



Министерство образования и науки Самарской области
Государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение
Самарской области
«САМАРСКИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ КОЛЛЕДЖ»
(ГБПОУ «СЭК»)

А. С. Ахметова

АСТРОНОМИЯ (общеобразовательный цикл)

Конспект лекций для студентов всех специальностей

Самара

Конспект лекций по Астрономии (общеобразовательный цикл) для студентов всех специальностей / сост.: Ахметова А. С. – Самара: ГБПОУ «СЭК». – 116 с.

Издание содержит конспект лекций по Астрономии (общеобразовательный цикл).

Замечания, предложения и пожелания направлять в ГБПОУ «СЭК» по адресу: 443001, г. Самара, ул. Самарская 205-А или по электронной почте info@sam-ek.ru

Тема 1 Предмет астрономии

1.1 Предмет и задачи астрономии

Астрономия – наука о Вселенной, изучающая движение, строение, происхождение и развитие небесных тел и их систем.

Астрономия изучает Солнце и звезды, планеты и их спутники, кометы и метеорные тела, туманности, звездные системы и материю, заполняющую пространство между звездами и планетами, в каком бы состоянии эта материя ни находилась.

Слово «астрономия» происходит от двух греческих слов: «астрон» – звезда, светило и «номос» – закон.

При изучении небесных тел астрономия ставит перед собой три основные задачи, требующие последовательного решения:

1. Изучение видимых, а затем и действительных положений, и движений небесных тел в пространстве, определение их размеров и формы.

2. Изучение физического строения небесных тел, т.е. исследование химического состава и физических условий (плотности, температуры и т.п.) на поверхности и в недрах небесных тел.

3. Решение проблем происхождения и развития, т.е. возможной дальнейшей судьбы отдельных небесных тел и их систем.

Вопросы первой задачи решаются путем длительных наблюдений, начатых еще в глубокой древности, а также на основе законов механики, известных уже около 300 лет. Поэтому в этой области астрономии мы располагаем наиболее богатой информацией, особенно для небесных тел, сравнительно близких к Земле.

О физическом строении небесных тел мы знаем гораздо меньше. Решение некоторых вопросов, принадлежащих второй задаче, впервые стало возможным немногим более ста лет назад, а основных проблем — лишь в последние годы.

Третья задача сложнее двух предыдущих. Для решения ее проблем накопленного наблюдательного материала пока еще далеко не достаточно, и наши знания в этой области астрономии ограничиваются только общими соображениями и рядом более или менее правдоподобных гипотез.

1.2 Подразделение астрономии

Современная астрономия подразделяется на ряд отдельных разделов, которые тесно связаны между собой, и такое разделение астрономии, в известном смысле, условно.

Главнейшими разделами астрономии являются:

1. **Астрометрия** – изучает положение небесных тел и вращение Земли, опираясь на теоретические и практические методы измерений углов на небе, для чего организуются позиционные наблюдения небесных светил. Важнейшие цели астрометрии: - установление систем небесных координат, - получение параметров, характеризующих наиболее полно закономерности вращения Земли.

2. **Небесная механика** исследует движение космических тел под действием сил тяготения (в пространстве и времени). Опираясь на данные астрометрии, законы классической механики и математические методы исследования, небесная механика определяет траектории и характеристики движения космических тел и их систем, служит теоретической основой космонавтики.

3. **Астрофизика** изучает основные физические характеристики и свойства космических объектов (движение, строение, состав и т.д.), космических процессов и космических явлений, подразделяясь на многочисленные разделы: теоретическая астрофизика; практическая астрофизика; физика планет и их спутников (планетология и планетографии); физика Солнца; физика звезд; внегалактическая астрофизика и т. д.

4. **Космогония** изучает происхождение и развитие космических объектов и их систем (в частности Солнечной системы).

5. **Космология** исследует происхождение, основные физические характеристики, свойства и эволюцию Вселенной. Теоретической основой ее являются современные физические теории и данные астрофизики и внегалактической астрономии.

1.3 Основа и источник астрономических исследований

Основа астрономии – наблюдения. Наблюдения доставляют нам основные факты, которые позволяют объяснить то или иное астрономическое явление.

Из-за большой удаленности и конечности скорости света мы наблюдаем события в глубинах Вселенной, которые произошли в далеком прошлом.

Для точности наблюдений, нужны приборы. Наблюдения проводятся в специализированных учреждениях – обсерваториях.

Телескоп увеличивает угол зрения (разрешающая способность) и собирает больше света (проникающая сила).

Телескопы бывают самыми разными: **оптические** (общего астрофизического назначения, коронографы, телескопы для наблюдения ИСЗ), **радиотелескопы**, **инфракрасные**, **нейтринные**, **рентгеновские**. Все оптические телескопы можно разделить на три вида:

- рефрактор;
- рефлектор;
- зеркально-линзовые.

Линзовые телескопы (рефракторы)

Рефракция (от лат. «рефракцио» преломление) это преломление света, происходящее на границах раздела двух прозрачных сред. В телескоп-рефракторе линза объектива преломляет параллельные лучи света, идущие из космоса, и собирает их в точке – фокусе объектива (см. рисунок). Вблизи этой точки можно получить изображение космического объекта. Чтобы его увеличить и рассмотреть, используют вторую линзу – окуляр. Она размещается так, чтобы фокус окуляра совпадал с фокусом объектива. Так как зрение

у людей разное, то окуляр делают подвижным, чтобы было возможно скорректировать близорукость или дальнозоркость человека-наблюдателя.



Самый крупный телескоп-рефрактор находится в Йеркской обсерватории (США) с длиной трубы более 60 м и линзой объектива диаметром 102 см, фокусное расстояние которого составляет 19,2 метра (см. фото). Более крупные линзы в телескопах не используются, так как они очень тяжёлые. Это ведёт к изгибанию трубы объектива и ухудшению качества изображения.

В настоящее время телескопы-рефракторы используются по всему миру многочисленными любителями и профессионалами для наблюдения и фотографирования ближайших небесных тел – Солнца, Луны, планет и др. Эти наблюдения могут быть визуальными, фотографическими, реже – спектральными и фотоэлектрическими. В России крупнейший телескоп-рефрактор с линзой объектива диаметром 65 см установлен в Пулковской обсерватории.

Зеркальные телескопы (рефлекторы)

Рефлексия (от лат. «рефлексио» обращение назад, отражение). Телескопы-рефлекторы обязательно содержат в своём объективе сферическое вогнутое зеркало. Оно собирает световые лучи и отражает их с помощью маленького плоского зеркальца в сторону окуляра – линзы, в фокусе которой строится изображение. Зеркальные телескопы изготавливать проще и дешевле (так как их детали не такие тяжёлые). Именно поэтому их производство бурно развивается, в то время как крупные линзовые телескопы уже очень давно не изготавливают.



Крупнейшими в мире телескопами-рефлекторами являются 2 телескопа, расположенные в горах на Гавайях, сданные в эксплуатацию в 1993-1996 годах. Они установлены рядом на одной платформе и при совместном использовании дают увеличение, соответствующее диаметру зеркала 85 м.

В настоящее время телескопы-рефлекторы используются по всему миру многочисленными любителями и профессионалами для изучения не только астрономически близких объектов, но и более удалённых – галактик, туманностей, звёздных скоплений и других.

Зеркально-линзовые телескопы (катадиоптрики)

Зеркально-линзовый или катадиоптрический телескоп представляет собой оптический прибор, который имеет в своей конструкции как зеркала, так и линзы (в данном случае линзы используются для коррекции изображения). Благодаря использованию корректирующей линзы можно добиться больших

увеличений при достаточно небольших размерах трубы телескопа. При этом положение линзы остается фиксированным, а зеркала как и в обычном рефлекторе нуждаются в регулярной юстировке.

Телескоп Шмидта-Кассегрена. В его конструкцию входят асферические пластинки, направляющие свет на первичное вогнутое зеркало. Данные пластинки используются для исправления сферической аберрации главного зеркала. После этого, пучок света отражается от основного зеркала, далее от вторичного зеркала и отправляется в отверстие в центре первичного зеркала, где устанавливается окуляр. В данном телескопе фокусировка производится с помощью перемещения окуляра или главного зеркала. Телескоп Шмидта-Кассегрена отличается компактностью и большим полем зрения (используется для создания обзоров неба), однако у него есть и существенный недостаток – уменьшение контрастности изображения из-за большого вторичного зеркала (что приводит к уменьшению собираемого света).

Телескоп Максутова-Кассегрена. Телескоп по своей конструкции напоминает телескоп Шмидта-Кассегрена, однако в данном случае вместе пластинок используется выпукло-вогнутая линза (мениск) со сферической формой обеих поверхностей. На внутренней стороне линзы имеется небольшой участок, покрытый отражающим материалом, который служит в роли вторичного зеркала. Подобная линза гораздо обладает большим весом, чем пластинки, что делает данный телескоп более тяжелым. Однако использование линзы оправдывается исправлением сферической аберрации, хроматической аберрации и комы.

Стоит отметить, что данная система также может предусматривать и наличие отдельного вторичного стекла, которое прикрепляется к линзе, что позволяет создать более светосильный телескоп. Так как данная конструкция является более сложной по сравнению с типичным телескопом Максутова-Кассегрена, то такие телескопы относятся уже к телескопам профессионального класса и стоят на порядок выше.

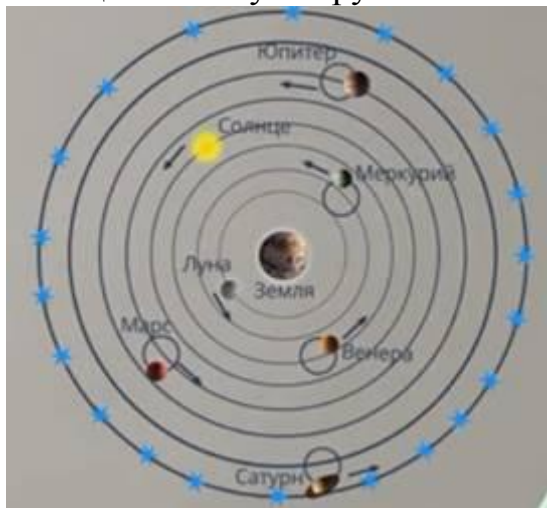
Телескоп Клевцова. Существует три разновидности данных телескопов: а) с мениском и отражательной линзой; б) с двухлинзовым корректором; в) с мениском, склеенным из двух линз. При этом менисковый корректор по своему диаметру не превышает трети действующего отверстия телескопа. В данной оптической схеме не используются асферические поверхности. Телескоп Клевцова не требует корректировок.

Таким образом, зеркально-линзовые телескопы обладают достоинствами и недостатками как рефлектора, так и рефрактора. К достоинствам стоит отнести отсутствие сферической аберрации благодаря наличию корректора, большое поле зрения, высокая светосила, отсутствие необходимости настройки положения линзы, компактность всей системы.

Недостатками зеркально-линзовых телескопов являются: хроматическая аберрация и кома из-за наличия оптических элементов из стекла, большое время термостабилизации, ограниченность относительного отверстия остаточными аберрациями.

1.4 Геоцентрическая и гелиоцентрическая системы

Понятно, что в астрономии сложно с экспериментами. Гораздо больше возможностей для наблюдения, и важно, как полученные с помощью наблюдений данные обработать. Вы наверняка слышали о средневековом споре: вращается ли Солнце и остальные планеты вокруг Земли или же Земля вращается вокруг своей оси, а также вместе с остальными планетами вокруг Солнца. К этому спору относится знаменитая фраза:



«И все-таки она вертится», которую якобы произнес Галилей уже после того, как инквизиция заставила его отречься от своих убеждений.

Рисунок 1 – Модель Птолемея

Геоцентрическая система мира («гео» – Земля, то есть система мира, в которой Земля расположена в центре, и все планеты и Солнце вращаются вокруг нее) возникла естественно: каждый день наши предки видели, как Солнце, Луна и другие объекты движутся по небу.

Эта модель (модель Птолемея, рис. 1) существовала довольно долго еще и потому, что давала вполне пригодные предсказания.

Из физики в модели кинематики мы знаем, что движение относительно и определяется системой отсчета. «Назначить» таким центром можно что угодно, и рассматривать остальной мир относительно себя (и небесные тела относительно Земли) вполне естественно, что и предполагает модель Птолемея. Движение Солнца и Луны в такой системе отсчета описывалось неплохо, а вот с движением планет были проблемы.

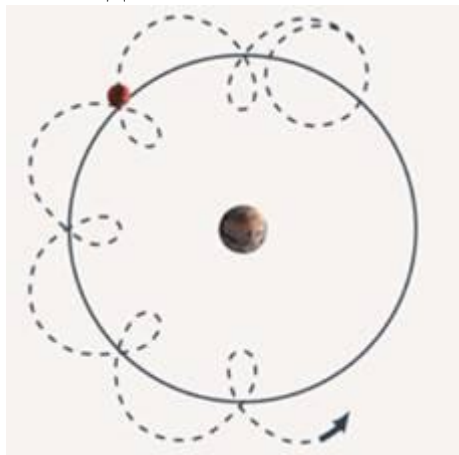


Рисунок 2 – Сложная траектория планеты в геоцентрической системе

Тихо Браге собрал большой массив данных о движении планет, которое оказалось гораздо сложнее, чем предсказывалось в геоцентрической модели (см. рис. 2). И переход к системе отсчета, связанной с Солнцем (гелиоцентрической системе) позволил описать это движение намного проще. Представляете гениальность догадки, когда сложное движение Марса (рис. 2) после идеи: «А что, если

рассмотреть центр орбиты в центре Солнца?» превращается в простое движение по окружности? Но когда все вокруг убеждены в какой-то системе, предложить что-то принципиально новое, додуматься, что можно это систему поменять, дорогого стоит. В этом и важность вклада Николая Коперника, Галилео Галилея, Джордано Бруно и других ученых того времени.

С одной стороны, утверждение, что планеты Солнечной системы вращаются вокруг Земли, неверное, а с другой – движение можно рассматривать в любой системе отсчета, так почему бы не взять систему отсчета, связанную с Землей?

Действительно, работать в системе отсчета, связанной с Землей, не ошибка. Но ошибкой было считать, что траектории движения планет вокруг Земли близки к круговым и Земля находится в центре этих окружностей. Эту модель чаще всего подразумевают под геоцентрической (рис. 3). Центр окружности (приблизительной окружности), по которой движется Луна, действительно совпадает с Землей, и в этом смысле можно считать, что она вращается вокруг Земли.

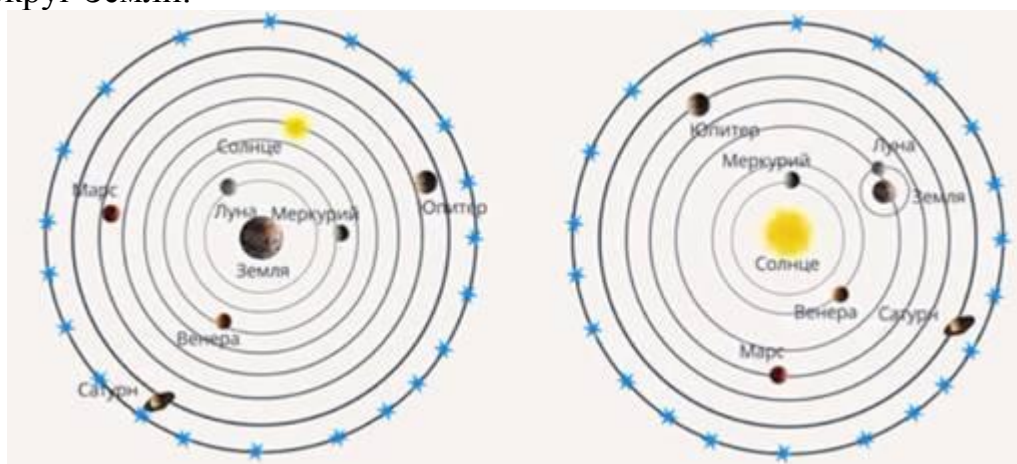


Рисунок 3 – Геоцентрическая и гелиоцентрическая системы

Траектории движения планет близки к круговым в системе отсчета, связанной с Солнцем, и Солнце находится приблизительно в центре этих окружностей. В этом смысле планеты движутся вокруг Солнца. Их движение можно рассмотреть и относительно Земли, но в этой системе отсчета его будет сложнее описать.

Также развитие астрономии зависит от приборов: усовершенствовались оптическая линза, созданы приемники излучения других спектров, не только оптического, получила развитие радиоастрономия. Появилась возможность запускать в космос ракеты, космические зонды, которые присылают все более качественные снимки небесных тел и даже пробы грунта. И вновь полученные данные ставят перед нами задачи, которые требуют новых гипотез.

1.5 История развития отечественной космонавтики

Космонавтика стала делом жизни нескольких поколений наших соотечественников. Российские исследователи были первооткрывателями в этой сфере. Огромнейший вклад в дело развития космонавтики внес российский ученый, простой учитель уездного училища Калужской губернии Константин

Эдуардович Циолковский.

Размышляя о жизни в космическом пространстве, Циолковский начал писать научную работу под названием «Свободное пространство». О том, как выйти в космос, ученый пока не знал. В 1902 г. К.Э. Циолковский прислал в журнал «Новое обозрение» труд, сопроводив его записью: «Я разработал некоторые стороны вопроса о поднятии в пространство с помощью реактивного прибора, подобного ракете. Математические выводы, основанные на научных данных и много раз проверенные, указывают на возможность с помощью таких приборов подниматься в небесное пространство, и, может быть, обосновывать поселения за пределами земной атмосферы».

В 1903 г. этот труд – «Исследование мировых пространств реактивными приборами» – был опубликован. В нем ученый разработал теоретические основы возможности полетов в космос. Эта работа и последующие труды, написанные Константином Эдуардовичем, дают основание нашим соотечественникам считать его отцом российской космонавтики.

Глубокие исследования возможности полетов человека в космос связаны с именами других российских ученых – инженера Ф.А. Цандера и самоучки Ю.В. Кондратюка. Каждый из них внес свой вклад в развитие космонавтики. Фридрих Артурович много работ посвятил проблеме создания условий для жизни человека в космосе. Юрий Васильевич разработал многоступенчатый вариант ракеты, предложил оптимальную траекторию вывода ракеты на орбиту. Эти идеи наших соотечественников используются в настоящее время всеми космическими державами, имеют общемировое значение.

Целенаправленное развитие теоретических основ космонавтики как науки и проведение работ по созданию реактивных аппаратов в нашей стране связано с деятельностью в 20-30-х годах Газодинамической лаборатории (ГДЛ) и Групп изучения реактивного движения (ГИРД), а в дальнейшем Реактивного научно-исследовательского института (РНИИ), сформированного на основе ГДЛ и московской ГИРД. В этих организациях работали Ф.А. Цандер, В.П. Ветчинкин, М.К. Тихонравов, Ю.А. Победоносцев, Н.И. Тихомиров, И.Т. Клейменов, В.П. Глушко и др., а также будущий Главный конструктор ракетно-космических систем С.П. Королев, внесший основной вклад в создание первых ракет-носителей (РН), искусственных спутников Земли, пилотируемых космических кораблей (КК). Усилиями специалистов в этих организациях были разработаны первые реактивные аппараты с двигателями на твердом и жидком топливе, проведены их огневые и летные испытания. Было положено начало отечественной реактивной технике.

Работы и исследования по ракетной технике практически во всех возможных областях ее применения до Великой Отечественной войны и даже во время велись в нашей стране достаточно широко. Кроме ракет с двигателями на различных видах топлива, был разработан и испытан ракетоплан РП-318-1 на основе планера СК-9 (разработки С.П. Королева) и двигателя РДА-1-150 (разработки Л.С. Душкина), показавший принципиальную возможность создания и перспективность реактивной авиации. Были разработаны также раз-

личные типы крылатых ракет (классов «земля-земля», «воздух-воздух» и другие), в том числе и с автоматической системой управления. Естественно, широкое развитие в предвоенное время получили только работы по созданию неуправляемых реактивных снарядов. Разработанная простая технология их массового производства позволила гвардейским минометным частям и соединениям внести существенный вклад в дело победы над фашизмом.

13 мая 1946 г. Советом Министров СССР было выпущено основополагающее постановление, предусматривающее создание всей инфраструктуры ракетной промышленности. Значительный упор был сделан, исходя из складывавшейся к этому времени военно-политической обстановки, на создании жидкостных баллистических ракет дальнего действия (БРДД) с перспективой достижения межконтинентальной дальности стрельбы и оснащения их ядерными боезарядами, а также на создании эффективной системы ПВО, базирующейся на зенитных управляемых ракетах и реактивных истребителях перехватчиках.

Исторически создание ракетно-космической отрасли промышленности было связано с необходимостью разработки боевых ракет в интересах обороны страны. Таким образом, указанным постановлением были фактически созданы все необходимые условия быстрого развития отечественной космонавтики. Началась напряженная работа по становлению ракетно-космической промышленности и техники.

В историю человечества вошли два знаменательных события, связанных с развитием отечественной космонавтики и открывших эпоху практического освоения космоса: запуск на орбиту первого в мире искусственного спутника Земли (ИСЗ) (4 октября 1957 г.) и первый полет человека в космическом корабле по орбите ИСЗ (12 апреля 1961 г.). Роль головной организации в этих работах отводилась Государственному НИИ реактивного вооружения № 88 (НИИ-88), ставшему фактически «альма-матер» для всех ведущих специалистов ракетно-космической отрасли. В его недрах проводились теоретические, проектные и экспериментальные работы по перспективной ракетно-космической технике. Здесь же проектированием БРДД с жидкостным ракетным двигателем (ЖРД) занимался коллектив, возглавляемый Главным конструктором Сергеем Павловичем Королевым; в 1956 г. стал самостоятельной организацией – ОКБ-1 (сегодня это всемирно известная Ракетно-космическая корпорация (РКК) «Энергия» им. С.П. Королева).

Выполняя задания правительства по созданию БРДД, С.П. Королев направлял коллектив на одновременную разработку и выполнение программ изучения и освоения космоса, начиная с научных исследований верхних слоев атмосферы Земли. Поэтому за 11 полетом первой отечественной баллистической ракеты Р-1 (10.10.1948 г.) последовали полеты геофизических ракет Р-1А, Р-1Б, Р-1В и других.

Летом 1957 г. было опубликовано важное правительственное сообщение о проведении в Советском Союзе успешных испытаний многоступенчатой ракеты. «Полет ракеты, – говорилось в сообщении, – проходил на очень

большой, до сих пор не достигаемой высоте». Этим сообщением было отмечено создание грозного оружия межконтинентальной баллистической ракеты Р-7 – знаменитой «семерки».

Именно появление «семерки» обеспечивало благоприятную возможность выводить в космос искусственные спутники Земли. Но для этого необходимо было сделать очень много: разработать, построить и испытать двигатели общей мощностью в миллионы лошадиных сил, оснастить ракету сложнейшей системой управления, наконец, построить космодром, откуда ракете предстояло стартовать. Эту труднейшую задачу решили наши специалисты, наш народ, наша страна. Решили первыми в мире.

Работы по созданию первого искусственного спутника Земли возглавлялись королевским ОКБ-1. Проект спутника несколько раз пересматривался, пока, наконец, не остановились на варианте аппарата, запуск которого мог быть осуществлен с помощью созданной ракеты Р-7 и в сжатые сроки. Факт вывода спутника на орбиту должен был быть зафиксирован всеми странами мира, для чего на спутнике смонтировали радиотехническую аппаратуру.

4 октября 1957 года с космодрома Байконур первый в мире ИСЗ был выведен на околоземную орбиту ракетой-носителем Р-7. Точное измерение параметров орбиты спутника осуществлялось наземными радиотехническими и оптическими станциями. Запуск и полет первого ИСЗ позволили получить данные о продолжительности его существования на орбите около Земли, прохождению радиоволн через ионосферу и влиянию условий космического полета на бортовую аппаратуру.

12 апреля 1961 г. – этот день навсегда вошел в историю человечества: утром с космодрома «Байконур» мощная ракета-носитель вывела на орбиту первый в истории космический корабль «Восток» с первым космонавтом Земли – гражданином Советского Союза Юрием Алексеевичем Гагариным на борту.

За 1 ч. 48 мин Ю.А. Гагарин облетел земной шар и благополучно приземлился в окрестности деревни Смеловки Терновского района Саратовской области, за что был награжден Звездой Героя Советского Союза.

По решению Международной авиационной федерации (ФАИ) 12 апреля отмечается Всемирный день авиации и космонавтики. Праздник установлен указом Президиума Верховного Совета СССР от 9 апреля 1962 года.

