

## Глава 2. ЗЕМЛЯ В СТРУКТУРЕ ВСЕЛЕННОЙ

Громадность, бесконечность этих пространств совершенно подавляет ум...

М.А. Антонович

### 2.1. Вселенная.

#### Основные понятия.

- 1. Вселенная (космос)** – весь мир, безграничный во времени и пространстве и бесконечно разнообразный по тем формам, которые принимает материя в процессе своего развития (БСЭ, том 5. М., 1971, с.1315). По этому канонизированному определению Вселенная *актуально бесконечна*.
- 2. Актуальная бесконечность** не имеет начала. Если Вселенная существовала всегда, то её возраст в любой зафиксированный момент актуально бесконечен.
- 3. Потенциальная бесконечность.** Если у Вселенной было начало, то в любой фиксированный момент её возраст конечен. Но если она будет существовать вечно, то общий её возраст потенциально бесконечен, так как, продолжая увеличиваться, он всегда превзойдет любое наперед заданное число.
- 4. Метагалактика** – часть Вселенной, доступная для изучения, весь инструментально обозримый для человека космос.
- 5. Галактики** – гигантские звездные скопления.
- 6. Невидимые короны галактик (скрытая масса)** – разница в оценке масс галактик по их движению и по их светимости. Оценки по движению дают существенно большие величины, чем оценки по светимости. Этот факт показывает, что вокруг видимого тела галактики имеет невидимая корона, содержащая огромные массы. Считается, что еще большие скрытые массы имеются в межгалактическом пространстве.
- 7. Тёмная материя** – то же, что скрытая масса. Считается, что она может составлять 95% массы вселенной.
- 8. Парсек (пк)** – единица длины в астрономии. Термин произошел от сокращения двух слов: параллакс и секунда (см. рис 2.1).  $1 \text{ пк} = \alpha / \sin 1'' = 206265\alpha = 3,08 \cdot 10^{16} \text{ м}$ . 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.

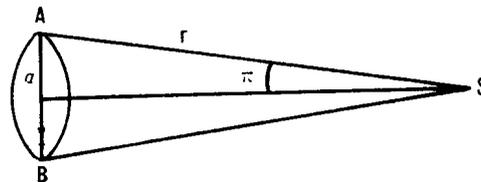


Рис. 2.1. К понятию «парсек».

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

- 9. Эффект Доплера** – в соответствии с этим эффектом у приближающегося источника света все линии волн, измеренные наблюдателем смещены к фиолетовому концу спектра, а для удаляющегося источника – увеличены,

смещены к красному концу спектра. Этот эффект справедлив при скоростях движения источников много меньше скорости света (когда применима механика Ньютона). См рис. 2.2.

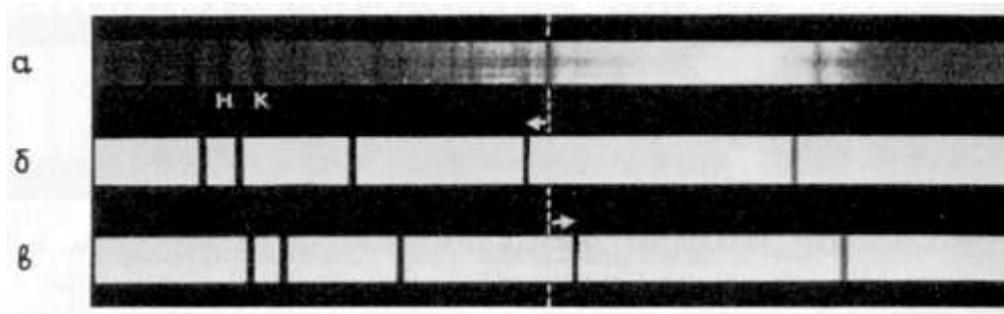


Рис.2.2. Доплеровский спектральный сдвиг (по Р. Киппенхану, 1990).

*а* – спектр излучения звезды (полученный в лабораторных условиях).

*б* – сдвиг спектральных линий в случае, когда звезда движется по направлению к наблюдателю.

*в* – сдвиг спектральных линий, когда звезда удаляется от наблюдателя; при этом все линии смещены к красному спектру.

Направления доплеровского сдвига указаны стрелками.

**10. Квазары** (quasar – сокращенное от англ. quasi star) – как будто бы звезда.

**11. Сингулярность** – место перехода нуля в бесконечность и бесконечности в нуль. Исходная сингулярность не поддается описанию.

**12. Изотропность** – тождественность физических свойств в любых направлениях.

### **Общая характеристика Метагалактики.**

На современном этапе эволюции Вселенной её вещество сосредоточено главным образом в звёздах, которые занимают лишь около  $10^{-25}$  всего объема Вселенной (без учёта ядер галактик).

Для астрономов XVIII-XIX веков межзвёздная среда была абсолютно пустым пространством. В начале XX века немецкий астроном И. 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. 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  $(5\div 8)10^{-25}$  г/см<sup>3</sup> и быстро уменьшается в направлении к периферии. Несмотря на столь низкую плотность газа, межзвездная среда не считается вакуумом.

Говорить о вакууме можно лишь тогда, когда длина свободного пробега частиц больше размера объема, в котором они находятся. Средняя плотность  $(5-8) 10^{-25}$  г/см<sup>3</sup> относится к слою толщиной около 200 пк и длина свободного пробега в нем оценивается величиной приблизительно

$10^{15}$  см ( $3 \cdot 10^{-4}$  пк). Эти условия не соответствуют вакууму, и межзвездный газ рассматривается как сжимаемая среда, к которой полностью применимы законы газовой динамики. По ней могут передаваться волны, она охвачена сложным турбулентным движением, по ней идёт «зыбь» и т.д.

