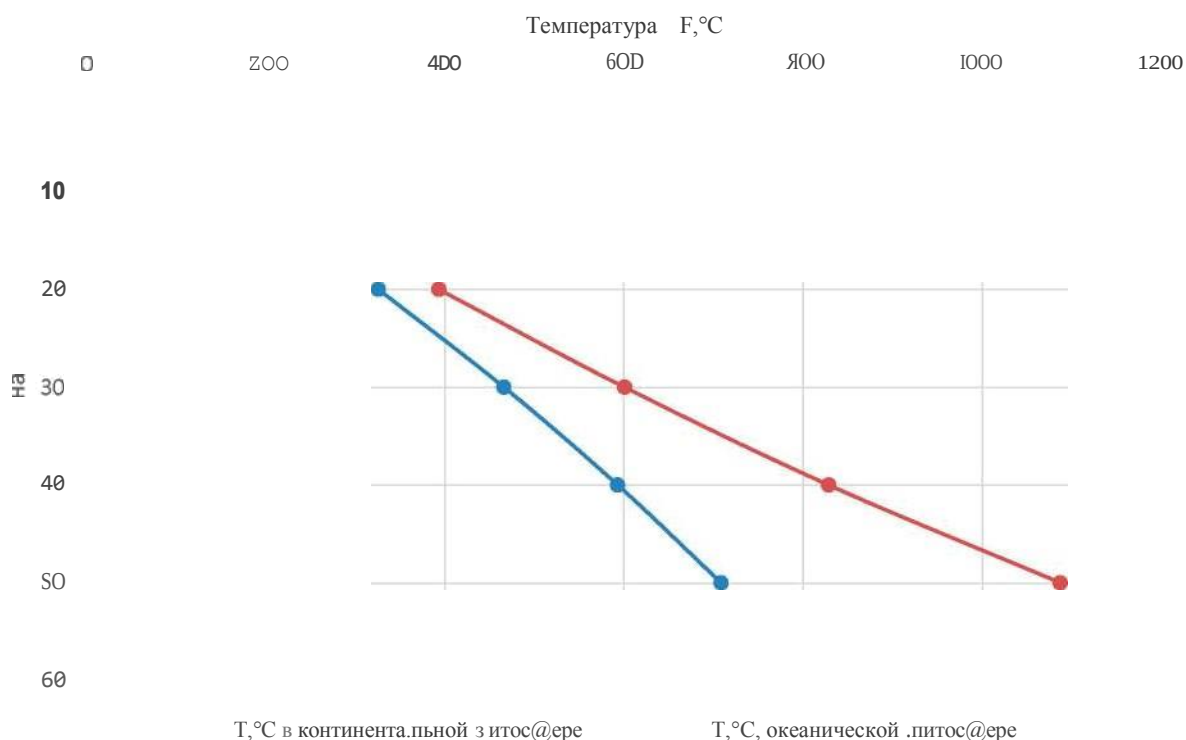


Рисунок 6.1 — Изменение температур
внутри континентальной и океанической литосфер

Содержание отчета

Отчет оформляется в соответствии с требованиями, приведенными в приложении А.

Контрольные вопросы

1. В каком слое земной коры скорость изменения температуры выше и почему?
2. Какие термические зоны земной коры вы знаете?
3. От чего зависит глубина проникновения солнечной радиации в земную кору?
4. Какой внутриземной энергетический процесс считается самым Мощным?
5. Из каких источников тепла формируется тепловое поле Земли?

Указания по технике безопасности

К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, ознакомившиеся с правилами работы в лаборатории, прошедшие инструктаж безопасности (см. приложение Б).

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА N•7.

Изучение составляющих магнитного поля Земли

Цель работы. Изучить структуру магнитного поля Земли. Построить графики изменения составляющих магнитного поля Земли.