После полёта Юрий Гагарин непрерывно совершенствовал своё мастерство как лётчик-космонавт, а также принимал непосредственное участие в обучении и тренировке экипажей космонавтов, в руководстве полётами КК «Восток», «Восход», «Союз».

Развитие ракетно-космических систем шло бурными темпами. Полеты первых искусственных спутников Земли, Солнца, Луны, Венеры, Марса, достижение впервые автоматическими аппаратами поверхности Луны, Венеры, Марса и мягкая посадка на эти небесные тела, фотографирование обратной стороны Луны и передача на Землю изображения лунной поверхности, первый облет Луны и возвращение на Землю автоматического корабля с живот-

ными, доставка роботом образцов лунной породы на Землю, исследование поверхности Луны автоматическим луноходом, передача на Землю панорамы Венеры, пролет вблизи ядра кометы Галлея, полеты первых космонавтов – мужчин и женщин, одиночные и групповые в одноместных и многоместных кораблях-спутниках, первый выход космонавта-мужчины, а затем и женщины из корабля в открытый космос, создание первой пилотируемой орбитальной станции, автоматического грузового корабля снабжения, полеты международных экипажей, первые перелеты космонавтов между орбитальными станциями, создание системы «Энергия»-«Буран» с полностью автоматическим возвращением многоразового корабля на Землю, длительная работа первого многозвенного орбитального пилотируемого комплекса и многие другие приоритетные достижения России в освоении космоса вызывают у нас законное чувство гордости.

Тема 2 Основы практической астрономии

Мы продолжим знакомство с картой звездного неба, изучим некоторые созвездия и рассмотрим, как можно найти некоторые из них среди огромного множества звезд в небе невооруженным взглядом. Также мы изучим некоторые системы координат для определения положения небесных тел и понятие освещенности звезд.

2.1 Небесная сфера

Небесная сфера – абстрактное понятие, воображаемая сфера бесконечно большого радиуса, центром которой является наблюдатель. При этом центр небесной сферы как бы находится на уровне глаз наблюдателя (иными словами, все что вы видите над головой от горизонта до горизонта – и есть эта самая сфера). Впрочем, для простоты восприятия, можно считать центром небесной сферы и центр Земли, никакой ошибки в этом нет. Положения звезд, планет, Солнца и Луны на сферу наносят в таком положении, в каком они видны на небе в определенный момент времени из данной точки нахождения наблюдателя.

Иными словами, хотя, наблюдая положение светил на небесной сфере, мы, находясь в разных местах планеты, постоянно будем видеть несколько различную картину, зная принципы “работы” небесной сферы, взглянув на ночное небо мы без труда сможем сориентироваться на местности, пользуясь простой техникой. Зная вид над головой в точке А, мы сравним его с видом неба в точке Б, и по отклонениям знакомых ориентиров, сможем понять где именно находимся сейчас.

Люди давно уже придумали целый ряд инструментов облегчающих нашу задачу. Если ориентироваться по “земному” глобусу просто с помощью широты и долготы, то целый ряд подобных элементов – точек и линий, предусмотрен и для “небесного” глобуса – небесной сферы.

Если наблюдатель сдвинется, то сдвинется, и вся видимая им сфера.



Рисунок 4 – Небесная сфера и положение наблюдателя

Элементы небесной сферы

Небесная сфера имеет ряд характерных точек, линий и кругов, рассмотрим основные элементы небесной сферы.

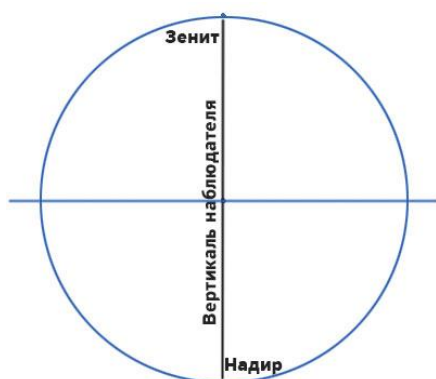


Рисунок 5 – Вертикаль наблюдателя

Вертикаль наблюдателя (отвесная линия) – прямая, проходящая через центр небесной сферы и совпадающая с направлением нити отвеса в точке наблюдателя. **Зенит** – точка пересечения вертикали наблюдателя с небесной сферой, расположенная над головой наблюдателя.

Надир – точка пересечения вертикали наблюдателя с небесной сферой, противоположная зениту.

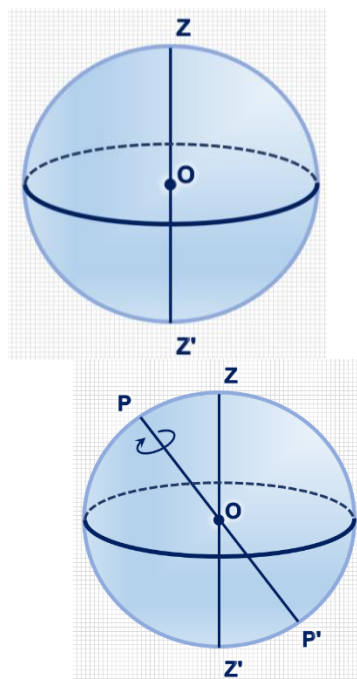


Рисунок 7 – Ось мира или земная ось

Истинный горизонт – большой круг на небесной сфере, плоскость которого перпендикулярна к вертикали наблюдателя. Делит небесную сферу на две части: *надгоризонтную полусферу*, в которой расположен зенит, и *подгоризонтную полусферу*, в которой расположен надир.

Рисунок 6 – Истинный горизонт и стороны света

Ось мира (Земная ось) – прямая, вокруг которой происходит видимое суточное вращение небесной сферы. Ось мира параллельна оси вращения Земли, а для наблюдателя, находящегося на одном из полюсов Земли, она совпадает с осью вращения Земли. Видимое суточное вращение небесной сферы является отражением действительного суточного вращения Земли вокруг своей оси.

Полюсы мира – точки пересечения оси мира с небесной сферой. Полюс мира, находящийся в области созвездия Малой Медведицы (P), называется

ся *Северным полюсом* мира, а противоположный полюс (P') называется *Южным полюсом*.

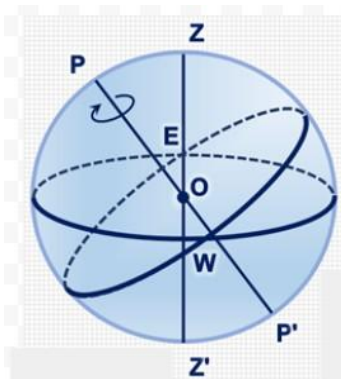


Рисунок 8 – Небесный экватор

Точка востока E – точка, в которой точки вращающейся небесной сферы пересекают математический горизонт, переходя из невидимой полусферы в видимую. W – точка запада.

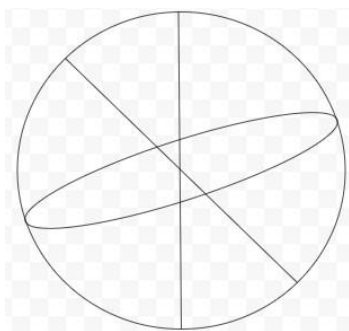


Рисунок 9 – Небесный меридиан

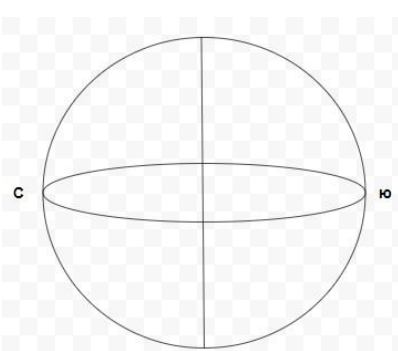


Рисунок 10 – Точки севера и юга на небесной сфере

Полуденная линия – прямая линия в плоскости истинного горизонта, соединяющая точки севера и юга. Полуденной называется эта линия потому, что в полдень по местному истинному солнечному времени тень от вертикального шеста совпадает с этой линией, т. е. с истинным меридианом данной точки.

Южная и северная точки небесного экватора

Южная и северная точки небесного экватора — точки пересечения небесного меридиана с небесным экватором. Точка, ближайшая к южной

Небесный экватор – большой круг на небесной сфере, плоскость которого перпендикулярна к оси мира. Плоскость небесного экватора делит небесную сферу на *северную полусферу*, в которой расположен Северный полюс мира, и *южную полусферу*, в которой расположен Южный полюс мира. Небесный экватор пересекается с математическим горизонтом в двух точках: точке востока и точке запада.

Небесный меридиан, или меридиан наблюдателя – большой круг на небесной сфере, проходящий через полюсы мира, зенит и надир. Он совпадает с плоскостью земного меридиана наблюдателя и делит небесную сферу на *восточную* и *западную полусферы*.

Точки севера и юга – точки пересечения небесного меридиана с истинным горизонтом. Точка, ближайшая к Северному полюсу мира, называется точкой севера истинного горизонта C , а точка, ближайшая к Южному полюсу мира, – точкой юга Y . Точки востока и запада – точки пересечения небесного экватора с истинным горизонтом.

точке горизонта, называется *точкой юга небесного экватора*, а точка, ближайшая к северной точке горизонта, – *точкой севера небесного экватора*.

Вертикал светила

Вертикал светила, или **круг высоты**, – большой круг на небесной сфере, проходящий через зенит, надир и светило. Первый вертикал – вертикал, проходящий через точки востока и запада.

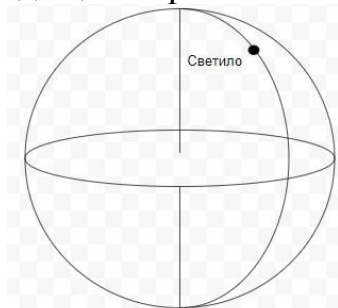


Рисунок 11 – Часовой круг светила

Круг склонения, или **часовой круг светила**, – большой круг на небесной сфере, проходящий через полюсы мира и светило

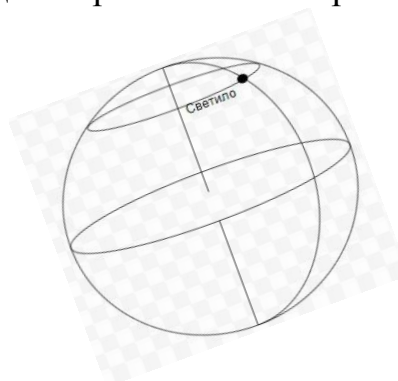


Рисунок 12 – Суточная параллель светила

Суточная параллель светила – малый круг на небесной сфере, проведенный через светило параллельно плоскости небесного экватора. Видимое суточное движение светил происходит по суточным параллелям.

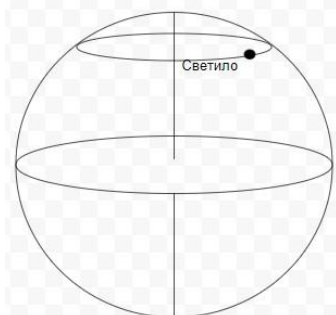


Рисунок 13 – Альмукантарат светила

Альмукантарат светила – малый круг на небесной сфере, проведенный через светило параллельно плоскости истинного горизонта.

Все отмеченные выше элементы небесной сферы активно используются для решения практических задач ориентирования в пространстве и определения положения светил. В зависимости от целей и условий измерения применяют две отличающиеся системы **сферических небесных координат**.

В одной системе светило ориентируют относительно истинного горизонта и называют эту систему горизонтальной системой координат, а в другой – относительно небесного экватора и называют экваториальной системой координат.

В каждой из этих систем положение светила на небесной сфере определяется двумя угловыми величинами подобно тому, как при помощи широты и долготы определяется положение точек на поверхности Земли.

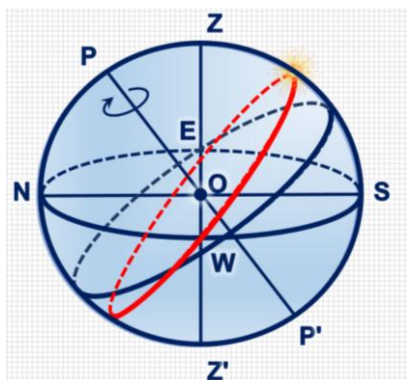


Рисунок 14 – Эклиптика

В точке весеннего равноденствия Солнце переходит из южного полушария небесной сферы в северное, в точке осеннего равноденствия – из северного полушария небесной сферы в южное. Прямая проходящая через эти две точки – линия равноденствий. (Знак Овна, знак Весов).

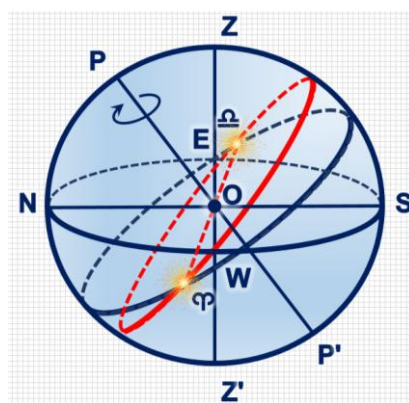


Рисунок 15 – Весеннее и осеннее равноденствие

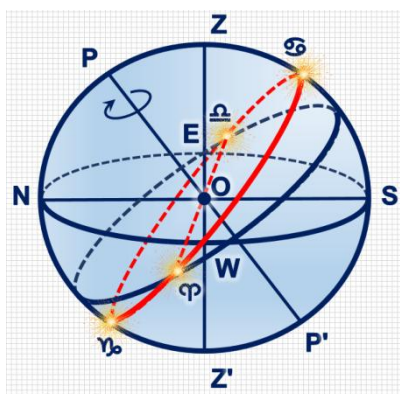


Рисунок 16 – Точки солнцестояния

Две точки эклиптики, отстоящие от точек равноденствия на 90° и максимально удаленные от небесного экватора – точки солнцестояния.

Точка летнего солнцестояния (знак Рака) находится в северном полушарии, точка зимнего солнцестояния (знак Козерога) в южном полушарии.

2.2 Небесные координаты

Звезды расположены в трехмерном пространстве, но мы, когда вводили модель небесной сферы, одну координату сферической системы координат зафиксировали: расстояние. Остались две угловые координаты, которые определяют точку на небесной сфере, как x и y – точку на плоскости. Похожей системой мы пользуемся в географии: точку на поверхности Земли можно задать двумя угловыми координатами, широтой и долготой. На картах созвездий мы уже обратили внимание на координатную сетку и обозначения углов: в градусах и часах (см. рис. 17).

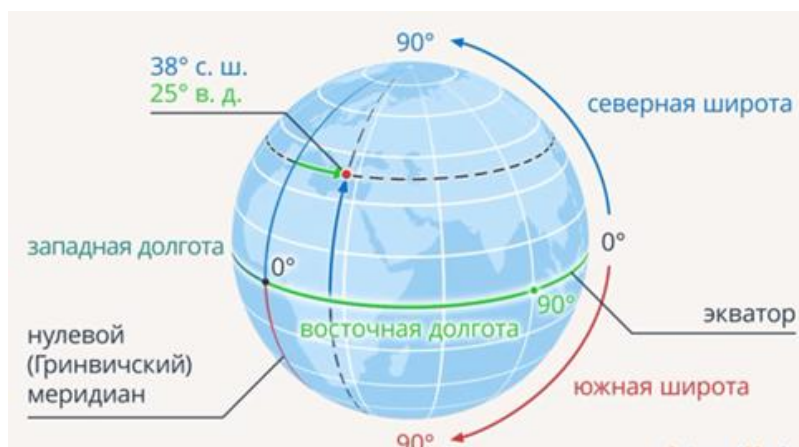


Рисунок 17 – Географические координаты

Углы в астрономии обычно выражают в градусах (минутах, секундах), но в некоторых случаях, когда угловое перемещение небесного объекта связано с суточным вращением Земли, удобно градусы переводить в часы.

Секущая плоскость, проходящая через центр сферы, делит ее на две одинаковые полусферы по окружности, которую астрономы называют большим кругом. Если секущая плоскость не содержит центр сферы, то круг называется малым (см. рис. 18).



Рисунок 18 –Линии, точки и секущие плоскости небесной сферы

Через любые две точки небесной сферы проходит в точности один большой круг. Углы между точками небесной сферы отсчитывают по дугам больших кругов, измеряя соответствующие центральные углы ($\angle A_1OA_2$, O – центр).

Выделим важнейшие большие круги на небесной сфере:

математический горизонт – большой круг, плоскость которого перпендикулярна отвесной линии;

небесный экватор – большой круг, плоскость которого перпендикулярна оси мира;

небесный меридиан – большой круг, проходящий через зенит и Северный полюс мира (или через надир и Южный полюс мира) (см. рис. 19).

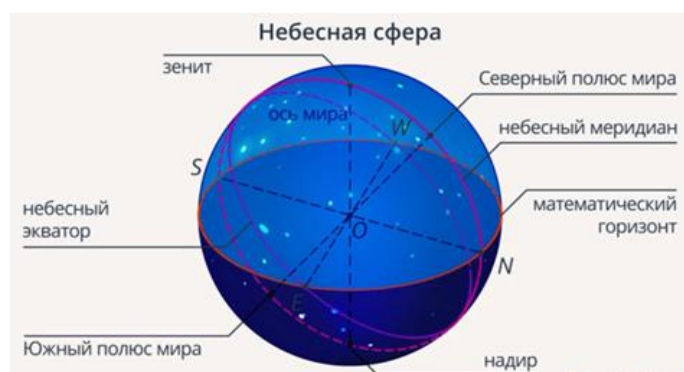


Рисунок 19 – Большие круги на небесной сфере, математический горизонт

Математический горизонт пересекается с небесным меридианом в точках севера N и юга S, а с небесным экватором в точках востока E и запада W. Математический горизонт делит небесную сферу на видимую и невидимую половины, а небесный экватор – на северную и южную.

Положение точки на поверхности Земли определяют географические координаты – широта и долгота. Широты отсчитываются от экватора (экваториальной плоскости), а долготы от нулевого (гринвичского) меридиана. Похожим образом придумали и так называемую экваториальную систему небесных координат (см. рис. 20), рассмотрим ее подробнее.

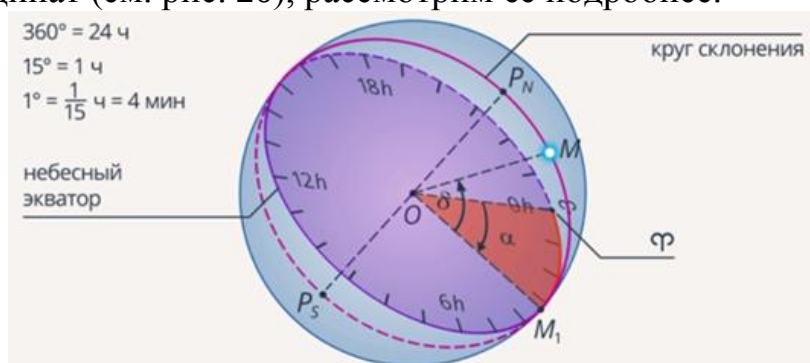


Рисунок 20 – Экваториальная система небесных координат

Представьте, что вы находитесь внутри большого пустого глобуса (в его центре) и видите сквозь стенки глобуса сетку географических координат. Практически так выглядит экваториальная система координат.

В качестве основной плоскости отсчета углов используется плоскость небесного экватора. Каждая точка небесной сферы имеет две угловые координаты, которые называли склонением и прямым восхождением.

Чтобы определить первую координату точки небесной сферы M (некоторого светила), через эту точку нужно провести большой круг P_NMP_S , плоскость которого перпендикулярна плоскости небесного экватора. Этот круг называли кругом склонения. Точка M_1 принадлежит и кругу склонения, и экватору. Дуга MM_1 круга склонения называется склонением (δ). Склонение выражается в градусах, его приняли положительным в северной полусфере и отрицательным – в южной. Понятно, что, если точка лежит на небесном экваторе, ее склонение равно нулю. Это аналог широты в географических координатах.

Вторая координата (аналог географической долготы) называется прямым восхождением (α). Этот угол отсчитывается по небесному экватору, а за ноль принята точка весеннего равноденствия, строгое определение этой точки мы введем позже. Она находится в зодиакальном созвездии Овен и обозначается γ . Поэтому прямым восхождением мы называли угловую меру дуги γM_1 . Прямое восхождение приняли положительным, если дуга γM_1 направлена с запада на восток, и в противном случае – отрицательным.

Угол прямого восхождения α принято выражать в часах (минутах, секундах) из расчета, что 24 часа соответствуют полной окружности 360 градусов (Земля совершает полный оборот вокруг своей оси за 24 часа), т. е. 1 градус равен 4 минутам времени.

Если не рассматривать движение звезд друг относительно друга, получится, что из-за вращения Земли все звезды (и точка весеннего равноденствия γ) передвигаются по небу с постоянной угловой скоростью, 15 градусов в час, это так называемое суточное движение (см. рис. 21).

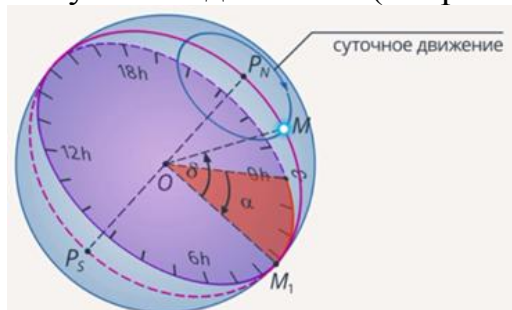


Рисунок 21 – Суточное движение

При восходе и заходе светило имеет высоту $h = 0$. Максимальную высоту светило имеет при пересечении небесного меридиана над точкой юга. Это событие называется верхней кульминацией. Соответственно, нижней кульминацией называется нахождение светила на минимальной высоте h . В зависимости от того, над горизонтом или под ним происходят кульминации светил, их относят к незаходящим, невосходящим или к таким, которые восходят и заходят (см. рис. 22).



Рисунок 22 – Суточное движение светил относительно наблюдателя

На рисунках показано, как наблюдатель видит суточное движение светил, находясь в разных географических широтах. На полюсе видны звезды только одной полусферы (северной или южной), зато в любое время суток

(полярной ночью). В средних широтах никогда не видны звезды одной из полярных областей, а некоторые звезды другой приполярной области никогда не заходят. Звезды средней (околоэкваториальной) области восходят и заходят за горизонт. На экваторе наблюдению доступны все звезды, и все они восходят и заходят.

Системы координат – это наш инструмент, который мы придумали для удобства, и для разных целей их можно создать еще сколько угодно.

2.3 Звезды

Человек с нормальным зрением ясной ночью, не используя оптические приборы, может видеть на небе 2–3 тысячи звезд. Самые яркие звезды люди условно объединили в созвездия. Звезды созвездия обозначили буквами греческого алфавита в порядке убывания их яркости в пределах созвездия: α – самая яркая, следующая по яркости β , затем γ , δ и т. д. (см. рис. 23).

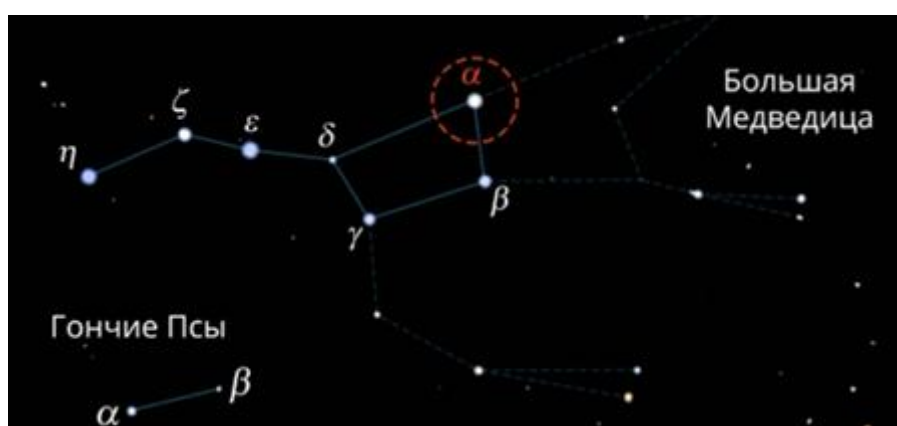


Рисунок 23 – Обозначения звезд в созвездии

Такое обозначение яркости имеет смысл только в рамках одного созвездия: α одного созвездия может уступать по яркости звезде γ другого созвездия (самая большая мышь меньше самого маленького слона). Многие звезды имеют и собственные имена: Вега (α Лиры); Сириус (α Большого Пса); Полярная (α Малой Медведицы) (см. рис. 24).

