

Министерство образования и науки Российской Федерации

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

«Г Е О Ф И З И К А»

Темы: 1. Методологическая база
2. Земля в структуре Вселенной

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ



Санкт-Петербург
2004

УДК 550.3

Павлов А.Н. Геофизика: Тема 1. Методологическая база. Тема 2. Земля в структуре Вселенной. Конспект лекций. СПб.: изд. РГГМУ, 2004. – 71 с.

Рецензент: И.А. Одесский, проф. СПб ГГИ

Обсуждаются методологические основы курса. Смена парадигм в науках о Земле, моделирование как метод познания, вопросы объективности моделей, понятие систем и законов. Рассматривается положение Солнечной системы и Земли в структуре Метагалактики. Приводятся основные космогонические положения об устройстве Вселенной.

Лекции предназначены для студентов, изучающих курсы геофизики и геологии по направлению 657200 – Гидрометеорология. Новый материал и системный подход в изложении может оказаться интересным и полезным для преподавателей и студентов других специальностей.



© А.Н. Павлов, 2004

© Российский государственный гидрометеорологический университет (РГГМУ), 2004

ПРЕДИСЛОВИЕ

Конспект лекций по дисциплине «Геофизика» оформлен в виде трех брошюр, каждая из которых включает по две базовых темы:

- I. Тема 1. – Методологическая база.
- II. Тема 2. – Земля в структуре Вселенной.
- III. Тема 3. – Физические модели Земли.
- IV. Тема 4. – Геофизические поля.
- V. Тема 5. – Пространство и время в науках о Земле.
- VI. Тема 6. – Взаимодействие внешних геосфер.

Их содержание отражает основные требования Стандарта обучения Министерства образования РФ по направлению 657200 – Гидрометеорология, существующие в настоящее время.

В связи с реформированием Правительства РФ (март 2004 г.) и реорганизацией Министерства образования в *Министерство образования и науки* ожидается создание новых Стандартов обучения, в частности, и для дисциплины «Геофизика». Требования к ее преподаванию, вероятно, будут более универсальными, более жестко пропишут мировоззренческую направленность курса и придадут ему фундаментальный характер.

Поэтому в данных конспектах отражены предложения РГГМУ по совершенствованию дисциплины «Геофизика». Они выражены в определяющей роли методологических оснований, системной идеологии подачи материала и ориентации на раскрытие принципов и механизмов взаимодействия геосфер. В первую очередь это касается верхних оболочек Земли как главного объекта инженерной и научной деятельности метеорологов, гидрологов, океанологов и экологов. В курсе появляется новая для него геосфера – ноосфера, которая рассматривается как поле.

Каждая тема заканчивается вопросами для самоконтроля и списком основной и дополнительной литературы.

ВВЕДЕНИЕ

Предмет «Геофизика» является одной из общепрофессиональных дисциплин, читаемых в РГГМУ для направления 657200 – Гидрометеорология. В соответствии со Стандартом высшего профессионального образования программа курса предполагает знакомство слушателей с общими сведениями о Земле как планете Солнечной системы, ее физическими полями, геологическими процессами и явлениями, вопросами взаимодействия твердой, жидкой и газообразной оболочек Земли и методами геофизических исследований.

Напомним, что слово «физика» в переводе с греческого означает «природа». Иначе говоря, в изначальном, самом общем понимании – это наука о наиболее простых свойствах материи. Так или приблизительно так пишут авторы учебников по физике для вузов.

Таким образом, для направления 657200 – Гидрометеорология под геофизикой можно понимать науку о природе Земли.

Земля – это космическое тело. Она является продуктом Космоса и в своем развитии подчинена его законам. Структурные элементы самой Земли также не изолированы друг от друга. Будучи автономными образованиями, они связаны между собой в то целое, которое называется планетой Земля.

Целостность же формируется как система и проявляется во взаимодействии частей, из которых система состоит.

Таким образом, в нашем курсе речь должна идти о Земле как о космической и геологической системе. Поэтому далее в тексте наряду с термином «геофизика» будет использоваться и понятие «геология». Чтобы усвоить такой подход, необходимо начать с методологии этой дисциплины.

Тема 1. МЕТОДОЛОГИЧЕСКАЯ БАЗА

Методология – это учение о научном методе познания: принципах и способах организации теоретической и практической деятельности. [Толковый словарь русского языка. С.И. Ожегов и Н.Ю. Шведова. М., 2000].

«...каждый, кто осмеливается взять на себя роль судьи во всем, что касается Истины и Знания, терпит крушение под смех богов».

А. Эйнштейн

1.1. Смена парадигм

Парадигма – совокупность взглядов, которые определяют направление и характер мышления в науке на данном этапе ее развития.

Анализ истории науки привел к пониманию того, что ее развитие определяется и контролируется научными революциями, а сами революции возникают как продукт смены парадигм, т.е. господствующих мировоззрений.

Геология пережила две парадигмы. В третью парадигму мы входим только сейчас и тем самым переживаем вторую революцию. Перед тем как обсуждать эти события, попробуем вначале формализовать саму идею развития через процедуру смены парадигм.

Официальная философия и наука о науке в своих построениях все еще опираются на идею экспоненциального закона развития знаний. Если эту идею параметризовать, то можно записать:

$$i = i_0 e^{\lambda t},$$

где i – научная информация на момент времени t ; i_0 – начальная информация; λ – постоянная, определяющая темп развития, т.е. прирост информации во времени (рис. 1.1).

Нетрудно видеть, что эксплуатация этого закона связана, по крайней мере, с тремя принципиальными трудностями:

1. На экспоненте нет никаких скачков или разрывов, а значит – нет революций.
2. Величина i может быть сколь угодно большой при росте аргумента t и постоянстве коэффициента λ , т.е. все знание (полное

знание) выводится из одного начального условия

$$i = i_0, i_0 > 0 \quad (i = i_0 \text{ при } t = 0).$$

Иначе говоря, когда наука еще не возникла, уже что-то было, была какая-то начальная информация. Само по себе это естественно, но единственность начала приводит к чистому логицизму, что противоречит известной теореме К. Геделя о неполноте.

3. Градиент di/dt по мере увеличения t катастрофически быстро растет, что на практике может привести не к смене парадигм, а к информационному взрыву, т.е. к разрушению науки.

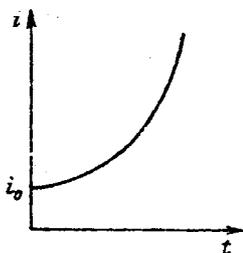


Рис. 1.1. Экспоненциальный закон развития науки
 i – информация; t – время

Стремление снять третью трудность, на первый взгляд, самую очевидную, привело некоторых исследователей к предложению использовать в качестве закона развития науки логистическую функцию

$$i = (i_{\max} - i_{\min}) / (1 + e^{a+bt}) + i_{\min}$$

где a и b – константы (рис. 1.2). (b – отрицательное число).

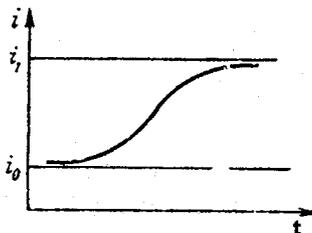


Рис. 1.2. Логистический закон развития науки
 i_0 – начальная асимптота;
 i_1 – верхняя асимптота.

Действительно, в этом случае градиент di/dt вначале растет, а затем падает и возможность информационного взрыва исключается. Однако, «спасая» развитие науки от одной неприятности, мы создаем новую трудность и гораздо более серьезную: приросту информации, т.е. развитию науки, ставится предел в виде i_{\max} , поскольку логистическая функция является функцией асимптотической.

Исследуя кинематику информационной спирали, автору удалось формализовать процесс развития науки в виде серии логистических функций. Это позволило, с одной стороны, снять рассмотренные трудности, а с другой – поставить целый ряд новых для геологии и геофизики вопросов, без решения которых они не могут развиваться как современные науки.

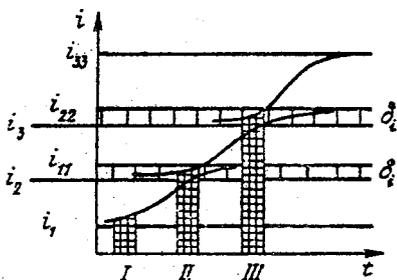


Рис. 1.3. Трансфинитный закон развития науки с основными парадигмами.

i_1, i_2, i_3 – соответственно первая (начальная), вторая и третья парадигмы; i_{11}, i_{22}, i_{33} – предельное значение информации, которое можно получить соответственно из i_1, i_2 и i_3 .

Заштрихованные участки – революционные этапы: I – эпоха Возрождения (начало функционирования i_1); II – конец XVIII – начало XIX веков (начало функционирования i_2); III – конец XX в. (начало функционирования i_3).

На рис. 1.3. указаны революционные этапы (заштрихованные участки). Характерной их чертой является сосуществование и борьба мировоззрений – старой и новой парадигм. Побеждает обязательно новая парадигма, поскольку градиенты di/dt в рамках старой функции падают и стремятся к нулю, а градиенты di/dt новой функции растут. Старые и новые идеи непримиримы, так как общая функция развития имеет разрывы. Собственно, это даже разные

функции, хотя они и относятся к одному виду. Однако сам процесс познания непрерывен, поскольку разрыв функций происходит в бесконечности. Это значит, что любую предшествующую парадигму в принципе можно эксплуатировать сколь угодно долго, хотя на практике время это ограничено из-за ограниченности жизни поколения, использующего эту парадигму последним.

Каждая новая парадигма рождается в недрах старой. Теоретически своими корнями она уходит в очень далекое прошлое. Однако на практике она появляется как бы внезапно в виде хотя и небольшого, но скачка δ_i , отделяющего функцию $i(t)$ от нижней асимптоты последующей функции.

Предлагаемая схема (рис. 1.3) прекрасно соответствует фундаментальной теореме К. Геделя о неполноте. Приведем ее в интерпретации Ю. Манина:

Для постижения полной истины необходима трансфинитная серая творческих актов (актов веры), истинность которых мы не доказываем, но угадываем.

Акты веры – это постулаты. Их можно рассматривать и как парадигмы, т.е. как совокупность взглядов, принимаемых за очевидную истину. На рис. 1.3 это нижние асимптоты. Теорема Геделя говорит о том, что каждый такой акт конечен. Эта конечность оформлена на рис. 1.3 как верхние асимптоты. Однако теорема утверждает бесконечное число самих актов, их смену. На рис. 1.3 показаны две такие смены. Очевидно, что их можно рисовать сколь угодно количество.

Наука развивается. Факт развития показан на последнем рисунке как рост значений функции $i(t)$, теоретически беспредельный.

Приведем другую формулировку теоремы Геделя, предложенную В.А. Успенским:

При определенных условиях, налагаемых на фундаментальную пару $\langle B, T \rangle$, не существует дедуктики над B , полной и непротиворечиво. относительно $\langle B, T \rangle$.

Здесь B – алфавит языка (список элементарных, нечленимых знаков); T – множество истинных, содержательных утверждений; дедуктикой над B называют тройку $\langle D, D, \delta \rangle$, в которой D – алфавит доказательств ($D \subset B$); D – содержательные утверждения из не-

го, называемые доказательствами; δ – функция выделения доказанного с областью определения $D \subseteq \Delta \subseteq D^\infty$; D^∞ – все (содержательные и несодержательные) утверждения, построенные на алфавите D . (Символы \subseteq и \subset соответственно означают включение и выключение или равенство).

В схеме (рис. 1.3) каждой нижней асимптоте $i_1, i_2, i_3 \dots$ соответствует своя дедуктика над своим B . Эти дедуктики непротиворечивы, но только в рамках своих интервалов: $i_1 - i_{11}$; $i_2 - i_{22}$; $i_3 - i_{33}$ и т.д. Существование верхних границ $i_{11}, i_{22}, i_{33} \dots$ делает эти дедуктики неполными. Итак, всякая парадигма, если она непротиворечива, в принципе обязательно неполна, поскольку движущая сила любой парадигмы заключена в ее дедуктиках: алфавите $D \subset B$, логике построений и доказательствах δ и в самих доказательствах D (аксиоматических и выведенных как новые, «изобретенные» истины).

Теперь кратко с помощью рис. 1.3 рассмотрим смену парадигм в геологии и геофизике как основу механизма их развития. Предварительно же дадим рисунку название. Назовем эту совокупность логистических кривых $i(t)$, в которой нижняя асимптота каждой последующей кривой находится ниже верхней асимптоты предыдущей функции, т р а н с ф и н и т о й.

Первая кривая трансфиниты геологии фиксируется в эпоху Возрождения. Парадигма, на которой она развивалась, опиралась на библейские представления. Суть ее кратко изложена у А.Б. Вистелиуса и позже была расширена А.Н. Павловым. Геологическая дедуктика этой парадигмы специально никем не изучалась. Смысл же самого подхода к геологическим исследованиям носил откровенно аксиоматический характер. Идеология была довольно четкой и не такой простой, как это иногда преподносится ортодоксальными атеистами. Речь шла о том, что божественный разум создал мир по строгим математическим законам. Людям дана часть этого разума. Поэтому они могут открыть эти законы и понять устройство мира. Если бы удалось построить непротиворечивую теорию формирования Земли, то она являлась бы дедуктикой (D, D, δ) над геологией, и, следовательно, все законы геологии можно было бы вывести математически.

Именно поэтому в период господства первой парадигмы (i_1 на рис. 1.3) геологии в привычном сегодня ее понимании еще не было.

Ее дедуктивные основы формировались такими титанами, как Н. Коперник, Т. Браге, И. Кеплер, Г. Галилей, Р. Декарт, И. Ньютон, Г. Лейбниц.

Таким образом, мы видим, что аксиоматический подход утверждался в науке крупнейшими авторитетами того времени, в основном физико-математической и философской ориентации. Тем не менее, наряду с этой, господствовавшей формой познания, уже существовало и развивалось индуктивное направление (Г. Агрикола, Н. Стенон), определившее на рубеже XVIII – XIX веков новую парадигму в познании мира. Для геологии это было появление второй, описательной, парадигмы, связанное с такими именами, как М.В. Ломоносов в России, Д. Геттон в Шотландии, А. Вернер в Саксонии, В. Смит и Ч. Ляйель в Англии, Ж. Кювье и А. Броньяр во Франции и др.

На этом этапе развития геологии господствуют настроения, может быть, наиболее резко выраженные Д. Геттоном, что не дело геологии заниматься философскими вопросами и отыскивать начало всех начал. По его мнению, Земля живет и развивается по обычным физическим законам. Земля – это машина и все геологические явления можно объяснить через природные агенты, которые геолог имеет возможность наблюдать. Вторая парадигма и особенно выход на генетическое направление геологических работ чрезвычайно плодотворно повлияли на развитие геологии.

Описательная парадигма опиралась на идеологию гелиоцентризма и поэтому ее дедуктика была более или менее инвариантна по отношению к космогоническим теориям, которые менялись от гипотезы П. Лапласа до «холодной» гипотезы О.Ю. Шмидта и современных концепций горячего начала Земли. Не претендуя на строгость и полноту, можно сформулировать три утверждения, которые большинство современных геологов, так или иначе, использует в качестве основных аксиом:

1. Геологическое развитие Земли представляет собой процесс скачкообразно эволюционный.

2. Этот процесс генерируется за счет внутренних энергетических источников – теплового, гравитационного и др.

3. Внешним энергетическим источником является лишь Солнце, контролирующее экзогенные процессы на Земле.

Логический аппарат дедуктики для описательной парадигмы сегодня весьма сложен, однако опирается он на классическую логику, классическую физику и термодинамику.

До относительно недавнего времени все это вполне устраивало геологов, поскольку хорошо согласовывалось с результатами натурных наблюдений. Известные факты остаются и сегодня, но сами постулаты оказываются уже недостаточными, поскольку на их основе становится невозможным ответить на целый ряд серьезных вопросов, в частности, объяснить цикличность разных масштабов в развитии Земли (магматическую, металлогеническую, биосферную, тектоническую и др.). Иными словами, старая аксиоматика, видимо, свое отслужила, и мы находимся на пороге создания новой аксиоматики.

Здесь уместно вспомнить позицию крупнейшего физика XIX века Людвиг Больцмана (1844–1906). Задачу современной ему науки он видел не в сборе эмпирических фактов и последующей их оценки с точки зрения известных законов, а в том, чтобы *привести наше мышление, идеи и понятия в соответствие с эмпирическими данными*. Сегодня большинству ученых понятно, что легче измерить, чем понять, что измерено.

В работах А.Н. Павлова, А.А. Баренбаума (1991) впервые была сформулирована новая аксиоматика геологии:

1. Геологическое развитие Земли обусловлено получением энергии извне.
2. Эту энергию Земля получает порциями.
3. Энергетические кванты возникают при прохождении Солнечной системой струйных потоков Галактики.
4. Периодичность получения квантов энергии соответствует периодичности прохождения Солнечной системой струйных галактических потоков.