Преобладающими элементами межзвездного газа являются водород и гелий, что напоминает химический состав атмосферы Солнца и звёзд. Однако существуют и 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, около  $10^{-7}$  от содержания атомов водорода. Среди них обнаружены соединения углерода –  $\text{CH}$ ,  $\text{CH}^+$ ,  $\text{CN}$ , 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. Большая его часть приходится на межгалактическую среду. Средняя плотность всей Вселенной с учётом *невидимых корон галактик* оценивается величиной  $10^{-26}$  г/см<sup>3</sup>, т.е. более чем на порядок ниже *средней плотности межзвёздной среды*. В литературе приводятся и другие цифры, например,  $10^{-29}$  г/см<sup>3</sup>.

По современным оценкам эта среда прозрачна настолько, что практически не ослабляет блеска разбросанных в них галактик. Для этого плотность вещества в ней не должна превосходить  $10^{-31}$ – $10^{-32}$  г/см<sup>3</sup>.

### ***Теория Большого взрыва.***

До появления общей теории относительности (ОТО) представления о Вселенной как 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. Эта была сфера с центром, находящимся везде и поверхностью – нигде.

В 1922-24 г.г. 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.

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*. Другого разумного и простого объяснения *наблюдаемому красному смещению* найдено не было, хотя наряду с эффектом Доплера обсуждались и другие варианты.

$L_0 = C \cdot \Delta t$  – расстояние между наблюдателем и объектом в момент подачи объектом сигнала. Сигнал передаётся со скоростью  $C$  и через время  $\Delta t$  достигает наблюдателя.

$(L_0 + \Delta L)$  – расстояние между объектом и наблюдателем к моменту принятия сигнала.

$\Delta L = V \cdot \Delta t$ ,  $n = L_0/\lambda = (L_0 + \Delta L)/(\lambda + \Delta\lambda)$ , где  $n$  – количество волн между объектом и наблюдателем.

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

а из него

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

$$V = H \cdot r$$

где  $H$  – коэффициент пропорциональности – *постоянная Хаббла*,

$V$  – скорость удаления галактик,  $r$  – расстояние до галактики.

Это выражение рассматривается в астрономии как закон, многократно проверенный наблюдениями. Он останется верным, если красному смещению не будет найдено другого объяснения, кроме эффекта Доплера.

Из закона Э.Хаббла 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 специалисты используют различные значения  $H$ , чаще всего 55 км/(с·Мпк) и 75 км/(с·Мпк). Они означают, что на каждый мегапарсек (Мпк) скорость удаления галактики возрастает соответственно на 55 и 75 км/с.

Из принятия закона Хаббла последовал вывод о том, что причиной разбегания галактик мог явиться «*Большой взрыв*». Он положил начало современной Вселенной, возникшей из некоторого первоначального состояния, называемого *сингулярностью*. Постоянная Хаббла является *одной из основных мировых констант* – она характеризует скорость расширения мирового пространства. Пространство расширяется изотропно, и закон Хаббла верен при наблюдениях из любой точки Вселенной. Из постоянной Хаббла следует и возраст такой Вселенной (Метагалактики).

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  $H = 540 \text{ км}/(\text{с} \cdot \text{Мпк})$  и, соответственно, возраст Вселенной оценивался Хабблом в 2,5 млрд. лет).

В 1963 г в космосе были открыты новые чрезвычайно мощные источники излучения – *квazarы*. Они фиксировались радио-, инфракрасными, ультрафиолетовыми, рентгеновскими и оптическими телескопами. Для этих источников характерны огромные красные смещения. С одной стороны этот факт ещё раз подтверждал явление расширения Вселенной, а с другой – позволял «заглянуть» в её прошлое, поскольку расстояние, например, до самого далёкого квазара в 17 млрд. световых лет (приблизительно  $5 \cdot 10^3 \text{ Мпк}$ ). Информация, получаемая из знаний спектра излучения квазаров, относится к очень раннему периоду жизни Вселенной. При условии  $H = 55 \text{ км}/(\text{с} \cdot \text{Мпк})$  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» (США), Роберт У. Вильсон и Арно А. Пензиас, экспериментируя с новой антенной для приёма сигналов от спутников связи, обнаружили слабое радиоизлучение, которое шло 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-ых 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  $10^8 \text{ }^\circ\text{К}$ , через 100 лет –  $<10^6 \text{ }^\circ\text{К}$ , а спустя 18 млрд. лет, т.е. сегодня, около  $3 \text{ }^\circ\text{К}$ .

Объекты с такой температурой должны испускать радиоволны длиной от 1 мм до 100 см. Антенна компании «Белл телефон» была настроена на длину волны 7,53 см. Многочисленные эксперименты и наблюдения привели 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 ещё 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.

### **Общий вывод:**

- *в настоящее время наиболее разработанные и доказательные представления об устройстве Вселенной основаны на идее её нестационарности;*
- *современная Вселенная имела начало и возникла около  $(17-18) \cdot 10^9$  лет назад, возможно, в результате «Большого взрыва». Процесс её расширения продолжается и сейчас.*

## 2.2. Звезды, галактики, сверхсистема галактик.

### **Основные понятия.**

1. **Звезда** – газовый шар, находящийся в состоянии равновесия ... , подавляющее большинство звёзд не меняет своих свойств в течение огромных промежутков времени (И.С. Шкловский, 1984).
2.  $m_c$  – **масса Солнца**, равная  $1,98 \cdot 10^{30}$  кг. В астрономии эта величина используется как единица массы звезд.
3. **Нейтронизация** – процесс «вдавливания» электронов в ядро, в результате чего электроны и сливаются с протонами и дают нейтрон. Такие ядра неустойчивы и разваливаются.
4. **Светимость** – количество световой энергии, излучаемое звездой в единицу времени.
5. **Гравитационный коллапс** – сжатие под действием гравитационных сил, которому ничто не может препятствовать. Коллапс – медицинский термин, означающий тяжелое состояние организма, обусловленное резким понижением кровяного давления (collapses – лат. упавший). Причиной гравитационного коллапса является резкое снижение давления внутри звезды.