Теоретическая часть

Магнитное поле Земли или геомагнитное поле — магнитное поле, генерируемое в недрах Земли источниками. Оно имеет дипольную структуру. Появилось 4,2 млрд. лет назад.

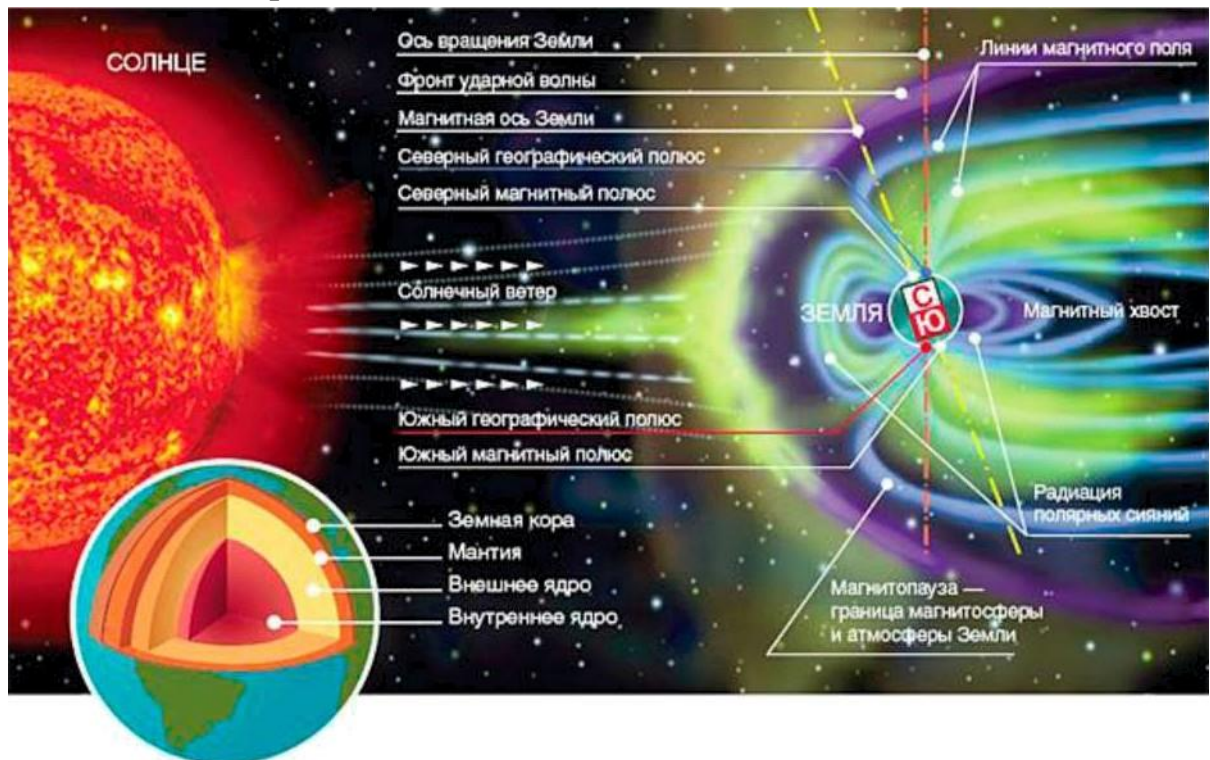


Рис.7.1

Собственное магнитное поле Земли (геомагнитное поле) можно разделить на следующие основные составляющие:

главное (основное или нормальное) поле — более чем на 90 % оно состоит из поля, источник которого находится внутри Земли, в жидком внешнем

поле мирового: аномалий реальные силовые линии магнитного поля Земли, хотя в среднем и близки к силовым линиям диполя, отличаются от них местными нерегулярностями, связанными с налитом намагниченных пород в коре, расположенных близко к поверхности. Из-за этого в некоторых местах на земной поверхности параметры поля сильно отличаются от значения в близлежащих районах, образуя так называемые магнитные аномалии;

внешнее магнитное поле — определяется источниками в виде токовых систем, находящимися за пределами земной поверхности и в ее атмосфере.