Эти постулаты являются основой новой парадигмы геологии, **квантовой**, которая выводит нас из геоцентрических представлений о геологическом развитии Земли на **галактицистскую** идеологию. Она опирается на понятие открытых систем как по отношению к Земле и Солнечной системе, так и по отношению к Галактике.

1.2. Принцип актуализма

Актуализм — это форма объяснения процессов геологического прошлого путем сравнения геологических явлений отдаленных эпох истории Земли с современными.

Об актуализме в геологии написано довольно много. И уже одно это обстоятельство свидетельствует о том, что вопрос является не только сложным, но и важным. По существу, он касается основания геологии как науки. Следует отметить, что в последние годы вопрос об основании наук перестал быть только философским, он становится конкретным и требует четкого и специализированного ответа. И если геология (в нашей программе — геофизика) — это наука о строении Земли, ее происхождении и развитии, то следует ясно определить, на какие истины она опирается, истины в том смысле, что это некие утверждения, не противоречащие общему уровню современного знания, но являющиеся фундаментальными для развития именно геологии. К сожалению, современная геология ничего другого, кроме идей актуализма, в этом смысле предложить не может. Актуализм же далеко не современная концепция в историческом плане. Однако вопрос о его современности или не современности решается в зависимости от того, каким образом он трактует геологическое пространство-время.

Таким образом, принцип актуализма не может быть реализован, т.е. не может использоваться как метод без определенных пространственно-временных представлений.

Идеи актуализма появились еще в эпоху Возрождения (XVI—XVII вв.) и в той или иной форме содержались в работах Леонардо да Винчи, Николы Стенона (Николаус Стено), Ж.Л. де Бюффона и Д. Геттона, в России — М. В. Ломоносова. Однако в наиболее полном виде они были сформулированы Чарльзом Лайелем в его работе «Основы геологии, или попытка объяснить древние изменения поверхности Земли действующими и сейчас процессами» [1830—1833 гг.]. Ч. Лайель сделал историю Земли познаваемой, определив три основных принципа.

1. Все процессы, меняющие облик Земли, постоянны во времени — *принцип однообразия.*
2. Силы, определяющие развитие Земли, действуют медленно, но непрерывно — *принцип непрерывности.*

3. Малоозаметные изменения за длительный период непрерывного действия приводят к большим переменам без дополнительных катастроф – *принцип суммирования*.

Несмотря на недостатки и ошибки, которые не только возможны, но и неизбежны в процессе познания явлений природы, униформистская* концепция Ч. Лайеля, базирующаяся на утверждении: «сегодня, как всегда, и всегда, как сегодня», в развитии геологии сыграла исключительную и прогрессивную роль. Именно эта концепция получила свое дальнейшее обоснование и развитие, особенно в трудах советских ученых А. Д. Архангельского, Н. М. Страхова и других.

Когда стало ясно, что «сегодня не совсем так, как всегда», принципы Ч. Лайеля были преобразованы в современную формулу: «*настоящее есть ключ к познанию прошлого*», которую принято сегодня считать сутью метода актуализма.

Однако эта формула сама по себе мало что дает. Она лишь показывает, что униформистские реконструкции недостаточны, что они позволяют лишь как-то ориентироваться в геологической истории Земли, но не позволяют достоверно ее воспроизвести, достоверно в том смысле, чтобы воссоздать наблюдаемые геологические структуры без вариантов.

Основная ошибка многих геологов состоит в том, что они не делают различия между актуализмом как принципом и как методом. Принцип – это, вообще говоря, постулат. И здесь даже нельзя говорить, принимаем мы его или не принимаем. Мы вынуждены его принимать, потому что отказ от него – это лишь декларация, не дающая ничего взамен. Как только мы обращаемся к геологическим процессам, мы ищем аналоги настоящего в прошлом. И обсуждение актуализма как принципа напоминает дискуссии о параллельных в евклидовой геометрии. Актуализм же как метод – это совсем другое, это уже пропись действий в конкретной геологической работе, это уже некий алгоритм. Наверное, правильной здесь говорить не о методе, а о методах, так как в геологических приложениях такие

* *Униформизм* – наиболее простая форма понимания актуализма, предполагающая неизменность геологических процессов в истории развития Земли, их простую повторяемость (uniform – форма, англ.).

прописи будут различными, хотя основа любой из них должна быть общей. Существуют различные схемы, описывающие последовательность операций при методической реализации принципа актуализма, но все они крайне несовершенны. Трудности при создании таких схем, на мой взгляд, связаны с тем, что до сих пор не решена главная, пространственно-временная проблема геологии. Поэтому основную цель, стоящую перед общей геологией (геофизикой в понимании Стандарта обучения) как наукой, следует рассматривать одновременно и как современную ее проблему.

Всякая цель достигается определенными средствами путем решения конкретных задач. Разработка пространственно-временных основ геологии таких задач выдвигает, по меньшей мере, пять:

1. Исследование физического смысла и свойств геологического пространства-времени.
2. Исследование устойчивости масштабов пространственной и временной шкал, их связей.
3. Синхронизация геологических часов.
4. Развитие принципа актуализма на пространственно-временной геологической основе.
5. Дальнейшая разработка оснований геоисторического метода (развитие актуализма как метода).

1.3. Моделирование как метод познания

Есть такая игра. В комнату со всякой утварью поочередно заходят играющие и осматривают её, скажем, в течение минуты. Затем каждый из них перечисляет, что он успел увидеть. Игра на внимание и память. Однако само описание увиденного – это существенно большее. Играющие рассказывают о комнате, воспроизводят её для остальных через собственное восприятие. Они **моделируют** её. Причём создают очень субъективные и личностные образы. Но и разные слушатели будут воспринимать описания по-разному и рисовать в собственной голове «собственную» комнату, трансформируя услышанное на свой лад. Эта игра довольно точно иллюстрирует процесс познания человеком окружающего мира:

Познание через моделирование.

Слово модель является производным от слова **мода**, слово, которое сегодня известно, пожалуй, всем. Мода на одежду, причёски,

автомобили, ..., наконец, на образ жизни. Смысл этого понятия связывается с теми представлениями, которые разделяет большинство людей. В математической статистике под **модой** понимают среднее значение признака, соответствующее наибольшей частоте встречаемости. Например, если в качестве признака рассматривать одежду по её стоимости, то мы сможем констатировать, что очень дорогую носит мало людей – лишь очень богатые, а очень дешёвую – лишь очень бедные. А вот то, что носит большинство, так называемый средний класс, это и есть **мода**, т.е. норма.

Никто не может создать копию реального мира, охватив всё многообразие его признаков. Правда, в этом нет и надобности. Чтобы в мире ориентироваться и с ним общаться, человеку достаточно иметь схемы и часто он обходится даже шаржевыми, карикатурными вариантами. Вместо подлинников он использует эрзацы. И самое удивительное, что чем сильнее карикатурность, чем проще форма, тем глубже она отражает сущность объекта и тем полезней для потребителя:

Эрзац заменяет оригинал.

Процедура «изготовления» эрзацев это и есть моделирование. Каков механизм такой процедуры? Точно этого не знает никто, но делать умеют все. Техника моделирования заложена в нас с нашим появлением на свет. Можно ли эту технику совершенствовать? Да, можно. Как и все остальное: форму тела, грацию, ловкость и др. Для этого в первую очередь необходимо понять основные правила моделирования, которыми мы пользуемся как некой данностью. Они приблизительно таковы:

**наблюдение ⇒ выделение моды ⇒ абстрагирование ⇒
⇒ формализация ⇒ моделирование ⇒ контроль**

Наблюдение – процесс получения информации. Это может быть и взгляд ребенка, и современный телескоп, и книга, и чей-то рассказ, и т.д.

Выделение моды – расчленение информационного сигнала на части и сохранение наиболее сильной его составляющей. Речь идет о том, что обычно называют впечатлением.

Абстрагирование – превращение моды в некий обобщённый образ. Отрыв от реального объекта, генерирующего сигнал, и переход в новую часть информационного поля, в область неких символов.

Формализация – придание абстракции определённой конкретной формы. Создание символа.

Моделирование – построение из символов неких структур, некоего макета наблюдаемого реального объекта, производство эрзаца, отражающего **модальную** часть первичного информационного сигнала.

Контроль – сравнение модели с натурой и принятие решения: оставить модель, уточнить или отказаться от неё.

Приведенная схема, естественно, условна, поскольку расчленяет **целое**, которое не делится хотя бы потому, что не имеет ни начала, ни конца. Посудите сами. Ведь для того, чтобы наблюдать и увидеть, необходимы какие-то априорные знания (см. **трансфиниту**, раздел 1.1). Уровень этого знания растёт по мере накопления жизненного опыта, получения образования и т.п. Например, мы подошли к обнажению горных пород на берегу моря или в коренном борту долины реки: обыватель увидит в нём только обрыв, художник, наверное, определенный порядок цветных слоев, а геолог – чередование и характер залегания горных пород.

Но чтобы увидеть породы, нужно быть знакомым с понятием «горная порода», с их классификацией, уметь отличить песчаник от глины, известняка, мергеля и т.д. Иными словами, для видения природы уже необходимы абстракции, в данном случае в виде классификационных символов, и хотя бы примитивные модельные представления в виде таких понятий, как слой, граница, мощность и т.п., которые и закладываются в специальных учебных заведениях.

Продолжим нашу геологическую тему на самом простом примере, который должен быть понятен каждому, кто хотя бы немного помнит школьные курсы природоведения и географии. Мы взяли в руки конкретный образец и, руководствуясь известными классификационными признаками, определили, что это, скажем, кварц. Как только мы, хотя бы мысленно, произнесли этот термин, мы перешли в мир абстракций, придали конкретному общность, поскольку кварц – это обобщённое название минералов характерного сорта. И далее мы исследуем уже эту абстракцию, действуя по той или иной логической схеме, тоже, вообще говоря, абстрактной. Для удобства всякого рода геологических построений, т.е. создания моделей, слово кварц часто заменяют символом Q или химической формулой оксида кремния SiO_2 .

Символы Q и SiO_2 , как впрочем, и само слово кварц – это формализация абстрактного понятия. Реальный образец кварца, который мы держим в руках, существенно отличается по своему составу от окисла SiO_2 наличием многих примесей, особенностями структуры и другими свойствами. Символика Q не тождественна символике SiO_2 . Первое обозначение просто заменяет слово буквой, сокращая запись и даже разговор, второе – само является моделью, построенной уже на химических символах и отражающей наши представления о химических свойствах и некоторых чертах генезиса данного образца как представителя определённого класса химических соединений. Таким образом, мы видим, что символика объектов может быть как бы нулевой, но может строиться и из других моделей более раннего происхождения.

Если записать какую-нибудь химическую реакцию с участием кварца, то это уже модель процесса. Но заметим, что в нём фигурирует не наш реальный кварц, а некий абстрактный образец, хотя в принципе и наш кварц в такой реакции мог бы «работать».

Химическая реакция, в свою очередь, является продуктом определённых теоретических представлений, сформировавшихся в результате обобщения опыта и некоторых априорных истин и т.д. и т.д. Следуя примеру с кварцем, вы можете самостоятельно построить сколько угодно близких вашему сердцу моделей – от бытовых до профессиональных. Но, наверное, и без тиражирования примеров ясно, что **начало и конец любой модели теряется в неизвестном нам далеко.**

Фиксирование же начала и конца всегда условно и диктуется конкретными целям практической жизни.

Анализ процесса познания показывает, что обычно мы имеем дело с двумя уровнями моделирования: **концептуальным (понятийным) и рабочим.**

Концептуальная модель представляет собой принципиальную схему, отражающую весьма грубые и, как правило, интуитивные представления об объекте. По существу, это гипотеза, определяющая характер и направление всей последующей работы. Она определяет круг параметров и тип их связей, которые нам предстоит измерить и оценить ожидаемый результат и форму его выражения. Без такой модели начинать работу невозможно, без неё не ясно, **что измерять, как измерять, зачем это делать, в каком объёме, с ка-**

кой точностью и т.д. Поэтому, чем более разработанной является концептуальная модель, тем быстрее и качественней достигается конечный результат. Часто, особенно при научных исследованиях, работа ведётся сразу по нескольким моделям. Здесь можно заметить, что научная работа от инженерной отличается как раз тем, что в первом случае модель отсутствует, и она создается, а во втором – используются готовые и проверенные образцы.

Концептуальные модели могут быть как качественными, так и количественными. Для большинства задач, связанных с материальным миром, принципиальным является физическая ясность концептуальных моделей и чёткая проработка их аксиоматики. Для задач такого рода можно принять совет Дж. Тьюкки [1962 г.]:

«Лучше приблизительно ответить на правильно поставленный вопрос, чем дать точный ответ на вопрос, поставленный неверно».

Эта рекомендация подчеркивает то основное положение, что эффективность познания мира вообще и конкретных исследований в частности, заложена в самой постановке задачи. Постановка же задачи состоит не только и не столько из её формулировки, сколько из выбираемой схемы решения, т.е. из концептуальной модели, разработка которой и представляет постановку задачи.

Рабочие модели являются результатом детальной проработки выбранной концепции. Собственно, именно они позволяют получить конкретное решение либо в форме тех или иных утверждений, либо в форме числа. Например, на вопрос о том, **является ли данный район сейсмически опасным**, может быть получен, скажем, качественный ответ: «Да». При этом доказательством могут служить результаты комплексных геологических исследований этой территории и построенные на их основе карты сейсмической опасности. Но если при этом удастся выделить участки с наибольшей сейсмической опасностью, то такое решение уже можно рассматривать как количественное, поскольку оно определено числами – географическими координатами, площадью и т.д.

По форме концептуальные и рабочие модели могут быть классифицированы. Классификации, естественно, очень разные и сами представляют собой какие-то модели, определяемые правилами разделения и группирования. В качестве иллюстрации приведём классификацию У. Крамбейна (с авторскими дополнениями и сокращениями).

Модель-диаграмма. Это таблица, схема, графики. В геологических задачах модели этого типа используются довольно широко. По существу, к ним относятся различного рода карты, разрезы, профили, зарисовки и т.п.

Детерминированные модели. Описывают причинно-следственную связь между параметрами, когда заданным или измеренным значениям аргументов приписываются совершенно определённые значения функций. При этом обычно говорят, что это модели, описывающие события с абсолютной памятью.

Статистические модели. Предполагают полное отсутствие причинно-следственных связей и создают эрзац, который основан на идеологии существования процессов без памяти.

Стохастические модели. Описывают объект или процесс в терминах вероятности, т.е. не само событие, а вероятность его появления.

Алгоритмические модели. Это особый вид моделей, подразумевающий любое, но, как правило, достаточно сложное описание объекта или процесса, описание, которое состоит из многих последовательных операций, часто включающих любые другие типы моделей.

Таким образом, можно утверждать, что одна и та же задача, вообще говоря, решается как угодно – с помощью различных моделей и в различных терминах. Здесь уместно напомнить известное утверждение Н.Бора, что применительно к одной и той же группе объектов может быть создано бесконечное множество одинаково истинных теорий. Остаётся только договориться, как оценивать их истинность. Но об этом немного позже.

Мир познается человеком через процедуру моделирования. Похоже, что нам дан только такой способ. Сегодня он достаточно хорошо отрегулирован. Наилучшие гарантии даёт такая схема:

1. Формулировка задачи. Определяется, что мы собственно хотим.
2. Постановка задачи. Построение концептуальной модели. Одной или нескольких.
3. Построение параметрической базы выбранной модели. Что измерять, как это делать и т.п.
4. Натурные исследования. Наблюдения, измерения.
5. Уточнение модели по результатам натурных исследований.
6. Использование модели (контроль) и принятие решения. В

случае положительных результатов модель, как говорят, пускается в производство. В случае отрицательного решения процедура моделирования повторяется еще раз. Именно поэтому в практике исследований обычно работают сразу над несколькими концептуальными вариантами.

Замкнутость процедуры моделирования исключительно важна. Именно **замкнутость** как повторение, как процесс с обратной связью позволяет постоянно наращивать информацию на количественном и качественном уровнях. Всякий цикл, от постановки задачи до контроля, информацию нарабатывает, а от цикла к циклу возрастает её качество, поскольку каждый повтор происходит с учетом приобретённого опыта и ошибок.

Следует заметить, что масштабы таких циклов могут быть различными: от решения частной задачи до уровня парадигмы. Вот один лишь пример:

В 1829 г. выдающийся французский физик Ф.Д. Араго писал: *«Атмосферная машина для выкачивания воды представляет собой ряд безукоризненный, и прерывистость её действия не представляет никаких неудобств»*. Через 100 с лишним лет мысль о природных тепловых машинах стал развивать советский академик В.В. Шулейкин, пытаясь выявить физические основы климата и погоды. Вслед за В.В. Шулейкиным идею тепловых машин начали эксплуатировать геологи и геофизики, выдвинувшие тезис о земной тепловой машине, как устройстве, имеющем нагреватель и холодильник для производства работы.