### **Общая характеристика звезд.**

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

Звёзды, как и люди, рождаются, живут и умирают. Их жизненный цикл ещё во многом неясен 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 нём очень высокие температуру и давление и формируют тот газовый шар (находящийся в равновесии по этим параметрам). Его 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  $1,4 m_{\odot}$  при средней плотности примерно до  $10^9 \text{ кг/м}^3$ .

Нейтронные звёзды. Масса их ядер от  $1,4 m_{\odot}$  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  $10^{18} \text{ кг/м}^3$ , что отвечает плотности атомных ядер. Диаметр таких звезд составляет около  $20 \div 30 \text{ км}$ .

При таких плотностях происходит так называемая *нейтронизация*. Предполагается, 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 вырождении 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 гипотетический феномен.

Общее число звёзд в Метагалактике оценивается величиной  $10^{20}$ . Чаще всего это звёзды уступают по массе и светимости Солнцу, но по

устройству напоминают его. Яркие звёзды-гиганты встречаются редко, белые карлики составляют около 1,0%, нейтронные звезды – около 0,01%, чёрных дыр, по-видимому, не должно быть больше 0,1%.

Правда, в начале 1970 годов С. Хоукинг (США) теоретически обосновал возможность появления во Вселенной и частичного сохранения до наших дней так называемых первичных чёрных дыр – продукта «Большого взрыва». Высказывается 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).

### ***Общая характеристика Галактик.***

Существование галактик стало известно во второй половине XVIII века, благодаря исследованиям английского астронома В.Гершеля. Он впервые выделил 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, похожую на ту, что показана на рисунке 2.3.

В 1953 году французский астроном Жераром 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, возможно, 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  $(2 \div 4)$  Мпк.

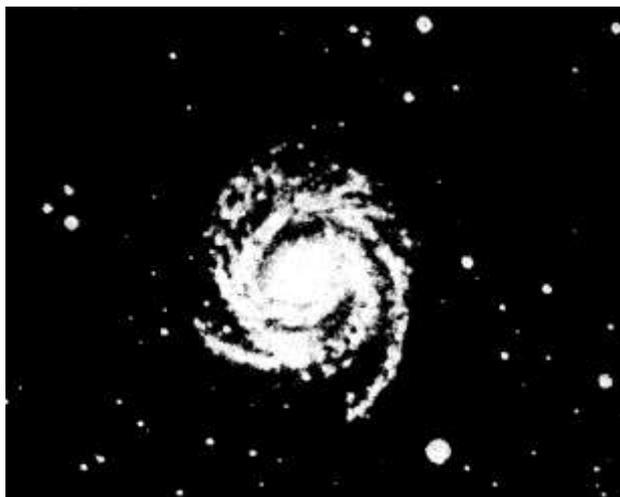


Рис. 2.3. Галактика NGC 6814 (в плане), сходная с нашей галактикой [Агекян, 1981].

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, 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. 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 существования такого 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.2.4). Специалисты считают, что это открытие может перевернуть все наши представления о Вселенной.

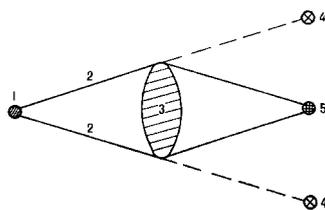


Рис. 2.4. Иллюстрация эффекта «гравитационной линзы»  
 1 – Земля; 2 – траектория световых лучей; 3 – «гравитационная линза»; 4 – кажущееся положения квазара; 5 – действительное положение квазара.

### **Общий вывод:**

- 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 Метагалактика не единственна, 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.**

### **Основные понятия.**

1. **Спираль Архимеда** – кривая, описываемая точкой, движущейся с постоянной скоростью  $V$  по лучу, вращающемуся около полюса  $O$  с постоянной угловой скоростью  $\omega$ . Кривая состоит из двух лучей, расположенных симметрично относительно оси  $Ox$  (см. Справочник по математике).
2. **Логарифмическая спираль** – кривая, пересекающая все лучи, выходящие из одной точки  $O$  под одним и тем же углом  $\alpha$  (см. Справочник по математике).
3. **Квази** – как будто бы, почти, близко (лат. quasi).

### **Общая структура.**

Наша Галактика представляет собой типичную звездную систему с массой около  $10^{12}$  масс Солнца. Она находится в состоянии *квазидинамического равновесия*. Её 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. Чёткой 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.2.5.

Наибольшая звездная плотность (число звезд на  $1 \text{ пк}^3$ ) приходится на центральные области Галактики. Здесь она достигает нескольких единиц. Если границу проводить по плотности  $1 \cdot 10^{-3}$  звезд/ $\text{пк}^3$  (условие, принятое в современной астрономии), 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»).

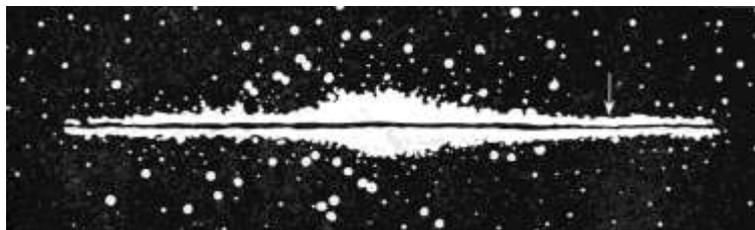


Рис.2.5. Современные представления о галактической системе.

Галактика показана с ребра; черная полоса соответствует галактической плоскости; стрелкой показано положение Солнца (по Лукасу Плауту)

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.2.6).

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. 2.6. Скопление Плеяды (семь звезд). Старинное русское название Стожары – семь сестёр. Находится в созвездии тельца.