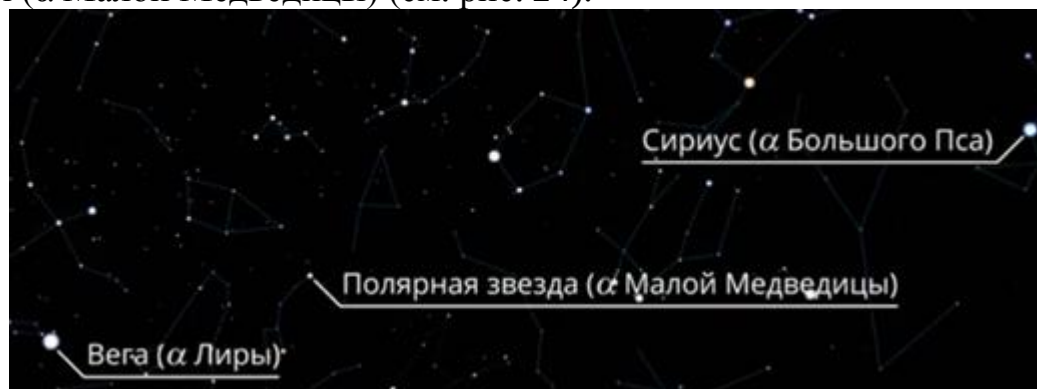


Рисунок 24 – Собственные названия звезд

Еще во II веке до нашей эры греческий астроном Гиппарх создал звездный каталог, в котором было около 1000 звезд. В нем он присвоил звездам определенные величины в зависимости от яркости их блеска. При этом звездную величину источника он считал тем большей, чем слабее он выгля-

дит на небе, т. е. самые яркие звезды – это звезды первой звездной величины (1^m), а самые слабые, но еще видимые глазом – шестой звездной величины (6^m). Индекс m возник позже от латинского слова *magnitude* – величина. Это определение звездных величин, конечно, очень субъективно. Поэтому в современной астрономии оно было уточнено.

То, что мы воспринимаем глазом как яркость звезды, – это общее количество световой энергии (всех частот), приходящей от звезды за единицу времени на единицу площади, перпендикулярной лучам звезды. В физике эту величину называли освещенностью, и она измеряется в Вт/м². На практике очень трудно измерять такую малую световую энергию, которая приходит от конкретной звезды. Поэтому используют относительные оценки, сопоставляя яркости разных звезд. Наблюдаемая звезда сравнивается с той, звездная величина которой точно известна или принимается в качестве стандарта.

В частности, была проверена шкала звездных величин Гиппарха. Оказалось, что разности звездных величин 5^m соответствует отношение освещенностей приблизительно 1:100. Этот факт положили в основу новой (логарифмической) шкалы звездных величин, в которой разность звездных величин, равная 1^m , соответствует отношению освещенностей $(100)^{1/5} = 2,512$.

Из этого следует, что для освещенностей (E), создаваемых двумя объектами со звездными величинами m_1 и m_2 , верно соотношение:

$$\frac{E_1}{E_2} = (2,512)^{-(m_1 - m_2)} \quad \text{или} \quad \lg \frac{E_1}{E_2} = -0,4(m_1 - m_2)$$

Первая формула позволяет вычислять звездные величины как слабых звезд, так и объектов ярче 1^m , звездные величины которых равны 0 или отрицательны (например, Солнца и Луны). Звездные величины в настоящее время измеряют телескопами, снабженными фотоэлектрическими приемниками излучения, основанными на фотоэффекте (см. рис. 25).



Рисунок 25 – Шкала звездных величин

На рисунке вы видите шкалу, на которой изображены звездные величины известных светил и пределы разрешения оптических инструментов.

С помощью звездной величины мы можем выразить количественно, как ярко выглядит с Земли звезда. Но допустим, есть две звезды с одинаковой звездной величиной. Одна звезда яркая, но находится на большом расстоянии от нас, а вторая – менее яркая, но расположена близко. Выглядят они одина-

ково ярко, и звездная величина не позволяет оценить, сколько энергии выделяет звезда, она показывает, сколько энергии от нее доходит до нас. Поэтому название этой физической величины уточнили: видимая звездная величина (m).

Чтобы сравнивать светимость звезд (то есть полную излучаемую энергию), находящихся на разных расстояниях от Земли, ввели абсолютную звездную величину (M). В формуле уже учитывается расстояние до звезды, строгое определение абсолютной звездной величины мы здесь приводить не будем.

Звездная величина светила зависит от размеров светила, излучаемой им энергии, расстояния до наблюдателя и т. п. Поэтому нельзя по видимой звездной величине определить: если звезда более яркая, она большего размера или расположена ближе к нам? Однако некоторые параметры, определяющие яркость звезды (например, температуру), можно оценить по тому, в какой области спектра звезда светит наиболее ярко.

В кузнице при нагревании заготовки она сначала становится красной, затем желтой, потом белой. Любое нагретое тело излучает электромагнитные волны, и тела с температурой несколько сотен градусов излучают в основном в инфракрасном диапазоне волн, а более нагретые – в широком диапазоне видимого света и даже в ультрафиолете. Это относится в том числе и к звездам. Что касается планет и их спутников, которые сами видимый свет не излучают, а освещаются Солнцем, их цвет определяется отражающими свойствами их поверхностей и атмосфер.

В астрономии используется несколько систем звездных величин для разных участков спектра, т. е. в разных системах измеряется световая энергия только в определенном интервале длин волн (см. рис. 26).

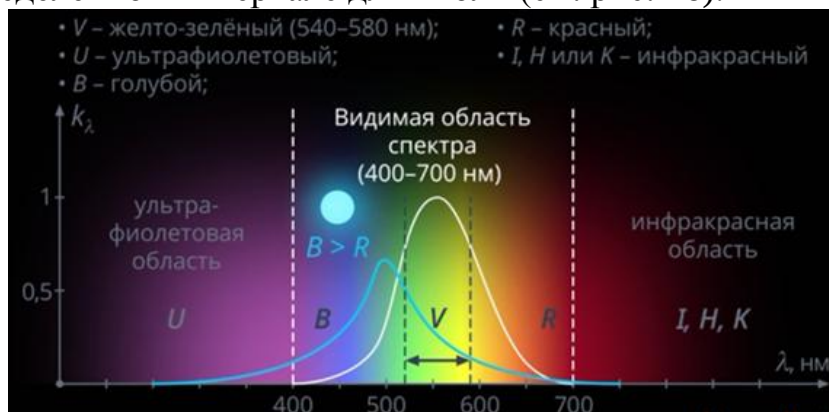


Рисунок 26 – Звездные величины в различных областях спектра

В обычных условиях ограничиваются звездными величинами в желто-зеленой области света, так как в ней наиболее чувствителен глаз человека. Такие звездные величины обозначаются буквой V. Звездные величины, определяемые в других областях спектра, обозначаются другими буквами: ультрафиолетовой (U), голубой (B), красной (R), инфракрасной (I, Ни или K). Разность звездных величин источника, измеренных в разных областях спектра (U – В или B – V), определяет видимый наблюдателем цвет звезды.

Как известно из биологии, глаз человека плохо различает цвета при слабом освещении, когда в глазах работают только палочки (различающие цвета колбочки включаются при большей освещенности, чем дает свет звезды). Поэтому человек только у самых ярких светил может заметить легкий красноватый или голубоватый оттенок (Марс часто называют красной планетой, а Венеру – голубой). Все неяркие светила кажутся нам одинаково белыми. Однако с помощью фотоэлектрических приборов цвет определяется и у неярких звезд.

2.4 Созвездия

Мы уже сказали о созвездиях: их люди придумали для ориентации на небесной сфере. Но понятие созвездия как набора звезд не всегда удобно: нужно перечислить все звезды, которые мы к нему отнесли, вдруг какую-то звезду мы просто не увидели? А когда мы ее увидим (хотя бы лучше присмотревшись или используя более чувствительный телескоп), нужно каждый раз договариваться, к какому созвездию ее отнести? Поэтому в 20–30-е годы прошлого века астрономы договорились считать созвездием участки небесной сферы, которых выделили 88, и о границах, о которых четко договаривались. Так созвездия полностью покрывают небесную сферу, как страны политическую карту мира.

Каждый такой участок может содержать какое-нибудь из старых, названных в честь героев, богов или экзотических животных созвездий как наборов звезд, наследует его название, но содержит намного больше звезд (видимых и невидимых невооруженным глазом). Кроме того, среди 88 утвержденных Международным астрономическим союзом созвездий есть «новые», которые составители старых карт не могли видеть (в основном в южном полушарии, например созвездия Телескоп, Микроскоп, Циркуль, см. рис. 27).



Рисунок 27 – Участки некоторых созвездий южного полушария

В обыденной жизни иногда созвездием считается так называемый астеризм – небольшая часть звезд созвездия, наиболее ярких и создающих легко обнаруживаемый узор. Так 7 звезд, образующих «ковш», это лишь часть всего созвездия Большая Медведица, аналогично 5 звезд, образующих «W», это не всё созвездие Кассиопея. На сайте Astronet можно получать виды

разных участков звездного неба для любого места на Земле, задавая время и т. п. На этих участках подписаны созвездия, широко известные звезды и т. п. Рассмотрим более подробно карты некоторых созвездий.

1. Созвездие Малая Медведица (см. рис. 28)

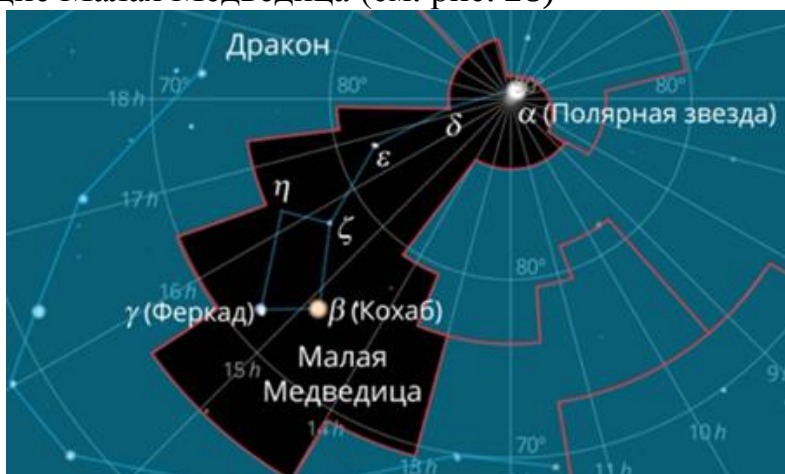


Рисунок 28 – Созвездие Малая Медведица

Граница созвездия (а мы договорились, что это участок неба) указана красным. По соседству с Малой Медведицей расположено созвездие Дракон. Три самых ярких звезды: α (Полярная), β (Кохаб), γ (Феркад). Отметим, что многие названия звезд арабские.

2. Созвездие Цефей (см. рис. 29)



Рисунок 29 – Созвездие Цефей

Созвездие Цефей граничит с Малой Медведицей, Драконом, Кассиопеей, Ящерицей. Обратите внимание, что на карте одна координата (широта) дана в градусах, а вторая – в часах (h), об этом мы подробнее поговорим чуть позже.

3. Созвездие Гончие Псы (см. рис. 30)

Созвездие граничит с Большой Медведицей, Волопасом, Волосами Вероники. Самая яркая звезда α Гончих Псов называется Сердце Карла (в честь английского короля Карла II). На карте также отмечена самая яркая звезда в созвездии Волопаса Арктур (α Волопаса).

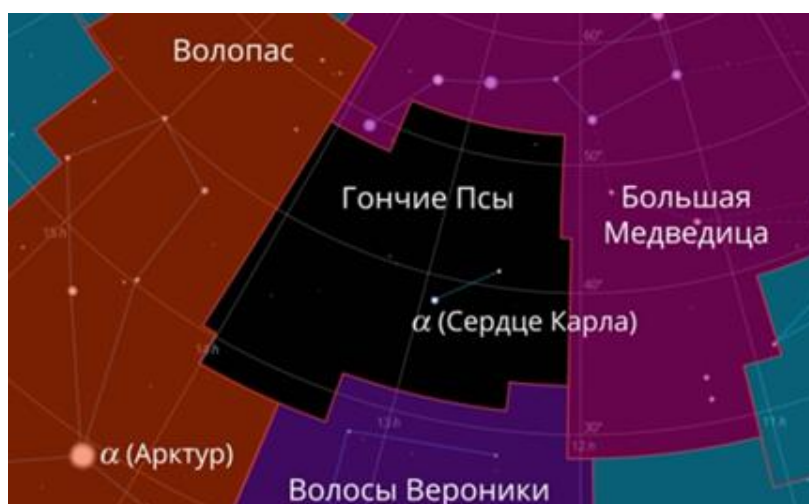


Рисунок 30 – Созвездие Гончие Псы

Но на звездном небе, конечно же, нет границ между созвездиями и звезды не подписаны. Поэтому давайте научимся искать на небе некоторые самые известные созвездия.

1. Малая Медведица, Кассиопея и Дракон. Эти созвездия на территории России являются незаходящими (находятся вблизи Северного полюса мира), то есть при хорошей погоде и в темное время суток их видно всегда. Сначала нужно найти на небе «ковш» Большой Медведицы. Обратите внимание на две крайние звезды «ковша». Если мысленно провести через них прямую линию и отложить на продолжении этой прямой расстояние примерно в 4–5 раз больше расстояния между этими двумя указанными звездами, окажемся возле яркой Полярной звезды. Полярная звезда – это конец ручки «ковша» Малой Медведицы. То есть мы нашли и её (см. рис. 31).

Теперь обратите внимание на вторую звезду в рукоятке «ковша» Большой Медведицы, она называется Мицар (по-арабски – конь). От Мицара проведите линию к Полярной звезде и продолжите ее на такое же расстояние. Вы окажетесь вблизи яркого астеризма в виде буквы W. Это и есть часть созвездия Кассиопея.



Рисунок 31 – Как обнаружить Малую Медведицу и Кассиопею на звездном небе

Созвездие Дракона можно найти по таким признакам: оно имеет длинный «хвост», находящийся между Малой и Большой Медведицами, и «голову» из 4 звезд выше и левее «ковша» Малой Медведицы (при таком повороте

небесной сферы, как на рис. 32. При другом повороте в другое время года и суток это может быть не выше и левее, а другое направление).



Рисунок 32 – Созвездие Дракона. Небесная сфера может быть по-разному ориентирована в разное время года

2. Лира и Цефей. Научившись находить на небе Большую и Малую Медведицу, Кассиопею и Дракона, можно найти еще два околополярных созвездия: Цефея и Лиру (см. рис. 33). В созвездии Лиры находится самая яркая звезда северной полушферы – Вега (блеск Веги $+0,03^m$). С этой звезды можно начать поиск нужных созвездий.



Рисунок 33 – Как находить созвездия Лира и Цефей

Вега хорошо видно над горизонтом в юго-западной или западной части небосвода в начале осени. Мысленно проведите линию от крайней звезды «ковша» Большой Медведицы (эта звезда называется Дубхе – от арабского «спина медведя») через «голову» Дракона. Вега – самая яркая звезда на продолжении этой линии. Вблизи Веги есть несколько слабых звезд, образующих фигуру, напоминающую параллелограмм – это созвездие Лиры (Вега – α Лиры). Переведя взгляд ближе к зениту, между Драконом и Кассиопеей вы найдете созвездие, напоминающее домик с крышей – это Цефей.

3. Лебедь и Орел. Летом и в начале осени (около 11 часов вечера) нужно обратить свой взор на юго-восточную часть горизонта (встать спиной к закату). Высоко над горизонтом вы увидите яркую звезду – это уже знакомая вам Вега (α Лиры) (см. рис. 34).

Левее Веги есть еще одна чуть менее яркая звезда Денеб (см. рис. 34). Денеб (по-арабски – хвост) – это α Лебедя. На рисунке обозначены и другие звезды созвездия Лебедь, они образуют фигуру, напоминающую крест. Найдем теперь созвездие Орла. Искать будем опять по самой яркой звезде этого созвездия, Альтаиру (α Орла). Альтаир по блеску превосходит Денеб, а вме-

сте с Вегой эти три самые яркие звезды образуют почти равнобедренный треугольник, вершина которого – Альтаир. Этот треугольник ярчайших звезд называют летне-осенним треугольником. Правее Альтаира располагаются и другие (более слабые) звезды созвездия Орла. А левее – небольшое созвездие Дельфина.



Рисунок 34 – Как находить созвездия Лебеда и Орла

Эклиптика проходит по двенадцати созвездиям (по числу месяцев в году), из которых одиннадцать имеют названия живых существ (реальных или мифических), и поэтому все двенадцать созвездий, именуются зодиакальными (от греческого «зодиакос» – зверь). Их названия: Рыбы, Овен, Телец, Близнецы, Рак, Лев, Дева, Весы, Скорпион, Стрелец, Козерог, Водолей.

Между созвездиями Скорпиона и Стрельца Солнце перемещается по участку созвездия Змееносца, но так как в году только 12 месяцев и подавляющее большинство звезд этого созвездия расположено далеко от эклиптики, то оно не причислено к зодиакальным. В настоящее время точка весеннего равноденствия находится в созвездии Рыб, точка летнего солнцестояния – в созвездии Близнецов, точка осеннего равноденствия – в созвездии Девы и точка зимнего солнцестояния – в созвездии Стрельца. Началом сезонов считаются моменты прохождения Солнцем этих точек. Весь пояс зодиакальных созвездий называется Зодиаком. Протяженность зодиакальных созвездий вдоль эклиптики различна: наибольшая протяженность, около 40° , у созвездий Тельца, Девы и Стрельца, а по созвездию Скорпиона проходит дуга эклиптики равная всего лишь 5° . Поэтому для удобства счета положения Солнца эклиптика разделена на 12 равных частей (дуг), по 30° каждая, называемых знаками Зодиака. Счет знаков Зодиака начинается от точки весеннего равноденствия, и они тоже обозначаются знаками и названиями зодиакальных созвездий. Весной Солнце последовательно проходит по созвездиям Рыб, Овна, Тельца, летом – по созвездиям Близнецов, Рака и Льва, осенью – по созвездиям Девы, Весов и Скорпиона (а также Змееносца), а зимой – по созвездиям Стрельца, Козерога и Водолея.

2.5 Суточное движение светил на различных широтах

Теперь мы знаем, что с изменением географической широты места

наблюдения меняется ориентация оси вращения небесной сферы относительно горизонта. Рассмотрим, какими будут видимые движения небесных светил в районе Северного полюса, на экваторе и на средних широтах Земли.

На полюсе Земли полюс мира находится в зените, и звезды движутся по кругам, параллельным горизонту (рис. 35а). Здесь звезды не заходят и не восходят, их высота над горизонтом неизменная.

На средних географических широтах существуют как восходящие и заходящие звезды, так и те, которые никогда не опускаются под горизонт (рис. 35 б). Например, околополярные созвездия на географических широтах России никогда не заходят. Созвездия, расположенные дальше от северного полюса мира, показываются ненадолго над горизонтом. А созвездия, лежащие около южного полюса мира, являются невосходящими. Но чем дальше продвигается наблюдатель к югу, тем больше южных созвездий он может видеть.

На земном экваторе, если бы днем не мешало Солнце, за сутки можно было бы увидеть созвездия всего звездного неба (рис. 35 в). Для наблюдателя на экваторе все звезды восходят и заходят перпендикулярно плоскости горизонта. Каждая звезда здесь проходит над горизонтом ровно половину своего пути. Северный полюс мира для него совпадает с точкой севера, а южный полюс мира - с точкой юга. Ось мира расположена в плоскости горизонта (рис. 32 в).

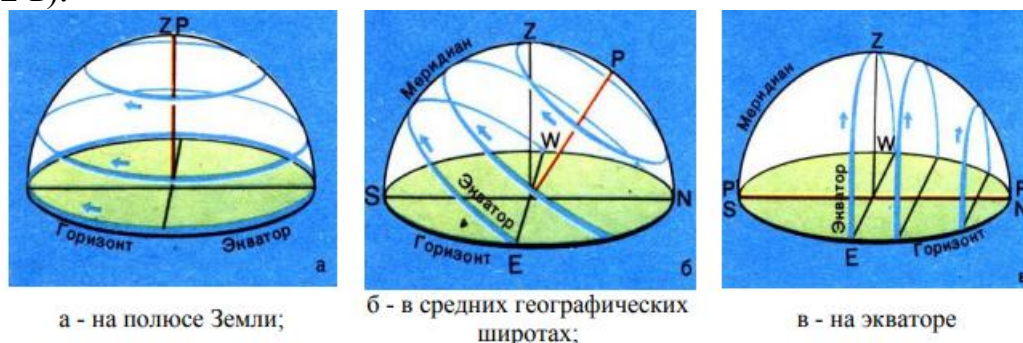


Рисунок 35 – Суточные пути светил относительно горизонта для наблюдателя

2.6 Эклиптика. Видимое движение Солнца и Луны

В данной местности каждая звезда кульминирует всегда на одной и той же высоте над горизонтом, потому что ее угловое расстояние от полюса мира и от небесного экватора остается неизменным. Солнце же и Луна меняют высоту, на которой они кульминируют. Отсюда можно сделать вывод, что их положение относительно звезд (склонение) изменяется. Мы знаем, что Земля движется вокруг Солнца, а Луна вокруг Земли. Проследим, как меняется вследствие этого положение обоих светил на небе.

Если по точным часам замечать промежутки времени между верхними кульминациями звезд и Солнца, то можно убедиться, что промежутки между кульминациями звезд на четыре минуты короче, чем промежутки между кульминациями Солнца. Объясняется это тем, что за время одного оборота вокруг оси (сутки) Земля проходит примерно $1/365$ часть своего пути вокруг Солнца. Нам же кажется, что Солнце сдвигается на фоне звезд к востоку – в

сторону, противоположную суточному вращению неба. Этот сдвиг составляет около 1° . Чтобы повернуться на такой угол, небесной сфере нужно еще 4 мин, на которые и "запаздывает" кульминация Солнца. Таким образом, в результате движения Земли по орбите Солнце за год описывает на небе относительно звезд большой круг, называемый эклиптикой (рис. 36).

Определяя высоту Солнца в полдень, заметили, что дважды в году оно бывает на небесном экваторе, в так называемых равноденственных точках. Это происходит в дни весеннего и осеннего равноденствий (около 21 марта и около 23 сентября). Плоскость горизонта делит небесный экватор пополам. Поэтому в дни равноденствий пути Солнца над и под горизонтом равны, следовательно, равны продолжительности дня и ночи.



Рисунок 36 – Эклиптика и небесный экватор

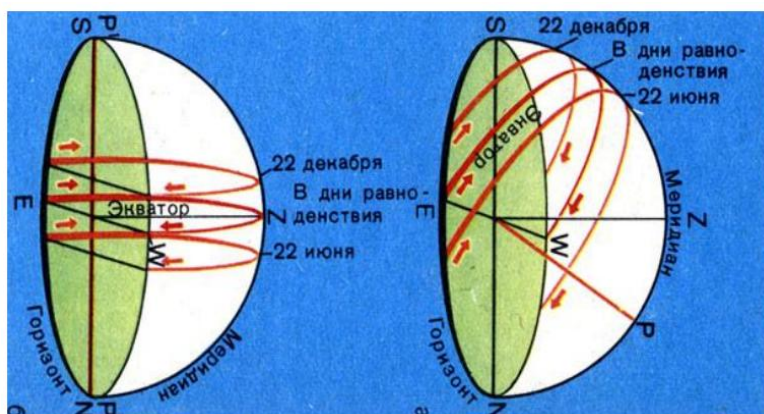


Рисунок 37 – Суточные пути Солнца над горизонтом в разные времена года при наблюдениях: а - в средних географических широтах; б - на экваторе Земли

Каково склонение Солнца в дни равноденствий? Двигаясь по эклиптике, Солнце 22 июня отходит дальше всего от небесного экватора в сторону северного полюса мира (на $23^\circ 27'$). В полдень для северного полушария Земли оно выше всего над горизонтом. День самый длинный, он называется днем летнего солнцестояния.

Большой круг эклиптики пересекает большой круг небесного экватора под углом $23^{\circ}27'$. Настолько же Солнце бывает ниже экватора в день зимнего солнцестояния, 22 декабря. Таким образом, в этот день высота Солнца в верхней кульминации уменьшается по сравнению с 22 июня на $46^{\circ}54'$, и день самый короткий.

2.7 Движение Луны. Солнечные и лунные затмения

Фазы Луны

Луна движется вокруг Земли в ту же сторону, в какую Земля вращается вокруг своей оси. Отображением этого движения, как мы знаем, является видимое перемещение Луны на фоне звезд навстречу вращению неба. Каждые сутки Луна смещается к востоку относительно звезд примерно на 13° , а через 27,3 сут. возвращается к тем же звездам, описав на небесной сфере полный круг.