Основными источниками таких полей и их изменений являются корпускулярные потоки намагниченной плазмы, приходящие от Солнца вместе с солнечным ветром, и формирующие структуру и форму земной магнитосферы.

Наблюдаемое магнитное поле на поверхности Земли T является суммой полей, имеющих различные причины:

$$T = T_0 + T_z + T_y + bT,$$

где T_0 — поле, создаваемое однородной намагниченностью земного шара, называемое дипольным;

T_z — недипольное поле, называемое полем мировых магнитных аномалий;

T_y — поле локальных и региональных магнитных аномалий, обусловленных неоднородной намагниченностью различных слоев земной коры;

bT — поле, обусловленное внешними причинами;

bT — вариации магнитного поля во времени.

Сумма полей $T_0 + T_z$ образует главное поле, а сумму полей $T_0 + T_z + T_y$ часто называют нормальным полем Земли.

Магнитное поле Земли в каждой точке пространства характеризуется вектором напряженности T , направление которого определяется тремя составляющими N , Y , Z (северной, восточной и вертикальной) в прямоугольной системе координат (рис. 7.1) или тремя элементами Земли — горизонтальной составляющей напряженности H , магнитным склонением D (угол между N и плоскостью географического меридиана) и магнитным наклоном I (угол между T и плоскостью горизонта).

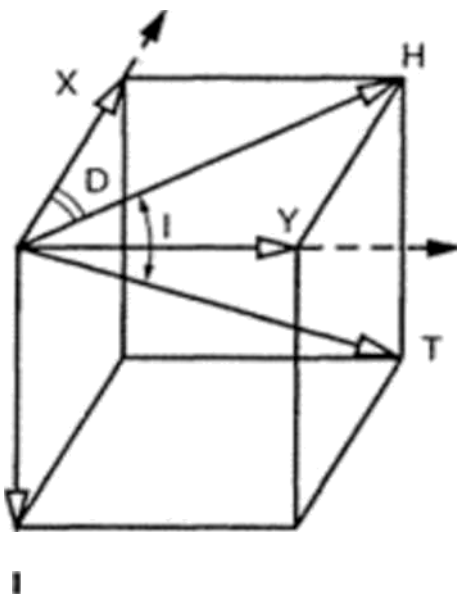


Рис. 7.1 — Составляющие магнитного поля Земли

Магнитное поле Земли не остается постоянным, оно испытывает медленные изменения во времени (так называемые «век» в палеомагнетизме). Геомагнитное поле формируется земным ядром. Оно состоит из двух частей: внутреннего ядра и внешнего. Эти части обладают различной плотностью, температурой, скоростью вращения и другими свойствами. Именно благодаря этому формируется силовое поле планеты. Однако в глубине Земли происходят различные процессы, влияющие на все явления и свойства планеты. Именно из-за них и происходит ослабление магнитного поля, а затем его смещение. Кроме того, через достаточно большие интервалы времени могут происходить изменения расположения магнитных полюсов на противоположные (инверсии).

Оборудование и материалы

Работа выполняется в компьютерном классе с доступом к сети Интернет.

Исходные данные

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Восточная долгота, °	0	10	23	30	40	50	60	70	80	90
Широта	-7	-5	-6	-55	-5	-45	10	-35	-3	-25

Вариант	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Восточная долгота, °	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190
Широта	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25

Вариант	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Восточная долгота, °	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290
Широта	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75

Задание

ПОСТРОИТЬ ГРАФИКИ ИЗМЕНЕНИЯ СОСТАВЛЯЮЩИХ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ ДЛЯ ЗАДАННЫХ ПАРАЛЛЕЛИ И МЕРИДИАНА.