Светлые круги вокруг звёзд обусловлены несовершенством фотографической системы. Кроме ярких звезд, видимых невооруженным глазом, к этому скоплению относятся более 100 звезд (Из книги Р. Киппенхана [1990])

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

### ***Звездная эволюция Галактики.***

Эволюция галактик стимулирует процессы разрушения старых звезд в области их ядра, где плотность звезд наиболее высока. Газопылевые 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* [Баренбаум,2002].

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 электромагнитному полю галактик [Баренбаум,2002].

Наша Галактика обладает четырьмя такими ветвями. Они наклонены к плоскости струйных потоков архимедова типа под углом около  $20^\circ$ , 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 спиралями. 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 [Баренбаум, 2002].

При вращении Галактики области звездообразования меняют своё 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 ветвях. 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.

### **Общий вывод:**

*развитие Галактики связано с истечением вещества из её центра и определяется особенностями её структуры по спиральным архимедовым и логарифмическим типам*

## **2.4. Солнечная система.**

### **Основные понятия.**

- 1. Солнечная система** – включает в себя Солнце и всё, что находится в поле его тяготения (9 планет, их спутники, астероиды, метеориты, метеоритная пыль и кометы). См. рис. 2.7 и табл. 2.1
- 2. Планеты** – небесные тела, движущиеся вокруг Солнца и светящиеся его отраженным светом.
- 3. Спутники планет** – небесные тела, движущиеся вокруг планет и сопровождающие их в движении вокруг Солнца. Спутник Земли – Луна.
- 4. Астероиды** – название происходит от двух греческих слов: aster – звезда и eidos – вид и трактуется как малая планета.
- 5. Альbedo** – характеристика отражательной способности поверхности тела: отношение потока излучения, рассеиваемого поверхностью, к потоку, падающему на нее. Альbedo Земли составляет около 0,4.
- 6. Метеориты** – тела, падающие на Землю из космического пространства. В качестве синонимов существуют термины «аэролиты», «метеорные камни», «болиды», «падающие звезды».
- 7. Метеоритная пыль** – микрометеориты, падающие на Землю частицы размером около 3-4 мк (1 мк = 0,0001 см). Проходят через земную атмосферу без заметного испарения. См. рис. 2.9.
- 8. Кометы** – небесные тела, состоящие из туманного пятна, называемого головой и имеющего обычно яркое ядро и одного или нескольких хвостов в виде серебристой полосы света. В переводе с греческого, слово комета означает – «звезда с хвостом». См. рис. 2.10.

9. **Аккреция** – процесс падения вещества на космическое тело из окружающего пространства (от лат. *accretio* – приращение, увеличение).
10. **Сублимация** – возгонка, переход вещества из кристаллического состояния непосредственно (без плавления) в газообразное.

### **Общая характеристика.**

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 даётся в табл.2.1.

Приведённые в таблице цифры не являются константами, а лишь характеризуют с 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 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.



Рис. 2.7. Схема Солнечной системы [Интернет]

Таким образом, Солнечная система в своих параметрах подвижна,

однако общие закономерности в её структуре и функционировании всё же прослеживаются довольно чётко. И здесь уместно подчеркнуть принципиальную особенность раскрытия тайн мироздания. Классики науки сознательно идеализировали мир и поэтому находили его фундаментальные законы. Они избавлялись от частных, а иногда просто их не знали, и потому видели лишь главное. По современной терминологии они строили *фундаментальные модели* мировых явлений и процессов.

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.

Таблица 2.1  
Общая характеристика Солнечной системы

Солнце Планеты Луна	Средний радиус км	Среднее расстояние от Солнца млн.км	Период обращения по орбите	Число спутников	Масса кг
Солнце	695000	–	275млн. лет	9 планет	$1,98 \cdot 10^{30}$
Внутренняя группа планет					
Меркурий	2440	57,9	88 сут	0	$3,28 \cdot 10^{23}$
Венера	6129	108,2	224,7 сут	0	$4,83 \cdot 10^{24}$
Земля	6378	149,6	365,26 сут	1	$5,98 \cdot 10^{24}$
Марс	3387	227,9	687 сут	2	$6,37 \cdot 10^{23}$
Внешняя группа планет					
Юпитер	71400	778,3	11,86 лет	17	$1,90 \cdot 10^{27}$
Сатурн	60000	1427	29,46 лет	17	$5,67 \cdot 10^{26}$
Уран	25900	2870	84,01 лет	15	$8,80 \cdot 10^{25}$
Нептун	24750	4497	164,8 лет	2	$1,03 \cdot 10^{26}$
Плутон*	2900	5900	247,7 лет	1	$6 \cdot 10^{22}$
Луна	1740	–	29,5 сут	–	$7,34 \cdot 10^{22}$

\*Плутон – наименее изученная из всех планет Солнечной системы. Открыта в 1930 году американским астрономом Клайдом Томбо на основании расчётов Персиваля Ловела. Считался планетой с 1930 по 2006 годы. Позже его статус стал дискуссионным. Это карликовая планета. По последним данным её размеры меньше Земли в 4 раза.

### **Основные законы строения и функционирования.**

Они получены на эмпирических материалах и, по существу, являются индуктивными правилами.

#### Правило Титуса-Боде.

$$r = 0,4 + 0,3 \cdot 2^n, \quad (2.1)$$

где  $r$  – расстояние планет от Солнца, а. е. (астрономическая единица, равная расстоянию от Земли до Солнца –  $149,6 \cdot 10^6$  км) Показатель степени  $n$  для каждой планеты имеет свое значение.

<b>Планета</b>	<b>n</b>
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 даёт 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 рассматривается либо как скопление вещества, ещё не сформировавшегося в планету (если предполагать ее «холодное начало» по модели аккреции), 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

$$r = 0,4 + 0,3 \cdot 2^{n-1}, \quad (2.2)$$

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.

$$r_m = 0,3 \cdot 2^{n-1} \quad (2.3)$$

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 смущать, так как мы уже знаем, что степень «карикатурности» правила, растёт 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.