Период обращения Луны вокруг Земли относительно звезд (в инерциальной системе отсчета) называется звездным или сидерическим (от лат. *sidus* - звезда) месяцем. Он составляет 27,3 сут.

Видимое движение Луны сопровождается непрерывным изменением ее вида - сменой фаз. Происходит это оттого, что Луна занимает различные положения относительно освещающего ее Солнца и Земли. Схема, поясняющая смену фаз Луны, показана на рисунке 38.



Рисунок 38 – Смена лунных фаз: солнечные лучи падают слева, сверху изображены лунные фазы, видимые с Земли

Когда Луна видна как узкий серп, остальная часть ее диска тоже слегка светится. Это явление называется пепельным светом и объясняется тем, что Земля освещает ночную сторону Луны отраженным солнечным светом.

Промежуток времени между двумя последовательными одинаковыми фазами Луны называется синодическим месяцем (от греч. *synodos* - соединение); это период обращения Луны вокруг Земли относительно Солнца. Он равен (как показывают наблюдения) 29,5 сут.

Таким образом, синодический месяц длиннее сидерического. Это легко понять, зная, что одинаковые фазы Луны наступают при одинаковых ее положениях относительно Земли и Солнца. На рисунке 33 взаимное расположение Земли Т и Луны L соответствует моменту новолуния. Луна L через 27,3 сут, сделав полный оборот, займет прежнее положение относительно звезд. Земля Т за это время вместе с Луной пройдет по своей орбите относительно Солнца дугу ТТ₁, равную почти 27° , так как каждые сутки она смещается примерно на 1° . Чтобы Луна L₁ заняла прежнее положение относительно Солнца и Земли Т₁ (пришла в новолуние), потребуется еще двое суток. Действительно, Луна проходит за сутки $360^{\circ}:27,3 \text{ сут} = 13^{\circ}/\text{сут}$, чтобы прой-

ти дугу в 27° , ей необходимо. $27^\circ : 13^\circ/\text{сут} = 2 \text{ сут}$. Так и получается, что синодический месяц Луны составляет около 29,5 земных суток.

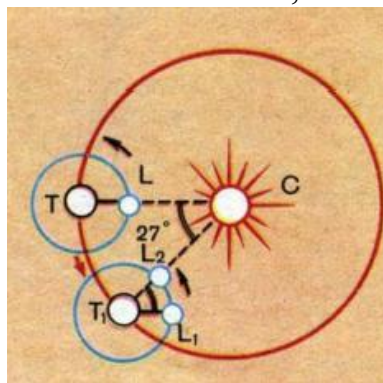


Рисунок 39 – Различие между звездным и синодическим месяцем

Мы видим всегда только одно полушарие Луны. Это иногда воспринимается как отсутствие ее осевого вращения. На самом деле это объясняется равенством периодов вращения Луны вокруг оси и ее обращения вокруг Земли. Проверьте это, обводя вокруг себя предмет и одновременно поворачивая его вокруг оси с периодом, равным периоду обвода.

Вращаясь вокруг оси, Луна попеременно обращает к Солнцу разные свои стороны. Следовательно, на Луне происходит смена дня и ночи, и солнечные сутки равны синодическому периоду (ее обороту относительно Солнца). Таким образом, на Луне продолжительность дня равна двум земным неделям и две наши недели составляют там ночь.

Легко понять, что фазы Земли и Луны взаимно противоположны. Когда Луна почти полная, Земля с Луны видна как узкий серп.

Затмения Солнца и Луны

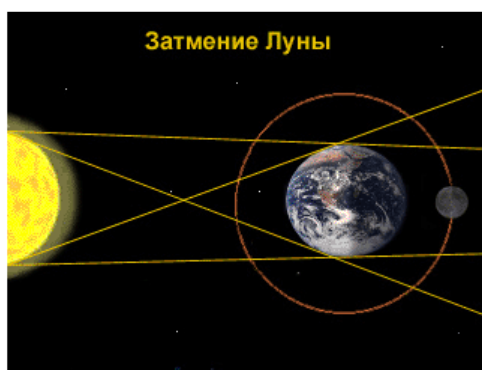


Рисунок 40 – Затмение Луны



Рисунок 41 – Солнечное затмение

Если бы плоскость орбиты, по которой Луна движется вокруг Земли, совпадала с плоскостью орбиты, по которой Земля обращается вокруг Солнца, то ежемесячно в момент новолуния происходило бы солнечное затмение, а в момент полнолуния — лунное. Этого не случается потому, что плоскость лунной орбиты наклонена к плоскости орбиты Земли под углом около 5° .

Именно поэтому тень Луны в новолуние может пройти выше Земли, а в полнолуние сама Луна может пройти ниже земной тени. В это время положение орбиты Луны таково, что она пересекает плоскость орбиты Земли в фазах

первой и последней четверти. В каких же случаях затмения Солнца и Луны могут произойти?

Вы уже знаете, что направление оси вращения Земли в пространстве остается при движении нашей планеты вокруг Солнца неизменным. Практически не меняется в течение года и положение плоскости лунной орбиты. Рассмотрим, как это повлияет на возможность наступления затмений. За три месяца Земля пройдет четверть своего пути вокруг Солнца. Теперь плоскость лунной орбиты будет расположена так, что линия ее пересечения с плоскостью земной орбиты направлена на Солнце. Поэтому Луна будет пересекать плоскость орбиты Земли (или находиться близ нее) в новолуние и полнолуние. Иначе говоря, двигаясь по небу, Луна приходит в ту точку эклиптики, где в этот момент находится Солнце, и загораживает его от нас. В том случае, если Солнце целиком закрыто Луной, затмение называется **полным**. Если же случится так, что она закроет лишь часть Солнца, то затмение будет **частным**. Когда Луна пересекает эклиптику в точке, диаметрально противоположной Солнцу, она сама полностью или частично скрывается в тени Земли. Лунные затмения, как и солнечные, могут быть полными или частными.

Условия, благоприятные для наступления затмений, сохраняются примерно на протяжении месяца. За это время может произойти по крайней мере одно солнечное затмение или два солнечных и одно лунное. Следующее необходимое для наступления затмений расположение лунной орбиты повторится снова лишь спустя примерно полгода (177 – 178 суток), когда Земля пройдет половину своего пути вокруг Солнца. В течение года на Земле обычно происходит два-три солнечных затмения и одно – два лунных. Максимальное число затмений за год – семь.

Лунные затмения, хотя и происходят реже солнечных, но видны чаще. Луна, попавшая при затмении в земную тень, видна на всем полушарии Земли, где она в это время находится над горизонтом. Погружаясь в земную тень, Луна приобретает красноватую окраску различных оттенков. Цвет зависит от состояния земной атмосферы, которая, преломляя лучи Солнца и рассеивая их, все же пропускает красные лучи внутрь конуса тени. Несколько часов затрачивает Луна, чтобы пересечь тень Земли. Полная фаза затмения длится около полутора часов.

Полное затмение Солнца можно наблюдать лишь там, где на Землю падает небольшое по размерам (диаметром не более 270 км) пятно лунной тени. Тень Луны со скоростью примерно 1 км/с движется по земной поверхности с запада на восток, поэтому в каждом пункте Земли полное затмение продолжается лишь несколько минут (на экваторе максимальная продолжительность составляет 7 мин 40 с). Путь, который проходит тень Луны, называется **полосой полного солнечного затмения**. В разные годы лунная тень пробегает по различным районам земного шара, поэтому полные солнечные затмения видны реже лунных. Так, например, в окрестностях Москвы в последний раз затмение было 19 августа 1887 г., а в следующий раз произойдет только 16 сентября 2126 г. Полутень Луны имеет диаметр значительно боль-

ше тени – около 6000 км. Там, куда попала полутень Луны, происходит частное затмение Солнца. Их можно видеть каждые 2-3 года.

Через каждые 6585,3 суток (18 лет 11 суток 8 часов) затмения повторяются в прежнем порядке. Таков промежуток времени, в течение которого плоскость лунной орбиты делает полный оборот в пространстве. Знание закономерностей движения Луны и Земли позволяет ученым с высокой степенью точности на сотни лет вперед вычислять моменты наступления затмений и знать, где на земном шаре они будут видны. Сведения о затмениях на ближайший год и условия их видимости содержатся, в частности, в «Школьном астрономическом календаре».

Располагая необходимыми данными о предстоящих затмениях, ученые получают возможность организовать экспедиции в полосу полного солнечного затмения. В момент полной фазы можно наблюдать внешние, наиболее разреженные слои атмосферы Солнца – *солнечную корону*, которая в обычных условиях не видна. В прошлом многие важные сведения о природе Солнца были получены именно во время полных затмений.

Календарь

Система счета длительных промежутков времени, согласно которой устанавливается определенная продолжительность месяцев, их порядок в году и начальный момент отсчета лет, называется *календарем*. Календарь, которым мы пользуемся в настоящее время, создан в результате длительных поисков наиболее удобной для этих целей системы. На протяжении истории человечества существовало более 200 различных календарей.

Уже на первом этапе развития цивилизации некоторые народы стали пользоваться лунными календарями. В этих календарях чередовались месяцы продолжительностью 29 и 30 суток. Началом месяца всегда считалось новолуние. Но дело в том, что от одного новолуния до следующего проходит примерно 29,5 суток – такова периодичность смены фаз Луны, связанная с ее обращением вокруг Земли. При таком календаре не получается полного согласования с продолжительностью года, которая составляет приблизительно 365,25 суток. Ведь 12 лунных месяцев содержат всего 354 дня. Для устранения несогласованности между лунным и солнечным годом в различных лунных календарях были предложены необходимые поправки.

В солнечном календаре за основу берется продолжительность тропического года, который представляет собой промежуток времени между двумя последовательными прохождением центра Солнца через точку весеннего равноденствия. Тропический год составляет 365 суток 5 часов 48 минут 46,1 секунды. Поскольку число суток в году не может быть дробным, во всех календарях большая часть лет содержит 365 суток и вводится правило, по которому определенные годы имеют продолжительность на сутки больше. В зависимости от этого средняя продолжительность года по тому или иному календарю в большей или меньшей степени приближается к продолжительности тропического года.

В Древнем Египте в V тысячелетии до н. э. был введен календарь, который состоял из 12 месяцев по 30 дней в каждом и дополнительных 5 дней в конце года. Такой календарь давал ежегодно отставание в 0,25 суток, или 1 год за 1460 лет.

Непосредственный предшественник современного календаря был разработан в Древнем Риме по приказу императора Юлия Цезаря и потому получил название *юлианского*. Год, согласно этому календарю, состоял из 12 месяцев и содержал 365 или 366 суток. Лишние сутки добавлялись каждые четыре года: такие годы, номер которых делится на четыре, получили название **високосных**.

Это название происходит от латинского слова *bissextus* (второй шестой). Отсюда пошло греческое слово «бисокос», которое в русском языке постепенно превратилось в «високос», «високосный». Дело в том, что тогда считали, сколько дней осталось до первого дня следующего месяца. Дополнительный день в високосном году добавлялся в феврале, после шестого дня перед началом марта и считался не пятым, а еще раз шестым.

С учетом високосных лет продолжительность года по юлианскому календарю (старому стилю) отличалась от продолжительности тропического года всего на 11 минут 14 секунд, что давало ошибку в 1 сутки за 128 лет, или 3 суток примерно за 400 лет. Юлианский календарь был принят в качестве христианского в 325 г. н. э., и ко второй половине XVI в. расхождение достигло уже 10 суток.

Для того чтобы исправить расхождение, папа римский Григорий XIII в 1582 г. ввел новый стиль, календарь, названный по его имени *григорианским*. Для того чтобы уменьшить отличие календарного года от тропического, было решено каждые 400 лет выбрасывать из счета 3 суток путем сокращения числа високосных лет. Простыми, не високосными условились считать все годы столетий, за исключением тех, у которых число столетий делится на 4 без остатка. Високосным считались 1600 и 2000 гг. В то же время 1700, 1800 и 1900 гг. были простыми.

В России новый стиль был введен только с 1 февраля 1918 г. К этому времени между ним и старым стилем накопилась разница в 13 дней. Эта разница сохранится до 2100 г., который по старому стилю должен был бы считаться високосным, а по-новому – простым. Различие между старым и новым стилем обычно указывается, когда мы имеем дело с событиями, относящимися к прошлому. Так, например, мы говорим, что К. Э. Циолковский родился 5 (17) сентября 1857 г.

Год по григорианскому календарю оказывается в среднем на полминуты длиннее тропического, так что расхождение за 400 лет составляет всего 2 часа 53 минуты, или сутки за 3300 лет.

Нумерация лет как по-новому, так и по старому стилю ведется от года Рождества Христова, наступления новой эры. В России новая эра была введена указом Петра I, согласно которому после 31 декабря 7208 г. «от сотворения мира» наступило 1 января 1700 г. от Рождества Христова.

Тема 3 Законы движения небесных тел

3.1 Структура и масштабы Солнечной системы

Правильное понимание наблюдаемых небесных явлений складывалось веками. Вы знаете, о зарождении астрономии в Древнем Египте и Китае, о более поздних достижениях древнегреческих ученых, о наблюдениях жрецов и об их ложных представлениях о природе, об использовании ими знаний для собственной выгоды. Жрецы создали астрологию – ложное учение о влиянии планет на характер и судьбы людей и народов и о мнимой возможности предсказывать судьбу по расположению светил.

Известна вам и геоцентрическая система мира, разработанная во II в. н. э. древнегреческим ученым **Клавдием Птолемеем**. Он в центр мира "поставил" хотя и шарообразную, но неподвижную Землю, вокруг которой обращались все остальные светила. Видимое петлеобразное движение планет Птолемея объяснил сочетанием двух равномерных круговых движений: движением самой планеты по малой окружности и обращением центра этой окружности вокруг Земли. Однако по мере накопления данных наблюдений о движении планет теория Птолемея требовала все больших усложнений, которые делали ее громоздкой и неправдоподобной. Очевидная искусственность все усложняющейся системы и отсутствие достаточного согласия между теорией и наблюдениями требовали ее замены. Это и было сделано в XVI в. великим польским ученым **Николаем Коперником** (1473-1543).

Коперник отбросил догматическое положение о неподвижности Земли, веками владевшее умами людей. Поставив Землю в число рядовых планет, он указал, что Земля, занимая третье место от Солнца, наравне со всеми планетами движется в пространстве вокруг Солнца и вращается вокруг своей оси. Коперник смело доказывал, что именно вращением Земли и ее обращением вокруг Солнца можно правильно объяснить известные тогда небесные явления и видимое петлеобразное движение планет. Эта революция в астрономии и в мировоззрении, сделанная гелиоцентрической теорией Коперника, как отметил Ф. Энгельс, освободила исследование природы от религии.

Галилео Галилей (1564-1642), один из первых направивший телескоп на небо, правильно истолковал свои открытия как подтверждения теории Коперника. Так, Галилей открыл фазы у Венеры. Он нашел, что такая их смена возможна лишь в том случае, если Венера обращается вокруг Солнца, а не вокруг Земли. На Луне Галилей обнаружил горы и измерил их высоту. Оказалось, что между Землей и небесными телами нет принципиального различия: например, горы, подобные горам на Земле, существовали и на небесном теле. И становилось легче поверить, что Земля - это лишь одно из таких тел.

У планеты Юпитер Галилей открыл четыре спутника. Их обращение вокруг Юпитера опровергло представление о том, что лишь Земля находится в центре вращения. На Солнце Галилей обнаружил пятна и по их перемещению заключил, что Солнце вращается вокруг своей оси. Существование пятен на Солнце, считавшемся эмблемой "небесной чистоты", тоже опровергло идею о будто бы принципиальном различии между земным и небесным.

Млечный Путь в поле зрения телескопа оказался скоплением множества слабых звезд. Вселенная предстала перед человеком как нечто несравненно более грандиозное, чем маленький мирок, кружащийся якобы вокруг Земли, по представлениям Аристотеля, Птолемея и средневековых церковников. Церковь, как вы уже знаете из курсов истории и физики, расправилась с *Джордано Бруно* (1548-1600) за его философские выводы о строении мира и обитаемости небесных тел. За право распространять подлинные знания об устройстве Вселенной вел борьбу против церковников *М. В. Ломоносов* (1711-1765). Ломоносов в остроумной и привлекательной стихотворно-сатирической форме высмеивал мракобесов.

Раскрепощение человеческой мысли, отказ от слепого следования за ограниченными догматами церкви, призыв к смелому материалистическому изучению природы - вот главный, общечеловеческий итог борьбы Коперника, Бруно и Галилея за научное мировоззрение.

3.2 Состав и масштабы солнечной системы

Вы уже знаете, что Солнечную систему составляют Солнце и планеты с их спутниками, что звезды расположены от нас несравнимо дальше, чем планеты. Самая далекая из известных планет – Плутон отстоит от Земли почти в 40 раз дальше, чем Солнце. Но даже ближайшая к Солнцу звезда отстоит от нас еще в 7000 раз дальше. Это огромное различие расстояний до планет и звезд надо отчетливо осознать.

Девять больших планет обращаются вокруг Солнца по эллипсам (мало отличающимся от окружностей) почти в одной плоскости. В порядке удаления от Солнца – это Меркурий, Венера, Земля, Марс, Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун и Плутон. Кроме них в Солнечной системе множество малых планет (астероидов), большинство которых движется между орбитами Марса и Юпитера. Вокруг Солнца обращаются также кометы – небольшие тела, окруженные обширной оболочкой из разреженного газа. Большинство из них имеет эллиптические орбиты, выходящие за орбиту Плутона. Кроме этого, вокруг Солнца обращаются по эллипсам бесчисленные метеорные тела размером от песчинки до мелкого астероида. Вместе с астероидами и кометами они относятся к малым телам Солнечной системы. Пространство между планетами заполнено крайне разреженным газом и космической пылью. Его пронизывают электромагнитные излучения; оно носитель магнитного и гравитационного полей.

В переводе с древнегреческого комета означает "косматое светило". Солнце в 109 раз больше Земли по диаметру и примерно в 333 000 раз массивнее Земли. Масса всех планет составляет всего лишь около 0,1% от массы Солнца, поэтому оно силой своего притяжения управляет движением всех членов Солнечной системы.

3.3 Конфигурации и условия видимости планет

1. Конфигурации планет

Конфигурациями планет называют некоторые характерные взаимные

расположения планет, Земли и Солнца.

Прежде всего, заметим, что условия видимости планет с Земли резко различаются для планет внутренних (Венера и Меркурий), орбиты которых лежат внутри земной орбиты, и для планет внешних (все остальные).

Внутренняя планета может оказаться между Землей и Солнцем или за Солнцем. В таких положениях планета невидима, так как теряется в лучах Солнца. Эти положения называются соединениями планеты с Солнцем. В нижнем соединении планета ближе всего к Земле, а в верхнем соединении она от нас дальше всего.

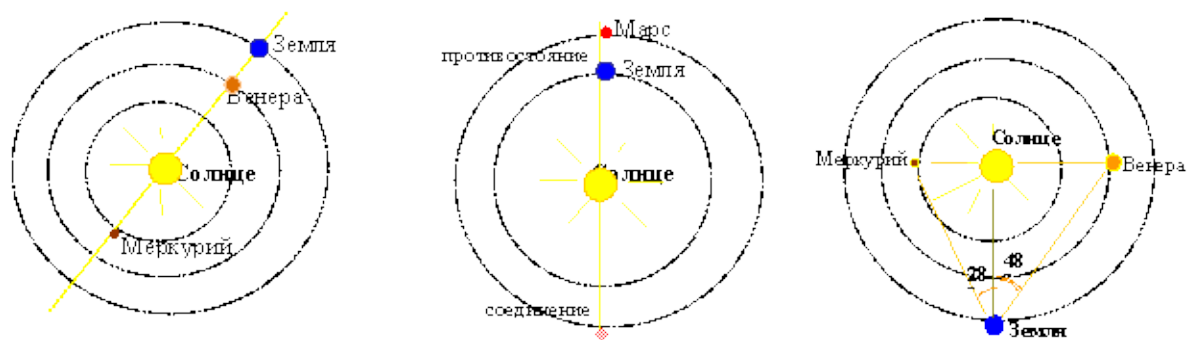


Рисунок 42 – Конфигурации планет

Легко видеть, что угол между направлениями с Земли на Солнце и на внутреннюю планету никогда не превышает определенной величины, оставаясь острым. Этот предельный угол называется наибольшим удалением планеты от Солнца. Наибольшее удаление Меркурия доходит до 28° , Венеры - до 48° . Поэтому внутренние планеты всегда видны вблизи Солнца либо утром в восточной стороне неба, либо вечером в западной стороне неба. Из-за близости Меркурия к Солнцу увидеть эту планету невооруженным глазом удается редко.

Венера отходит от Солнца на небе на больший угол, и она бывает ярче всех звезд и планет. После захода Солнца она дольше остается на небе в лучах зари и даже на ее фоне видна отчетливо. Также хорошо она видна и в лучах утренней зари. Легко понять, что в южной стороне неба и среди ночи ни Меркурия, ни Венеры увидеть нельзя.

Если, проходя между Землей и Солнцем, Меркурий или Венера проецируются на солнечный диск, то они тогда видны на нем как маленькие черные кружочки. Подобные прохождения по диску Солнца во время нижнего соединения Меркурия и особенно Венеры бывают сравнительно редко, не чаще чем через 7-8 лет.

Освещенное Солнцем полушарие внутренней планеты при разных положениях ее относительно Земли нам видно по-разному. Поэтому для земных наблюдателей внутренние планеты меняют свои фазы, как Луна. В нижнем соединении с Солнцем планеты повернуты к нам своей неосвещенной стороной и невидимы. Немного в стороне от этого положения они имеют вид серпа. С увеличением углового расстояния планеты от Солнца угловой диаметр планеты убывает, а ширина серпа делается все большей. Когда угол при планете между направлениями на Солнце и на Землю составляет 90° , мы видим

ровно половину освещенного полушария планеты. Полностью такая планета обращена к нам своим дневным полушарием во время верхнего соединения. Но тогда она теряется в солнечных лучах и невидима.

Внешние планеты могут находиться по отношению к Земле за Солнцем (в соединении с ним), как Меркурий и Венера, и тогда они тоже теряются в солнечных лучах. Но они могут находиться и на продолжении прямой линии Солнце - Земля, так что Земля при этом оказывается между планетой и Солнцем. Такая конфигурация называется противостоянием. Она наиболее удобна для наблюдений планеты, так как в это время планета, во-первых, ближе всего к Земле, во-вторых, повернута к ней своим освещенным полушарием и, в-третьих, находясь на небе в противоположном Солнцу месте, планета бывает в верхней кульминации около полуночи и, следовательно, долго видна и до, и после полуночи.

2. Синодические периоды обращения планет и их связь с сидерическими периодами

Мы наблюдаем планеты с Земли, которая сама обращается вокруг Солнца. Это движение Земли необходимо учитывать, чтобы узнать периоды обращения планет в не вращающейся инерциальной системе отсчета, или, как часто говорят, по отношению к звездам.

Период обращения планет вокруг Солнца по отношению к звездам называется звездным или сидерическим периодом.

Чем ближе планета к Солнцу, тем больше ее линейная и угловая скорости и короче звездный период обращения вокруг Солнца.

Однако из непосредственных наблюдений определяют не сидерический период обращения планеты, а промежуток времени, протекающий между ее двумя последовательными одноименными конфигурациями, например, между двумя последовательными соединениями (противостояниями). Этот период называется синодическим периодом обращения. Определив из наблюдений синодические периоды S , путем вычислений находят звездные периоды обращения планет T .

Рассмотрим, как же связаны синодический и звездный периоды обращения планет на примере Марса.

Скорость движения планет тем больше, чем они ближе к Солнцу. Поэтому после противостояния Марса Земля станет его обгонять. С каждым днем она будет отходить от него все дальше. Когда она обгонит его на полный оборот, то снова произойдет противостояние.

Синодический период внешней планеты – это промежуток времени, по истечении которого Земля обгоняет планету на 360° при их движении вокруг Солнца.