Обратим внимание на одну методологическую тонкость, имеющую принципиальное значение для познания мира. Ф. Араго в своих рассуждениях шел от природы, от видения её к проблемам техники. Современные естествоиспытатели, наоборот, отталкиваясь от достижений техники, обращаются к природным процессам. В обоих случаях речь идёт об аналогиях, о своего рода прототипах, но с обратным знаком. У Ф. Араго прототип – это природа, у В.В. Шулейкина и геологов – технические устройства. Мною был предложен ещё один вид аналогии, в которой и прототип и аналог – природные явления. При этом задача заключается не в том, чтобы природу сравнить с машиной, а в том, чтобы различные элементы природы сравнить друг с другом, приняв за критерий сходства представление о тепловой машине.

Человек, как двуликий Янус, одновременно смотрит и на природу и на дело своих рук.

Технические идеи он черпает у природы. Затем с ними экспериментирует, осмысливает их и снова обращается к природе с тем, чтобы красть у неё все новые и новые идеи всё более изощрёнными способами.

Информацию он пускает в оборот для того, чтобы увеличивать её постоянно.

**Живое создает живое, деньги делают деньги,
информация делает информацию.**

Все это похоже на круговорот, круговорот процедуры.

МОДЕЛИРОВАНИЕ – ЭТО МЕХАНИЗМ КРУГОВОРОТА И НАРАЩИВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ.

1.4. Объективность и истинность

Как мы только что увидели, создание модели – процедура исключительно субъективная. Поэтому требовать от модели объективности, по меньшей мере, не корректно. На мой взгляд, само понятие объективности является неким идеалом, недостижимым в принципе в силу самой сущности идеала. Реальность всегда преломляется через аппарат конкретного параметрического восприятия, и для любого наблюдателя по этой причине она иллюзорна.

Объективное существует вне наблюдателя.

В реальной жизни мы даём оценку фактам, не спрашивая, как и кем они были получены, и обычно не задумываемся об оценочном мериле, о так называемых эталонных метках. А они-то и являются главными. И если они у разных людей разные, то людям трудно понять друг друга. Для серьёзных разговоров, например, у меня разработана система простых тестов, которые позволяют быстро понять, есть ли смысл тратить время и нервы на дискуссию с тем или иным человеком. Иногда оказывается, что наши взгляды на мир не просто различны, но так далеки, что даже не соприкасаются. Ну, посудите сами, о чём тут говорить мне с ним, а ему со мной.

К сожалению, даже в официальной науке об этом как-то забывают. И начинают спорить не об аксиоматической базе, а о выводах и оценках наблюдений. Возьмите общеизвестную дискуссию между сторонниками органического и неорганического происхождения нефти. Или, скажем, взгляды об отложениях, называемых леднико-

выми. Были оледенения или отложившийся материал был привнесён плавающими льдами? Кто прав?

К сожалению, часто «прав» бывает тот, кто сильней и в силу этих обстоятельств **своё мнение делает общественным или общественное выдаёт за своё.**

Теперь оцените юмор крупнейшего американского физика К. Дарроу, который так охарактеризовал теорию:

«Теория – это интеллектуальный собор, воздвигнутый, если хотите, во славу Божию и приносящий глубокое удовлетворение как архитектору, так и зрителю. Я не стану называть теорию отражением действительности. Слово «действительность» пугает меня, поскольку я подозреваю, что философы знают точно, что оно значит, а я не знаю и могу сказать что-нибудь такое, что их обидит. Но сказать, что теория – вещь красивая, я не постесняюсь, поскольку красота – дело вкуса, и тут я философов не боюсь».

Всё сказанное, безусловно, относится и к моделям, поскольку они тоже интеллектуальные конструкции и, если не соборы, то, по крайней мере, здания для производства и жизни.

К. Дарроу глубоко понимал действительную сложность реального мира и именно потому так строго отнёсся к определению теории, хотя и придал ему шуточный оттенок. Трудно сказать лучше или не согласиться с тем, что **теория – это культовое сооружение для отправления интеллектуальных потребностей жизни.** Это определение эзоповым языком передаёт современные требования к любой теории или модели, сформулированные ещё А. Эйнштейном как принципы **внутреннего совершенства и внешнего оправдания.**

Внутреннее совершенство это и есть красота, и хотя действительно говорят, что она – дело вкуса, в науке этот «вкус» обозначен вполне четко: **минимум посылок и максимум следствий.**

Требование красоты позволяет провести довольно чёткую грань между гипотезами и теорией. Ведь и те и другие согласуются с наблюдениями и экспериментами, позволяют прогнозировать будущее и реконструировать прошлое. Однако количество посылок и следствий у них различно. И вот только та гипотеза, которая минимизирована по посылкам и максимизирована по следствиям, может быть названа теорией. Конечно, не на все времена и не навечно. А только до тех пор, пока не появится ещё более красивая интеллектуальная конструкция.

В последние десятилетия к оценке теорий стало применяться ещё одно правило: требование **фальсифицируемости**, соблюдение которого делает теорию научной. Вот оказывается как. **Научная теория может быть научной и ненаучной.**

Понять этот парадокс довольно просто. Если теория объясняет всё, что на сегодня известно и только, она мертва. Собственно говоря, становится непонятным её предназначение. Зачем она? Она формально закрывает идею поиска и наращивания знания, а значит и опыта. Если же, объясняя все известные факты и наблюдения, теория позволяет делать рискованные прогнозы, шагнуть в неизвестное, хотя бы этот шаг и стоил ей жизни, если, объясняя известное, теория провоцирует новые вопросы и проблемы, значит – она научна. Она уже формально делает процесс познания продолжающимся.

Вот теперь, после того как мы сориентировались в вопросах красоты и научности, можно остановиться на требовании **внешнего оправдания**, которое иногда называют **верификацией**. Это нечто иное, как согласованность теории с наблюдениями, экспериментом, фактами. Однако это простота кажущаяся и выполнение этого требования – дело тонкое и весьма деликатное. Примитивный, упрощенный подход может создать ситуацию, когда с водой выплескивают дитя.

С одной стороны, вопрос ставится довольно жёстко. Если эксперимент (наблюдение) согласуется с теорией, это даёт ей право на жизнь. Но не больше. Это не означает, что теория верна, потому что мы не гарантированы от того, что завтра не обнаружится новый факт, который эту теорию опровергнет. По замечанию Р.Фейнмана, наука только и занимается тем, что опровергает саму себя. И это нормально. Но, развивая эту тему, тот же Р.Фейнман подчеркивает, что эксперимент должен быть чистым. Иначе говоря, ставится вопрос об **истинности самого эксперимента**. Неправда ли все это напоминает фразу: **А судьи кто?**

В поисках истины мы ловим себя за хвост. Приведём несколько примеров.

1. Все люди видят, что солнце всходит и заходит. Луна тоже появляется на горизонте и, пройдя по небосводу свой путь, исчезает. Разве это не свидетельство тому, что Небо движется вокруг Земли. Ведь это, вроде бы, следует из наблюдений. В чём было сомневаться простым людям? Следуя этой теории, корабли прокладывали свой

путь и точно приходили из пункта А в пункт В. Лишь потом люди узнали, что прекрасная теория **геоцентризма** – это теория кинематическая и потому её согласие с наблюдениями и экспериментами может и не отражать реальной схемы движения тел в Солнечной системе. Кинематическая теория не опиралась на механизм движения. Закон всемирного тяготения ещё не был сформулирован и записан.

2. А вот другая иллюстрация, с виду совсем простая. На рис. 1.4 приведен график, показывающий возможное распределение в почве нефтепродуктов (С) в направлении X, скажем, от нефтебазы. Расстояния по оси X измерены, в каждой точке взята проба почвы и проанализированы в хорошей лаборатории по стандартной методике на суммарное содержание нефтепродуктов. Можно сказать, что точки на графике точно соответствуют результатам наблюдений. А дальше? Дальше приходится переходить к допущениям, т.е. что-то принимать, заведомо понимая, что допущение – это уже не факт. **Допуская что-то, мы внедряемся в область веры.** В данном случае мы сделали допущение, что между точками связь параметров С и X носит линейный характер. Что же есть на самом деле, мы не знаем. Вообще говоря, это может быть что угодно: кривая вогнутая или выпуклая, какой-то причудливый зигзаг, не исключено, что между какими-то точками нефтепродукты не накапливались и там $C = 0$ и т.д.



Рис. 1.4. Иллюстрация линейной интерпретации результатов измерений.
1, 2, 3, 4 – точки наблюдения.

В чем же истина? Бог его знает. Мы можем быть уверены лишь в одном. Если мы все сделали тщательно, то точки на графике отражают какие-то реалии с точностью топографической привязки и

аналитики в рамках принятой технологии опробования: случайная проба, средняя (полученная по какой-то конкретной методике осреднения) и т.д. Иначе говоря, истина, как некий идеал, и здесь остается неуловимой.

Вы, наверное, уже поняли, что примеров «ловли себя за хвост» можно привести сколь угодно много. Поэтому мы остановимся на сказанном, а вместо ещё одного примера приведём реакцию Дж.Смита на статью об открытии им **целаканта**. Целакант – кистепёрая рыба. Её остатки находились многократно в толще пород, начиная с девонского периода (около 300 млн. лет назад) и кончая верхнемеловыми отложениями (около 50 млн. лет назад). В более молодых отложениях остатки zcelaкантов **не находили**. Это обстоятельство было основанием утверждать, что **целаканты вымерли**.

Аборигены же Каморских островов этого не знали. Они спокойно ловили zcelaкантов, как и другую рыбу, и ели их, называя «комбесса». Остальной же мир узнал об этом лишь в 50-е годы XX столетия, хотя первый ставший известным науке экземпляр был выловлен траулером в 1938 г. у Ист-Лондона. Живой zcelaкант – это было открытие века, крупнейшей научной сенсацией. Это открытие, в частности, еще раз убедительно показало, что в геологии все временные границы, основанные на палеонтологических находках, это границы событийные и в астрономической шкале времени могут сильно смещаться. Так что их истинность тоже событийная.

Любопытно, как к оценке своего открытия отнёсся сам проф. Смит*, хотя он и был одержим поисками zcelaканта целых 14 лет и, конечно, понимал его фундаментальное значение.

На вопрос редактора одной крупной газеты, уверен ли он, что Ист-Лондонский (первый!) экземпляр – это zcelaкант, проф. Смит ответил:

– *Нет.*

Редактор эмоционально воскликнул:

– *Нет? Но как же вы могли сказать? ...*

Дж. Л.Б.Смит заметил:

– *Я этого не говорил. Я сказал и говорю, что насколько я, исходя из моих знаний, опытов и наблюдений, могу судить, это настоящий zcelaкант.*

* Дж.Л.Б.Смит – крупный ученый-ихтиолог (ЮАС).

На новый вопрос редактора:

– *В чем же разница?*

Он пояснил:

– *Если вы мне покажете цветок и скажете: он синий, я, будучи ученым, даже если увижу, что он синий, отвечу: – Я бы сказал, что он синий, а не: – Да, он синий.*

Почувствовали тонкость? Никаких абсолютов, никакой категоричности. «Да» или «Нет», но **всегда при каких-то условиях.**

Мы запущены по некоему кругу. В попытках доказать истинность того или иного утверждения мы прибегаем к определенному критерию, эталону, корректность использования которого тоже должны проверять на истинность. И так без конца.

Выход из этой игры, вероятно, один:

что-то надо принять за истину

без каких-либо доказательств и предварительных условий. Вспомните у М. Булгакова в его знаменитом романе «Мастер и Маргарита» сцену разговора Берлиоза с Воландом:

– *Имейте в виду, что Иисус существовал.*

– *Видите ли, профессор, – принужденно улыбнувшись, отозвался Берлиоз, – мы уважаем ваши большие знания, но сами по этому вопросу придерживаемся другой точки зрения.*

– *А не надо никаких точек зрения!* – ответил странный профессор,

Просто он существовал, и больше ничего.

– *Но требуется же какое-то доказательство ...* – начал Берлиоз.

– ***И доказательств не требуется,*** – ответил профессор ...

(выделение текста шрифтом авторское).

Но это в религии, можете вы заметить. На что я отвечу:

– *И в науке то же.*

И чтобы завершить тему этого раздела, обсудим проблему **доказательности.**

В науке есть понятие так называемой **легислативной истины**, или **истины по конвенции.** По существу, здесь речь идет об **изобретении истины.** Это изобретение происходит по совершенно конкретной и четкой схеме, которая в математике обозначается термином **доказательство.** Наверное, в математике это самое главное понятие. В специальной литературе есть довольно строгое его описание. Не претендуя на такую строгость, можно сказать, что процедура доказательства обязательно включает в себя такие элементы, как аксиоматика, логика и функция выделения доказанного (см. раздел 1.1).

Смысл получения законодательных истин довольно точно отражает современное понятие алгоритма как некоего процедурного предписания:

- для каждого алгоритма следует указать некоторый алфавит исходных данных, так что все возможные исходные данные являются словами в этом алфавите,
- и некоторый алфавит результатов, так что все результаты являются словами этого алфавита.

Таким образом, если вы оговорили с оппонентами свою дедуктику и мировоззренческую доктрину и они с ними согласились, то, какой бы вывод вы не получили, **они уже не могут капризничать**. Можно только проверять всё ли чисто вы вывели. Ваш вывод будет являться **новой истиной**, хотя и изобретенной. И это будет истина, даже если она кому-то не нравится или непонятна и звучит как «этого не может быть». Это истина по конвенции.

В бытовых ситуациях или в ситуациях, похожих на бытовые, внешне идеология доказательности выглядит другой: я ему доказал, т.е. убедил его в чём-то, а другому – не доказал, т.е. не сумел убедить. Доводы в обоих случаях вы приводили одни и те же. Почему же разный результат? Дело не в вас, а в том, совпадают ли у вас и ваших оппонентов мировоззрения и дедуктики. Когда они совпадают, доказательство является делом довольно простым, как говорится, вы понимаете друг друга с полуслова. Если не совпадают, то вы напрасно тратите силы или тратите их не в том направлении. **Вначале надо изменить веру оппонента**. Не зря говорят: «В чужой монастырь со своим уставом не ходят».

Завершить разговор об объективности и истинности хочется цитатой из одной монографии по геологии:

... значительная часть геологии является плодом воображения. Когда мы говорим: «Наблюдения показывают, что Земля имеет плотное ядро радиусом 3400 км», мы имеем в виду, что на основании большого числа наблюдений, и преимущественно данных о времени распространения сейсмических волн, мы делаем вывод, что Земля имеет ядро, хотя никто его ещё не видел, так же, как никто и никогда не видел электрон.

Собственно, точно также никто не видел тропопаузы, стратопаузы и многое, многое другое. Наши истины – это **именно наши истины**, по существу, это **наши интерпретации**, выполненные с помощью определённых дедуктик.

1.5. Системы и законы

Когда мы произносим слово система или думаем о какой-то системе вообще, мы имеем в виду некоторую упорядоченность, определённую логику связей между телами, явлениями или просто элементами того множества, о котором идёт речь как о системе. В качестве классического примера можно указать на всем известную со школьной скамьи знаменитую Периодическую систему элементов Д.И. Менделеева.

В силу особенностей ума и стремления к гармонии человек склонен к системному восприятию окружающего мира. Он опирается на какие-то подсознательные причинно-следственные постулаты. Это тот детерминизм, который и лежит в основе любой религии – представления Бога как первопричины всего сущего. Даже разрабатывая идеологию случайного и вероятного, человек создал математическую статистику и теорию вероятностей, построил уравнения, придумал критерии и т.п. А это уже, согласитесь, определенная логика и правила, т.е. то, что и представляет собою атрибутику систем.

К этой же категории относится и бесчисленное множество всякого рода классификаций объектов природы, часто называемых систематикой. Отметим, что одни и те же объекты могут систематизироваться по-разному, в зависимости от поставленных целей и задач. Достаточно яркий пример этому можно найти в подходе к классификации горных пород. Наиболее известный, опять же из школьных курсов, подход опирается на так называемые генетические признаки:

- магматические породы,
- осадочные и
- метаморфические.

Каждый из этих типов имеет многочисленные разветвления по химическому и минералогическому составу, структуре и другим признакам, которые могут быть названы мерами различия и сходства. Но вот сменились задачи от поисково-разведочных к инженерным. Произошла смена параметров и появилась совершенно другая классификация:

- породы скальные,
- полускальные,
- рыхлые,
- мягкие связные и т.п.