Законы Кеплера. Все элементы Солнечной системы находятся в движении. Поэтому её изучение естественным образом привело к открытию *кинематических законов*. Они носят имя Иоганна Кеплера, превратившего астрономические наблюдения Тихо Браге в ясную и строгую математическую конструкцию. Здесь хочется подчеркнуть одно обстоятельство методологического плана, иллюстрирующее логику научного поиска. Теория Н. Коперника, его гелиоцентрическая система, вызвала много возражений и вопросов, поскольку с позиций современных ей требований она была действительно научной теорией, отвечая условию фальсифицируемости (см. гл.1). Именно этот факт оказался причиной тщательнейших астрономических наблюдений Тихо Браге, не принявшего систему Н. Коперника и пытавшегося её 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  $\Delta S$  в равные промежутки времени  $\Delta t$ . По существу, речь идет об установлении для Солнечной системы некой кинематической константы

$$\Delta S / \Delta t = \text{const.} \quad (2.4)$$

Иногда этот закон называют законом равных площадей (рис. 2.8)

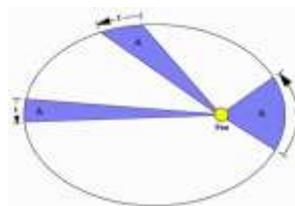


Рис. 2.8. Иллюстрация ко второму закону Кеплера (Интернет).

### Третий закон.

$$R^3/T^2 = \text{const}, \quad (2.5)$$

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  $R^3/T^2 = 3,35 \cdot 10^{18} \text{ м}^3/\text{с}^2 = K$  – постоянная Кеплера (с точностью до второго знака, в третьем знаке уже заметны отличия).

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 Птолемея, опиравшейся на геоцентрическую идеологию, тем более, что обе схемы достаточно точны. Для задач кинематики они правомерны, так как у них различна только система координат. Я специально обращаю внимание на последнее обстоятельство, 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 её правомерности для прикладных задач. Но, как видно на этом примере, объективность ещё 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 отсчёта 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, они 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

$$a = 4\pi^2 R / T^2. \quad (2.6)$$

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

$$F = ma = 4\pi^2 Rm / T^2, \quad (2.7)$$

где  $m$  – инерционная масса планеты.

3. Из третьего закона И. Кеплера

$$T^2 = R^3 / K, \quad (2.8)$$

где  $K$  – постоянная Кеплера.

$$F = 4\pi^2 Km / R^2 \quad (2.9)$$

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

$$4\pi^2 K = Gm_c, \quad (2.10)$$

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

5. Далее следует формула закона тяготения

$$F = Gm_c m / R^2. \quad (2.11)$$

Из формулы (2.10) нетрудно найти значение величины  $G$ , называемой *постоянной тяготения*, при  $K = 3,35 \cdot 10^{18} \text{ м}^3/\text{с}^2$ ;  $m_c = 1,98 \cdot 10^{30} \text{ кг}$ .

$$G = 4\pi^2 K / m_c \cong 0,667 \cdot 10^{-10} \text{ м}^3/(\text{с}^2 \cdot \text{кг}). \quad (2.12)$$

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 ещё И. Ньютоном.

Для Солнечной системы закон тяготения работает почти безупречно. Единственная планета, расчетная орбита которой, хотя и незначительно, но всё 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 её 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 и геофизик

должны не только представлять устройство Солнечной системы, Галактики, Метагалактики, но и вникать в суть законов, управляющих развитием Вселенной, ясно понимать, какие из них они 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.

### ***Астероиды, метеориты и кометы.***

***Астероиды.*** Большая их часть находится в так называемом астероидальном кольце между орбитами Марса и Юпитера на расстояниях 2,3–3,3 а. е. от Солнца (см. рис 2.7). Зону астероидов иногда называют «каменноломней Солнечной системы», желая тем самым подчеркнуть представление о её 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 из них – 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 железозакаменным. С-астероиды преобладают во внутренней части астероидального пояса, S-астероиды – во внешней. Таким образом, можно говорить о некоторой космохимической закономерности:

*состав астероидов зависит от гелиоцентрического расстояния.*

В настоящее время по фотометрическим показателям прослеживается значительное сходство между материалом, из которого построены астероиды и метеориты. Это даёт основание *рассматривать астероиды как источник метеоритов* и реконструировать по метеоритам их минеральные, структурные и химические особенности. В отличие от

астероидов метеориты доступны для прямых исследований.

Метеориты. 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 (железо-никелевая) и
- сульфидная (троилитовая. Троилит – минерал FeS. На Земле редок).

Другие фазы имеют подчиненное значение. В метеоритах обнаружено до 70 минералов. Среди них присутствуют и важнейшие породообразующие: *оливин, пироксены, плагиоклазы* (см. материалы практических занятий). Однако средний состав метеоритов по своему разнообразию существенно уступает среднему химическому составу земной коры. Свыше 90 % их массы представлено 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%. Они представляют собой недифференцированное вещество, а потому, по мнению специалистов, наиболее полно отражают первичные процессы, определявшие формирование 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 диаметре) силикатного состава, создающих зернистую и крупчатую структуру.*

Каждый год на Землю падает около 2000 метеоритов со средней массой в 100 кг. Очень крупные метеориты оставляют на поверхности Земли следы в виде огромных кратеров. Пример такого кратера показан на рис.2.9.

Кроме метеоритов Земли получает большое количество *метеоритной пыли* (см. рис. 2.10) около  $2 \cdot 10^9$  кг, что превышает вклад в прирост массы Земли от крупных метеоритов почти в  $10^4$  раза.

По метеоритам, и хондритам в особенности, существует огромная литература.