Угловая скорость Земли (угол, описываемый ею за сутки) составляет $\frac{360^\circ}{T_\oplus}$, угловая скорость Марса $\frac{360^\circ}{T}$, где $T_\oplus$ – число суток в году, T – звездный период обращения планеты, выраженный в сутках. Следовательно, за сутки

Земля обгоняет планету на $\frac{360^\circ}{T_\oplus} - \frac{360^\circ}{T}$. Если S – синодический период планеты в сутках, то через S суток Земля, обгонит планету на 360° , т. е.

$$\left(\frac{360^\circ}{T_\oplus} - \frac{360^\circ}{T}\right)S = 360^\circ, \text{ или } \frac{1}{S} = \frac{1}{T_\oplus} - \frac{1}{T}$$

Для внутренних планет, обращающихся быстрее, чем Земля, $T_\oplus > T$ (планета будет обгонять Землю), надо писать:

$$\left(\frac{360^\circ}{T} - \frac{360^\circ}{T_\oplus}\right)S = 360^\circ, \text{ или } \frac{1}{S} = \frac{1}{T} - \frac{1}{T_\oplus}$$

Для Венеры синодический период составляет 584 сут, для Марса 780 сут.

3.4 Законы движения планет. Законы И.Кеплера

Одним из первых основных вопросов астрономии был вопрос о движении небесных тел. Важную роль в формировании представлений о строении Солнечной системы сыграли также законы движения планет, которые были открыты **Иоганном Кеплером** (1571 – 1630) и стали первыми естественнонаучными законами в их современном понимании. Ниже схематически представлено содержание науки о движении небесных тел



В своих поисках Кеплер исходил из убеждения, что «в мире правит число», высказанного еще Пифагором. Он искал соотношения между различными величинами, характеризующими движение планет, – размеры орбит, период обращения, скорость. Кеплер действовал фактически вслепую, чисто эмпирически. Он пытался сопоставить характеристики движения планет с закономерностями музыкальной гаммы, длиной сторон описанных и вписанных в орбиты планет многоугольников Иоганн Кеплер и т. д.

Кеплеру необходимо было построить орбиты планет, перейти от экваториальной системы координат, указывающих положение планеты на небесной сфере, к системе координат, указывающих ее положение в плоскости орбиты. Он воспользовался при этом собственными наблюдениями планеты Марс, а

также многолетними определениями координат и конфигураций этой планеты, проведенными его учителем *Тихо Браге*.

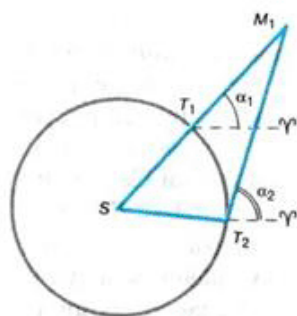


Рисунок 43 – Построение орбиты Марса Кеплером

Орбиту Земли Кеплер считал (в первом приближении) окружностью, что не противоречило наблюдениям. Для того чтобы построить орбиту Марса, он применил способ, который показан на рисунке 43.

Пусть нам известно угловое расстояние Марса от точки весеннего равноденствия во время одного из противостояний планеты – его прямое восхождение α_1 , которое выражается углом T_1M_1 где T_1 – положение Земли на орбите в этот момент, а M_1 – положение Марса. Очевидно, что спустя 687 суток (таков звездный период обращения Марса) планета придет в ту же точку своей орбиты. Если определить прямое восхождение Марса на эту дату, то, как видно из рисунка 43, можно указать положение планеты в пространстве, точнее, в плоскости ее орбиты. Земля в этот момент находится в точке T_2 , и, следовательно, угол T_2M_1 есть не что иное, как прямое восхождение Марса – α_2 . Повторив подобные операции для нескольких других противостояний Марса, Кеплер получил еще целый ряд точек и, проведя по ним плавную кривую, построил орбиту этой планеты.

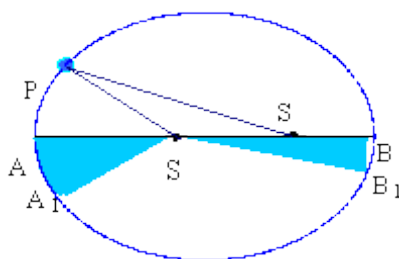


Рисунок 44 – Второй закон Кеплера

Изучив расположение полученных точек, он обнаружил, что **скорость движения планеты по орбите меняется, но при этом радиус-вектор планеты за равные промежутки времени описывает равные площади.**

Впоследствии эта закономерность получила название *второго закона Кеплера*.

Этот закон, который часто называют законом площадей, иллюстрируется рисунком 44. Радиус-вектором называют в данном случае переменный по своей величине отрезок, соединяющий Солнце и ту точку орбиты, в которой находится планета. AA_1 BB_1 и CC_1 – дуги, которые проходит планета за равные промежутки времени. Площади заштрихованных фигур равны между собой.

Согласно закону сохранения энергии, полная механическая энергия замкнутой системы тел, между которыми действуют силы тяготения, остается неизменной при любых движениях тел этой системы. Поэтому сумма кинетической и потенциальной энергий планеты, которая движется вокруг Солнца, неизменна во всех точках орбиты и равна полной энергии. По мере приближения планеты к Солнцу возрастает ее скорость – увеличивается кинетическая энергия, но вследствие уменьшения расстояния до Солнца уменьшается энергия потенциальная.

Установив закономерность изменения скорости движения планет, Кеплер задался целью определить, по какой кривой происходит их обращение вокруг Солнца. Он был поставлен перед необходимостью сделать выбор одного из двух возможных решений:

1) считать, что орбита Марса представляет собой окружность, и допустить, что на некоторых участках орбиты вычисленные координаты планеты расходятся с наблюдениями (из-за ошибок наблюдений) на $8'$;

2) считать, что наблюдения таких ошибок не содержат, а орбита не является окружностью.

Будучи уверенным в точности наблюдений Тихо Браге, Кеплер выбрал второе решение и установил, что наилучшим образом положения Марса на орбите совпадают с кривой, которая называется *эллипсом*, при этом Солнце не располагается в центре эллипса. В результате был сформулирован закон, который называется *первым законом Кеплера*.

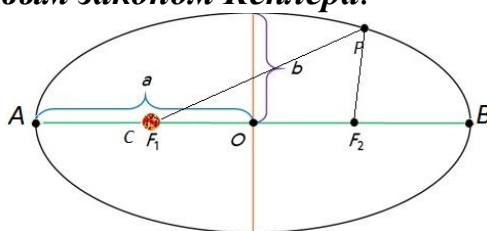


Рисунок 45 – Первый закон Кеплера

Каждая планета обращается вокруг Солнца по эллипсу, в одном из фокусов которого находится Солнце. Как известно, эллипсом называется кривая, у которой сумма расстояний от любой точки P до его фокусов есть величина постоянная. На рисунке 45 обозначены: O – центр эллипса; F и F_1 – фокусы эллипса; AB – его большая ось. Половина этой величины (a), которую обычно называют *большой полуосью*, характеризует размер орбиты планеты. Ближайшая к Солнцу точка A называется *перигелий*, а наиболее удаленная от него точка B – *афелий*. Отличие эллипса от окружности характеризуется величиной его эксцентриситета: $e = OS/OA$. В том случае, когда эксцентриситет равен 0, фокусы и центр сливаются в одну точку – эллипс превращается в окружность.

Примечательно, что книга, в которой в 1609 г. Кеплер опубликовал первые два открытых им закона, называлась «Новая астрономия, или Физика небес, изложенная в исследованиях движения планеты Марс...».

Оба этих закона, опубликованные в 1609 г., раскрывают характер движения каждой планеты в отдельности, что не удовлетворило Кеплера. Он

продолжил поиски «гармонии» в движении всех планет, и спустя 10 лет ему удалось сформулировать *третий закон Кеплера*.

Квадраты звездных периодов обращения планет относятся между собой, как кубы больших полуосей их орбит.

Формула, выражающая третий закон Кеплера, такова:

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3},$$

где T_1 и T_2 – периоды обращения двух планет; a_1 и a_2 – большие полуоси их орбит.

Вот что писал Кеплер после открытия этого закона: «То, что 16 лет тому назад я решил искать, <...> наконец найдено, и это открытие превзошло все мои самые смелые ожидания...»

Действительно, третий закон заслуживает самой высокой оценки. Ведь он позволяет вычислить относительные расстояния планет от Солнца, используя при этом уже известные периоды их обращения вокруг Солнца. Не нужно определять расстояние от Солнца каждой из них, достаточно измерить расстояние от Солнца хотя бы одной планеты. Величина большой полуоси земной орбиты — *астрономическая единица* (а. е.) – стала основой для вычисления всех остальных расстояний в Солнечной системе.

Третий закон Кеплера устанавливает зависимость между расстояниями планет от Солнца и периодами их обращения.

Горизонтальный параллакс

Измерить расстояние от Земли до Солнца удалось лишь во второй половине XVIII в., когда был впервые определен *горизонтальный параллакс* Солнца. По сути дела, при этом измеряется параллактическое смещение объекта, находящегося за пределами Земли, а базисом является ее радиус.

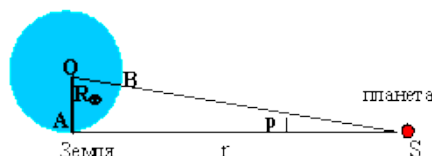


Рисунок 46 – Горизонтальный параллакс светила

Горизонтальным параллаксом (p) называется угол, под которым со светила виден радиус Земли, перпендикулярный лучу зрения (рис. 46).

Из треугольника OAS можно выразить величину – расстояние $OS = D$:

$$D = \frac{R}{\sin p},$$

где R – радиус Земли. По этой формуле можно вычислить расстояние в радиусах Земли, а зная его величину, – выразить расстояние в километрах.

Очевидно, что чем дальше расположен объект, тем меньше его параллакс. Наибольшее значение имеет параллакс Луны, который меняется в связи с тем, что Луна обращается по эллиптической орбите, и в среднем составляет 57'. Параллаксы планет и Солнца значительно меньше. Так, параллакс Солнца 8,8S. Такому значению параллакса соответствует расстояние до Солнца,

примерно равное 150 000 000 км. Это расстояние принимается за одну астрономическую единицу (1 а. е.) и используется при измерении расстояний между телами Солнечной системы.

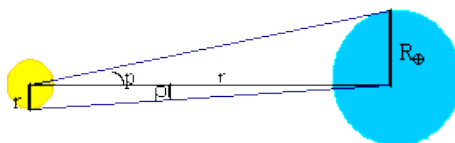


Рисунок 47 – Угловые размеры светила

Известно, что для малых углов $\sin p \approx p$, если угол p выражен в радианах. В одном радиане содержится 206 265". Тогда, заменяя $\sin p$ на p и выражая этот угол в радианной мере, получаем формулу в виде, удобном для вычислений:

$$D = \frac{206265''}{p} R,$$

или (с достаточной точностью)

$$D = \frac{(2 \cdot 10^5)''}{p} R,$$

Во второй половине XX в. развитие радиотехники позволило определять расстояния до тел Солнечной системы посредством *радиолокации*. Первым объектом среди них стала Луна. Затем радиолокационными методами были уточнены расстояния до Венеры, Меркурия, Марса и Юпитера. На основе радиолокации Венеры величина астрономической единицы определена с точностью порядка километра. Столь высокая точность определения расстояний – необходимое условие для расчетов траекторий полета космических аппаратов, изучающих планеты и другие тела Солнечной системы. В настоящее время благодаря использованию лазеров стало возможным провести *оптическую локацию* Луны. При этом расстояния до лунной поверхности измеряются с точностью до сантиметров.

Определение размеров светил

Зная расстояние до светила, можно определить его линейные размеры, если измерить его угловой радиус ρ (рис. 47).

$$D = \frac{r}{\sin \rho}.$$

Формула, связывающая эти величины, аналогична формуле для определения параллакса.

Учитывая, что угловые диаметры даже Солнца и Луны составляют примерно 30', а все планеты видны невооруженному глазу как точки, можно воспользоваться соотношением: $\sin \rho \approx \rho$. Тогда:

$$D = \frac{R}{p} \quad D = \frac{r}{\rho}.$$

Следовательно,

$$r = \frac{\rho}{p} R$$

Если расстояние D известно, то

$$r = D \rho.$$

где величина ρ выражена в радианах.

Тема 4 Солнечная система

4.1 Общая характеристика Солнечной системы

Солнечная планетная система, в которой мы живем, – это изолированный островок в безбрежном пространстве Галактики. Расстояние от Солнца до самых далеких планет во много тысяч раз меньше, чем до самых близких звезд. И хотя некоторые объекты Солнечной системы (например, отдельные кометы) удаляются от Солнца на значительные расстояния, основная доля вещества этой системы сосредоточена в нескольких крупных планетах, обращающихся вокруг Солнца.

С древности в Солнечной системе было известно пять планет: Меркурий, Венера, Марс, Юпитер и Сатурн, видимые невооруженным глазом. В начале XVII в. астрономы окончательно доказали, что Земля – равноправный представитель планет, и их «стало» шесть. В 1781 г. случайно был открыт Уран, а в 1846 г. был теоретически предсказан и сразу же обнаружен на небе Нептун – восьмая и, по-видимому, последняя крупная планета Солнечной системы. Но в те же годы были открыты малые планеты – астероиды, в основном «обитающие» между орбитами Марса и Юпитера. Однако обнаружить что-либо за орбитой Нептуна долго не удавалось.

Однако настойчивые поиски новых планет принесли успех: в 1930 г. за орбитой Нептуна была открыта небольшая планета Плутон. И хотя своим малым размером и сильно вытянутой и наклоненной орбитой Плутон выделялся среди других планет, его все же «записали» в это семейство, поскольку он был заметно крупнее любого из астероидов. До конца XX в. принято было считать, что в Солнечной системе девять планет. Но последнее десятилетие принесло нам открытие множества объектов за орбитой Нептуна, причем некоторые из них похожи на Плутон, а иные даже превосходят его размерами. Поэтому в 2006 г. астрономы уточнили классификацию: 8 крупнейших тел – от Меркурия до Нептуна – считаются классическими планетами, а Плутон стал прототипом нового класса объектов – карликовых планет.

Солнце и находящиеся в поле его притяжения небесные тела образуют только одну из бесчисленных вращающихся систем Вселенной. Солнечная система состоит из центральной звезды – Солнца, восьми планет и их спутников, множества астероидов (более 100 000), огромного числа комет (по некоторым данным, их более 100 млрд.), бесчисленного количества мелких метеорных тел, межпланетной пыли и газа.

Пространство, занимаемое Солнечной системой, пронизано различного рода потоками энергии, исходящими из Вселенной, из межпланетной среды, но главным образом – от Солнца, а также различными физическими полями, свойственными космическим телам, – гравитационным, магнитным, тепловым, электрическим и другими.

Единство Солнечной системы основано на взаимодействии этих потоков и взаимосвязанных движений космических тел.

Движение тел вокруг Солнца обеспечивается двумя силами: центробежной, возникающей при вращении тела, и центростремительной силой или тяготением. Солнце своим притяжением и центробежная сила удерживают планеты и другие космические объекты на их приблизительно круговых орбитах. В свою очередь, каждая планета и всякое другое космическое тело притягивают Солнце и все другие тела с силой, зависящей от их массы и удаленности от светила. Сила притяжения прямо пропорциональна массам тел и обратно пропорциональна квадрату расстояния между взаимодействующими телами.

На рисунке 48 изображены планеты Солнечной системы в их последовательном удалении от светила. Ближайшие к Солнцу 4 планеты принято называть планетами земной группы, а следующие 4 массивных газовых тела называют планетами-гигантами. Карликовые планеты в основном населяют область за орбитой Нептуна – пояс Койпера. Точно определить границу Солнечной системы невозможно, но многие исследователи проводят ее на расстоянии 100 тыс. астрономических единиц (1 а. е. – среднее расстояние от Земли до Солнца) от Солнца.

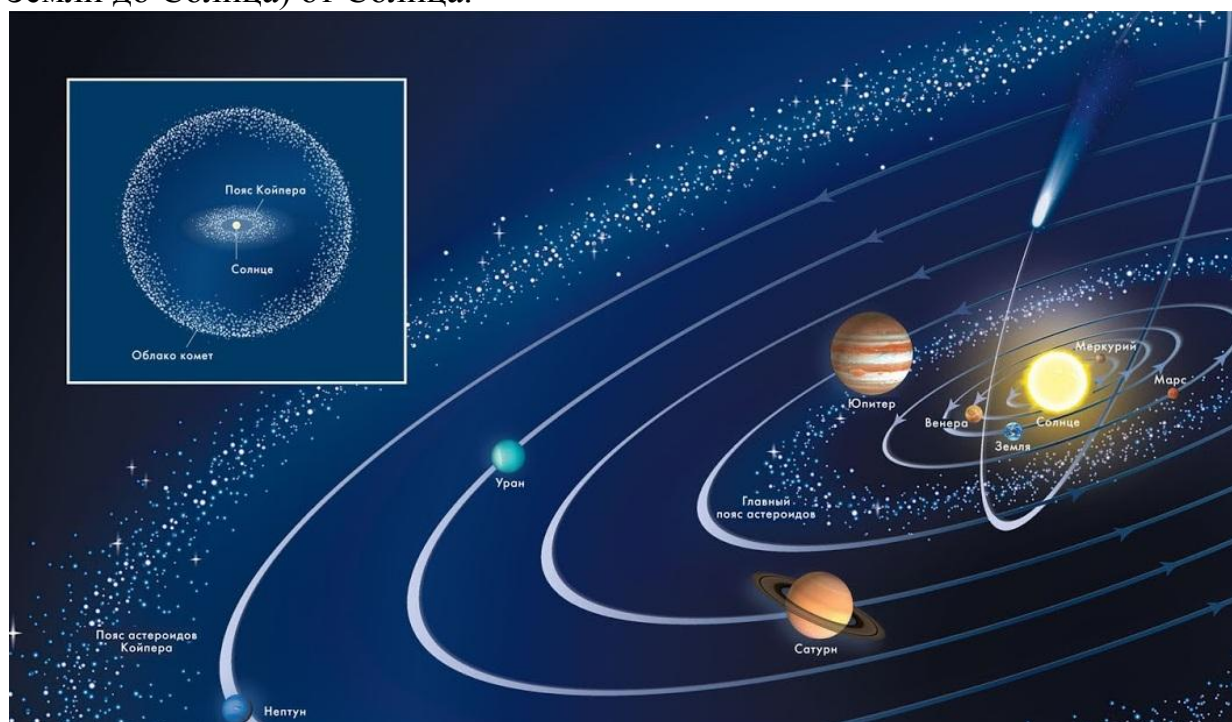


Рисунок 48

Планеты – холодные шарообразные небесные тела, обращающиеся вокруг звезды и светящиеся отраженным от их поверхности светом этой звезды.

Спутники – планеты меньших размеров, обращающиеся вокруг крупных планет.

Орбита – замкнутая кривая, описываемая планетой или другим телом при движении вокруг Солнца, или спутником при его движении вокруг планеты.

Эксцентриситет орбиты – мера отклонения формы орбиты от окружности, выражающаяся отношением разности наибольшего и наименьшего расстояний планеты или другого тела от Солнца к сумме этих расстояний. Например, наибольшее расстояние Земли от Солнца равно 152 млн. км, наименьшее – 147 млн. км, при этом эксцентриситет орбиты Земли составляет:

$$(152-147) : (152+147) = 0,017;$$

это очень незначительное отклонение формы орбиты Земли от правильного круга.

Эклиптика – это плоскость, совпадающая с плоскостью орбиты Земли, или видимый (кажущийся нам с Земли) путь Солнца по небосклону.

Наиболее характерными чертами Солнечной системы являются:

1. Почти все крупные тела Солнечной системы – планеты и астероиды, а также кометы – вращаются вокруг Солнца в одном направлении – против часовой стрелки, если смотреть со стороны Северного полюса мира, находящегося в бесконечности на северном продолжении оси вращения Земли.

2. Все планеты (кроме Венеры и Урана) и большинство спутников (кроме некоторых спутников Юпитера и Сатурна) вращаются вокруг своих осей в том же направлении.

3. Плоскости орбит планет близки к плоскости видимого с Земли годового движения Солнца – эклиптике, отклоняясь от нее всего на несколько градусов. Орбитальная плоскость Земли совпадает с эклиптической. Только Меркурий имеет наклоненную орбиту 7° по отношению к орбите Земли. Но это объясняется тем, что Меркурий формировался как спутник Венеры и лишь потом стал самостоятельной планетой.

Планеты обладают различной скоростью движения по своим орбитам, в чем наблюдается определенная закономерность: чем ближе планета находится к Солнцу, тем орбитальная скорость у нее больше. Меркурий, ближайшая к Солнцу планета, движется по орбите со скоростью 47,9 км/с; Сатурн со скоростью – 9,6 км/с, а бывшая планета Плутон, самое удаленное от Солнца

тела, – со скоростью 4,7 км/с. Время облета планетой светила, т. е. продолжительность ее года, зависит от длины пути (орбиты) и скорости движения. Меркурий совершает свой полный облет вокруг Солнца за 88 земных суток, а Плутон – за 247 земных лет.

Малые планеты, или астероиды, имеют диаметр от 1 до 1000 км. Их общая масса, несмотря на огромное число, не превышает 1/100 массы Земли.

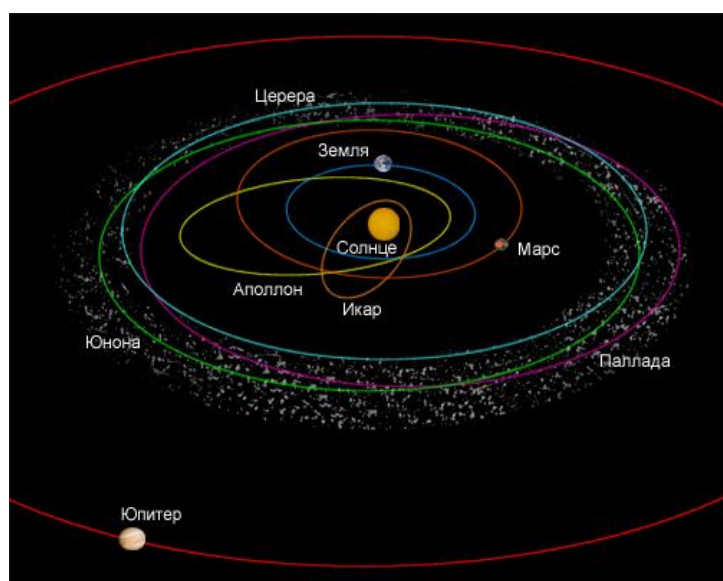


Рисунок 49

Орбиты большинства астероидов расположены между орбитами Марса и Юпитера, образуя пояс астероидов (см. рис. 49).

Орбиты некоторых из них сильно вытянуты. Так, астероид Гидальго удаляется от Солнца за пределы орбиты Сатурна, а Икар заходит внутрь орбиты Меркурия. Некоторые астероиды могут сближаться с Землей. Например, в 1976 г. Икар приблизился к Земле на расстояние всего 7 млн. км. Хотя есть сообщения, что некоторые небольшие астероиды заходили внутрь орбиты Луны, столкновение Земли с астероидом настолько маловероятно, что происходит раз в несколько сотен миллионов лет. В настоящее время неизвестно ни одного астероида, столкновение с которым может произойти в сколько-нибудь обозримое время.

Кроме известного с начала XIX в. пояса астероидов между Марсом и Юпитером, на краю Солнечной системы за орбитой Нептуна находится еще один пояс астероидов – пояс Койпера. Обнаружение этих астероидов чрезвычайно сложная задача. Они очень далеки от Солнца и очень слабы. Тем не менее, уже открыто более 100 объектов пояса Койпера (см. рис. 50). По мнению многих исследователей, Плутон является одним из самым большим представителем этого семейства астероидов.



Рисунок 50

Еще дальше, в пределах 100 000 а. е., расположено Облако Орта (см. рис. 51), которое иногда называют банком комет. Сами будущие кометы представляют собой глыбы «грязного», т. е. с включениями твердых частиц, водяного, водородного и углеводородного снега. Это остатки того материала, из которого образовались планеты. Время от времени в результате столкновений между собой или под действием возмущения со стороны ближайших звезд глыбы изменяют свое движение и попадают в центральные области Солнечной системы. Если этим телам придется «встретиться» с Нептуном, Ураном, Сатурном или Юпитером, они могут быть выброшены в область внутренних планет. Так возникают кометы.

Орбиты комет отличаются разнообразием. Как правило, они очень сильно вытянуты (иногда практически неотличимы от параболических). Не ис-

ключено, что эти кометы покидают Солнечную систему. В то же время не обнаружено ни одной кометы, орбита которой была бы гиперболической, т. е. такой, которая заведомо пришла бы к нам из другой планетной системы. Встречаются также кометы, орбиты которых близки к круговым (например, комета Швассмана – Вахмана движется между орбитами Марса и Юпитера). Среди комет встречаются объекты, движущиеся по орбите в направлении, обратном движению планет (в том числе известная комета Галлея).