Исходные данные и выполненные расчеты заносим в таблицу 7.2

1. С помощью сайта <http://serv.izmiran.ru/webff/igrf-13/index.html> получаем значения поля за текущий год и заносим в таблицу 7.1.

2. Построить графики изменений составляющих вдоль параллели и меридиана.

Таблица 7.1

Во точная дал-	ШиРота, °	J, нТл	Г, нТл	Z, нТл	T, нТл	D, °	I, °

Содержание отчета

Отчет оформляется в соответствии с требованиями, приведенными в приложении А.

Контрольные вопросы

1. Что такое магнитное поле Земли?
2. Чем обоснованно изменение магнитного поля с каждым годом?
3. Опишите устройство магнитного поля Земли.
4. Назовите источники геомагнитного поля.

Указания по технике безопасности

К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, ознакомившиеся с правилами работы в лаборатории, прошедшие инструктаж безопасности (см. приложение Б).

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №8.

Расчет абсолютного возраста горных пород радиологическим методом

Цель работы. Научиться определять абсолютный возраст древних магматических горных пород по соотношениям радиоактивных и радиогенных изотопов в породе и слагающих ее минералах, а также оценивать вероятный тип исходных магм по индикаторным изотопным параметрам.

Теоретическая часть

Радиологические (ядерно-геохронологические) методы определения абсолютного возраста минералов и горных пород используют соотношения радиоактивных (материнских, родительских) и радиогенных (дочерних) изотопов. В основе лежит закон радиоактивного распада естественных радионуклидов и соответствующего накопления дочерних стабильных нуклидов. С учетом возможного наличия некоторого начального количества атомов дочернего изотопа в магме в момент ее застывания, связь между дочерним и материнским изотопом запишется следующим образом:

$$D = D_0 + N(\exp^{\lambda t} - 1), \quad (8.1)$$

где D_0 — начальное количество атомов дочернего изотопа в минерале или породе в момент их образования;

D — количество атомов дочернего изотопа в настоящий момент времени;

N — количество атомов материнского (родительского) изотопа в настоящий момент;

λ — постоянная радиоактивного распада материнского изотопа,

t — абсолютный возраст минерала или породы, т.е. время, прошедшее с момента образования породы до настоящего момента.

При практическом использовании этого уравнения все его члены нормируются на количество атомов определенного нерадиогенного (стабильного) изотопа дочернего элемента D_0 , т.е. используются не абсолютные, а относительные количества радиоактивного и радиогенного изотопов D/D_0 , N/D_0 , λ .

Наиболее надежные оценки возраста магматической породы могут быть получены на основе так называемой изохронной модели. Ее использование правомочно, если исследуемые образцы породы или минералов можно рассматривать как изотопную систему, удовлетворяющую следующим допущениям:

1) все исследуемые образцы изучаемой породы или извлеченных из нее минералов когенетичны, т.е. образовались в одном процессе кристаллизации магмы и имеют одинаковый возраст;

2) в момент своего образования они захватили разное количество дочернего элемента, но одинакового изотопного состава;

3) система оставалась закрытой для материнского и дочернего элементов с момента образования породы или ее минералов до настоящего времени (либо, в крайнем случае, изотопы материнского и дочернего элементов частично мигрировали, но в таких атомарных количествах, которые не изменили изотопных соотношений).

При соблюдении этих условий в координатах относительных атомных количеств материнского и дочернего изотопов точки, соответствующие разным образцам (пробам), ложатся на прямую линию — изохрону, а по параметрам этой линии вычисляются абсолютный возраст t и начальное отношение изотопов дочернего элемента D_0/D .