Чувствуете? Здесь нет никакого упоминания о генезисе, нет ни

гранитов, ни известняков, ни глин, ни сланцев, ни гнейсов. Здесь «работают» другие интересы – прочность, характер деформаций, водопроницаемость и т.д. Поэтому в скальные породы попадают и свежие граниты и песчаники с крепким цементом и некоторые известняки и т.д., т.е. породы совершенно различного происхождения, находящиеся в первой классификации как бы по разные стороны «баррикад».

Я привел этот пример, чтобы легче было осознать вопрос:

- Существуют ли системы в природе, и человек их открывает?
- Или в природе нет никаких систем, и человек их просто выдумывает для той процедуры, которую он называет познанием мира?

Не торопитесь с ответом. Он может оказаться неоднозначным. Посмотрите на рис.1.5. На ней просто пятна: белые – снег, черные – земля (наверное, пашня в черноземной зоне). Но если вы сосредоточитесь, то сумеете увидеть лицо Христа – так назвал его автор статьи, где помещена эта фотография.



Рис. 1.5. Фотография тающего снега
(из книги «Модели в географии»)

Вы найдете это лицо потому, что будете его искать. Искать в хаосе пятен, где ничего наперед не было задано. Но может быть самое любопытное состоит в том, что после того, как вы отыщите порядок, а точнее построите его в своей голове, назад в хаос вы уже не сможете вернуться, особенно, после того, как на «найденное» лицо Христа будете смотреть ещё, ещё и ещё ... много раз. Даже усилие воли, даже поворот «картинки» на 90° или на 180° вам не поможет. Образ окажется закрепленным в вашей памяти, он станет навязчивым и вам не избавиться от него.

Я прочувствовал это на себе. На одном из занятий со студентами заочного отделения (это были взрослые люди) я принес эту «картинку», увеличенную на половине ватманского листа, и в перерыве попросил их повесить её на доске. Придя на занятие, я увидел, что она висит «вверх ногами». Я сказал аудитории об этом и в ответ услышал общий

дружный смех. Действительно, верх и низ существовал только для меня, для них же ещё никакого порядка в черных и белых пятнах не было. Позже мы разобрались в чем дело. Но надобно отметить, что ясность образа пришла к зрителям по-разному. Приблизительно процентов 20 из них увидели лицо Христа сразу, как только я сказал им об этом. Большая часть искала названный мною образ довольно долго, но все-таки нашла его. А процентов 10 аудитории так и не сумела ничего увидеть. Никакие мои ухищрения: очерчивание лица указкой, показ лба, глаз, скул, прикладывание очков и т.п. не помогли. Эти десять процентов слушателей так и остались «слепыми».

Но если бы подобный эксперимент мы провели в цвете или с музыкой, или с запахами и т.д., аудитория и в персоналиях и в процентах скорей всего разделилась бы по-другому.

Теперь вспомните себя. Наверное, вам приходилось смотреть на облака в небе, разглядывать узорчатые обои на стенах, какие-нибудь подтеки на потолке, плохо окрашенные стекла или двери, морозные узоры на окнах, да мало ли ещё что. И вы находили там зверей, травы, деревья, фигуры людей, лица и т.д. и т.п. Но ведь их же специально никто не рисовал. Это всё придумали вы сами. Но почему вы видите только знакомые предметы? Конечно, потому, что ничего другого вы не можете придумать. Вы не можете придумать того, чего нет или, точнее, того, чего не было никогда, не записано в вашей хромосомной памяти или где-то ещё.

Так что мы всё строим по памяти, своей или наших пращуров, и ничего другого нам не дано. А вы думали, что человек что-то открывает? Нет. Он просто совершенствует те сказки, которые пришли к нам от пра-пра-...бабушек. Он их реализует. Поэтому и сказок-то становится всё меньше и ... скоро совсем не станет. А жаль, правда?

Система воплощает в себе идею целостности. Когда мы говорим о природных системах, то имеем в виду целостность, реализуемую через взаимодействие. Однако такая целостность всё равно строится в нашей голове и лишь отражает какие-то черты реальности. Причём качество такого отражения мы периодически устанавливаем сами, поскольку представления о каком-то реальном абсолюте у нас весьма смутные. Ведь достижение абсолюта – это копия, которую нам сделать не дано. Кто-то может сделать копию полотна Шишкина или Репина, Ребрандта или Сезанна, но никакой самый великий художник не может создать абсолюта пейзажа или лица человека. Он тоже

всего лишь копиист, хотя может быть и самый, самый великий среди людей. Человек не совершенной Бога. Вот в чём истина.

Вспомните модели атома. Вначале атом был неделим, и это всех устраивало на протяжении многих веков и казалось истиной. Далее ...модели Д. Томсона, Э. Резерфорда, Н. Бора. Всё это процедура усложнения. Но будет ли конец? Да и так ли безупречна и совершенна сама идея атома, которая правит развитием науки?

Как видим, человек строил системы, как некоторые теоретические конструкции, всегда. Но вот к 70-м годам XX столетия возник некий системный бум. Не говорить в научных сферах о системах, системном подходе, системном анализе стало дурным тоном. Почему? Наверное, пришло время системной методологии, когда поняли, что системы надо строить не стихийно, не как получится, а по общим «правильным» правилам. И эти правила стали разрабатывать.

Возможно, вам известна восточная притча о трёх слепцах, споривших, каков из себя слон. Первый утверждал, что слон напоминает змею. Он обнимал его за хобот. Второму слон показался похожим на веревку. Он держал его за хвост. Третий считал, что слон подобен стволу дерева. Он ошупывал его ногу. Очевидно, что все трое ошибались. Легко понять и причину их оплошности. В своих выводах каждый опирался на собственные представления лишь о какой-то одной части объекта. Кроме того, они исходили из неверной посылки, что слон обязательно должен походить на что-то им уже известное.

Таким образом, эта незатейливая притча поднимает и ещё раз иллюстрирует, по крайней мере, два кардинальных вопроса научного познания: о целостности предмета исследований и об истинности наших представлений о нём.

В настоящее время существует довольно много понятийных определений системы, но в методологическом смысле все они, так или иначе, сводятся к тождеству:

системность \equiv целостность.

Процесс познания, вообще говоря, является противоречивым по самой своей сути, так как процедурно связан с кажущейся неразрешимостью альтернативы: познавать – значит расчленять, расчленять и ... расчленять до ... (?) – непонятно, до какого предела, и потом расчленять – значит отказаться от идеи целого, потерять его.

Реальная глубина этого парадокса кроется, по-видимому, в законе самопроизвольного роста негэнтропии, т.е. информации. За

примерами далеко ходить не надо. Вся история развития науки – это длительные этапы «разбрасывания камней», т.е. самопроизвольная её дифференциация, постоянно увеличивающееся количество научных дисциплин. Подобное происходит и в религиях. Возьмём христианство. Начиналось оно с единого учения, принесённого одним мессией. Сегодня же в нём католики, протестанты, лютеране, православные и т.д. и т.п. Правда, всех их осеняет крест, но ... очень многое и отличает. Процесс этот идёт как бы сам по себе и никаких специальных усилий не требует.

А вот чтобы собрать расползающееся знание, требуются специальные усилия, большие энергетические затраты и даже жертвы. Идея единого Бога (не главного, как Ра, Зевс, Один и т.д., а именно единого) прививалась долго и сложно. Новые Физики и Математики, пытающиеся включить в себя все, что было до них, интегрировать достигнутое в частности, тоже имели сложную историю становления.

По мнению автора, системная методология возникла как идея создать принципы и, по возможности, аппарат, которые бы разрешили эту противоречивость процесса познания:

**как можно расчленять, не разрушая целого,
как можно управлять процессом естественного
дифференцирования, сохраняя целое.**

Целостность объекта с точки зрения системной идеологии заключается в его внутренних и внешних связях, которые позволяют рассматривать его как некое сложное множество, допускающее принципиально различные членения, при условии, что объект по отношению к этим членениям не аддитивен.

И здесь мы упираемся в проблему параметров, в частности, аддитивных и не аддитивных. Напомним, что это такое:

1. Для аддитивных параметров, скажем a_i , выполняется условие

$$A = \sum a_i.$$

Это условие означает, что сумма свойств отдельных элементов объекта равна этому свойству всего объекта целиком (A). Например, один килограмм яблок (A) равен сумме масс отдельных яблок (a_i), из которых состоит ваша покупка. Вместо массы можно взять силовую характеристику – вес. Это не изменит ситуацию. А она заключается в том, что в вашем пакете массы отдельных яблок не взаимодействуют, точнее это взаимодействие на уровне наших ин-

тересов не фиксируется. Таким образом, пакет с яблоками, если рассматривать их вес или массу, не является для нас системой.

2. Для не аддитивных параметров, скажем b_i , выполняется другое условие

$$B \neq \sum b_i$$

Это условие означает, что свойство всего объекта (B) обязательно не равно сумме этих же свойств составляющих его частей (b_i). Если взять для примера тот же пакет с яблоками, то для него не аддитивным параметром может служить, предположим, температура. Пусть каждое яблоко имеет температуру, равную температуре окружающего воздуха, скажем 10°C . Ясно, что если в пакете 5 яблок, то температура всего пакета будет всё же 10°C , а не 50°C , как было бы при условии аддитивности. Почему так? Потому что на уровне температуры происходит взаимодействие яблок между собой и средой. Таким образом, по температуре этот же прежний пакет с яблоками будет для нас являться системой.

Именно через коммуникационные связи происходит функционирование объекта и его развитие, именно в них и состоит та целостность и системность, которую мы определили через взаимодействие. Определили – значит договорились, приняли как правило. А может быть так? Вы уже, конечно, поняли, что такой вопрос не является правильным. Наверное, грамотнее было бы спросить: «А только так можно»? Да нет, не только так. Можно и по-другому, но можно и так.

Иными словами, если мы хотим построить систему в современном её понимании, то чтобы рассчитывать на успех, следует в качестве составляющих элементов использовать свойства, сумма которых не равна свойству целого объекта.

Человек создает интеллектуальные образы реального мира: эмпирические наблюдения вызывают целую цепь уже известных нам понятий. Взаимное торможение и усиление рефлекторных связей, обусловленных ими, уничтожает основную массу второстепенных ассоциаций (информационный шум) и из основного понятия формирует один цельный конкретный образ. Этот образ всегда абстрактный и субъективный, так как основан лишь на избранной информации, т.е. на всех тех сведениях об объекте, которые полезны субъекту для решения поставленной задачи.

Системный подход – это методологический принцип, который предполагает стремление к раскрытию внутренней сущности объекта, но не даёт какого-то единственного формального аппарата для его изучения. В каждом конкретном случае средства формализации и решения могут существенно отличаться и зависеть от того, на чём акцентируется внимание исследователя. Однако системный подход выдвигает ряд общих требований:

- Чёткое определение границ объекта.
- Установление и анализ системообразующих связей и способов их функционирования.
- Выбор механизма, описывающего существование объекта, его развитие и воспроизводство.

Выполнение этих требований позволяет построить модель объекта, которая, будучи всегда теоретической схемой, как правило, в крайне абстрактной и условной форме отражает рассматриваемую действительность, способствуя её пониманию и давая возможность её предсказывать и контролировать. Воздержимся пока от самого понятия действительности, напомним только, что объективную реальность мы воспринимаем субъективно. Причём эта субъективность может быть либо «собственной» (от пращуров), либо привита посредством уже существующих знаний. Когда речь идёт о сложных природных объектах (а сложность из общих гносеологических принципов определяется поставленной задачей), то любое их интеллектуальное воспроизведение является только условной схемой, удовлетворяющей нас лишь до поры до времени.

Таким образом, два вопроса, которые поднимает притча о слепцах, по существу, являются сиамскими близнецами, и ответ на них сводится к тому, что наука воспроизводит природные объекты через различные модели, приближение которых к действительности можно считать тем лучше, чем выше их внутреннее совершенство и внешнее оправдание. Это означает, что объективная условность всякой модели, и системной в том числе, не освобождает её от внутренней логики, непротиворечивости, однозначности в построении, а также экспериментально доказанной параметрической однозначности.

**СИСТЕМЫ ПРИДУМЫВАЕТ ЧЕЛОВЕК.
ЧЕЛОВЕК НЕ МОЖЕТ ПРИДУМАТЬ ТОГО, ЧЕГО НЕТ.
ПРИДУМЫВАЕТ ЕГО ПАМЯТЬ**

Теперь поговорим о законах. Что такое законы вообще? Они существуют в природе сами по себе и человек их открывает? Или, может быть, человек их выдумывает, как и системы, полагая, что природа – это какой-то порядок, какая-то целесообразность, и потому он находит то, что ищет? Трудно не согласиться, например, с Р. Грегори, который, исследуя особенности восприятия и изображения окружающего нас мира, пришел к выводу, что

– мы не только верим тому, что видим, но до некоторой степени и видим то, во что верим.

Хочется только спросить: до какой степени? Насколько велика она – эта степень веры? Нетрудно понять, что наш вопрос затрагивает глубинные пласты в изучении взаимоотношений человека и природы.

Мы упираемся в понятия объективное и субъективное. И здесь нам следует высказать своё согласие с позицией Сатпрема*, считающего, что такое противопоставление – это ложное противопоставление, что субъективность – это более высокая и в то же время лишь

«подготовительная стадия объективности и наш блестящий двадцатый век в отношении психологии является веком каменным, ... что перед нами открываются горизонты совершенства, гармонии и красоты, в сравнении с которыми наши самые великолепные открытия подобны грубой заготовке подмастерья».

**Ум – это не орудие познания, а лишь
организатор знания.**

Знание приходит из другого источника (Сатпрем)

Из этого фундаментального положения следует парадоксальный, на первый взгляд, вывод, что вмешательство ума неизбежно приводит к ошибкам. Наверное, поэтому **история науки – это история наших заблуждений.**

* Сатпрем – автор книги «Шри Ауробиндо или путешествие сознания». Л., ЛГУ, 1989. Имя Сатпрем было дано автору Матерью, сотрудницей и продолжательницей дела Шри Ауробиндо, и означает «тот, кто умеет истинно любить». Шри Ауробиндо Гхоша – выдающийся индийский мыслитель и поэт, основоположник интегральной йоги (1872–1950 гг.), заложивший основы проникновения в тайны человеческого вида: «Человек – это переходное существо, его становление не закончено... Шаг от человека к сверхчеловеку станет новым свершением в земной эволюции. Это неизбежно, поскольку это одновременно и стремление внутреннего Духа и логика природного процесса».

Здесь уместно напомнить принцип неопределенности Гейзенберга, в соответствии с которым невозможно произвести наблюдение или измерение без воздействия на то, что наблюдается или измеряется. И если наш разум это лишь инструмент, организующий информацию, то принцип Гейзенберга в этой процедуре нельзя игнорировать.

Наш разум не может не исказить действительность.

Наш разум – величайший обманщик.

Этот Обманщик достаточно ловок. Незнание он умеет выдавать за знание, подменяя истину ложью, к которой мы быстро привыкаем. При этом такая ложь бывает откровенной. Вот пример.

Подземные воды, нефть, газ движутся в горных породах по порам и трещинам, формируя так называемый дискретный поток. Реальная структура такого потока нам неизвестна, мы не можем её измерить и геометрически построить. Но мы способны измерить общее сечение горных пород (пласта) (ω), в которых движется подземный поток как совокупность разрозненных струек. И можем измерить расход такого потока (Q), т.е. количество, например, воды, протекающее через сечение в единицу времени (см. рис. 1.6).

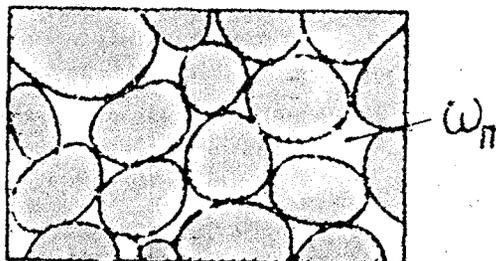


Рис. 1.6. Схема, поясняющая понятие фильтрационного потока.

ω_p – площадь пор, через которые движется вода. ω – общая площадь сечения (пор и минеральных зёрен вместе). $\omega_p < \omega$. Затенена площадь минеральных зёрен (водонепроницаемая часть).

Разделив расход (Q) на общее сечение, мы получим скорость некоего сплошного потока (V). Он называется фильтрационным потоком, а скорость V – скоростью фильтрации. Но такого потока в действительности нет, это фикция. Реальное дырчатое сечение мы заменили сплошным, реальный поток, состоящий из отдельных струек, мы тоже подменили сплошным потоком в выдуманной фильтрационной среде с выдуманным гидравлическим сопротивлением (K).