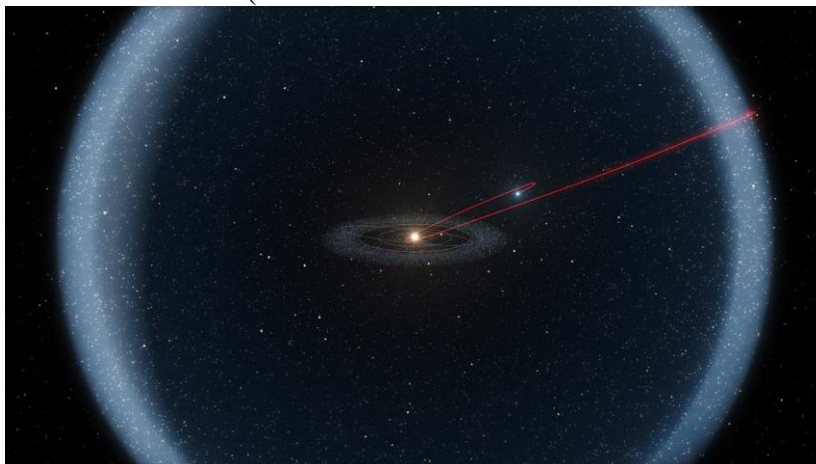


Рисунок 51

Метеорные тела (размером от долей миллиметра до километра в диаметре) и межпланетная пыль (частички, размер которых не превышает сотни микрометров) заполняют практически все пространство Солнечной системы. Метеорные тела и пыль образуются при распаде комет, при столкновениях астероидов между собой, а также между кометами и мелкими телами. Мелкие метеорные тела и пылинки недолговечны. Световое давление и солнечный ветер оказывают на них тормозящее действие, и они медленно падают на Солнце. На расстоянии в несколько радиусов Солнца метеорные тела нагреваются до тысячи кельвин и испаряются. Для больших метеоритов этот процесс практически незаметен. Для пылинок размером в доли миллиметра он продолжается столетия, а частички размером в несколько микрометров просто «выметаются» давлением света из пределов Солнечной системы.

Происхождение Солнечной системы

Один из важных вопросов, связанных с изучением нашей планетной системы – проблема ее происхождения. Решение данной проблемы имеет естественнонаучное, мировоззренческое и философское значение. На протяжении веков и даже тысячелетий ученые пытались выяснить прошлое, настоящее и будущее Вселенной, в том числе и Солнечной системы. Однако возможности планетной космологии и по сей день остаются весьма ограниченными – для эксперимента в лабораторных условиях доступны пока лишь метеориты и образцы лунных пород. Ограничены и возможности сравнительного метода исследований: строение и закономерности других планетных систем пока еще недостаточно изучены.

Гипотезы о происхождении солнечной системы

К настоящему времени известны многие гипотезы о происхождении Солнечной системы, в том числе предложенные независимо немецким философом И. Кантом и французским математиком и физиком П. Лапласом. Точка зрения И. Канта заключалась в эволюционном развитии холодной пылевой туманности, в ходе которого сначала возникло центральное массивное тело – Солнце, а потом родились и планеты. П. Лаплас считал первоначальную туманность газовой и очень горячей, находящейся в состоянии быстрого вращения. Сжимаясь под действием силы всемирного тяготения, туманность вследствие закона сохранения момента импульса вращалась все быстрее и быстрее. Под действием больших центробежных сил, возникающих при быстром вращении в экваториальном поясе, от него последовательно отделялись кольца, превращаясь в результате охлаждения и конденсации в планеты. Таким образом, согласно теории П. Лапласа, планеты образовались раньше Солнца. Несмотря на такое различие между двумя рассматриваемыми гипотезами, обе они исходят от одной идеи – Солнечная система возникла в результате закономерного развития туманности. И поэтому такую идею иногда называют гипотезой Канта–Лапласа. Однако от этой идеи пришлось отказаться из-за множества математических противоречий, и на смену ей пришло несколько «приливных теорий».

Наиболее знаменитая теория была выдвинута Д. Джинсом. Согласно Джинсу, планетное вещество было «вырвано» из Солнца под воздействием близко проходившей звезды, а затем распалось на отдельные части, образуя планеты. При этом наиболее крупные планеты (Сатурн и Юпитер) находятся в центре планетной системы, где некогда находилась утолщенная часть сигарообразной туманности.

Если бы дела действительно обстояли таким образом, то планетные системы были бы чрезвычайно редким явлением, так как звезды отделены друг от друга колоссальными расстояниями, и вполне возможно, что наша планетная система могла бы претендовать на роль единственной в Галактике. Но математики снова бросились в атаку, и, в конце концов, приливная теория присоединилась к газообразным кольцам Лапласа в мусорной корзине науки.

Современная теория происхождения солнечной системы

Наиболее проработанный в настоящее время сценарий рождения Солнечной системы следующий: существовало протопланетное облако межзвездного вещества массой 10^5 солнечных масс, плотность которого порядка 10^6 молекул в 1 см^3 , температура $20 - 100\text{ К}$. Во время взрыва сверхновой звезды (см. рис.) под действием ударной волны межзвездное вещество начало сжиматься, температура стала увеличиваться и за несколько миллионов лет достигла $(1,0 - 1,5) \cdot 10^7\text{ К}$. За счет сжатия протопланетное вещество превратилось в линзовидный диск с новой звездой (Солнце), в которой шли термоядерные реакции (примерно 4,7 млрд. лет назад).



Рисунок 52

Возникший около Солнца диск сначала состоял на 98% из водорода и гелия. Остальные элементы конденсировались в пылевые частицы. Беспорядочное движение газа в диске быстро прекратилось: оно сменилось спокойным движением облака вокруг Солнца, в результате чего линза превратилась в тонкий диск, который распался на гигантские кольца, окружающие Солнце (см. рис. 52). Пылевые частицы сконцентрировались в центральной плоскости, образовав слой повышенной плотности. Когда плотность слоя достигла некоторого критического значения, его собственное тяготение стало «соперничать» с тяготением Солнца. Слой пыли оказался неустойчивым и распался на отдельные пылевые сгустки – планетезимали. Сталкиваясь друг с другом, некоторые сгустки росли, а другие – разрушались.



Рисунок 53

Наиболее крупные из них приобретали почти круговые орбиты и в своем росте начали обгонять другие тела, став зародышами будущих планет. Как более массивные тела, новообразования присоединяли к себе оставшееся вещество газопылевого облака. В итоге сформировалось восемь больших планет (см. рис. 54).



Рисунок 54

Весь процесс формирования Солнечной системы представлен на рис. 55

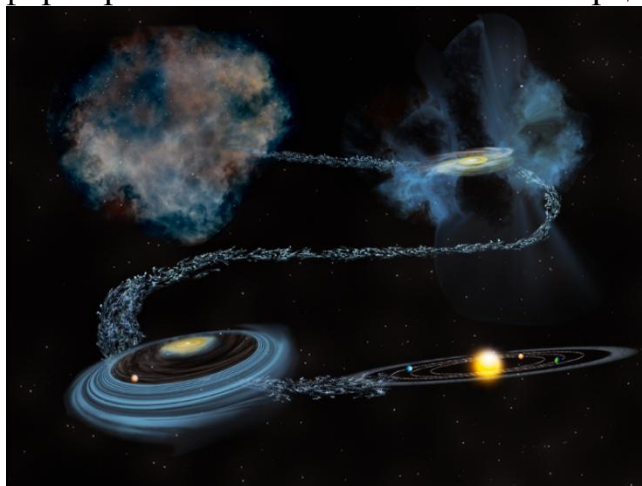


Рисунок 55

С учетом физических характеристик все планеты делятся на две группы. Одна из них состоит из сравнительно небольших планет земной группы – Меркурия, Венеры, Земли и Марса. Их вещество отличается относительно высокой плотностью: в среднем около $5,5 \text{ г/см}^3$, что в 5,5 раза превосходит плотность воды. Другую группу составляют планеты-гиганты: Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун. Эти планеты обладают огромными массами. Так, масса Урана равна 15 земным массам, а Юпитера – 318. Состоят планеты-гиганты главным образом из водорода и гелия, а средняя плотность их вещества близка к плотности воды. Судя по всему, у этих планет нет твердой поверхности, подобной поверхности планет земной группы.

В процессе образования планет их деление на две группы обуславливается тем, что в далеких от Солнца частях облака температура была низкой и на пылинках намерзал лед, а также углекислый газ, метан, аммиак, определившие состав Урана и Нептуна. В составе самых массивных планет – Юпитера и Сатурна, кроме того, оказалось значительное количество газов. В области планет земной группы температура была значительно выше, и все летучие вещества (в том числе метан и аммиак) остались в газообразном состоянии, и, следовательно, в состав планет не вошли. Планеты этой группы сформировались в основном из силикатов и металлов.

Гипотеза образования планет путем объединения твердых тел и частиц выдвинута выдающимся советским ученым академиком О. Ю. Шмидтом. Она заменила представления о конденсации планет из газовых сгустков и объяснила разделение планет по физической природе на две группы. Впоследствии эта гипотеза была подтверждена физико-химическими исследованиями состава и структуры метеоритов.

4.2 Планеты земной группы и их спутники

Общая характеристика планет земной группы:

1. Планеты земной группы сравнительно малы (их общая масса не превышает 0,5 % массы всех планет Солнечной системы) и представляют собой твёрдые тела с высокой средней плотностью.

2. Все планеты земной группы обладают сходным строением и состоят из ядра, мантии, твёрдой коры.

3. Для поверхностей планет земной группы характерны кратеры, горы, вулканы.

4. Планеты земной группы (кроме Меркурия) имеют внешние оболочки: атмосферу (Венера, Земля, Марс), гидросферу и биосферу (Земля), криосферу (Марс).

Меркурий

Меркурий – самая близкая к Солнцу планета (см. рис.56). Она постоянно «прячется» в солнечных лучах, и поэтому её трудно увидеть земному наблюдателю.

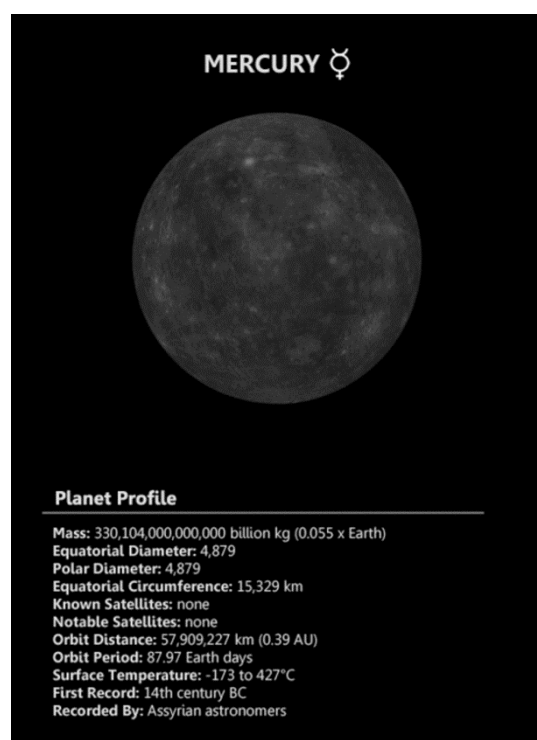


Рисунок 56

У Меркурия нет атмосферы, и его поверхность не защищена от палящих солнечных лучей днём и космического холода ночью. Днём на поверхности планеты температура поднимается до +427 °С, а ночью опускается до –173 °С. Перепад температур происходит медленно, потому что солнечные сутки (промежуток между двумя последовательными полуднями) на Меркурии равны 176 земным.

Вся каменистая поверхность Меркурия покрыта многочисленными кратерами (см. рис. 57). Большинство из них образовалось в результате падения метеоритов. Кратеры на картах Меркурия названы в честь выдающихся представителей мировой культуры: Бетховен, Гомер, Достоевский, Пушкин, Толстой и др.

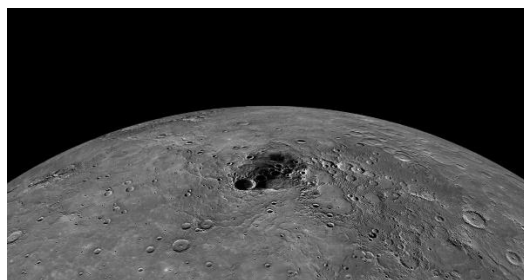


Рисунок 57

Угол наклона оси вращения Меркурия перпендикулярен его орбите, поэтому дно околополярных кратеров никогда не освещается Солнцем. Эти области служат хранилищами водяного льда, перемешанного с горной породой.

Горы, встречающиеся на Меркурии, достигают высоты всего 2–4 км (см. рис. 58). На планете обнаружены уступы высотой 2–3 км, тянущиеся на сотни километров. Вероятно, они появились при формировании планеты из-за неравномерного сжатия в ходе охлаждения.

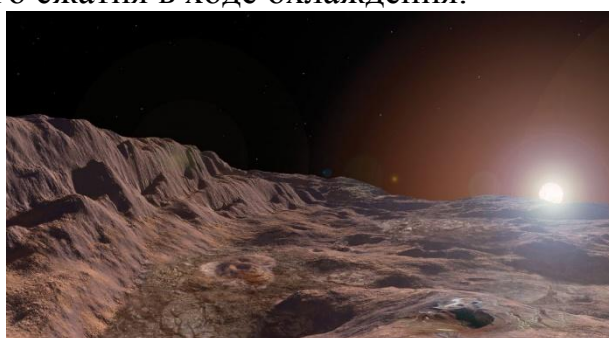


Рисунок 58

Вблизи поверхности Меркурия обнаружены атомы гелия и водорода, а также аргона и натрия. Их источниками являются солнечный ветер и вещество планеты, подверженное нагреванию и облучению Солнца.

Магнитное поле планеты очень мало, его напряжённость в 300 раз меньше земного.

Венера

Венера – вторая от Солнца планета Солнечной системы (см. рис. 59). Она почти такого же размера, как и Земля, а её масса составляет около 80 % земной массы. На небе её можно наблюдать утром или вечером в виде очень яркого светила. Густая атмосфера Венеры долго скрывала тайны её поверхности. Учёные ещё в середине XX в. думали, что планета покрыта тропическими лесами. Но достигшие её советские космические аппараты «Венера» сфотографировали безжизненную раскалённую пустыню. Температура поверхности достигает 462 °С и почти не изменяется в течение суток. Густые облака пропускают мало солнечного света и создают «сумеречную» освещённость даже тогда, когда Солнце находится высоко над горизонтом.

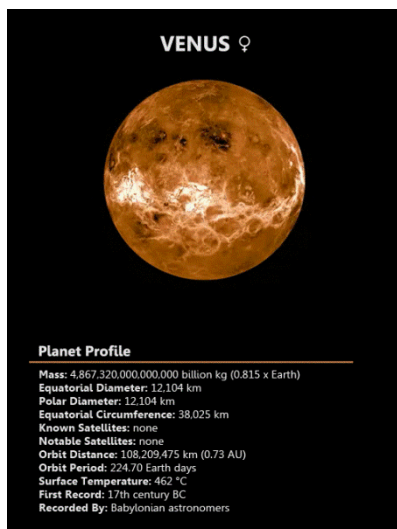


Рисунок 59

Большую часть поверхности Венеры занимают равнины. Самые высокие горы поднимаются на 11 км над средним уровнем поверхности – Горы Максвелла. Обнаружены на Венере кратеры диаметром до сотен километров. Крупные кратеры названы в честь выдающихся женщин мира (Ахматова, Войнич, Дункан, Мона Лиза (см. рис.), Орлова) или просто женскими именами (Антонина, Валентина, Зоя, Ирина, Нана, Оля и др.). Обширные возвышенности-материки носят имена: Земля Афродиты, Земля Иштар, Земля Лады и др.

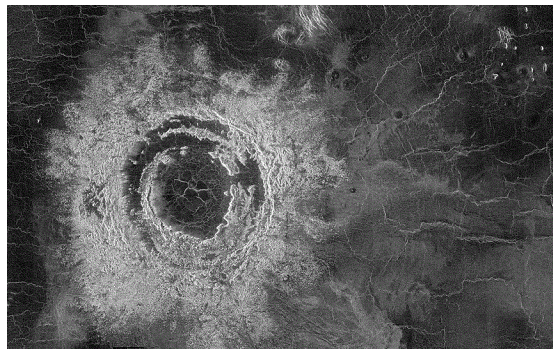


Рисунок 60

Около 500 млн. лет назад на Венере произошла глобальная геологическая катастрофа. Сотни тысяч действующих вулканов извергли огромное количество лавы, которая покрыла всю поверхность планеты. Самый высокий потухший вулкан (см. рис. 60) – гора Маат, названная так в честь египетской богини истины и порядка, – вздымается над окружающей её равниной почти на 8 км.

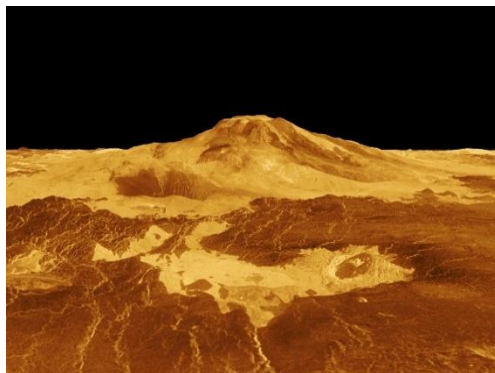


Рисунок 61

Отдельные вулканы достигают высоты 3 км при ширине у подножия 500 км. Многочисленные застывшие пузыри лавы имеют куполообразную форму (см. рис.61).

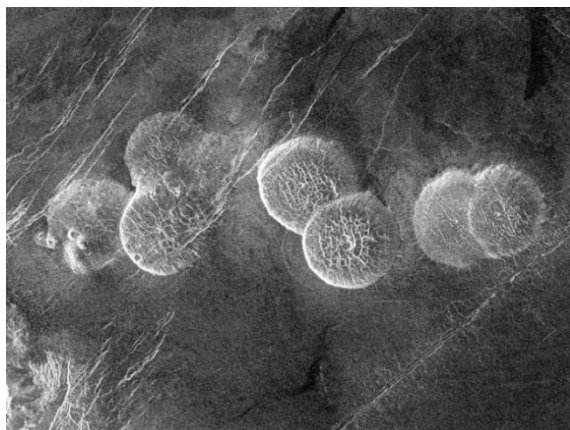


Рисунок 62

Для исследования рельефа планеты был использован метод радиолокации. Автоматическая межпланетная станция «Магеллан» с 1990 по 1994 г. провела глобальную радиолокацию поверхности Венеры. На основе полученных данных были составлены рельефные карты и появилась возможность воссоздать детали поверхности в объёмном изображении (см. рис. 62).

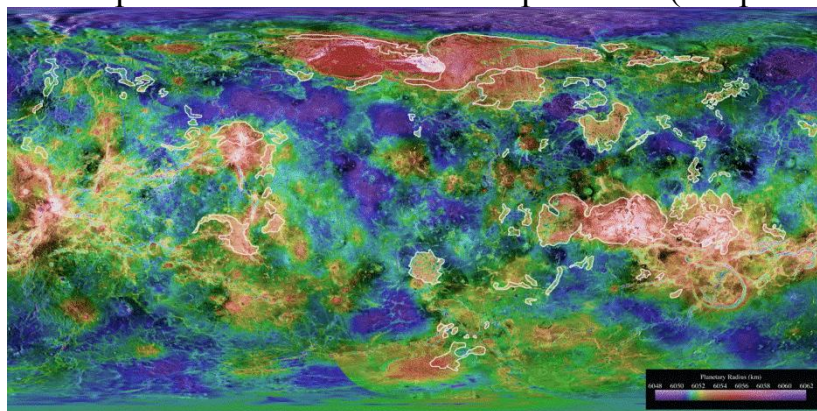


Рисунок 63

Атмосфера Венеры состоит в основном из углекислого газа (см. рис. 63). Давление у поверхности планеты в 95 раз выше, чем у поверхности Земли. Благодаря такому химическому составу, а также большой плотности атмосфера Венеры представляет собой огромный «парник». Парниковый эффект и обуславливает высокую температуру поверхности.

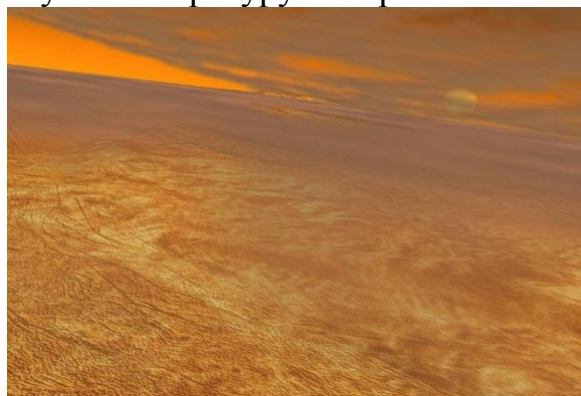


Рисунок 64

Облака Венеры имеют слоистую структуру. Они располагаются на высоте от 48 до 70 км и содержат капельки серной кислоты. Скорость ветра у поверхности составляет около 1 м/с. В атмосфере наблюдаются молнии.

Магнитное поле Венеры очень мало по причине медленного вращения планеты вокруг оси с востока на запад. Его напряжённость в 104 раз меньше земного. Магнитосфера почти полностью отсутствует, поэтому поток заряженных частиц, идущий от Солнца, сталкивается с атмосферой планеты и увлекает за собой её вещество, формируя ионный шлейф, который растягивается на 45 млн. км, т. е. достигает Земли.

Земля

Земля – третья по счёту планета Солнечной системы. Из космоса наша планета выглядит красивым голубым шаром (см. рис. 65). Сквозь облачный покров можно рассмотреть материки и океаны.

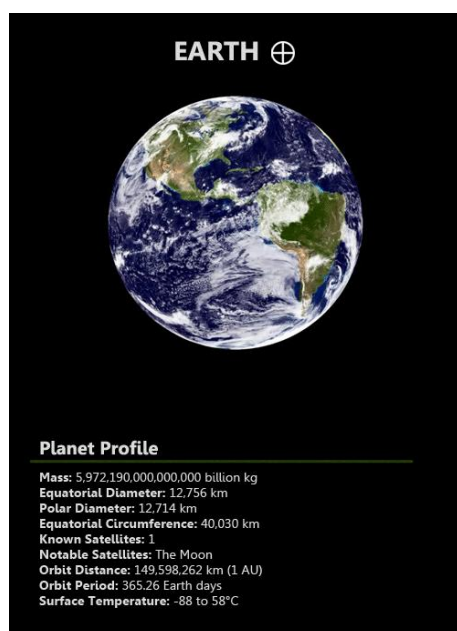


Рисунок 65

Детали поверхности Земли и условия жизни хорошо вам известны, поэтому мы остановимся более подробно на строении недр. Модели внутреннего строения Земли и остальных планет земной группы примерно схожи.

По записям колебаний земной поверхности при землетрясениях – сейсмограммам – было установлено, что внутреннее строение планеты по вертикали слоистое. По химическому составу и физическим характеристикам выделяют три основные сферические оболочки: твёрдая кора, мантия и ядро. Самый тонкий внешний слой – твёрдая кора. У Земли она простирается в среднем на глубину 35 км (океаническая кора – 10 км, континентальная кора – 70 км). По химическому составу земная кора состоит из кислорода (46,6 %), кремния (27,7 %), алюминия (8,1 %), железа (5 %), кальция (3,6 %) и других химических элементов. Общая масса земной коры составляет всего 0,8 % общей массы Земли. Кора отделяется от следующей за ней мантии отчётливой границей.

Ядро – наиболее плотная часть планетных недр. В центре Земли плотность вещества достигает $13\,500\text{ кг/м}^3$, а температура оценивается в 6000 К. Радиус ядра составляет 55 % радиуса Земли, а масса – около 30 % массы планеты. Земное ядро подразделяется на внешнее и твёрдое внутреннее радиусом 1270 км. Переходная зона между внешней и внутренней частями ядра очень тонкая – около 5 км. У Венеры аналогичное ядро. Наиболее мощным ядром обладает Меркурий, радиус которого составляет 70 % радиуса планеты, а масса – 60 % массы всей планеты. У Марса небольшое ядро массой всего 7 % от всей массы планеты, а его радиус составляет 28 % радиуса Марса. Ядра планет в основном состоят из железа с примесью сернистого железа. Жидкий внешний слой ядра, вероятно, есть у Меркурия и Венеры.

Источниками нагрева недр планет служат:

- 1) выделение тепла при распаде радиоактивных элементов;
- 2) энергия, выделяющаяся при ударах тел различного размера (астероидов и др.) о поверхность планеты;

3) нагревание за счёт сжатия вещества планеты и гравитационной дифференциации.