Рис. 2.9. Метеоритный кратер Барринджера близ Уинслоу. Аризона [Струве и др., 1967].

Диаметр около 1200 м, глубина – 175 м. Вал возвышается над поверхностью пустыни примерно на 37 м. Внутри и вокруг кратера обнаружены осколки никелистого железа. Считается, что основная часть метеорита находится на 400 м ниже южного вала кратера.

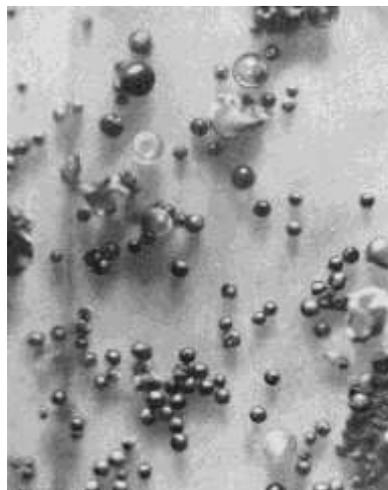


Рис. 2.10. Микрофотография метеоритной пыли [Струве и др., 1967].

Кометы – это космические тела, происхождение, состав и структура которых до сих пор вызывают острые дискуссии.

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  $\sim 76$  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.

Предполагается, что их ядра состоят на 75 % из льда и на 25 % из пыли и каменного материала. При этом лёд 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. 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.



Рис. 2.11. Комета Мркоса. 1957 г. [Струве и др. 1967]

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.

***Общий вывод:***

*Земля в структуре Солнечной системы «живёт» по законам Кеплера и Ньютона. В её формировании принимают участие метеориты и метеоритная пыль.*

## 2.5. Земля. Планетарная характеристика.

### *Основные понятия.*

1. **Шар** – часть, пространства, ограниченная сферой.
2. **Сфера** – замкнутая поверхность, все точки которой равно удалены от центра.
3. **Эллипсоид вращения (сфероид)** – шар, сжатый у полюсов
4. **Трехосный кардиоидальный эллипсоид** – сфероид, который имеет различные полярные и экваториальные оси (кардиоид – от лат. *kardia* – сердце).
5. **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.
6. **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 *ecliptica* – затмение.* Плоскость эклиптики пересекает 12 созвездий, которые называются созвездиями зодиака. Она служит основной плоскостью в эклиптической системе небесных координат.
7. **Нутация Земли** – небольшие колебания земной оси, вызываемые некоторыми особенностями притяжения Луной и накладывающиеся на её прецессионное движение.

### *Геометрические модели.*

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 условных, внемасштабных 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 *офизичивание* 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 её без вращения и допускать изометрию Земли по плотности. Если же «разрешить» этому шару вращаться, то придется постулировать его как абсолютно твёрдое и крепкое 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  $R_{\text{ш}} = 6371,116$  км, а плотность  $\rho = 5,52$  г/см<sup>3</sup>.

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  $R_{\text{п}}$  и
- экваториальный  $R_{\text{э}}$ .

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

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

По этим характеристикам вычисляются площадь поверхности ( $5,1008 \cdot 10^8$  км<sup>2</sup>) и объем ( $1,0833 \cdot 10^{12}$  км<sup>3</sup>), а также определяются длины дуг меридианов и параллелей. Модель используется для расчёта 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. Гл. 4).

Наряду с эллипсоидом Ф. Н. Красовского существует 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

$$\varepsilon = (R_{\text{эдл}} - R_{\text{экор}}) / R_{\text{эдл}} = 1/30000$$

[ $R_{\text{эдл}}$  – большой радиус экватора,  $R_{\text{экор}}$  – короткий радиус экватора.],

и определена долгота наибольшего меридиана  $\lambda = 15^\circ$  к востоку от Гринвича. Современные исследования позволили оценить и различие

полярных полуосей ( $R_N$  – северный радиус,  $R_S$  – южный радиус):

$$R_N - R_S \cong 100 \text{ м.}$$

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 её 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 рассматривается в главе 4.*

#### ***Некоторые дополнительные характеристики.***

1. Среднее расстояние от Земли до Луны – 384 400 км.
2. Длина земной орбиты – 939 120 000 км.
3. Средняя скорость движения Земли по орбите – 29,765 км/с
4. Постоянная нутация (стандартная эпоха 2000) – 9,2109".

#### ***Общий вывод:***

*для решения геофизических задач теории и практики используются различные геометрические модели Земли; наиболее часто при вычислениях прибегают к модели сфероида.*

## **2.6. Открытия и поиски.**

### **Столкновение галактик.** (По материалам Натальи Сотниковой, 2007).

В середине XX века астрономы впервые обратили внимание, что галактики, близко расположенные друг к другу, имеют не стандартный вид. Этому факту не придали особого значения, поскольку наблюдательными средствами тогдашней астрономии число этих необычностей оценивалось всего лишь в 5% от нормы. Их тщательное изучение начал крупнейший советский астроном Б.А. Воронцов-Вельяминов, предложивший называть такие галактики *взаимодействующими* (1958 г.). Постепенно интерес к ним возрастал и сегодня таких «сдвоенных» звёздных систем «уродцев» обнаружено довольно много (рис. 2.12).