Французский гидравлик Анри Дарси более 150 лет назад экспериментально установил линейную связь между скоростью такого потока и градиентом напора ($\Delta H/\Delta X$, где ΔH – разница напоров на отрезке длиной ΔX):

$$V = K \cdot \Delta H / \Delta X$$

Эта формула получила название закона Дарси или закона фильтрации. И вся современная теория движения подземных вод, так или иначе, построена на этом законе, т.е. на понятии фиктивного несуществующего потока. Таким образом, законы фильтрации можно назвать фикцией, потрясающим блефом.

Но самое удивительное состоит в том, что этот блеф позволяет решать многие реальные задачи, что он хорошо согласуется, как принято говорить в физике, с результатами наблюдений, с экспериментом, хотя это согласие и не абсолютно, а имеет определенные рамки по величине скоростей.

Так что, как видим, наш великий Обманщик – Ум, наш Тартюф оказался действительно довольно ловким.

Таким образом, подводя итог нашему отношению к законам природы, можно сказать, что если

**УМ – ОРГАНИЗАТОР ИНФОРМАЦИИ, ТО
ЗАКОНЫ – НАИБОЛЕЕ ОБЩИЙ
ПРОДУКТ ЭТОЙ ОРГАНИЗАЦИИ.**

Все, что вы узнали в этой теме, поможет Вам правильно осознать и усвоить материал не только по курсу «Геофизика», но и по другим дисциплинам вашей будущей специальности.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Объясните смысл теоремы К. Геделя.
2. В чем заключается смысл квантовой парадигмы для курса «Геофизика»?
3. В чем отличие принципов униформизма и актуализма?
4. Разъясните смысл круговорота информации.
5. В чем заключается принцип фальсифицируемости для научных теорий?
6. Чем отличаются законы от догм? Что в них общего?
7. Сформулируйте и раскройте смысл основных требований к объективности моделей (по А. Эйнштейну).
8. Что такое логические истины?

ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Концептуальные основы геологии. Зап. ЛГИ, т.134. – Л.: ЛГИ, 1992. – 156 с.
2. Кун Т. Структура научных революций, 2-е изд. – М.: Прогресс, 1977. – 300с.
3. Сатпрем. Шри Ауробиндо или путешествие сознания. – Л.: ЛГУ, 1989. – 334 с.
4. Успенский В.А. Теорема Геделя о неполноте. М.: Наука, 1980. – 11 с.

Дополнительная

1. Вистелиус А.Б. Основы математической геологии. – Л.: Недра, 1988. – 389 с.
2. Манин Ю.И. Теорема Геделя // Природа, 1975, № 12.
3. Модели в географии. М.,1971. –380 с.
4. Павлов А.Н. Квантовые принципы развития Земли – новая парадигма геологии // Принципы развития и историзма в геологии и палеобиологии. – Новосибирск: Наука, 1990. – с.115–122.

Тема 2. ЗЕМЛЯ В СТРУКТУРЕ ВСЕЛЕННОЙ

Громадность, бесконечность
этих пространств совершенно
подавляет ум...

М.А. Антонович

2.1. Вселенная

На вопрос: «Что такое Вселенная?» – лучше всего промолчать. Но если этого сделать нельзя, можно ответить, что Вселенная – это всё. Хотя это тоже не ответ, поскольку он вызывает целую цепочку вопросов: о размерах Вселенной, об актуальности или потенциальности входящих в нее миров *, её возрасте, пространстве, структуре и т.д.

Чтобы с чего-то начать, обратимся к Большой Советской Энциклопедии:

«Вселенная, весь мир, безграничный во времени и пространстве и бесконечно разнообразный по тем формам, которые принимает материя в процессе своего развития. Вселенная существует объективно, независимо от сознания человека, её познающего. Вселенная содержит гигантское множество небесных тел, многие из которых по размерам превосходят Землю иногда во много миллионов раз» (том 5. М., 1971, с.1315). По этому канонизированному определению Вселенная актуально бесконечна, т.е. не имеет начала. Материальные тела, составляющие её, помещены в безграничное пространство, материальность которого не обсуждается. Здесь важно отметить одно решающее обстоятельство: наши представления о Вселенной и её структуре – это экстраполированная Вселенная. Она отождествляется с доступной для изучения Метагалактикой. Метагалактика – понятие на сегодня недостаточно сложившееся.

* Актуальная бесконечность не имеет начала. Если Вселенная существовала всегда, то ее возраст в любой зафиксированный момент актуально бесконечен. Если у Вселенной было начало, то в любой фиксированный момент ее возраст конечен. Но если она будет существовать вечно, то общий ее возраст потенциально бесконечен, так как, продолжая увеличиваться, он всегда превзойдет любое наперед заданное число. Вопрос о потенциальности и актуальной бесконечности обсуждается еще с Аристотеля. Он и поныне представляет собой острую проблему и математики и естествознания.

По существу, это весь инструментально обозримый для человека космос. Понятие об актуальной бесконечности Метагалактики во времени и пространстве является вынужденным постулатом.

Современные оценки возраста Метагалактики дают цифры приблизительно в 15–18 млрд. лет. Откуда взялась эти цифры? Как к ним относиться, какие физические процессы стоят за ними? Перед тем как говорить об этом, приведём несколько характеристик Вселенной (точнее Метагалактики, выдаваемой за нее).

На современном этапе эволюции Вселенной её вещество сосредоточено главным образом в звёздах, которые, однако, занимают лишь около 10^{-25} всего объема Вселенной (без учёта ядер галактик). Проблема образования звёзд из конденсирующейся межзвездной среды ещё не решена. Постоянно идущий при излучении процесс превращения водорода в более тяжёлые элементы, в основном в гелий, как будто подчёркивает необратимый характер развития Вселенной.

Для астрономов XVIII-XIX веков межзвёздная среда была ничем иным, как абсолютно пустым пространством. Но в начале XX века немецкий астроном Гартман доказал, что оно заполнено газом, хотя и очень разреженным. Современные достижения внеатмосферной астрономии позволили получить довольно полное представление о плотности и составе межзвёздного газа, правда, для сравнительно близких к нам областей космоса. Распределён газ неравномерно. Области с повышенной плотностью (в десятки раз выше средней) получили название облаков, есть и очень разреженные участки. Кроме того, наблюдаются и глобальные закономерности изменения средней его плотности. Около плоскости нашей Галактики она достигает $(5-8) \cdot 10^{-25}$ г/см³ и быстро уменьшается в направлении к периферии. Несмотря на столь низкую плотность газа, межзвездная среда не считается вакуумом.

Говорить о вакууме мы можем лишь тогда, когда длина свободного пробега частиц больше размера объема, в котором они находятся. Средняя плотность $(5-8) \cdot 10^{-25}$ г/см³ относится к слою толщиной около 200 пк (парсек)* и длина свободного пробега в нем оценивается величиной приблизительно 10^{15} см ($3 \cdot 10^{-4}$ пк). Эти ус-

* Парсек (пк) – единица длины в астрономии. Термин произошел от сокращения двух слов: параллакс и секунда (см. рис 2.1). $1 \text{ пк} = \alpha / \sin \text{ПК}$. $1'' = 206265\alpha = 3,08 \cdot 10^{16}$ м. Световой луч проходит этот путь за 3,26 года. Поэтому 1 пк равен 3,26 световым годам. 1 кпк. (килопарсек) = 10^3 пк, 1 Мпк (мегапарсек) = 10^6 пк.

ловия не соответствуют вакууму, и межзвездный газ рассматривается как сжимаемая среда, континуум, к которому полностью применимы законы газовой динамики. По ней могут передаваться волны, она охвачена сложным турбулентным движением, по ней идёт «зыбь» и т.д.

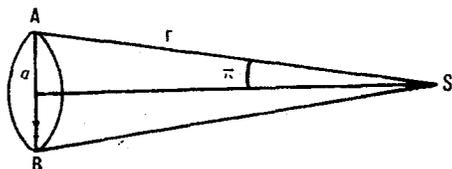


Рис. 2.1. К понятию «парсек».

a – радиус земной орбиты $\cong 149,6 \cdot 10^6$ км, называется астрономической единицей; π – угол, равный половине годового смещения видимого с Земли положения наблюдаемой звезды, называется параллаксом; r – расстояние от Земли до звезды; А, В – положение Земли в моменты наблюдения с нее звезды S.

Преобладающими элементами межзвездного газа являются водород и гелий, что напоминает химический состав атмосферы Солнца и звёзд. Однако сегодня обнаружены и существенные отличия, в основном по содержанию магния, марганца, хлора, соединений углерода и др. Химические элементы в межзвездном газе присутствуют главным образом в виде атомов и ионов. Но есть и молекулы, хотя обычно в ничтожно малом количестве, примерно 10^{-7} от содержания атомов водорода. Среди них обнаружены и соединения углерода – CH , CH^+ , CN , а также молекулы водорода, доля которых от атома водорода меняется в широком диапазоне (от нескольких десятков до 10^{-7} и меньше).

Помимо газа межзвёздная среда содержит так называемую межзвёздную пыль. Распределена она в межзвёздном пространстве также крайне неравномерно. Это твёрдые микроскопические частицы размером менее 1 мкм. Представлены они графитом, силикатами, загрязненными льдинками и другими веществами, имеют вытянутую форму и более или менее ориентированы в одном направлении в очень слабом магнитном поле. Температура межзвёздной среды очень низка и составляет всего несколько градусов по Кельвину.

Однако межзвёздная среда это ещё не всё «пустое» пространство Вселенной. Значительно большая его часть приходится на межгалактическую среду. Средняя плотность всей Вселенной с учётом

невидимых корон галактик оценивается величиной 10^{-26} г/см³, т.е. более чем на порядок ниже средней плотности межзвёздной среды. В литературе приводятся и другие цифры, например, 10^{-29} г/см³.

По современным оценкам эта среда прозрачна настолько, что практически не ослабляет блеска разбросанных в ней галактик. Для этого плотность вещества в ней не должна превосходить 10^{-31} – 10^{-32} г/см³.

До появления общей теории относительности (ОТО) представление о Вселенной, как о некотором целостном объекте, сводилось к стационарной картине. В соответствии с ней Вселенная была вечна и неизменна. Любые происходящие в ней события носили локальный и частный характер и не приводили к каким-либо общим изменениям. Речь шла о Вселенной, как о скоплении актуальных миров, не имеющих ни начала, ни конца. Эта была сфера с центром, находящимся везде, и поверхностью – нигде.

Но вот в 1922–1924 гг. выдающийся советский ученый А.А. Фридман построил модель, описывающую геометрию и поведение вещества Вселенной в целом. Оказалось, что в соответствии с этой моделью Вселенная является нестационарной системой: она может либо сжиматься, либо расширяться. Этому теоретическому выводу поверили не сразу, даже А. Эйнштейн.

Через пять лет, в 1929 г., американский астроном Э. Хаббл обнаружил, что линии спектров почти всех наблюдаемых им галактик (кроме самых близких к нам) смещены в красную сторону. Он объяснил это явление эффектом Доплера.

Напомним его суть. Если некоторый объект посылает световой сигнал со скоростью C и длиной волны λ и сам при этом остаётся неподвижным относительно наблюдателя или перемещается со скоростью $V \ll C$, то наблюдаемая длина волны будет равна действительной волне. Но если объект и наблюдатель, скажем, разбегаются с относительной скоростью V , достаточно высокой, то наблюдатель измерит искажённую длину волны, увеличенную на $\Delta\lambda$, что сместит весь световой спектр объекта в длинноволновую, красную, сторону.

Обозначим расстояние между наблюдателем и объектом в момент подачи объектом сигнала как $L_0 = Ct$. Сигнал передаётся со скоростью C и через время Δt достигает наблюдателя. Расстояние, возникшее между объектом и наблюдателем к моменту принятия

сигнала, обозначим через $(L_0 + \Delta L)$. Понимая, что $\Delta L = V \Delta t$, $n = L_0/\lambda = (L_0 + \Delta L)/(\lambda + \Delta\lambda)$, где n – количество волн между объектом и наблюдателем, легко получим выражение:

$$(L_0 + \Delta L)/L_0 = (\lambda + \Delta\lambda) / \lambda,$$

а из него

$$V/C = \Delta\lambda/\lambda \quad (2.1)$$

Другого разумного и простого объяснения наблюдаемому красному смещению найдено не было, хотя наряду с эффектом Доплера обсуждались и другие варианты. Исследование Хабблом открытого им явления показало, что отношение $\Delta\lambda/\lambda$, определяемое по спектру галактики, увеличивается до нее прямо пропорционально расстоянию r . Поскольку $C = \text{const}$, становится возможной запись:

$$C(\Delta\lambda/\lambda) = H r, \quad (2.2)$$

где H – коэффициент пропорциональности, называемый постоянной Хаббла.

Это выражение рассматривается в астрономии как закон, многократно проверенный наблюдениями. Но получаемая из него и выражения (2.1.1) формула:

$$V = H r \quad (2.3)$$

верна только **при допущении**, что природа красного смещения связана **именно с эффектом Доплера**. Она останется верной, если красному смещению не будет найдено другого объяснения.* Чувствуете разницу между **измерением** и **объяснением** того, что измерено.

Из (2.3) следует поразительный результат: *чем дальше от нас расположена галактика, тем быстрее она удаляется*. С момента открытия Хаббла значение постоянной H неоднократно менялось. В настоящее время различные специалисты используют различные значения H , чаще всего $55 \text{ км}/(\text{с} \cdot \text{Мпк})$ и $75 \text{ км}/(\text{с} \cdot \text{Мпк})$. Они означают, что на каждый мегапарсек (Мпк) скорость удаления галактики возрастает соответственно на 55 и $75 \text{ км}/\text{с}$.

* Прямо пропорциональная связь эмпирически наблюдалась Хабблом между $\Delta\lambda/\lambda$ и r . Появление в выражении (2.2.) величины C – это уже интерпретация факта смещения спектра ($\Delta\lambda/\lambda$) как эффекта Доплера.

Из принятия закона Хаббла последовал вывод о том, что причиной разбегания галактик мог явиться «Большой взрыв», положивший начало современной Вселенной, возникшей из некоторого сравнительно малого первоначального объема. Коэффициент Хаббла является одной из основных мировых констант – он характеризует скорость расширения мирового пространства. Оно расширяется изотропно, и закон Хаббла верен при наблюдениях из любой точки Вселенной. Из постоянной Хаббла следует и возраст такой Вселенной. Если на каждый мегапарсек ($3,08 \cdot 10^{19}$ км) скорость разбегания составляет 55 км/с, то для этого потребуется времени

$$t = 3,08 \cdot 10^{19} / 55 = 5,6 \cdot 10^{17} \text{ с} = 17 \cdot 10^9 \text{ лет (17 млрд. лет).}$$

Нетрудно увидеть, что вычисляемый возраст Вселенной «зависит» от значения постоянной Хаббла. Её увеличение этот возраст уменьшает. (Первое значение постоянной Хаббла было $H = 540$ км/(с·Мпк) и соответственно возраст Вселенной оценивался Хабблом в 2,5 млрд. лет.)

В 1963 г. в космосе были открыты новые чрезвычайно мощные источники излучения – **квazarы** (*Quasar* – сокращенное от англ. *quasi star* – как будто бы звезда). Они фиксировались радио-, инфракрасными, ультрафиолетовыми, рентгеновскими и оптическими телескопами. Для этих источников характерны огромные красные смещения. Это, с одной стороны, ещё раз подтверждало явление расширения Вселенной, а с другой – позволяло как бы заглянуть в её прошлое, поскольку расстояние, например, до самого далёкого квазара в 17 млрд. световых лет (приблизительно $5 \cdot 10^3$ Мпк). Информация, получаемая из знаний спектра излучения квазаров, относится к очень раннему периоду жизни Вселенной. При условии $H = 55$ км/(с·Мпк) скорость удаления такого квазара близка к скорости света (около 275 тыс. км/с). И это при массе, превышающей солнечную во много миллиардов раз.

В 1965 г. специалисты из лаборатории «Белл телефон компани», Роберт У. Вильсон и Арно А. Пензиас, экспериментируя с новой антенной для приёма сигналов от спутников связи, обнаружили слабое радионизлучение, идущее из всех областей неба с одинаковой интенсивностью. В это же время в Принстоне группа астрономов во главе с Р.Г. Дикке работала над проблемами «Большого взрыва», как горячего начала Вселенной – идеи, выдвинутой в 40-х годах

американским физиком Г. Гамовым. Принстонская группа применила важный и простой термодинамический закон:

если что-нибудь (вроде газа) расширяется, то его температура обязательно падает.

В соответствии с этим законом расширение Вселенной при «горячем её начале» должно было сопровождаться снижением температуры. По их оценкам через два часа после «Большого взрыва» температура Вселенной должна была составлять 10^8 К, через 100 лет — $<10^6$ К, а спустя 18 млрд. лет, т.е. сегодня, около 3 К.