Уравнения изохрон рубидий-стронциевого и самарий-неодимового методов, которые в последние годы очень широко используются для датирования древних магматических пород, записывают через соотношения атомных количеств изотопов следующим образом:

$$\frac{{}^{143}\text{Nd}}{{}^{144}\text{Nd}} = \left(\frac{{}^{143}\text{Nd}}{{}^{144}\text{Nd}} \right)_0 + \frac{{}^{147}\text{Nd}}{{}^{144}\text{Nd}} (\exp \lambda t - 1) \quad (8.2)$$

$$\frac{{}^{87}\text{Sr}}{{}^{86}\text{Sr}} = \left(\frac{{}^{87}\text{Sr}}{{}^{86}\text{Sr}} \right)_0 + \frac{{}^{87}\text{Rb}}{{}^{86}\text{Sr}} (\exp \lambda t - 1) \quad (8.3)$$

Эти уравнения можно записать в обобщенном виде так:

$$Y = a + Xb \quad (8.4)$$

Коэффициенты p и b находят методом наименьших квадратов.

Абсолютный возраст изучаемого геологического объекта оценивается через параметр наклона изохроны b :

$$t = \frac{1}{\lambda} \ln(1 + b) \quad (8.5)$$

Для рубидий-стронциевого метода $\lambda_{\text{Rb}} = 1,42 \cdot 10^{-11} \text{ год}^{-1}$, для самарий-неодимового $\lambda_{\text{Sm}} = 6,54 \cdot 10^{-12} \text{ год}^{-1}$.

Начальные отношения изотопов стронция $({}^{87}\text{Sr}/{}^{86}\text{Sr})_0$ или неодима $({}^{143}\text{Nd}/{}^{144}\text{Nd})_0$ определяется величиной параметра p .

Полученная величина начального изотопного отношения I позволяет прояснить генезис изучаемых пород.

Низкие значения начального отношения изотопов стронция ($f_{\text{Sr}} < 0,706$) обычно интерпретируются как связанные с тем обстоятельством, что источни-

ком магмы и образовавшейся из нее породы был мантийный материал, а высокие значения этого параметра ($\epsilon > 0,706$) указывают на коровый магматический очаг либо переплавление корового материала в более глубинном очаге.

Оборудование и материалы

Работа выполняется в компьютерном классе с доступом к сети Интернет.

Исходные данные

Вариант 1. С помощью Rb-Sr метода оценить абсолютный возраст t и начальное отношение Sr для биотитовых пород Северного Приладожья.

№ п/п	Номер пробы	$^{87}Rb/^{86}Sr$	$^{87}Sr/^{86}Sr$
1	4-Л	0,8584	0,7299
2	2-Л	1,2910	0,7403
3	3-Л	1,8367	0,7257
4	1-Л	3,9484	0,8128
5	5-Л	5,6027	0,8534

Вариант 2. С помощью Rb-Sr метода оценить абсолютный возраст t и начальное отношение Sr для гранитов Химскирк в Тасмании.

№ п/п	Номер пробы	$^{87}Rb/^{86}Sr$	$^{87}Sr/^{86}Sr$
1	1	1,550	0,7268
2	3	20,445	0,8200
3	5	20,610	0,8160
4	7	28,530	0,8642

Вариант 3. С помощью Rb-Sr метода оценить абсолютный возраст t и начальное отношение Sr для гранитов Химскирк в Тасмании.

№ п/п	Номер пробы	$^{87}Rb/^{86}Sr$	$^{87}Sr/^{86}Sr$
1	2	12,395	0,7849
2	4	20,435	0,8156
3	6	24,900	0,8322
4	8	51,595	0,9617

Вариант 4. С помощью Rb-Sr метода оценить абсолютный возраст t и начальное отношение ASr для гранитов Химскирк в Тасмании.

№ п/п	Номер пробы	$^{87}Rb/^{86}Sr$	$^{87}Sr/^{86}Sr$
1	9	50,54	0,9584
2	10	86,51	1,1351
3	11	106,40	1,2300
4	12	157,35	1,4900

Вариант 5. С помощью Rb-Sr метода оценить абсолютный возраст t и начальное отношение Sr для лампроитов Костомукши (Карелия).