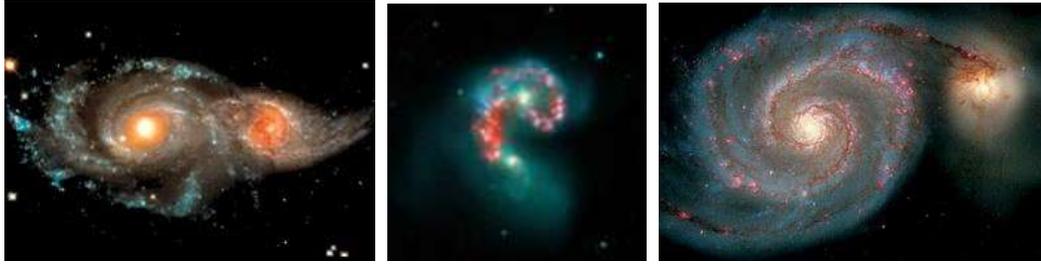


Рис.2.12. Примеры столкновения галактик

Слева: Столкновение галактик NGC 2207и IC 2163 продолжается уже 40 миллионов лет. *В будущем их ждёт полное слияние.*

В центре: Две галактики Антенны (NGC 4038/39), расположенные на расстоянии 68 миллионов световых лет от Земли. Находятся в процессе взаимопроникновения (ранняя стадия процесса столкновения). Снимок выполнен с помощью орбитального телескопа «Хаббл» [Американское космическое агентство. 21 ноября 2006г.]

Справа: Спиральная галактика Водоворот (M51, NGC 5194/95. Ярко выражена спиральная структура. По-видимому, возникла из-за гравитационного влияния меньшей галактики NGC 5195 (сверху справа). Её свет частично заслоняется пылью на конце спирального рукава M51.

Мысль о том, что столкновение галактик может заканчиваться полным их слиянием, впервые была высказана братьями Аларом и Юри Тумре (Германия, 1972 г.). Они назвали такой результат *мерджингом*. Алар Тумре построил систему их 11 галактик-мерджеров, которая отражала разные стадии взаимодействия. Последующие исследования показали, что бо'льшая часть галактик не укладывается в стандартную классификацию Э. Хаббла. Напрашивался вывод, что нормальные галактики в молодости должны были пережить стадию «уродцев». Взаимодействие галактик было признано механизмом их эволюции.

Уже в начале 70-х годов прошлого века стала разрабатываться идея, что галактики кроме звёзд и газа содержат *тёмное гало* (тёмную материю). Проблема тёмной материи ещё далека от разрешения, но считается, что изучение взаимодействия галактик поможет в ней разобраться. Сегодня полагают, что галактики возникают из маленьких звёздных систем и в результате *мерджинга* образуют большие структуры.

**Поиски первопричины.** Елена Петровна Блаватская, создатель теософии (религии разума) [1991], кажется, впервые поставила вопрос о существовании некой первопричины:

- В основе каждого явления лежит какая-то причина.
- У каждой такой причины должна быть тоже причина.
- Двигаясь в прошлое, мы неминуемо придём к первопричине – причине без причины.

Е.П. Блаватская назвала её *Непознаваемой Сущностью*. Сегодня ведутся

упорные исследования в направлении создания так называемой *окончательной теории* [Грин, 2005]. Любопытное представление о ней высказано Стивеном Вайнбергом [2004, с.10]:

- Представьте себе пространство научных принципов, заполненное стрелками, указывающими на каждый принцип и исходящими из тех принципов, которые объясняют последующие. ...они не направлены хаотично и бесцельно. ...все они связаны так, что если двигаться к началу стрелок, то кажется, что все они выходят из общей точки. *Эта начальная точка, к которой можно свести всё объяснение, и есть то, что я подразумеваю под окончательной теорией.* (Выделено мною).

Я не вижу в этом высказывании принципиальной разницы с идеями Е. Блаватской, хотя оно и сформулировано лауреатом Нобелевской премии по физике 1979 года – практически на 100 лет позже. Но и Е. Блаватская опиралась на древние тибетские рукописи, которые в свою очередь истолковывали *начальные символы архаичного манускрипта из коллекции пальмовых листьев*. (См. Павлов, 2009).

В известной книге Курта Вонегута «Колыбель для кошки» есть прекрасная мысль (кажется, ставшая афоризмом):

- Если учёный не может объяснить восьмилетнему мальчику, чем он занимается – он шарлатан.

Современная наука немислима без математик. Их много. Построения носят всё более и более изощрённый характер. Часто различным учёным даже становится трудно понимать друг друга [Грин, 2005]. И всё же, когда результаты исследований становятся достаточно понятными, авторам хочется изложить их доступными для всех смертных простыми словами. Примеров тому много. Можно назвать лишь несколько имён: А. Пуанкаре, Морис Клайн, Борис Раушенбах, Стивен Хоукинг, Стивен Вайнберг, Брайн Грин. И тут вдруг оказывается, что истины, о которых они говорят, были известны задолго до них. И эти истины предшественниками «просто» угаданы (без математики).

Возьмём хотя бы Библию.

- Теория Большого взрыва. Сингулярность в вечности. Вся материя (без которой наука себя не мыслит) в этой точке.
- Библия: **2. ...и тьма над бездною.**
- Взрыв сингулярности.
- Библия: **3. И сказал Бог: да будет свет. И стал свет.**
- И далее: появление звёзд: **4. ... и отделил Бог свет от тьмы.**
- Появление косной материи, затем живой и, наконец, человека. Ну и что же наука тут принципиально нового изобрела?

1951 год. Церковь официально приняла модель Большого взрыва, посчитав, что она хорошо согласуется с Библией.

1981 год. В Ватикане прошла конференция по космогонии. В ней участвовали крупнейшие физики. После конференции её участники были удостоены аудиенции Папы, который поддержал учёных:

– *Эволюцию Вселенной после Большого взрыва изучать можно.*

При этом сделал оговорку:

– *Не следует вторгаться в сам Большой взрыв, поскольку это акт Творения (Божественный акт).*

*Правда, никто и не знает, как это можно сделать, хотя сегодня начали искать «частицу Бога» (по выражению журналистов).*

Поиски первопричины переходят из области теоретических построений в область эксперимента. Ещё в 1982 году в США было начато планирование уникальной научной установки под названием Сверхпроводящий суперколлайдер (ССК). Это должен быть овальный туннель протяжённостью почти 85 км, буквально напичканный сложнейшей аппаратурой. Главные её элементы – тысячи сверхпроводящих магнитов. Именно им предназначалось выполнять роль движителей протонов, разгонять их до огромных скоростей. Стоимость проекта оценивалась в 8 миллиардов долларов. Этому проекту не суждено было состояться.