Гравитационная дифференциация представляет собой процесс постепенного перераспределения вещества по плотности – тяжёлые элементы стремятся к центру, а лёгкие элементы поднимаются к поверхности. Этот процесс у Земли ещё не завершился. Движения вещества внутри планеты влияют на кору, вызывая землетрясения, горообразования, тектонические и вулканические процессы.

Магнитное поле Земли генерируется в жидком металлическом слое ядра. Земная атмосфера состоит в основном из азота и кислорода.

Марс

Марс – четвёртая по счёту планета Солнечной системы по отношению к Солнцу (см. рис. 66). Для наблюдателя она предстаёт в виде яркого красного светила. С помощью любительских телескопов можно увидеть полярные шапки Марса и некоторые крупные детали его поверхности.

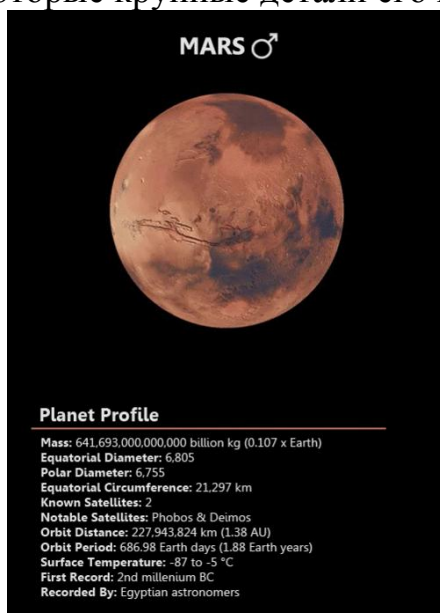


Рисунок 66

Полученные с помощью космических аппаратов изображения поверхности Марса показали, что планета представляет собой безжизненную пустыню, значительная часть которой покрыта красноватым песком и усеяна камнями. Красный цвет поверхности Марса объясняется высоким содержанием в почве оксидов железа.

На поверхности Марса атмосфера очень разрежена, поэтому существуют большие суточные колебания температуры: если днём на экваторе температура поднимается летом до +15 °С, то ночью она опускается до – 65 °С. Зимой на поверхности Марса наблюдаются снег и иней (см. рис. 67), но вода в жидком состоянии там существовать не может. Давление у поверхности планеты в 100–170 раз меньше, чем на Земле. В условиях низкого атмосферного давления вода закипает при температуре +2 °С и сразу же испаряется.

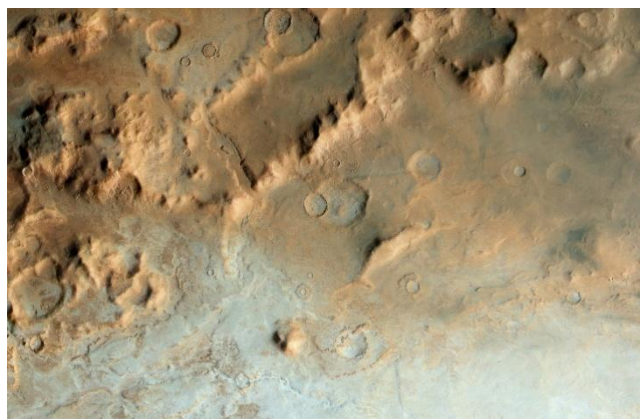


Рисунок 67

На Марсе очень много ударных кратеров большого размера. Это свидетельствует о том, что планета пережила множество катастроф, которые изменили условия её поверхности. Кратеры на Марсе названы в честь учёных, посвятивших свою деятельность изучению Марса и планет Солнечной системы (например, кратер Тихов).

Поверхность Марса характеризуется чётко выраженной асимметрией. Южное гористое полушарие в среднем на 5 км выше Северного. На снимках марсианской поверхности хорошо видны многочисленные крупные и мелкие каньоны. Их ширина достигает 600 км, глубина – 5 км. Самый большой каньон – Долина Маринера – тянется почти на 5000 км (см. рис. 68).

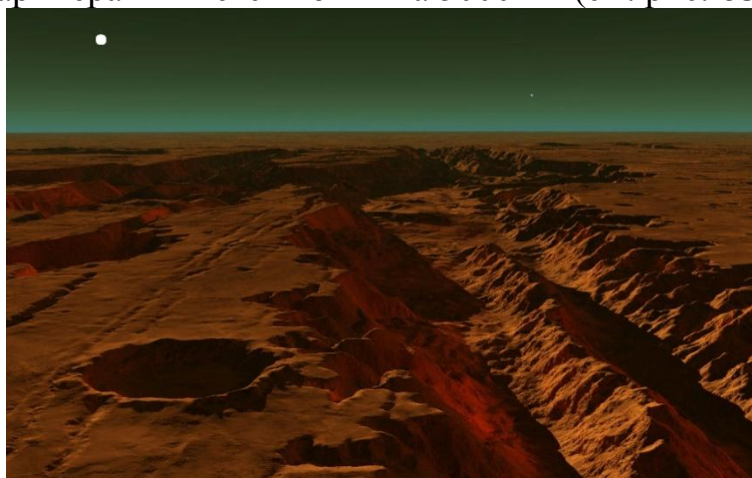


Рисунок 68

Поражают своими масштабами потухшие вулканы Марса. Самый высокий – гора Олимп (см. рис.69) – поднимается над поверхностью на 27 км. Диаметр его основания достигает 600 км. Возраст данных структур – около 400 млн. лет.

Знаменитые полярные шапки Марса образованы толстыми, порядка 3 км, слоями льда, смешанного с пылью. Верхний слой полярных шапок состоит из «сухого льда» (замёрзшего углекислого газа – CO_2) с небольшой примесью обычного льда (H_2O). Температура здесь опускается ниже -110°C . Когда на одном из полушарий начинается зима, соответствующая полярная шапка начинает расти и достигает 57° широты в Северном полушарии и 45° – в Южном. С приходом весны шапки начинают таять. Осенью, когда форми-

руются полярные шапки, можно наблюдать голубовато-белые облака в атмосфере планеты.

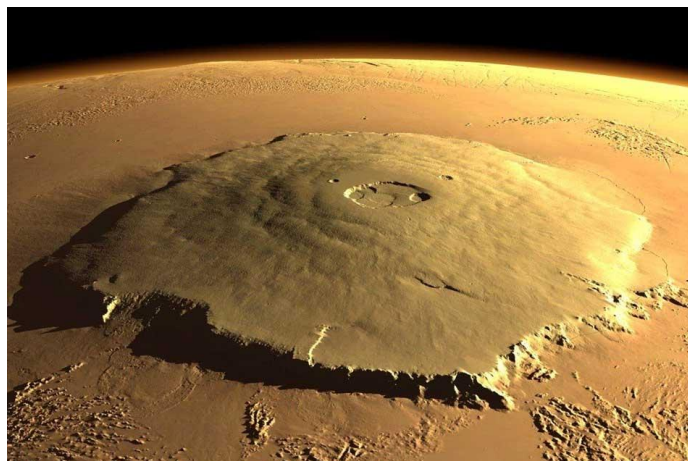


Рисунок 69

Загадочные марсианские долины, похожие на высохшие русла рек (см. рис. 70), были созданы водными потоками, которые иссякли более миллиарда лет назад. Об обилии воды на Марсе в давние времена свидетельствуют многие факты. В 1999 г. были опубликованы исследования, доказывающие, что на Марсе раньше существовал океан воды. Это удалось установить с помощью фотоснимков по особенностям рельефа, представляющим древнюю береговую линию. Океан мог существовать, пока температура поверхности Марса была достаточно высока. Планета начала охлаждаться около миллиарда лет назад. Тонкая атмосфера Марса не препятствовала «улетучиванию» воды в межпланетное пространство. При понижении температуры замёрзшая вода вперемешку с песком образовала подповерхностную ледяную оболочку – криосферу. Криосфера Марса содержит количество воды, эквивалентное слою толщиной около 1 км по всей планете.



Рисунок 70

Атмосфера Марса имеет низкую плотность и состоит в основном из углекислого газа. Скорость ветра у поверхности планеты не превышает 15 м/с. Марс – единственная планета, где наблюдаются глобальные пылевые бури. Они создают антипарниковый эффект, так как облака пыли не пропускают солнечное излучение к поверхности. Поэтому поверхность сильно охлаждается, а пыль и окружающая атмосфера, напротив, разогреваются. В атмосфере Марса наблюдаются песчаные вихри, закручивающие столбы пыли высотой до 8 км. Частички облаков состоят из силикатных и ледяных пылинок.

Пыль на Марсе поднимается так высоко в атмосферу, что даже закрывает гору Олимп.

Марс обладает слабым магнитным полем напряжённостью в 500 раз меньше земного.

Спутники планет земной группы

Из планет земной группы, кроме Земли, только Марс имеет два спутника. Это небольшие каменные тела неправильной формы размером 27 x 19 км – Фобос и 16 x 11 км – Деймос (см. рис. 71).



Рисунок 71

Зонд «Маринер-7» сфотографировал Фобос на фоне Марса в 1969 г., а «Маринер-9» передал множество снимков обоих спутников, на которых видно, что их поверхности неровные, обильно покрытые кратерами. Несколько близких подлетов к спутникам совершили зонды «Викинг-1», «Викинг-2» и «Фобос-2». На лучших фотографиях Фобоса видны детали рельефа размером до 5 м.

Они очень близки к планете, особенно Фобос, удаленный от центра Марса менее чем на 2,8 его радиуса. Поэтому угловая скорость его обращения (период менее 7 ч 40 мин) больше скорости суточного вращения самого Марса (период которого на 37 мин превышает земные сутки). Поэтому Фобос быстро перемещается по марсианскому небу с запада на восток! Средняя плотность Фобоса – менее 2 г/см^3 , а ускорение свободного падения на его поверхности составляет $0,5 \text{ см/с}^2$. Человек весил бы на Фобосе всего несколько десятков граммов и мог бы, бросив камень рукой, заставить его навсегда улететь в космос: скорость отрыва на поверхности Фобоса – около 13 м/с. Самый большой кратер на Фобосе имеет диаметр, сопоставимый с наименьшим поперечником самого спутника, – 8 км. На Деймосе крупнейшая впадина имеет диаметр 2 км.

Небольшими кратерами поверхности спутников усеяны примерно так же, как Луна. При общем сходстве, обилии мелко раздробленного материала, покрывающего поверхности спутников, Фобос выглядит более «ободраным», а Деймос имеет более сглаженную, засыпанную пылью поверхность. На Фобосе обнаружены загадочные борозды, пересекающие почти весь спутник. Борозды имеют ширину 100-200 м и тянутся на десятки километров. Глубина их от 20 до 90 м. Есть несколько гипотез о происхождении этих борозд, но пока нет достаточно убедительного объяснения, как, впрочем, и объ-

яснения происхождения самих спутников. Скорее всего, это захваченные Марсом астероиды.

4.3 Планеты-гиганты

Общая характеристика планет-гигантов:

1. В отличие от планет земной группы планеты-гиганты представляют собой крупные массивные газообразные тела с малой плотностью, удалённые от Солнца на значительное расстояние (от 5 до 30 а. е.).
2. Планеты-гиганты очень быстро вращаются вокруг своих осей.
3. Все планеты-гиганты имеют кольца.
4. Основными компонентами атмосфер этих планет являются водород и гелий.

Юпитер

Юпитер – самая большая из планет-гигантов (см. рис. 72). Его масса намного превышает массу всех других планет, вместе взятых. Юпитер представляет собой газообразное тело с чрезвычайно мощной атмосферой, состоящей главным образом из водорода и гелия, что характерно и для других планет этой группы. По средней плотности, преобладанию водорода и гелия Юпитер похож на звёзды. В отличие от планет земной группы у гигантов нет твёрдой поверхности. То, что мы наблюдаем, – это вершины облаков, плавающих в атмосфере. Из-за быстрого вращения планет-гигантов и сильных ветров облака вытягиваются в полосы, параллельные экватору. Окраску облакам придают примеси аммиачных образований, метан и другие сложные соединения.

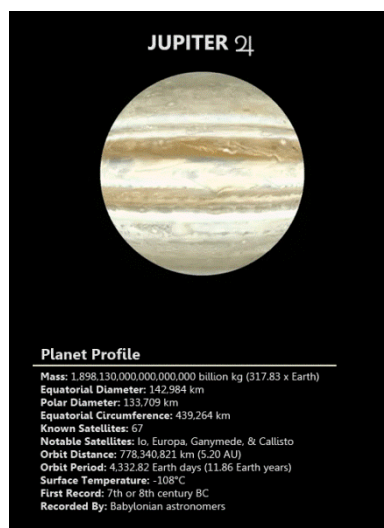


Рисунок 72

Светлые и тёмные полосы атмосферы Юпитера объясняются различными зонами давления. Светлые зоны – это области высокого давления, а тёмные – низкого. Тёплые газы поднимаются вверх в области зон и остывают, достигнув верхней границы облаков. Охлаждаясь, они падают в соседние полосы, где давление низкое.

В экваториальной зоне (от +9 до -9°) газовые течения направлены строго с запада на восток. Скорость движения газовых масс достигает 180 м/с.

Вблизи широт от $+20^\circ$ до -20° вещество движется в противоположную сторону, с востока на запад, со скоростью около 50 м/с. Между основными течениями существуют вихри и струи.

Для Юпитера, как и для всех планет-гигантов, характерны светлые и тёмные овальные пятна. Наиболее примечательное из них – большое красное пятно (см. рис. 73), наблюдающееся в течение трёх веков. Это огромный и очень устойчивый вихрь, похожий на земной ураган.



Рисунок 73

В полярных облаках Юпитера наблюдается явление, подобное земному северному сиянию (см. рис. 74).

Представления о внутреннем строении планет-гигантов получены на основе наблюдений и теоретических моделей, основанных на свойствах водорода.

На дне уплотняющейся вглубь на 1500 км атмосферы Юпитера находится слой жидкого водорода. Затем атмосфера переходит в особое газо-жидкое состояние.

На уровне примерно 0,77 радиуса планеты начинается оболочка, где водород приобретает свойства металла. Он сжимается так сильно ($4 \cdot 10^{12}$ Па), что электроны покидают свои атомы и свободно перемещаются. Это приводит к появлению магнитного поля Юпитера, напряжённость которого на границе облачного слоя в 12 раз выше, чем у земного магнитного поля.



Рисунок 74

В центре Юпитера находится твёрдое ядро, состоящее из оксидов кремния, магния и железа с примесями. Диаметр внутреннего ядра – около 25 тыс.

км, температура в его центре составляет 23 000 К. Такая высокая температура объясняется медленным гравитационным сжатием планеты.



Рисунок 75

В 1979 г. космические аппараты «Вояджер-1» и «Вояджер-2» обнаружили у Юпитера кольца (см. рис. 75). Они состоят из очень мелких пылинок (0,2–200 мкм). Эти пылинки постепенно падают в атмосферу Юпитера, а их место занимают другие, которые образуются при столкновении малых спутников, особенно Амальтеи, с метеоритными телами.

Сатурн

Сатурн – это вторая по величине планета-гигант, окружённая красивыми кольцами (см. рис. 76). Диск планеты заметно сплюснут у полюсов. Это вызвано тем, что у Сатурна самая низкая плотность из всех планет Солнечной системы.

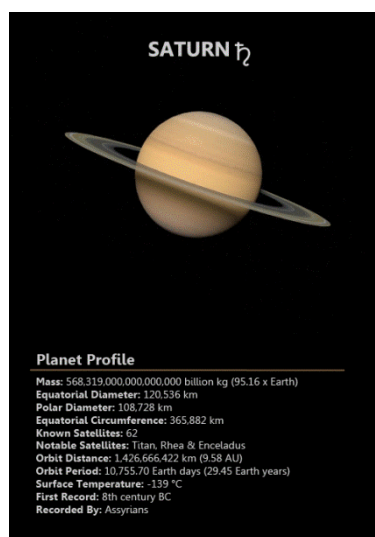


Рисунок 76

Кольца Сатурна (см. рис. 77) заметил ещё Галилео Галилей: в 1610 г. Он обнаружил по обе стороны диска непонятные придатки. Но только Христиан Гюйгенс в 1656 г. различил тонкое плоское кольцо, не соприкасающееся с планетой. С Земли в телескоп можно увидеть несколько колец, отделённых друг от друга тёмными промежутками.

На основе спектральных исследований в 1895 г. русский учёный А. А. Белопольский установил, что кольца не монолитные, а состоят из отдельных мелких тел. Снимки, полученные космическим аппаратом «Вояджер-2», показали, что систему колец образуют тысячи тонких колец. Каждое из них состоит из бесчисленного множества обломков льда размером от мельчайших

пылинок до нескольких метров. Толщина колец не превышает 2 км, а толщина отдельного кольца – не больше 30 м.



Рисунок 77

Плоскость колец расположена в плоскости экватора Сатурна, которая имеет наклон 27° к плоскости орбиты. При движении Сатурна по орбите кольца, сохраняя положение в пространстве, дважды за одно обращение планеты вокруг Солнца оказываются повернутыми к Земле своим ребром. А так как толщина их мала, то в небольшие телескопы они в это время не видны. Диаметр по наружному краю кольца составляет 272 тыс. км, а по внутреннему – 144 тыс. км. Суммарная масса колец составляет около 3×10^{-8} массы Сатурна. Напряжённость магнитного поля Сатурна близка к земной.

Уран

Уран – третья по величине планета-гигант. Планета очень красивого зеленовато-голубоватого цвета (см. рис. 78). Причина этого кроется в составе атмосферы планеты и её температуре. При температуре -217°C в верхних слоях водородно-гелиевой атмосферы Урана образовалась метановая дымка. Метан хорошо поглощает красные лучи и отражает голубые и зелёные. Поэтому планета и приобрела красивый бирюзовый цвет. В атмосфере Урана не наблюдается никаких заметных возмущений.

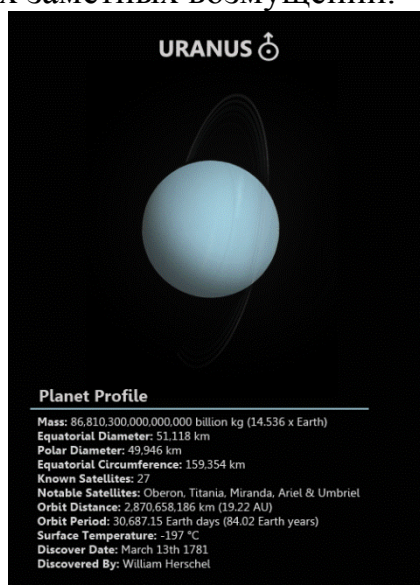


Рисунок 78

В 1977 г. были открыты кольца Урана (см. рис. 79). Снимки, сделанные «Вояджером-2» в 1986 г., подтвердили их существование.

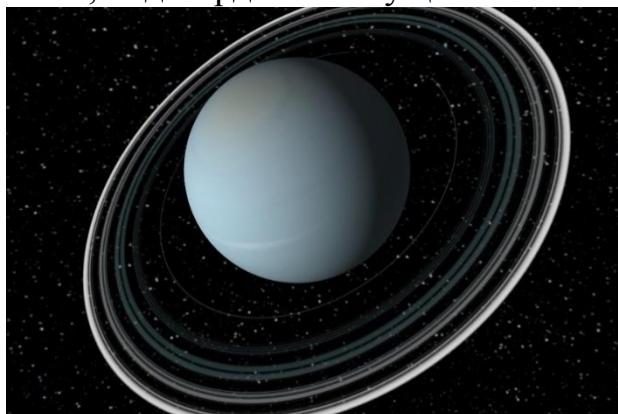


Рисунок 79

Уран окружён одиннадцатью узкими кольцами, располагающимися в плоскости экватора на расстоянии от 42 до 51,4 тыс. км (или 1,65–2,02 радиуса) от центра планеты.

Типичная ширина колец от 1 до 8 км, только у самого большого она меняется от 22 до 93 км. Толщина колец не превышает 1 км. Кольца Урана состоят из мелкой пыли и небольших твёрдых тёмных частиц.

Магнитное поле Урана имеет одну интересную особенность. Ось вращения планеты почти лежит в плоскости орбиты, и линии магнитного поля скручены вращением Урана в длинный штопор позади планеты (см. рис. 80).

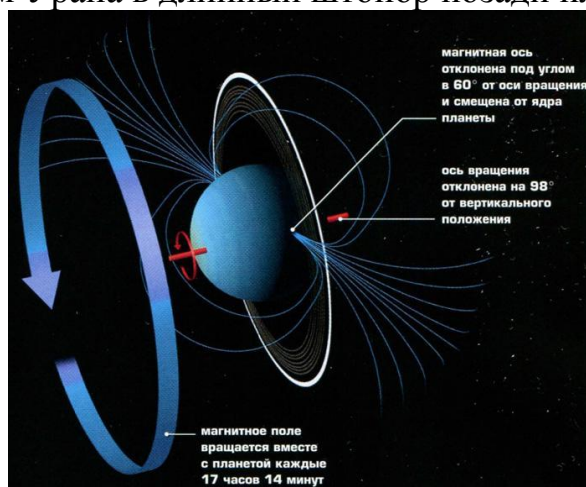


Рисунок 80

Напряжённость магнитного поля приблизительно равна земной.

Нептун

Нептун – самый маленький гигант (см. рис. 81). Находится почти на краю Солнечной системы и получает очень мало солнечной энергии. Но, несмотря на это, планета очень активна. На фотографиях Нептуна хорошо видны облака, появляющиеся и исчезающие в атмосфере планеты.

Примечательной деталью Нептуна является и Большое Тёмное Пятно (см. рис. 82), схожее по структуре с Большим Красным Пятном Юпитера.

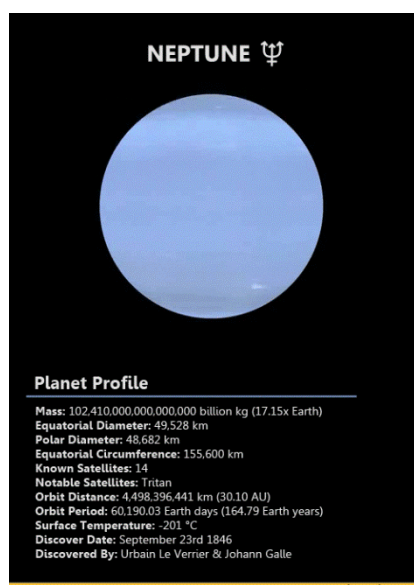


Рисунок 81

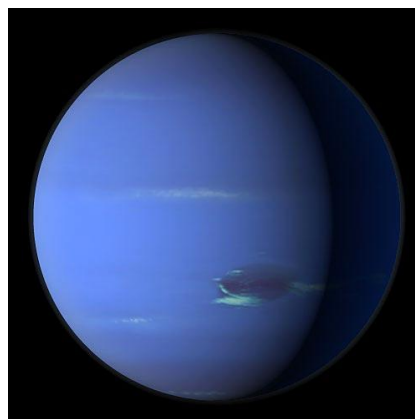


Рисунок 82

Скорость ветра в атмосфере Нептуна достигает рекордного значения – 600 м/с.

Предположение о существовании колец у Нептуна было выдвинуто в 1984 г. на основе наблюдений по покрытию звёзд планетой. Четыре кольца видны на снимках, полученных космическим кораблём «Вояджер-2» в 1989 г (одно из колец очень слабое) (см. рис. 83).

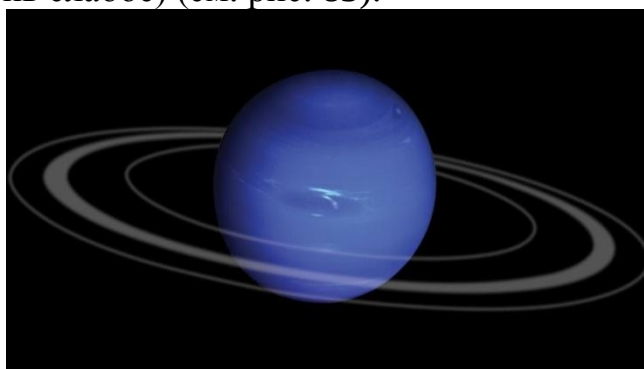


Рисунок 83

Располагаются кольца на расстоянии от 1,7 до 2,5 радиуса планеты. Ширина колец – 1700, 150, 5000 и 50 км соответственно. Они состоят из мелких силикатных пылинок, отражающих 6 % солнечного света. Напряжённость магнитного поля у Нептуна в 3 раза меньше, чем у Земли.