№ п/п	Номер пробы	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
1	Д-26-вал	0,25361	0,708870
2	Д-26-пироксен	0,11693	0,703967
3	Д-26-флогопит	23,66960	1,122099
4	Д-26-легк. фр.	0,18967	0,707199
5	Д-26-8-вал	0,22386	0,709684

Вариант 6. С помощью Rb-Sr метода оценить абсолютный возраст t и начальное отношение ASr для лампроитов Костомукши (Карелия).

№ п/п	Номер пробы	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
1	Д-26-флогопит	23,66960	1,122099
2	Д-26-легк. фр.	0,18967	0,707199
3	Д-25-пироксен	0,00428	0,703877
4	Д-25-флогопит	2,20870	0,742751

Вариант 7. С помощью Sm-Nd метода оценить абсолютный возраст t , начальное отношение INd для лампроитов Костомукши (Карелия).

№ п/п	Номер пробы	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$
1	Д-26-вал	0,06547	0,511102
2	Д-26-пироксен	0,07420	0,511184
3	Д-26-легк. фракция	0,05014	0,510982
4	Д-25-флогопит	0,07376	0,511168
5	Д-26-8-вал	0,08947	0,511299

Вариант 8. С помощью Sm-Nd метода оценить абсолютный возраст t , начальное отношение INd для лампроитов Костомукши (Карелия).

№ п/п	Номер пробы	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$
1	Д-26-вал	0,06547	0,511102
2	Д-26-пироксен	0,07420	0,511184
3	Д-26-флогопит	0,05014	0,510982
4	Д-25-вал	0,06931	0,511203
5	Д-25-пироксен	0,14424	0,511804
6	Д-25-флогопит	0,07326	0,511230

Вариант 9. С помощью Rb-Sr метода оценить абсолютный возраст t и начальное отношение $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ для риолитов Кумлай-Коксарекского прогиба Тянь-

N-ам	Номер пробы	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
1	99	42,76	0,87486
2	100	48,63	0,90236
3	103	44,8b	0,88584
4	104	38,82	0,8579?

Вариант 10 С помощью Rb-Sr метода оценить абсолютный возраст и начальное отношение $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ для риолитов Кумлай-Коксарекского прогиба Тянь-

N2п/п	Номер пробы	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
1	100-1-санидин	15,99	0,77432
2	100-2-санидин	16,72	0,77637
3	100-3-ортоклаз	29,86	0,82696
4	100-4-ортоклаз	48,01	0,89356
5	100-5-базис	74,50	1,00767
6	100-б-кальцит	0,064	0,70813

Задания

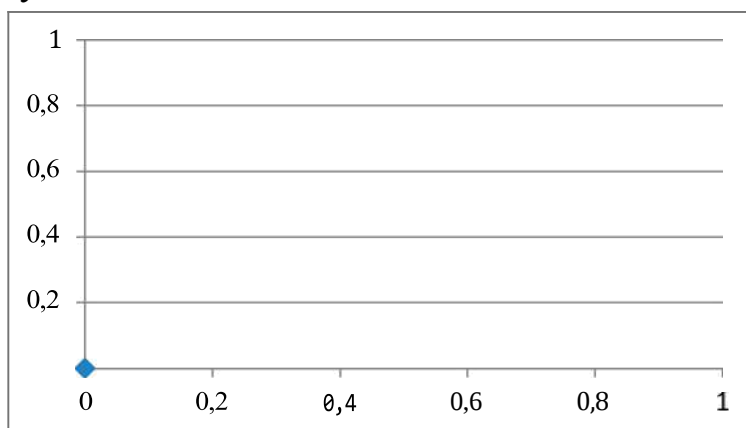
1. Определить абсолютный возраст (в млн. лет) изучаемой породы.
2. Определить индикаторный изотопный параметр (t , или N) и по его величине сделать заключение о типе магматического источника, из которого образовалась изучаемая порода.

1. Введите исходные данные на лист MS Excel.