Но в Европейском Центре Ядерных Исследований (ЦЕРН) похожую установку удалось построить. Она была меньших размеров (27 км) и получила название Большого Адронного Коллайдера (БАК). [Адроны – общее название элементарных частиц, участвующих в сильных взаимодействиях (от др. греч. – крупный массивный)].



Рис. 2.13. Фрагмент БАК. [Интернет].

Одна из главных задач, которую на нём предполагалось решить – обнаружить так называемый *бозон Хиггса* [по имени шотландского физика Питера Хиггса, теоретически обосновавшего его (1964 г)]. Это экзотическая субатомная частица – единственное недостающее звено в Стандартной модели элементарных частиц. Его роль в дальнейшем познании Мира считается настолько великой, что в СМИ его окрестили *«частицей Бога»*. На БАК планировалось разобраться и с проблемой *тёмной материи*, а также обнаружить *новые измерения*, отличные от известных четырёх.

Но с самого начала работу БАК *преследовали постоянные и какие-то мистические неудачи*. В связи с ними было высказано предположение, что *это не простые совпадения, а сам коллайдер препятствует*

*проведению экспериментов.* Версия даже была подкреплена расчётами. Их сделали два выдающихся физика. Один из Института Нильса Бора (Хорбер Бех Нильсен), другой – из института теоретической физики в Киото (Масао Ниномия). Такое впечатление, что человек подошёл к той границе, за которой он ничего не знает, не понимает и знать не может по определению. Но границу хочет переступить, шагнув в никуда, может быть, в вечность. Но что-то или кто-то не пускает людей за черту, являющуюся запретной. В печати эта мысль была трансформирована в тезис «... адронный коллайдер сломал сам Бог». Сегодня БАК работает в пол-силы.

*Земные эксперименты возвращают фундаментальные поиски во Вселенную. Искать следует там.*

Обращение к Богу при работе на БАК начало сильно влиять на общественность, которая проявляет постоянный интерес к работе физиков и астрономов в области мироздания. Видимо, поэтому журналисты, освещая в печати новые открытия астрономов, всё чаще начинают привлекать к ним имя Творца.

**Глаз Бога.** В феврале 2009 года европейским астрономам в обсерватории Ла-Силла (Чили) удалось получить очень чёткое изображение планетарной туманности NGC 729 (Helix Nebula). Она впервые была обнаружена в созвездии Водолея ещё в 1984 году немецким астрономом Карлом Людвигом Хардингом. Тогда она выглядела, как спираль, и Хардинг назвал её улиткой. Но современные снимки открыли новое видение. Оно напоминает глаз. И в СМИ туманность тут же окрестили «**Глазом Бога**».



Рис. 2.14. «Глаз Бога».

Он расположен от нас на расстоянии 700 световых лет. Предположительно состоит из двух дисков. Внутренний, более яркий, расширяется со скоростью 100 тысяч километров в час. Диаметр «зрачка» оценивается в 2,2 световых года. Его возраст составляет 12 тысяч лет (в это время затонула Атлантида). По оценкам астрономов «глаз» образовался из остатков крупных звёзд – красных гигантов, которые сбросили слои газа. Облака этого газа светятся. Атомы кислорода придают этому свечению голубой цвет.

**Общий вывод.**

*Человека всегда волновала мысль о своём появлении на Земле. Религия давно ответила на этот вопрос, призвав на помощь Бога. Но это была некая абстракция, хотя и воплощаемая в виртуальную реальность. Развитие науки и, в частности, расширение понятий о Вселенной, о Земле, как её структурном элементе, заставило искать некую окончательную теорию, как воплощение первопричины всего. При этом появились «веские» аргументы искать частицу, которая бы могла рассматриваться как некий «кирпичик», из которого всё произошло.*

## 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.
3. Струве О., Линдс Б., Пилланс. Элементарная астрономия. – М.: Наука, 1967. – 483 с.

### Дополнительная

1. Атлас океанов. Термины. Понятия. Справочные таблицы. – М.: Мин. обороны СССР. Военно-морской флот, 1980. – 156 с.
2. Астрономия. Методология. Мироззрение. – М.: Наука, 1971. – 395 с.
3. Блаватская Е.П. Тайная доктрина. Космогенез. Кн. 1. – М.: Прогресс-Сирин, 1991. – 369 с.
4. Вайнберг С. Мечты об окончательной теории. Физика в поисках самых фундаментальных законов природы. – М.: Едиториал УРСС, 2004. – 256 с.
5. Грин Б. Элегантная Вселенная. Суперструны, скрытые размерности и поиск окончательной теории. – М.: Едиториал УРСС, 2005 – 288 с.
6. Данлоп С. Азбука звездного неба. – М.: Мир, 1990. – 235 с.
7. Киппенхан Р. 100 миллиардов звезд. Рождение, жизнь и смерть. – М.: Мир, 1990. – 289 с.
8. Лемоник М. Таинственный объект во Вселенной – огромный и невидимый // За рубежом, 1986, № 23 (1352).
9. Новиков И.Д. Как взорвалась Вселенная. – М.: Наука, 1988. – 175 с.
10. Павлов А.Н. Методологические основания современной геологии. – СПб.: РГГМУ, 2009. – 112 с.
11. Филиппов А. Т. Многоликий солитон. – М.: Наука, 1986. – 221 с.
12. Чернин А. Д. Звезды и физика. – М., Наука, 1984, вып. 38. – 159 с.
13. Шкловский И. С. Звезды: их рождение, жизнь и смерть. – М.: Наука, 1984. – 383 с.