Объекты с такой температурой должны испускать радиоволны с λ от 1 мм до 100 см. Антенна компании «Белл телефон» была настроена на длину волны 7,53 см. После многочисленных экспериментов и наблюдений всё это привело специалистов к мнению, что зафиксированный антенной «Белл» **всюдный** радиосум является реликтовым, что это фоновое излучение Вселенной после «Большого взрыва». Самой удивительной его особенностью является изотропия.

Изотропия движения (в данном случае радиоволн) означает изотропию самого пространства, а следовательно, и его однородность. Таким образом, гипотетическая основа фридмановской модели Вселенной о её максимальной пространственной симметрии подтверждается как изотропией постоянной Хаббла (с погрешностью 20–30 %), так и реликтовым излучением (с погрешностью до десятых и даже сотых долей процента).

Несмотря на то что физика изотропии мира еще не ясна, на реликтовое излучение всё чаще и чаще начинают смотреть, как на новый мировой эфир, т.е. как на идеальную и всюдную систему отсчёта. Этому эфиру нет необходимости приписывать какие-то специальные свойства, он не отменяет относительности движения и покоя — это хорошо известные, но равномерно распространяющиеся электромагнитные волны, *представляющие собой самостоятельный вид материи.*

Напомним, что в рамках классической физики электромагнитные волны отождествлялись с колебаниями какой-то среды (эфира), по аналогии с колебаниями воздуха, вызываемыми звуковыми импульсами. Теперь же, когда отказ от «классического эфира» привёл к пониманию того, что электромагнитное поле — это новый самостоятельный вид материи, оказалось, что этот вид материи во Вселенной может выполнять роль эфира для всех остальных форм движения.

Относительно этого нового эфира оцениваются направления и скорости движения различных объектов Вселенной. Открытие реликтового излучения представляет собой событие огромной важности, которое по своим последствиям может быть приравнено к открытию Хабблом красного смещения в спектрах галактик.

В заключение можно сказать, что в настоящее время наиболее разработанные и доказательные представления об устройстве Вселенной основаны на идее ее нестационарности. Современная Вселенная имела начало и возникла около $18 \cdot 10^9$ лет назад, возможно, в результате «Большого взрыва». Процесс ее расширения продолжается и сейчас.

2.2. Звезды, галактики, сверхсистема галактик

Выше уже отмечалось, что в современной Вселенной основное вещество сосредоточено в звездах. Понятие «звезда» не имеет определения. Оно каждому известно с детства. Для этого достаточно взглянуть на ночное небо. Может быть поэтому один из крупнейших советских астрономов И.С. Шкловский эпиграфом к своей книге о звёздах поставил слова А.С. Эдингтона:

« ... ничего нет более простого, чем звезда... » .

В отличие от планет звёзды всегда фиксировались как яркие светящиеся на небе точки, неподвижные одна относительно другой, точки как бы вмёрзшие в небесный свод. Сейчас, благодаря достижениям науки, мы знаем, что это иллюзия и звёзды тоже движутся в пространстве, но из-за их колоссальной удаленности видимые перемещения ничтожны.

Исследования спектров звёзд, выполненные астрономами еще в XIX веке, показали, что они состоят из газа, имеющего высокую температуру. И сегодня в уже упомянутой работе И.С. Шкловского мы можем прочитать:

«Звезда – газовый шар, находящийся в состоянии равновесия ... , подавляющее большинство звёзд не меняет своих свойств в течение огромных промежутков времени».

Но всё же звёзды, как и люди, рождаются, живут и умирают. Их жизненный цикл ещё во многом не ясен, и мы не ставим целью обсуждать его. Информацию по этому вопросу можно найти в книгах С. Данлопа, Р. Киппенхана, Т. Агеяна, А. Чернина, И. Шкловского и др. (см. список литературы).

Звезда появляется как сгусток сжимающегося под действием гравитационных сил вещества Вселенной. Интенсивное сжатие приводит к разогреву, в результате чего возникает внутреннее давление. Увеличение этого давления постепенно останавливает процесс сжатия. Но за этот период температура и плотность в звездном сгустке достигают таких значений, которые вызывают термоядерные реакции. Сгусток «зажигает» сам себя. Эти реакции поддерживают в нем очень высокие температуру и давление и формируют тот газовый шар (находящийся в равновесии по этим параметрам), который и называют звездой. Внутренняя энергия звезды в основном вырабатывается в результате реакции превращения ядер водорода в ядра гелия. После исчерпания водородного топлива центральная часть звезды сжимается. Это приводит к новому повышению температуры. Внутренняя структура звезды существенно перестраивается. Звезда разбухает, хотя ядро продолжает сжиматься. Внешние слои при этом могут даже отделиться с образованием газовой туманности.

В конце концов наступает момент, когда ядерное горючее кончается. Звезда начинает остывать. Внутреннее давление в ней падает, и ядро испытывает очень быстрое сжатие, что может привести к одному из трех состояний:

- появлению белого карлика,
- нейтронной звезды или
- черной дыры.

Это конечные продукты эволюции звёзд.

Белые карлики. Современной астрономии они хорошо известны. Их размеры соответствуют размерам Земли, масса ядер не превышает $1,4 m_{\odot}$ (m_{\odot} – масса Солнца, равная $1,98 \cdot 10^{30}$ кг). В астрономии эта величина используется как единица массы звезд при средней плотности примерно до 10^9 кг/м³.

Нейтронные звёзды. Масса их ядер от $1,4$ до $2 m_{\odot}$ [или $3 m_{\odot}$] (более точной оценки специалисты пока дать не могут). Они сжимаются сильнее, чем у белых карликов, сжатие останавливается при плотности примерно 10^{18} кг/м³, что отвечает плотности атомных ядер. Диаметр таких звезд составляет около 20–30 км.

При таких плотностях происходит так называемая нейтронизация – электроны, «вдавливаясь» в ядро и сливаясь с протонами, да-

ют нейтрон. Такие ядра неустойчивы и разваливаются. Предполагают, что в отличие от обычных звезд и белых карликов нейтронные звезды представляют собой не газовый, а жидкий шар, обладающий сверхтекучестью. Причем нейтронная жидкость ограничена железной сферой как кристаллической корой. Процесс очень сильного и быстрого сжатия приводит к мощному разогреву таких звезд и, как следствие, к колоссальному увеличению светимости — до 10^{10} светимости Солнца.* Такая вспышка длится недолго (несколько недель). Затем светимость резко падает, и звезда постепенно становится невидимой. Вещество бывшей звезды, обогащенное тяжелыми элементами, рассеивается под действием сил тяготения в средней плоскости галактики.

Из этих остатков звезды могут возникать новые звезды. Они будут содержать больше тяжелых элементов, чем звезды старые. Наблюдения за составом звезд этот вывод подтверждают.

Черные дыры. Теория показывает, что если масса ядра при рождении звезды превышает $3m_{\odot}$, то ничто не может препятствовать его сжатию. Наступает так называемый гравитационный коллапс, приводящий к возникновению ядра неограниченно малых размеров и неограниченно высокой плотности. При этом силы тяготения возрастают настолько, что даже свет поглощается возникшей черной дырой. *Черные дыры пока не обнаружены. Это лишь гипотетический феномен.* Однако кандидаты в черные дыры уже намечены. Это двойные звезды в созвездии Лебеда и Большого Магелланова Облака. В этих двойных звездах — одна невидимая. Если бы масса невидимого компаньона была больше массы видимой звезды, то компаньон должен был бы быть виден тоже. Но если он все же не виден и его масса больше $3m_{\odot}$, то эта необычная звезда может быть черной дырой.

Общее число звёзд в видимой части Вселенной оценивается величиной 10^{20} . Чаще всего — это звёзды, уступающие по массе и светимости Солнцу, но по устройству напоминающие его. Яркие звёзды-гиганты встречаются редко, белые карлики составляют около одного процента, нейтронные звезды — около 0,01 %, чёрных дыр, по-видимому, тоже не должно быть больше 0,1 %.

* Светимостью называют количество световой энергии, излучаемой звездой в единицу времени.

Правда, в начале 70-х годов XX в. С. Хоукинг (США) теоретически обосновал возможность появления во Вселенной и частично-го сохранения до наших дней так называемых первичных чёрных дыр – продукта «Большого взрыва». Высказывается даже предположение, что фоновое излучение вызывается испарением этих дыр и возможный верхний предел их числа оценивается величиной 300 первичных чёрных дыр на один кубический световой год (если все дыры находятся внутри галактик).

Галактики – это гигантские звездные скопления. Их существование стало известно во второй половине XVIII в., благодаря исследованиям английского астронома В. Гершеля, впервые выделившего на небосводе большой круг, при приближении к которому с любой стороны число звезд возрастает и достигает максимума на самом круге. Речь шла о нашей Галактике. Однако это предположение подтвердилось лишь тогда, когда были обнаружены космические объекты, находящиеся за пределами Галактики.

К пониманию того факта, что во Вселенной наша Галактика не является единственной звездной системой, что таких систем много и что при их принципиальном сходстве существует огромное количество различий, астрономия шла медленным и трудным путем. По аналогии с галактиками, сходными с нашей по звёздному составу, наша звёздная система в плане должна иметь спиралеобразную форму.

В 1953 г. французский астроном Вокулер открыл сверхсистему галактик, обнаружив, что существует некий большой круг, перпендикулярный галактическому экватору, в направлении к которому концентрация ярких галактик возрастает. Слабые галактики такую закономерность не проявляют. Таким образом, не все галактики входят в сверхсистему и потому сверхсистема – это не Метагалактика.

Тем не менее сверхсистема представляет собой очень важный элемент структуры Вселенной. Число галактик, формирующих её, исчисляется многими десятками тысяч и может быть даже достигает сотни тысяч. Сверхсистема сильно сжата, примерно 1 : 5, в направлении, нормальном к её плоскости, что указывает на её вращение. Здесь важно отметить, что обычных скоплений галактик с заметным сжатием не наблюдается. Центр сверхсистемы находится в созвездии Девы, которое рассматривается как ядро. Диаметр этого диска оценивается в 30 Мпк. Наша Галактика находится ближе к его краю и отстоит от него на (2 – 4) Мпк.

Развитие представлений о сверхсистеме привело Вокулера к предположению, что слабые галактики, не входящие в неё, формируют свою соседнюю сверхсистему.

Созвездие Девы, рассматриваемое Вокулером как центр сверхсистемы ярких галактик, относительно недавно привлекло внимание астрономов в связи с эффектом так называемой «гравитационной линзы». Этот эффект был предсказан еще А.Эйнштейном. Он состоит в том, что мощные гравитационные поля могут настолько сильно изменять направление светового луча, что создают некий мираж – двойное или даже многократное изображение одного объекта. Впервые это явление было зафиксировано в 1979 г. Позже число таких «гравитационных линз» увеличилось еще на пять. А в марте 1986 г. вблизи созвездия Девы с помощью четырехметрового оптического телескопа астрономы Принстонского университета обнаружили присутствие совершенно гигантской невидимой массы, гравитация которой равна гравитации тысячи больших галактик. Свидетельством образования такого нового объекта является двойное изображение очень далекого квазара, находящегося на самом краю Метагалактики. Угловое расстояние между этими изображениями около 2,5 минут, что почти в 30 раз больше, чем гравитационный эффект во всех ранее наблюдаемых случаях (рис.2.2). Специалисты считают, что это открытие может перевернуть все наши представления о Вселенной.

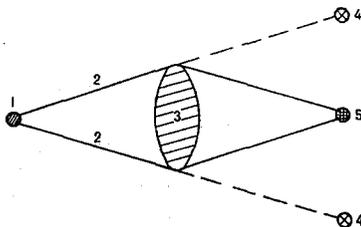


Рис. 2.2. Иллюстрация эффекта «гравитационной линзы».

1 – Земля; 2 – траектория световых лучей; 3 – «гравитационная линза»;
4 – кажущееся положения квазара; 5 – действительное положение квазара.

В заключение напрашивается вывод, что структура Вселенной представлена комбинациями разного рода групп. Звезды образуют многочисленные коллективные члены, входящие в состав галактик, и формируют звездные скопления. Галактики объединены в сверхсистемы. Из них построена Метагалактика. Если окажется, что Ме-

тагалактика не единственная, то она будет какое-то время рассматриваться как наиболее крупная структурная ячейка Вселенной.

Не исключено, что одно из фундаментальных свойств природы – это свойство формировать группы из объектов близкого масштаба с определенным родственным набором качеств. Если это так, то подобного типа структуризацию вещества мы увидим и на таком небольшом космическом теле, как Земля.

2.3. Строение нашей Галактики

Наша Галактика представляет собой типичную звездную систему с массой около 10^{12} масс Солнца. Она находится в состоянии квазидинамического равновесия. Ее эволюционная устойчивость поддерживается процессами перемешивания звезд при их движении в общем гравитационном поле системы.

Галактика напоминает сильно сжатый диск, имеющий экваториальную плоскость симметрии и ось симметрии, проходящую через ее центр нормально к плоскости. Четкой резко очерченной границы у Галактики нет. В известной мере она условна и её поведение, а значит и размеры, зависят от принимаемых условий. Представление о нашей Галактике может дать рис. 2.3.

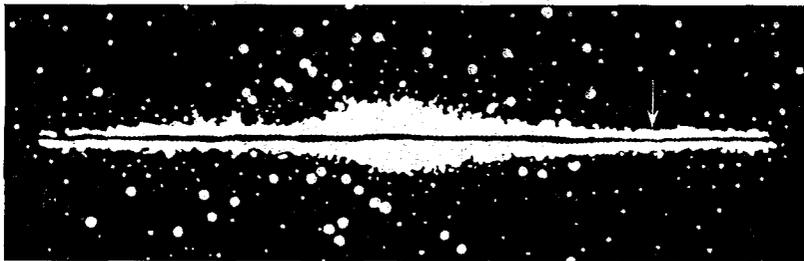


Рис. 2.3. Современные представления о галактической системе. Галактика показана с ребра; черная полоса соответствует галактической плоскости; стрелкой показано положение Солнца (по Лукасу Плауту)

Наибольшая звездная плотность (число звезд на 1 пк^3) приходится на центральные области Галактики. Здесь она достигает нескольких единиц. Если границу проводить по плотности $1 \cdot 10^{-3}$ звезд/ пк^3 , то диаметр Галактики составит около 30 кпк, а толщина – 2,5 кпк. Солнце находится почти точно на плоскости симметрии и отстоит от центра приблизительно на 10 кпк, т.е. на расстоянии

около $2/3$ радиуса Галактики. Число звезд в нашей Галактике оценивается примерно в 10^{11} (100 млрд. самых разных «солнц»).

Галактика имеет сложную внутреннюю структуру. В ней существуют различного рода коллективные члены, например, двойные звезды, рассеянные звездные скопления, содержащие от нескольких десятков до нескольких сот и даже до 2000 звёзд (см. рис.2.4).

Очень крупными коллективными членами Галактики являются шаровые звёздные скопления, объединяющие сотни тысяч, иногда миллионы звезд. Совокупность этих скоплений образует что-то наподобие сферической системы, которая проникает в Галактику и окружает её. Сами шаровые скопления располагаются симметрично по отношению к центру Галактики.

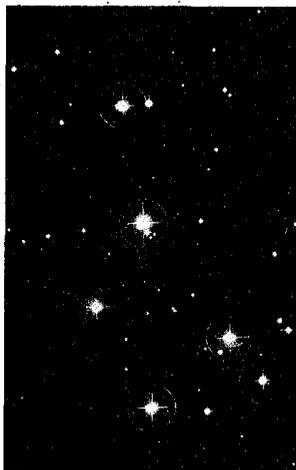


Рис. 2.4. Скопление Плеяды (семь звезд).

Светлые круги вокруг звёзд обусловлены несовершенством фотографической системы. Кроме ярких звезд, видимых невооруженным глазом, к этому скоплению относятся более 100 звезд (из книги Киппенхана, см. список литературы).

К коллективным членам относятся ещё звёздные ассоциации, открытые советским академиком В.А. Амбарцумяном. Это гнёзда звёзд-гигантов, состоящие из двух – трех десятков таких звёзд. Эти ассоциации занимают огромные объемы – в несколько десятков и сотен парсек. В них включены и звезды-карлики и звезды средней светимости, но именно гиганты составляют суть этих коллективных членов.

Эволюция галактик стимулирует процессы разрушения старых звезд в области их ядра, где плотность звезд наиболее высока. Газо-пылевые структуры этого разрушения накапливаются в центре и образуют быстро вращающийся ядерный диск. Когда накопившееся в диске вещество перестает удерживаться гравитационным полем ядра, оно отрывается от диска и распространяется в галактике. С этого момента у галактик формируется выделенная плоскость, и они из эллиптических звездных систем преобразуются в спиральные.

Истечение газа и пыли из ядер галактик происходит в отдельных точках, число которых не превышает четырех. Выброшенное вещество образует систему струйных потоков, которые вращением диска закручиваются в **спирали Архимеда**.