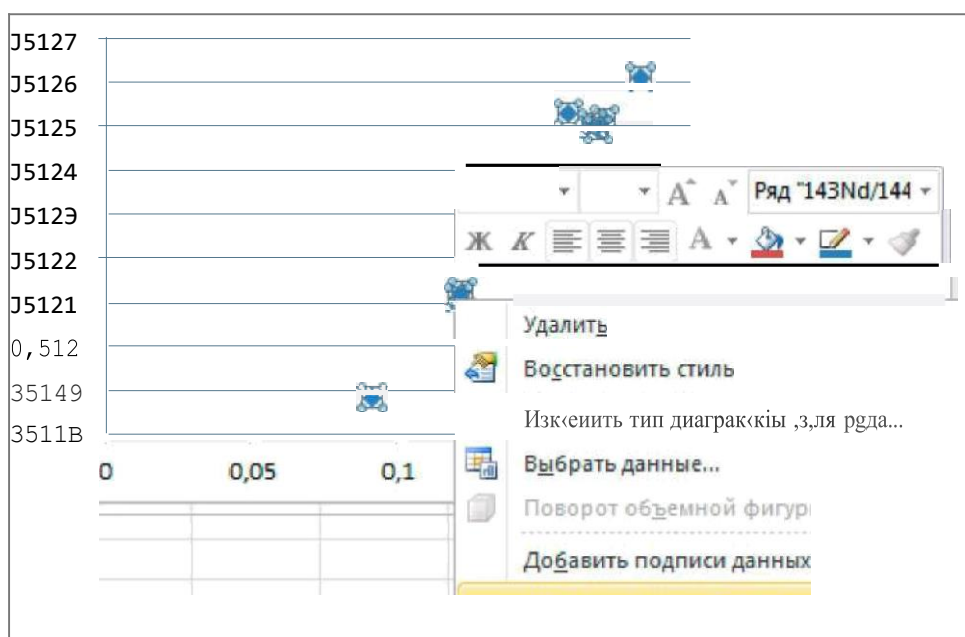
	A	B	C	D
№		Номер пробы	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$
1				
2	1	Б-1/1	0,091	0.511883
3	2	Б-1/3	0,123s	0,512129
4	3	Б-1.5	0,1214	0.512113
5	4	Б-2/2	0,1712	0.512517
6	5	Б-2/3	0.1689	0.512494
7	6	Б- "5	0,1838	0,51261
8	8	Б-3"4	0,1671	0,51251
9	7	Б-3."3	0,1589	0,51253

2. Выделите столбцы C и D.

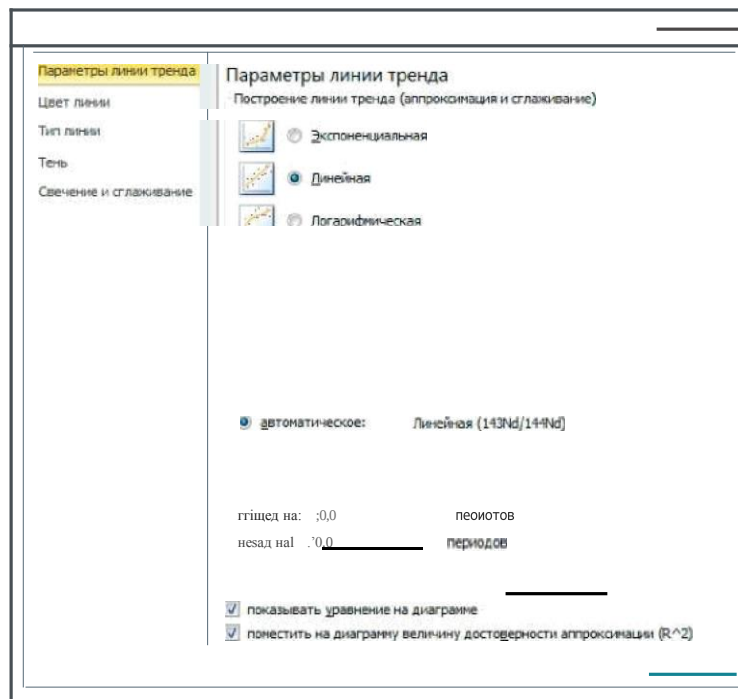
3. Строим точечную диаграмму по распределению изотопных соотношений —нажимаем в главном меню *Вставка -Диаграммы — Точечная — Точечная с маркерами*. Построенная диаграмма будет выглядеть примерно как на рисунке



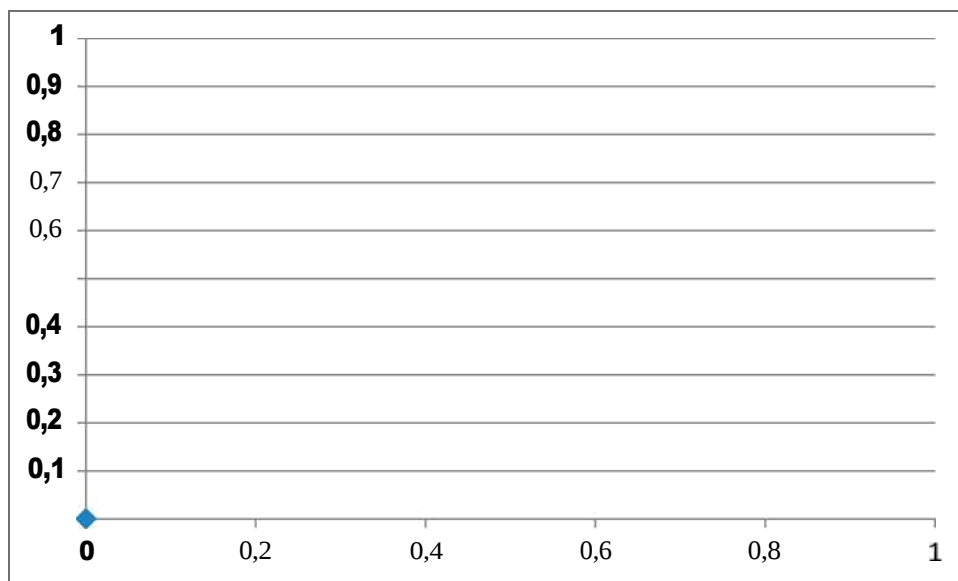
4. В области диаграммы щелкните левой кнопкой мыши по любой точке графика, затем щелкните правой кнопкой мыши по этой же точке. Появляется контекстное меню, в котором выбираем команду *Добавить линию тренда*.



5. В появившемся диалоговом окне выбираем тип линии тренда (Линейная), активируем галочкой опции *Показывать уравнение на диаграмме* и *Показывать на диаграмме величину достоверности аппроксимации (R^2)*. Нажимаем *Закрывать*.



6. В результате ваша диаграмма будет выглядеть примерно так



7. Таким образом, коэффициент p (начальные отношения изотопов неодима / зв данном случае) равен 0,0082, $b = 0,5111$.

8. Рассчитываем абсолютный возраст по формуле (8.5)

$$t = \frac{1}{\lambda} \ln(1 + b) = \frac{1}{6,54 \cdot 10^{-12}} \ln(1 + 0,0082) = 1,24871 \text{ млрд. лет}$$

9. Делаем вывод условиях образования магмы. Так как

$$10. \quad I_{\text{Nd}} = 0,5111 < 0,706,$$

то источником магмы и образовавшейся из нее породы был мантийный мате-

Содержание отчета

Отчет оформляется в соответствии с требованиями, приведенными в приложении А.

Контрольные вопросы

Указания по технике безопасности

К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, ознакомившиеся с правилами работы в лаборатории, прошедшие инструктаж безопасности (см. приложение Б).