Выброс вещества из ядра нашей Галактики начался более 5 млрд. лет назад. В настоящее время газопылевая материя непрерывно истекает из двух, вероятно, диаметральных точек ядерного диска. Темп истечения этого вещества на протяжении последних 3,6 млрд. лет в среднем составлял около 8,8 масс Солнца в год.

Наряду со струйными потоками, закрученными в спираль архимедова типа, у галактик имеется еще одна система ветвей, отвечающая уравнению **логарифмических спиралей**. Эти спиральные ветви обязаны своим существованием галактическому электромагнитному полю.

Наша Галактика обладает четырьмя такими ветвями. Они наклонены к плоскости струйных потоков архимедова типа под углом около 20° , одинаково закручены и берут начало из четырех диаметрально противоположных точек центрального кольца.

Выброшенное из центра Галактики вещество близко по составу к солнечному. Двумя расходящимися веерообразными потоками оно распространяется в галактической плоскости, где конденсируется в газопылевые облака, кометы и звезды. Процессы газоконденсации и звездообразования наиболее интенсивно протекают в местах пересечения струйных потоков с логарифмическими спиральями. Это происходит благодаря электромагнитному полю, которое частично задерживает и увлекает за собой ионизированный газ и пылевые частицы струйных потоков. Такие места являются в спиральных галактиках основными областями звездообразования.

При вращении Галактики области звездообразования меняют свое положение, перемещаясь по спиральным ветвям.

Рождающиеся в местах звездообразования объекты ведут себя по-разному. Те, которые возникают главным образом из вещества галактических струй, продолжают свое движение в радиальном направлении и за время приблизительно 10^8 лет покидают видимые пределы Галактики. Другие образуются в основном из газа и пыли, которые накоплены в логарифмических спиральных. Они наследуют тангенциальную скорость вещества этих ветвей и после конденсации остаются в Галактике, со временем приобретая самостоятельные орбиты. К таким объектам относится и наше Солнце.

2.4. Солнечная система

Когда речь идет о Солнечной системе, то имеется в виду Солнце и все, что находится в поле его тяготения. К наиболее крупным телам этой системы относят 9 планет, 34 их спутника, многочисленные кометы и астероиды. Все планеты вращаются вокруг Солнца в одном направлении и, кроме Меркурия и Плутона, по орбитам, близким к круговым. При этом плоскости их орбит практически совпадают (с точностью до нескольких градусов). Достаточно тонкие измерения показывают, что орбиты планет фактически являются эллипсами. Орбиты Меркурия и Плутона имеют более выраженную, чем у остальных планет, эллиптическую форму и к средней плоскости других орбит заметно наклонены. Большинство планет вращается вокруг своих осей в направлении, совпадающем с их движением вокруг Солнца. Исключениями являются Венера и Уран. Венера вращается в противоположную сторону, а ось вращения Урана почти лежит в плоскости его орбиты. Основная информация по Солнечной системе дается в табл.2.1.

Приведенные в таблице цифры не являются константами, а лишь характеризуют с определенной точностью закономерно построенный, но **вечно меняющийся мир**. Количественная же оценка этой изменчивости чрезвычайно сложна не только в техническом, но и в теоретическом отношении. Например, скорость современного удаления Луны от Земли, равную 3,8 см/год, удалось измерить только с помощью лазерной локации, анализ же наблюдений по затмениям за исторический период даёт цифру 4 см/год. Прогноз этой величины в будущее и реконструкция в прошлое уже, как вы догадались, опирается на ряд теоретических допущений и во многом зависит от того, какие взгляды положены в основу представлений о происхождении Луны, её возраста и т.д.

Таблица 2.1

Общая характеристика Солнечной системы

Солнце Планеты Луна	Средний радиус, км	Среднее расстояние от Солнца	Период обращения по орбите, млн.км	Число спутников	Масса, кг
Солнце	695000	–	275млн. лет	9 планет	1,98.10 ³⁰
Внутренняя группа планет					
Меркурий	2440	57,9	88 сут	0	3,28.10 ²³
Венера	6129	108,2	224,7 сут	0	4,83.10 ²⁴
Земля	6378	149,6	365,26 сут	1	5,98.10 ²⁴
Марс	3387	227,9	687 сут	2	6,37.10 ²³
Внешняя группа планет					
Юпитер	71400	778,3	11,86 лет	13	1,90.10 ²⁷
Сатурн	60000	1427	29,46 лет	11	5,67.10 ²⁶
Уран	25900	2870	84,01 лет	5(15) ¹	8,80 .10 ²⁵
Нептун	24750	4497	164,8 лет	2	1,03.10 ²⁶
Плутон	2900	5900	247,7 лет	0	6.10 ²³
Луна	1740	–	29,5 сут	–	7,34.10 ²²

¹ В 1986 г космической станцией «Вояджер-2» помимо известных 5 было обнаружено еще 10 мелких спутников.

Таким образом, Солнечная система в своих параметрах подвижна, однако общие закономерности в ее структуре и функционировании все же прослеживаются довольно четко. И здесь уместно подчеркнуть принципиальную особенность раскрытия тайн мироздания. Классики науки сознательно идеализировали мир и поэтому находили его фундаментальные законы. Они избавлялись от частностей, а иногда просто их не знали, и потому видели лишь главное. По современной терминологии они строили фундаментальные модели мировых явлений и процессов. Природе они подыскивали идеальные аналоги. Сегодня известно, что чем сложнее реальная система, тем серьезнее она упрощается в моделях. Эту особенность познания ярко изобразил один из крупнейших советских физиков Я. И. Френкель (1894–1952), который писал, что исследователь

«...подобен художнику-карикатуристу... Хорошая теория сложных систем должна представлять лишь хорошую «карикатуру» на эти системы, утрирующую те свойства их, которые являются наиболее типическими, и умышленно игнорирующую все остальные – несущественные свойства».

Таким образом, гениальность классиков науки заключалась в их умении выделять в сложных природных явлениях наиболее характерные черты.

Теперь можно назвать основные законы строения и функционирования Солнечной системы, и после сделанных замечаний вы их правильно поймете.

Все они получены на эмпирическом материале и, по существу, являются индуктивными правилами. Первое такое правило позволяет увидеть некоторый порядок, своего рода систематику в расположении планет, т. е. описывает пространственную структуру Солнечной системы. В литературе оно известно как правило Титуса–Боде (иногда Тициуса–Боде) или как закон Боде.

$$r = 0,4 + 0,3 \cdot 2^n, \quad (2.4.1)$$

где r – расстояние планет от Солнца, а.е. (астрономическая единица, равная расстоянию от Земли до Луны – $1,49598 \cdot 10^{11}$ м). Показатель степени n для каждой планеты имеет свое значение:

Планета	n
Меркурий	$-\infty$
Венера	0
Земля	1
Марс	2
Юпитер	4
Сатурн	5
Уран	6
Плутон	7

Нетрудно видеть, что у правила Титуса–Боде есть некоторые исключения:

- $n = 3$ не дает планеты, хотя на определяемом им расстоянии $r = 0,4 + 0,3 \cdot 2^3 = 2,8$ обнаружен пояс астероидов, представляющих собой частицы и тела до нескольких сотен километров, с общей массой около 0,1 % от земной;

- для планеты Нептун, расположенной между Ураном и Плутоном, параметр n является не целым, а дробным числом. При $r = 30,06$ а.е. (фактическое значение для Нептуна) значение $n \cong 6,63$

Пояс астероидов не является исключением категорическим, поскольку может рассматриваться либо как скопление вещества, еще не сформировавшегося в планету (если предполагать ее «холодное

начало» по модели аккреции (слипания)), либо как продукт распада некогда существовавшего планетарного тела (может быть, нескольких тел). Нептун же является серьезным исключением. Но зададим себе вопрос: исключением из чего? Из правила, что n – целые положительные числа. Но тогда планета Меркурий тоже попадает в исключение, да еще более сильное, чем Нептун, так как для Меркурия n – вообще не число, да еще и со знаком минус. Очевидно, что если пронумеровать планеты: Венера–1, Земля – 2, Марс – 3 и т. д., то без Меркурия и Нептуна закон Титуса–Боде может быть записан в форме

$$r = 0,4 + 0,3 \cdot 2^{n-1}, \quad (2.5)$$

в которой второй член правой части есть выражение для геометрической прогрессии.

И тогда начало отсчета n резонно сместить на величину 0,4 а.е. от Солнца, т. е. правило Титуса–Боде использовать от планеты Меркурий, а.е.

$$r_m = 0,3 \cdot 2^{n-1} \quad (2.6)$$

Но это уже будет закон геометрической прогрессии, который может претендовать на фундаментальность в описании структуры Солнечной системы, на фундаментальность с исключениями. Сочетание понятий фундаментального и исключений не должно вас смущать, так как вы уже знаете, что степень «карикатурности» правила растет по мере увеличения сложности системы, для которой оно записывается. Вспомним только что упоминавшиеся исключения в направлении вращения планет, в наклоне их орбит и осей, в форме орбит. Это ведь тоже характеристики (хотя и качественные) пространственной структуры Солнечной системы.

Таким образом, в устройстве Солнечной системы есть некоторые закономерности, определяющие относительный порядок в размещении планет и их ориентации. Однако в этом порядке всегда существуют исключения. Наверное, лучше говорить не о том, что закономерность существует, а о том, что она как будто бы существует, что закономерность есть, и в то же время ее нет.

Все элементы Солнечной системы находятся в движении. Поэтому ее изучение естественным образом привело к открытию **кинематических законов**. Они носят имя И. Кеплера, превратившего астрономические наблюдения Тихо Браге в ясную и строгую мате-

матическую конструкцию. Здесь хочется подчеркнуть одно обстоятельство методологического плана, иллюстрирующее логику научного поиска. Теория Н. Коперника, его гелиоцентрическая система вызвали много возражений и вопросов, поскольку с позиций современных ей требований она была действительно научной теорией, отвечая условию фальсифицируемости (см. тему 1). Именно этот факт оказался причиной тщательнейших астрономических наблюдений Тихо Браге, не принявшего систему Н. Коперника, пытавшегося ее опровергнуть, но давшего в итоге тот материал, который эту систему подтвердил и привел к законам И. Кеплера.

Первый закон. *Каждая планета движется по эллипсу, в одном из фокусов которого находится Солнце.*

Второй закон. *Радиус-вектор между Солнцем и планетой описывает равные площади ΔS в равные промежутки времени Δt . По существу, речь идет об установлении для Солнечной системы некой кинематической константы*

$$\Delta S/\Delta t = \text{const.} \quad (2.7)$$

Иногда этот закон называют законом равных площадей.

Третий закон.

$$R^3/T^2 = \text{const}, \quad (2.8)$$

где R – радиус орбиты как половина суммы самого короткого и самого большого расстояний от Солнца до планеты; T – период вращения.

Современные измерения орбит и периодов дают $R^3/T^2 = 3,35 \cdot 10^{18} \text{ м}^3/\text{с}^2$ (с точностью до второго знака, в третьем знаке уже заметны отличия).

Нетрудно видеть, что в силу правила «карикатурности» два первых закона вступают в противоречие с третьим, в котором орбиты планет упрощаются до окружностей. Тем не менее законы И. Кеплера являются основой кинематики Солнечной системы. Но они потому и являются кинематическими законами, что описывают движение планет, не объясняя его причин. С их помощью можно предсказать, где находится планета в то или иное время. И не более. В этом смысле кинематические методы И. Кеплера, основанные на гелиоцентрической концепции Н. Коперника, мало чем отличаются от схемы Птоломея, опиравшегося на геоцентрическую идеологию,

тем более, что обе схемы достаточно точны. Но для задач кинематики они обе правомерны, так как отличаются только системой координат, хотя коперниковская система координат у И. Кеплера дает более простую и ясную схему вычислений. Я специально обращаю внимание на последнее обстоятельство с тем, чтобы еще раз подчеркнуть, что *факт хорошей верификации теории, факт совпадения теоретического предсказания с наблюдением, вообще говоря, не является доказательством безупречности положенной в основу научной идеологии. Он свидетельствует лишь об объективности разработанной модели и ее правомерности для прикладных задач.* Но, как видно на этом примере, объективность еще не означает физической истинности, во всяком случае, в кинематике, где выбор системы координат диктуется соображениями удобства и только.

А вот законы динамики не безразличны к выбору системы отсчета и в этом смысле ограждают нас от произвола в принятии космогонической идеологии, и потому для закона всемирного тяготения И. Ньютона приемлемыми оказались лишь гелиоцентризм Н. Коперника и законы Кеплера.

Напомним, что первый закон инерции, по которому тело без воздействия на него силы движется равномерно и прямолинейно, хотя формально и выводится из второго закона (при силе $F = 0$ ускорение $a = dv/dt = 0$), все же был сформулирован И. Ньютоном отдельно в качестве *постулата существования инерциальной системы*. К тому же этот закон, как частный случай закона сохранения импульса, подразумевает однородность пространства (равноправие всех его точек) в любой инерциальной системе отсчета. Законы сохранения импульса, момента импульса, энергии для замкнутых систем, являющиеся следствием второго закона, кроме того, предполагают изотропность пространства и однородность времени.

Таким образом, я напоминаю вам известный факт, что законы динамики справедливы только для такой системы отсчета, в которой пространство является однородным и изотропным, а время — однородным. Такие системы называются инерциальными.

С помощью различных простых опытов (маятник Фуко, отклонение движения свободно падающего по вертикали тела и др.) доказано, что геоцентрическая система (система отсчета, координатные оси которой жестко связаны с Землей — вращаются с ней) является в строгом понимании системой неинерциальной, хотя ее отклонения

от инерциальности для большинства прикладных задач невелики. Для небесной же механики использование геоцентрической системы отсчета является уже криминалом. Требованиям инерциальности полностью отвечает гелиоцентрическая система:

• *ее центр – Солнце, а координатные оси направлены на звезды, жестко перемещающиеся с так называемой небесной сферой, т. е. как бы «вмороженные» в нее и потому неподвижные относительно Солнца (координатные оси не участвуют во вращении Солнца).*

Закон всемирного тяготения, найденный И. Ньютоном, не только опирался на гелиоцентризм Н. Коперника, но оказался тесно связанным с третьим законом И. Кеплера. Полезно показать возможный вариант выводов Ньютона.

1. Планета, двигающаяся равномерно по круговой орбите вокруг Солнца, развивает центростремительное ускорение

$$a = 4\pi^2 R/T^2. \quad (2.9)$$

2. Центростремительная сила, действующая на планету, в соответствии со вторым законом

$$F = ma = 4\pi^2 Rm/T^2, \quad (2.10)$$

где m – инерционная масса планеты.

3. Из третьего закона И. Кеплера

$$T^2 = R^3/K, \quad (2.11)$$

где K – постоянная.

$$F = 4\pi^2 Km/R^2 \quad (2.12)$$

4. Множитель K , по И. Кеплеру, является постоянным для любой планеты, с любой массой и любым радиусом орбиты. Отсюда следует, что в Солнечной системе эта константа зависит только от свойств Солнца как источника силы F . Предположив (**первым!**), что эта сила является гравитационной и потому зависит от количества вещества в данном источнике, И. Ньютон мог записать

$$4\pi^2 K = Gm_s, \quad (2.13)$$

где G – коэффициент пропорциональности между массой Солнца m_s и величиной $4\pi^2 K$, определяемой константой Кеплера.

5. Далее следует формула закона тяготения

$$F = Gm_c m / R^2. \quad (2.14)$$

Из формулы (2.4.10) нетрудно найти значение величины G , называемой постоянной тяготения, при $K = 3,35 \cdot 10^{18} \text{ м}^3/\text{с}^2$; $m_c = 1,98 \cdot 10^{30} \text{ кг}$.

$$G = 4\pi^2 K / m_c \cong 0,667 \cdot 10^{-10} \text{ м}^3/(\text{с}^2 \cdot \text{кг}). \quad (2.15)$$

Закон всемирного тяготения может быть получен и другими способами. Приведенной схемой я лишь хотел проиллюстрировать его связь с законами И. Кеплера, связь, которая была доказана еще И. Ньютоном.

Для Солнечной системы закон тяготения работает почти безупречно. Единственная планета, расчетная орбита которой, хотя и незначительно, но все же заметно отличается от наблюдений, это Меркурий. Общая теория относительности, разработанная А. Эйнштейном, позволила это исключение ликвидировать. Она была построена на механике Ньютона так же, как механика Ньютона на работах Н. Коперника, Г. Галилея и И. Кеплера.

При решении своих задач геология чаще всего сталкивается с действием сил гравитации, причем не только земного, но и космического происхождения. Роль последних в геологической истории Земли мы только начинаем осознавать. Лишь постепенно приходит понимание того, что наблюдаемые геологические процессы, такие, как землетрясения, вулканическая деятельность, работа рек, морей и т.д., это лишь следствия каких-то общих и фундаментальных законов, управляющих развитием Вселенной, что геологическую историю Земли творят не эти процессы, что они лишь следствие тех изменений, которые происходят во Вселенной. А это означает, что механика Ньютона, на которую, по существу, и опирается геология, вообще говоря, не исчерпывает ее задачи. И здесь мы вынуждены обратиться к проблеме пространства-времени.

У И. Ньютона пространство и время независимы и абсолютны. В теории тяготения А. Эйнштейна свойства пространства и времени не есть субстанции, заданные раз и навсегда, они определяются находящимися в них телами. Поэтому, чтобы развивать свою науку, геолог должен не только представлять устройство Солнечной системы, Галактики, Метагалактики, но и вникать в суть законов, управляющих развитием Вселенной, ясно понимать, какие из них

он использует в геологических исследованиях, представлять себе границы и правомерность этого использования.

Я привел самую общую информацию о планетах Солнечной системы (см. табл. 2.1) и более подробно остановился на законах, которыми может быть описана ее структура, кинематика и динамика движения планет. Более подробные сведения о планетах, в том числе о Венере, Марсе, Уране, а также о спутнике Земли – Луне, по которым в последние годы накоплена уникальная информация с помощью советских и американских космических станций и кораблей, вы можете получить самостоятельно, обратившись к рекомендованной по данной теме дополнительной литературе.

Теперь поговорим немного о других телах Солнечной системы – астероидах, метеоритах и кометах.

Астероид. Название происходит от двух греческих слов: *aster* – звезда и *eidos* – вид и трактуется как малая планета. Большая их часть находится в так называемом астероидальном кольце между орбитами Марса и Юпитера на расстояниях 2,3–3,3 а. е. от Солнца. Зону астероидов иногда называют «каменоломней Солнечной системы», желая тем самым подчеркнуть представление о ее генезисе. Имеется в виду процесс непрерывного дробления, механического распада и вообще деградации небесных тел в этой области Солнечной системы в результате их соударений. По своим массам, форме и составу астероиды весьма разнообразны, хотя информация по этим параметрам до сих пор основывается лишь на косвенных данных. Большинство астероидов имеет неправильную форму и лишь наиболее крупные – шарообразную. Самые большие астероиды – Церера, Паллада и Веста – достигают в поперечнике соответственно 770, 490, 385 км. По значениям альбедо* астероиды делятся на С-астероиды (с характерными альбедо $< 0,05$) и S-астероиды (с характерными альбедо $> 0,09$). Первые близки по составу к углистым метеоритам, вторые – к железокремнистым. С-астероиды преобладают во внутренней части астероидального пояса, S-астероиды – во внешней. Таким образом, можно говорить о некоторой космохимической закономерности: *состав астероидов зависит от гелиоцен-*

* Альбедо – характеристика отражательной способности поверхности тела: отношение потока излучения, рассеиваемого поверхностью, к потоку, падающему на нее. Альбедо Земли составляет около 0,4.

трического расстояния. В настоящее время по фотометрическим показателям прослеживается значительное сходство между материалом, из которого построены астероиды и метеориты. Это дает основание рассматривать астероиды как источник метеоритов и реконструировать по метеоритам их минеральные, структурные и химические особенности. Напомним при этом, что в отличие от астероидов метеориты доступны для прямых исследований.

Метеориты – тела, падающие на Землю из межпланетного пространства. В качестве синонимов существуют термины «аэролиты», «метеорные камни», «болиды», «падающие звезды». По метеоритам накоплена огромная и разнообразная информация. Их возраст, за редким исключением, оценивается в 4,6 млрд. лет, т. е. совпадает с оценками по возрасту Земли и Луны.

Это обстоятельство дает основания считать, что в реконструкции истории возникновения Солнечной системы в значительной мере можно рассчитывать на метеориты.

В любом метеорите выделяются три основные фазы:

- силикатная (каменная),
- металлическая (железоникелевая) и
- сульфидная (троилитовая. Троилит – минерал FeS. На Земле редок).

Другие фазы имеют подчиненное значение. В метеоритах обнаружено до 70 минералов. Среди них и важнейшие породообразующие: *оливин, пироксены, плагиоклазы.* Однако средний состав метеоритов по своему разнообразию существенно уступает среднему химическому составу земной коры. Свыше 90 % их массы сложено соединениями лишь из четырех элементов – O, Fe, Si, Mg. В то же время в метеоритах присутствуют минералы, не известные на Земле. Наиболее часто встречаются каменные метеориты – 92,7 % находок; на втором месте – железные, 5,6 %; на третьем – железокаменные, 1,3 %. Из каменных, а значит из всех метеоритов, самыми распространенными являются хондриты—(82,4 %), представляющие собой недифференцированное вещество, а потому, как полагают специалисты, наиболее полно отражающие первичные процессы формирования твердых тел в Солнечной системе. Термин «хондриты» обязан Густаву Розе (1864 г.) и связан с тем, что эти метеориты состоят из хондр – сферических образований разных размеров (от долей миллиметра до нескольких миллиметров в диа-

метре) силикатного состава, создающих зернистую и крупчатую структуру. По метеоритам, и хондритам в особенности, есть огромная литература.

Кометы – это космические тела, происхождение, состав и структура которых до сих пор вызывают, пожалуй, наиболее острые дискуссии. В переводе с греческого это слово означает – «звезда с хвостом» и характеризует небесное тело, состоящее из туманного пятна, называемого головой и имеющего обычно яркое ядро, и одного или нескольких хвостов, в виде серебристой полосы света (см. рис. 2.5)

В 1950 г. голландский астроном Ян Хендрик Оорт предложил гипотезу, по которой существует гигантское кометное облако (облако Оорта), двигающееся вокруг Солнца по орбите со средним радиусом около одного светового года ($\sim 10^{13}$ км). Наблюдаемые кометы – тела этого облака, отделившиеся от него под действием внешних возмущений и попавших в поле тяготения Солнца. Период их обращения обычно меньше 200 лет (например, для кометы Галлея ~ 76 лет), хотя встречаются и кометы с периодом в миллионы лет. К настоящему времени зарегистрировано около 700 комет с диаметром ядра от 0,5 до 75 км. Ежегодно регистрируется около 5 комет.



Рис. 2.5. Комета Мркоса. 1957 г. (из книги Р. Киппенхана, 1990)

Предполагается, что их ядра состоят на 75 % из льда и на 25 % из пыли и каменного материала. При этом лед сосредоточен в центральной части, а пылевое вещество формирует поверхность ядра. При подходе к Солнцу на расстояние в 3 а.е. (около 450 млн. км) нагрев поверхностного слоя становится достаточным для того, чтобы началась сублимация подповерхностного слоя льда. Таким образом, формируется хвост кометы (кома). Позже под воздействием солнечной радиации возникает второй плазменный хвост. Изложенные взгляды в основном связаны с работами американского астронома Ф. Уипла и разделяются далеко не всеми учеными. Например, советский химик профессор В. В. Кесарев на основании своих исследований приходит к выводу, что кометы – это продукт самой Солнечной системы. Источником старых комет является протопланетное вещество, новых – зона распадающихся планет. По существу, это карликовые планеты, обладающие в отличие от больших планет не внутренней, а внешней активностью, связанной с воздействием Солнца.

Исследованию комет уделяется большое внимание, иллюстрацией чего может служить реализация международной программы по изучению кометы Галлея.

В ней принимало участие около 900 астрономов из 47 стран и было запущено 8 специально оборудованных космических кораблей: 2 – СССР, 2 – Японией, 1 – Европейским космическим агентством, 3 – США. Вот блестящий пример мирового сотрудничества.

2.5. Земля. Планетарная характеристика

Поверхность реальной Земли чрезвычайно сложна и во всех деталях навряд ли может быть описана с помощью математических формул. Однако эта сложность существенно уменьшается при переходе от крупномасштабного к мелкомасштабному изображению, когда особенности рельефа Земли рассматриваются для достаточно обширных территорий. Например, что значит средняя высота Европы, равная 300 м, или Азии, равная 950 м, или их наибольшие высоты над уровнем моря (Монблан 4807 м, Джомолунгма 8848 м) в сравнении» скажем, с длиной береговой линии этих материков, равной соответственно 38 и 62 тыс. км.

Поэтому при геометризации поверхности Земли в целом эти детали исчезают, мы можем их изобразить лишь в каких-то услов-

ных, немасштабных обозначениях. Обычно это цветовая шкала, наложенная на принципиально упрощенную поверхность, описание которой связано с целым рядом геометрических и физических допущений.

В зависимости от их характера, диктуемого, как правило, задачами, которые предполагается решать, строят различные **геометрические модели Земли**. Подчеркнем только, что если выбирается геометрическая форма, то этот выбор влечет за собой конкретные физические допущения, т. е. происходит обязательное *офизичевание* геометрической модели. Если же первичной является физическая модель, то она обязательно *геометризируется*.

Шар. Это простая и самая совершенная форма с точки зрения симметрии. Но чтобы эта форма была гравитационно устойчива, приходится рассматривать ее без вращения, а значит, и допускать изометрию Земли по плотности. Если же «разрешить» этому шару вращаться, то придется постулировать его как абсолютно твердое тело, во всяком случае, настолько, чтобы центробежные силы, возникающие при вращении, не нарушали бы его формы и внутреннего строения. Все эти допущения приемлемы, скажем, для задач, связанных с построением географической координатной сетки, и оправданы той простотой в решениях, которая в этом случае становится возможной. По современным оценкам радиус такого шара $R_{ш} = 6371,116$ км, а плотность $\rho = 5,52$ г/см³.

Сфероид. Это более сложная модель – фигура, возникающая при вращении уже не твердого, а вязкопластичного тела с возрастающей к центру плотностью. Такая форма, называемая еще эллипсоидом вращения, имеет два радиуса:

- полярный $R_{п}$ и
- экваториальный $R_{э}$.

В СССР в качестве эталона в 1946 г. был принят эллипсоид Ф.Н. Красовского со следующими значениями основных параметров:

- $R_{п} = 6356,863$ км;
- $R_{э} = 6378,245$ км;
- полярное сжатие $\alpha = (R_{э} - R_{п})/R_{э} = 1/298,3$.

По этим характеристикам вычисляются площадь поверхности ($5,1008 \cdot 10^8$ км²) и объем ($1,0833 \cdot 10^{12}$ км³), а также определяются

длины дуг меридианов и параллелей. Эта модель используется для расчета так называемой стандартной, или нормальной, силы тяжести на экваторе и на конкретных географических широтах. Это эталонные величины для оценки аномалий поля силы тяжести Земли (см. тему 4).

Наряду с эллипсоидом Ф.Н. Красовского существует еще стандартный земной эллипсоид Международного астрономического союза, принятый в 1976 г. Его полярное сжатие $\alpha = 1/298,257$ несколько ближе к значению, полученному на основе данных по искусственным спутникам Земли ($\alpha = 1/298,25$), которые по многим причинам значительно представительней данных наземной гравиметрической съемки, использованных Ф.Н. Красовским и А.А. Изотовым.

Работами этих исследователей была установлена эллиптичность экватора, выражающаяся в экваториальном сжатии $\epsilon = 1/30000$, и определена долгота наибольшего меридиана $\lambda = 15^\circ$ к востоку от Гринвича. Современные исследования позволили оценить и различие полярных полуосей:

$$R_n - R_s \cong 100 \text{ м.}$$

Таким образом, в более строгой постановке форма Земли это уже не сфероид и даже не трехосный эллипсоид, а трехосный кардиоидальный* эллипсоид. Однако для всякого рода эталонных геофизических вычислений, для построения географической координатной сетки эта модель весьма сложна и неудобна. Поэтому ей обычно предпочитают модели сфероидов.

Геоид. Это понятие часто используют при описании формы Земли. Однако геоид – это не материальная по своей сути поверхность, хотя она в основном и совпадает с поверхностью океана и ее продолжением под континенты. Геоид – это одна из эквипотенциальных поверхностей поля силы тяжести Земли, т. е. поверхность, в пределах которой потенциальная энергия этого поля не меняется. Понятие геоида мы с вами рассмотрим в четвертой главе.

* Кардиоид – от лат. Kardia – сердце.

Некоторые дополнительные характеристики:

1. Среднее расстояние от Земли до Луны, км – 384 400
2. Длина земной орбиты, км – 939 120 000
3. Средняя скорость движения земли по орбите, км/с – 29,765
4. Видимый угловой диаметр Солнца на расстоянии одной астрономической единицы (средний угловой диаметр) – 31' 59,26"
5. Видимый угловой диаметр Луны на среднем расстоянии от Земли – 31' 05,16"
6. Общая прецессия в долготе за юлианское столетие (стандартная эпоха 2000) – 5029,0966"
7. Постоянная нутация (стандартная эпоха 2000) – 9,2109".

Прецессия Земли – медленное движение оси вращения Земли по круговому конусу, ось симметрии которого перпендикулярна к плоскости эклиптики, с периодом полного оборота около 26 000 лет

Нутация Земли – небольшие колебания земной оси, вызываемые некоторыми особенностями притяжения Луной и накладывающиеся на ее прецессионное движение.

Эклиптика – большой круг небесной сферы, по которому происходит видимое годовое движение Солнца, точнее – его центра. Так как это движение отражает действительное движение Земли вокруг Солнца, то эклиптику можно рассматривать как сечение небесной сферы плоскостью орбиты Земли. Название «эклиптика» происходит от лат. слова эклипсис – затмение. Плоскость эклиптики пересекает 12 созвездий, которые называются созвездиями зодиака. Она служит основной плоскостью в эклиптической системе небесных координат.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое Метагалактика?
2. Объясните, почему к межзвездной среде могут быть применимы законы газовой динамики.
3. Из каких теоретических допущений и на основе каких наблюдений получена постоянная Хаббла?
4. Дайте принципиальную схему рождения, жизни и гибели звезд.
5. На каких теоретических представлениях и экспериментальных данных построена теория «Большого взрыва»?
6. Дайте морфометрическую характеристику нашей галактики. Что принято за ее границы?
7. В чем состоит суть закона Титуса – Боде? Прокомментируйте его.
8. Выведите постоянную тяготения с помощью третьего закона Кеплера.
9. Назовите основные геометрические модели Земли, приведите их характеристики, объясните физическое содержание моделей.

ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. *Агекян Т.А.* Звезды, галактики, Метагалактика. – М.: Наука, 1981.
2. *Баренбаум А.А.* Галактика. Солнечная система. Земля. – М.: ГЕОС, 2002. – 392 с.

Дополнительная

1. Атлас океанов. Термины. Понятия. Справочные таблицы. – М.: Мин. обороны СССР. Военно-морской флот, 1980. – 156 с.
2. *Астрономия. Методология. Мировоззрение.* – М.: Наука, 1971. – 395 с.
3. *Данлоп С.* Азбука звездного неба. – М.: Мир, 1990. – 235 с.
4. *Киппенхан Р.* 100 миллиардов звезд. Рождение, жизнь и смерть. – М.: Мир, 1990. – 289 с.
5. *Лемоник М.* Таинственный объект во Вселенной – огромный и невидимый // За рубежом, 1986, № 23 (1352).
6. *Новиков И.Д.* Как взорвалась Вселенная. – М.: Наука, 1988. – 175 с.
7. *Филлипов А.Т.* Многоликий солитон. – М.: Наука, 1986. – 221 с.
8. *Чернин А.Д.* Звезды и физика. – М., Наука, 1984, вып. 38. – 159 с.
9. *Шкловский И.С.* Звезды: их рождение, жизнь и смерть. – М.: Наука, 1984. – 383 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Введение	4
Тема 1. Методологическая база	5
1.1. Смена парадигм	5
1.2. Принцип актуализма	12
1.3. Моделирование как метод познания	14
1.4. Объективность и истинность	21
1.5. Системы и законы	28
Контрольные вопросы	38
Литература	38
Тема 2. Земля в структуре Вселенной	39
2.1. Вселенная	39
2.2. Звезды, галактики, сверхсистема галактик	46
2.3. Строение нашей Галактики	51
2.4. Солнечная система	54
2.5. Земля. Планетарная характеристика	65
Контрольные вопросы	69
Литература	69

Учебное издание

Павлов Александр Николаевич

«ГЕОФИЗИКА»

Темы: 1. Методологическая база
2. Земля в структуре Вселенной

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

Редактор И.Г. Максимова

ЛР № 020309 от 30.12.96.

Подписано в печать 21.04.04. Формат 60х90 1/16. Гарнитура Times New Roman.
Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл.-печ.л. 4,4. Уч.-изд.л. 4,7. Тираж 500 экз. Заказ № 17
РГГМУ, 195196, Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., 98.
ЗАО «Лека», 195112, Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., 68.