Спутники планет-гигантов

В Солнечной системе на начало 2014 г. известно 173 естественных спутника планет и практически все они являются спутниками планет-гигантов. Шесть спутников планет-гигантов – Ио, Европа, Ганимед и Каллисто (спутники Юпитера), Титан (спутник Сатурна) и Тритон (спутник Нептуна), имеют диаметр больше 2500 км, а Ганимед и Титан даже превосходят по размеру Меркурий (см. рис. 84).

Небольшие спутники размером в десятки километров представляют собой каменные или ледяные тела неправильной формы. Их поверхности усея-

ны кратерами и покрыты мелкой пылью. Средние спутники (в несколько сотен километров) в основном шарообразные и имеют малую плотность. По внешнему виду их поверхность напоминает лунную.



Рисунок 84

Отличаются разнообразием 6 крупнейших спутников. По своему строению они больше похожи на планеты земной группы. Крупнейшие спутники Юпитера: Ио (см. рис. 85), Европа, Ганимед (см. рис.) и Каллисто были открыты ещё в 1610 г. Галилеем. Однако основные сведения о природе крупных спутников планет-гигантов получены в результате исследований с помощью космических аппаратов.

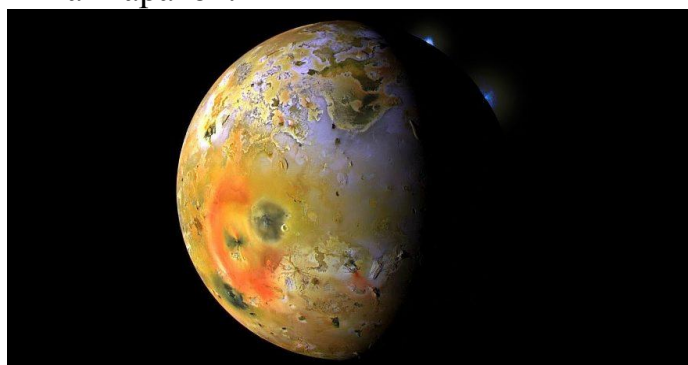


Рисунок 85

Модель внутреннего строения крупных спутников предусматривает наличие у них трёх оболочек: коры, мантии и ядра. Ядром, содержащим соединения железа и занимающим от 0,3 до 0,6 радиуса спутника, обладают Ио, Европа и Ганимед. У Тритона и Каллисто каменные ядра такого же или даже большего размеров.

Силикатная (каменистая) кора Ио имеет толщину 30 км. Под ней на глубине 100 км находится жидкая магма, температура которой достигает 2000 К. Магма питает многочисленные вулканы Ио.

Остальные спутники покрыты ледяной оболочкой разной толщины, под которой расположена каменная мантия.

На поверхности Тритона и Ганимеда видны следы тектонической деятельности: разломы, сжатия, трещины, мелкие хребты. Каллисто отличается от них наличием многочисленных кратеров ударного происхождения (см. рис.86).



Рисунок 86

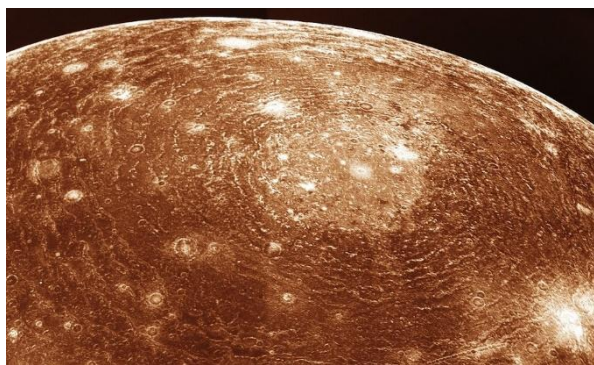


Рисунок 87

Ледяную оболочку Европы (см. рис.87) пересекает сеть светлых и тёмных узких полос. Это трещины в толстой ледяной коре, вызываемые приливными воздействиями Юпитера. Многолетние наблюдения за рисунком, который образуют трещины, показали, что ледяные массы немного смещаются относительно друг друга. Это значит, что под льдом находится вода.

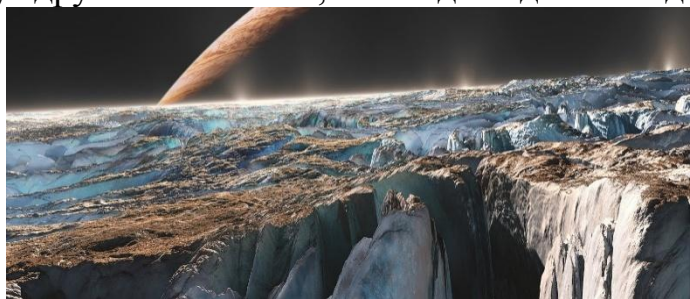


Рисунок 88

В некоторых местах ледяного панциря Европы космический аппарат «Галилео» сфотографировал странные хаотические нагромождения старых льдин, вмороженных в свежий лёд. Эти структуры называются «хаосами» (см. рис. 88). Они свидетельствуют о том, что время от времени лёд подтаивает, но потом снова застывает. Не успевшие растаять льдины оказываются вмороженными в новый лёд. О том, что ледяная поверхность Европы молода, свидетельствует и почти полное отсутствие на ней ударных кратеров.

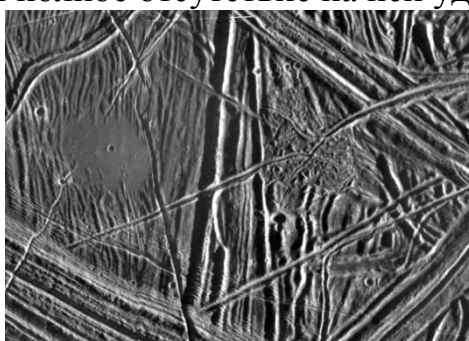


Рисунок 89

На Ио нет признаков существования значительного количества воды ни внутри спутника, ни тем более на его поверхности. Зато там открыты многочисленные вулканические извержения. Выброшенные вуканами и оседающие на поверхности соединения серы придают спутнику окраску от белой до ярко-красной и чёрной (см. рис. 89).



Рисунок 90

При этом цвет зависит от температуры вещества. Из жерла вулканов газы выбрасываются на высоту около 200 км со скоростью примерно 1 км/с. Газовые гейзеры замечены над полярной шапкой Тритона (см. рис. 90). Струи тёмного вещества вырываются вверх с его поверхности и достигают высоты 8 км.



Рисунок 91

Наиболее мощную атмосферу имеет Титан (см. рис. 91).



Рисунок 92

Она на 60 % более плотная, чем на Земле, и примерно на 85 % состоит из азота. Давление у поверхности в 1,5 раза превышает земное. Космический аппарат «Гюйгенс» в 2005 г. обнаружил горные хребты, русла рек, озёра жидкого метана и этана.

Разреженную атмосферу из азота и метана имеет Тритон (10^{-5} земной).

Слабая атмосфера из молекулярного кислорода окутывает Ганимед и Европу (10^{-9} и 10^{-11} земной). Образуется она так: солнечный свет, космические лучи и микрометеориты выбивают с ледяной поверхности молекулы воды, которые под действием ультрафиолетового излучения распадаются на атомы водорода и кислорода. Атомы водорода сразу же покидают атмосферу, а атомы кислорода объединяются в молекулы. Разреженная атмосфера из углекислого газа есть у Каллисто, такой же разреженной атмосферой из оксидов серы и вулканических газов обладает Ио (10^{-9} земной). У нескольких крупных спутников обнаружены собственные магнитные поля.

Тема 5 Методы астрономических исследований

5.1 Электромагнитное излучение, космические лучи и гравитационные волны как источник информации о природе и свойствах небесных тел

1. Обсерватории

Астрономические исследования проводятся в научных институтах, университетах и обсерваториях. Пулковская обсерватория под Санкт-Петербургом существует с 1839 г. и знаменита составлением точнейших звездных каталогов. Ее в прошлом веке называли астрономической столицей мира. В ходе развития науки в нашей стране было построено много других обсерваторий, в том числе в союзных республиках. К крупнейшим следует отнести Специальную астрофизическую обсерваторию на Северном Кавказе, обсерватории Крымскую (вблизи Симферополя), Бюраканскую (вблизи Еревана), Абастуманскую (вблизи Боржоми), Голосеевскую (в Киеве), Шемахинскую (вблизи Баку). Из институтов крупнейшие - Астрономический институт имени П. К. Штернберга при МГУ и Астрономический научно-исследовательский институт в Санкт-Петербурге.

Обсерватории обычно специализируются на проведении определенных видов астрономических исследований. В связи с этим они оснащены различными типами телескопов и других приборов, которые предназначены, например, для определения точного положения звезд на небе, для изучения Солнца или решения других научных задач.

Часто для изучения небесных объектов их фотографируют при помощи телескопов, предназначенных специально для этих целей. Положения звезд на полученных негативах измеряют при помощи соответствующих приборов в лаборатории. Хранящиеся на обсерватории негативы образуют "стеклянную фототеку". Исследуя астрономические фотографии, можно измерить медленные перемещения сравнительно близких звезд на фоне более далеких, увидеть на негативе изображения очень слабых объектов, измерить величину потоков излучения от звезд, планет и других космических объектов. Для высокоточных измерений энергии световых потоков используют фотоэлектрические фотометры. В них свет от звезды, собираемый объективом телескопа, направляется на светочувствительный слой электронного вакуумного прибора – фотоумножителя, в котором возникает слабый ток, усиливаемый и регистрируемый специальными электронными приборами. Пропуская свет через

специально подобранные различные светофильтры, астрономы количественно и с большой точностью оценивают цвет объекта.

2. Радиотелескопы

После того как было обнаружено космическое радиоизлучение, для его приема были созданы радиотелескопы различных систем. Антенны некоторых радиотелескопов похожи на обычные рефлекторы. Они собирают радиоволны в фокусе металлического вогнутого зеркала. Это зеркало можно сделать решетчатым и громадных размеров – диаметром в десятки метров.

Другие радиотелескопы представляют собой огромные подвижные рамы, на которых параллельно друг другу укреплены металлические стержни или зеркалом, спирали. Приходящие радиоволны возбуждают в них электромагнитные колебания, которые после усиления поступают в очень чувствительную приемную радиоаппаратуру для регистрации радиоизлучения объекта.

Есть радиотелескопы, состоящие из системы отдельных антенн, удаленных друг от друга (иногда на многие сотни километров), при помощи которых производятся одновременные наблюдения космического радиоисточника. Такой способ позволяет узнать структуру исследуемого радиоисточника и измерить его угловой размер, даже если он во много раз меньше одной угловой секунды.

Наши представления о небесных телах и их системах чрезвычайно обогатились после того, как начали изучать их радиоизлучение.

3. Применение спектрального анализа



Рисунок 93

Важнейшим источником информации о большинстве небесных объектов является их излучение. Наиболее ценные и разнообразные сведения о телах позволяет получить спектральный анализ их излучения. Этим методом можно установить качественный и количественный химический состав светила, его температуру, наличие магнитного поля, скорость движения по лучу зрения и многое другое.

Спектральный анализ, как вы знаете, основан на явлении дисперсии света. Если узкий пучок белого света пустить на боковую грань трехгранной призмы, то, преломляясь в стекле по-разному, составляющие его лучи дадут на экране радужную полоску, называемую спектром. В спектре все цвета расположены всегда в определенном порядке.

Как известно, свет распространяется в виде электромагнитных волн. Каждому цвету соответствует определенная длина электромагнитной волны. Длина волны света уменьшается от красных лучей к фиолетовым примерно от 0,7 до 0,4 мкм. За фиолетовыми лучами в спектре лежат ультрафиолетовые лучи, не видимые глазом, но действующие на фотопластинку. Еще меньшую длину волны имеют рентгеновские лучи. За красными лучами находится область инфракрасных лучей. Они невидимы, но воспринимаются приемниками инфракрасного излучения, например, специальными фотопластинками.

Для получения спектров применяют приборы, называемые спектроскопом и спектрографом. В спектроскоп спектр рассматривают, а спектрографом его фотографируют. Фотография спектра называется спектрограммой.

В настоящее время в астрофизике используются и более сложные приборы для спектрального анализа различных видов излучения.

Существуют следующие виды спектров земных источников и небесных тел.

Сплошной, или непрерывный, спектр в виде радужной полоски дают непрозрачные раскаленные тела (уголь, нить электролампы) и достаточно протяженные плотные массы газа.

Линейчатый спектр излучения дают разреженные газы и пары при сильном нагревании. Каждый газ излучает свет строго определенных длин волн и дает характерный для данного химического элемента линейчатый спектр. Сильные изменения состояния газа или условий его свечения, например, нагревание или ионизация, вызывают определенные изменения в спектре данного газа.

Составлены таблицы с перечнем линий каждого газа и с указанием яркости каждой линии. Например, в спектре паров натрия особенно ярки две желтые линии.

Линейчатый спектр поглощения дают газы и пары, когда за ними находится яркий источник, дающий непрерывный спектр. Спектр поглощения представляет собой непрерывный спектр, перерезанный темными линиями, которые находятся в тех самых местах, где должны быть расположены яркие линии, присущие данному газу. Например, две темные линии поглощения паров натрия расположены в желтой части спектра.

Изучение спектров позволяет производить анализ химического состава газов, излучающих или поглощающих свет. Количество атомов или молекул, излучающих или поглощающих энергию, определяется по интенсивности линий. Чем заметнее линия данного элемента в спектре излучения или поглощения, тем больше таких атомов (молекул) на пути луча света.

Солнце и звезды окружены газовыми атмосферами. Непрерывный спектр их видимой поверхности перерезан темными линиями поглощения, возникающими при прохождении излучения через атмосферу звезд. Поэтому спектры Солнца и звезд - это спектры поглощения.

Скорости движения небесных светил относительно Земли по лучу зрения (лучевые скорости) определяются при помощи спектрального анализа на основании эффекта Доплера: если источник света и наблюдатель сближаются, то длины волн, определяющие положения спектральных линий, укорачиваются, а при их взаимном удалении длины волн увеличиваются. Эта зависимость выражается формулой

$$\lambda = \lambda_0 \left(1 + \frac{v}{c}\right)$$

где v – лучевая скорость относительного движения с учетом ее знака (минус при сближении), λ_0 – длина волны при неподвижном источнике, λ – длина волны при движении источника и c – скорость света. Иначе говоря, при сближении наблюдателя и источника света линии спектра смещаются к его фиолетовому, а при удалении – к красному концу.

Получив спектрограмму светила, над ней и под ней впечатывают спектры сравнения от земного источника излучения. Спектр сравнения для нас неподвижен, и относительно него можно определять смещение линий спектра звезды на спектрограмме. Даже скорости небесных тел (обычно десятки и сотни километров в секунду) вызывают столь малые смещения (сотые или десятые доли миллиметра), что их можно измерить на спектрограмме только под микроскопом. Чтобы выяснить, какому изменению длины волны это соответствует, надо знать масштаб спектра – на сколько меняется длина волны, если мы продвигаемся вдоль спектра на 1 мм. Подставляя в формулу значения величин λ , λ_0 и $c = 300\,000$ км/с, определяют лучевую скорость движения светила v .

По спектру можно определить и температуру светящегося объекта. Когда тело раскалено докрасна, в его сплошном спектре ярче всего красная часть. При дальнейшем нагревании область наибольшей яркости в спектре смещается в желтую, потом в зеленую часть и т. д. Это явление описывается законом смещения Вина, который показывает зависимость положения максимума в спектре излучения от температуры тела. Зная эту зависимость, можно установить температуру Солнца и звезд. Температуру планет и температуру звезд определяют также при помощи специально созданных приемников инфракрасного излучения.

4. Внеатмосферная астрономия

Исследования с помощью космической техники занимают особое место в методах изучения небесных тел и космической среды. Начало этому было положено запуском в СССР в 1957 г. первого в мире искусственного спутника Земли. Быстро развиваясь, космонавтика сделала возможным: 1) создание внеатмосферных искусственных спутников Земли; 2) создание искусственных спутников Луны и планет; 3) перелет и спуск приборов, управляемых с

Земли, на Луну и планеты; 4) создание управляемых с Земли автоматов, перемещающихся по Луне и доставляющих с Луны пробы грунта и записи разных измерений; 5) полеты в космос лабораторий с людьми и высадку их на Луну. Космические аппараты позволили проводить исследования во всех диапазонах длин волн электромагнитного излучения. Поэтому современную астрономию часто называют всеволновой. Внеатмосферные наблюдения дают возможность принимать в космосе излучения, поглощаемые или сильно изменяемые земной атмосферой: далекие ультрафиолетовые, рентгеновские и инфракрасные лучи, радиоизлучения некоторых длин волн, не доходящих до Земли, а также корпускулярные излучения Солнца и других тел. Исследования этих, ранее недоступных видов излучения звезд и туманностей, межпланетной и межзвездной среды очень обогатили наши знания о физических процессах, происходящих во Вселенной. В частности, были открыты неизвестные прежде источники рентгеновского излучения.

Много информации о природе наиболее далеких от нас тел и их систем также получено благодаря исследованиям, выполненным при помощи приборов, установленных на различных космических аппаратах.

Результаты астрофизических исследований за последние десятилетия показывают, что в окружающем нас мире происходят значительные изменения, которые затрагивают не только отдельные объекты, но и всю Вселенную в целом.

Тема 6 Звезды

Мы изучим строение внутренних и внешних слоев Солнца, узнаем, как внутри Солнца выделяется и передается энергия, и обсудим вопрос его происхождения и перспектив. Солнце – это одна из множества звезд во Вселенной. Мы изучим, какие бывают звезды, чем они отличаются между собой, как они образуются и преобразуются со временем.

6.1 Внутреннее строение Солнца

Что мы увидим на небе, в большей степени зависит от Солнца – для Земли это основной источник освещения. Ночью, когда Солнца не видно, становятся видны другие источники света – звезды (поэтому иногда метафорически говорят: «Из-за Солнца не видно звезд»). Речь идет именно об источниках в том смысле, что они излучают, а не отражают свет, поэтому Луна и планеты не в счет.

Естественно, мы разделяем Солнце и звезды. Но оказывается, они имеют похожую природу. Солнце – это такая же звезда, как остальные, только для нас она выделяется тем, что находится ближе других звезд. Так что объединяющее выражение «Солнце и *другие* звезды» тоже будет правильным. И это замечательно, что у нас сравнительно близко есть «образец», на примере которого мы можем разобраться со свойствами звезд, которые от нас очень далеко.

Среди видимых звезд Солнце не обладает уникальными характеристиками. По размеру, расстоянию от центра галактики, по массе, составу, возрасту и т. п. это скорее средняя звезда.

Если вам понадобится какая-то из основных характеристик Солнца, вы всегда можете найти ее в справочниках. Некоторые характеристики вы видите в таблице 1. Размеры и масса для наглядности приведены в сравнении с Землей, с остальными числами можно разобраться, и мы о них будем говорить дальше. Обратите внимание: период обращения указан с пометкой «на экваторе». Солнце – газовый шар, и в этом случае на экваторе и ближе к полюсам возможна разница в скоростях вращения.

Таблица 1 – Основные характеристики Солнца

Радиус	$7 \cdot 10^8$ м = $7 \cdot 10^5$ км, около 109 R _{Земли}
Масса	$2 \cdot 10^{30}$ кг, около 333000 M _{Земли}
Расстояние от Земли	$1,5 \cdot 10^8$ км или 1 а.е.
Температура поверхности	5 780 К, около 6000 °С
Температура ядра	15 миллионов К
Состав	Водород – 71%, гелий – 27%, более тяжелые элементы – 2%
Мощность излучения	$4 \cdot 10^{26}$ Вт
Солнечная константа	1370 Вт/м ² (мощность солнечного излучения на орбите Земли)
Период обращения	24 дня и 16 часов (на экваторе)
Наклон оси вращения	$7^\circ 10'$

Каково внутреннее строение Солнца?

Есть слой толщиной 200–300 км, который мы можем видеть. Видимую поверхность Солнца называли фотосферой (рис. 94). Ниже плотность газа настолько велика, что он непрозрачен. Свойства солнечной атмосферы выше фотосферы можно изучать различными методами, но о том, что происходит ниже, ученые узнают только по результатам математического моделирования.



Рисунок 94 – Строение Солнца

В фотосфере Солнца плотность приблизительно такая, как в атмосфере Земли (рис. 95). Глубже давление, плотность и температура вещества возрастают, и в центре Солнца плотность в 160 раз больше плотности воды (а ведь

там в основном водород и гелий!). На рис. 95 вы видите, как изменяется плотность и температура с глубиной.

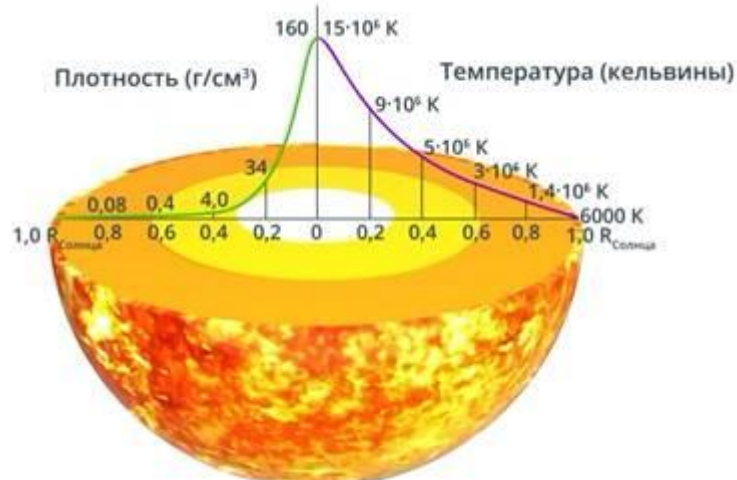


Рисунок 95 – Плотность и температура во внутренних слоях Солнца

В отличие от газовых гигантов Солнечной системы, Юпитера и Сатурна, которые внутри жидкие, Солнце всюду можно описать моделью газа, т. к. при температурах в миллионы кельвинов разрушаются любые молекулярные связи и все атомы свободно движутся. Газ на Солнце ионизирован, т. е. является плазмой.

Солнце является стабильной звездой, оно не сжимается и не расширяется. Это означает, что гравитационные силы, стремящиеся сжать эту звезду, уравновешиваются давлением внутри нее.

Если бы температура внутри Солнца была меньше 15 миллионов К, давление внутри него не смогло бы предотвратить гравитационный коллапс.

Кроме того, изучая физическую историю Земли, ученые видят, что мощность излучения Солнца практически не менялась в течение миллиардов лет. Из этого следует, что внутри Солнца имеется источник энергии. Обеспечить мощность солнечного излучения ($4 \cdot 10^{26}$ Вт) в течение миллиардов лет может только термоядерный синтез, который, как и у других звезд, происходит в ядре (центральной области) светила (рис. 3). Тепло (то есть энергия), как мы знаем из термодинамики, передается от горячего центра к менее нагретой поверхности (фотосфере).

Вблизи ядра передача энергии происходит фотонами через зону лучистого переноса. Далее к поверхности энергия передается конвекцией, огромные (в сотни километров) «пузыри» горячего газа поднимаются к поверхности, где охлаждаются и вновь погружаются вниз.

Почему есть разные зоны с разными механизмами переноса – об этом подробнее в ответвлении.

6.2 Перенос энергии к поверхности Солнца

Зону, где происходят ядерные реакции, выделили как ядро, и выше его границы начинается зона лучистого переноса. Почему здесь преобладает этот механизм передачи энергии?

Распространение излучения, которое происходит в прозрачных средах, здесь невозможно, потому что при такой плотности и при таком сжатии газа он не пропускает свет. Конвекция в этой зоне тоже невозможна, так как водород здесь сжат настолько плотно, что атомы не могут меняться местами, вещество не может перемешиваться (а это необходимое условие для конвекции). К тому же для конвекции нужна разность температур, которая в зоне лучистого переноса недостаточна: сжатый ионизированный водород обладает высокой теплопроводностью. Поэтому испускаемым квантам энергии некуда больше деться, кроме как поглотиться соседними атомами. Возбужденное состояние атома нестабильно, поэтому он переизлучает энергию – так она распространяется. Медленно, но более быстрые механизмы здесь невозможны.

Что же меняется ближе к поверхности Солнца? На некоторой глубине давление и плотность вещества становятся достаточными, чтобы вещество могло смешиваться, атомы уже не так сильно прижаты друг к другу. Это и считается границей зоны лучистого переноса. Хотя переизлучение энергии от атома к атому никуда не исчезает, энергия намного быстрее передается посредством конвекции, здесь она становится основным механизмом, поэтому эту зону и называли зоной конвекции. Для прямого излучения вещество по-прежнему непрозрачно.

Ту область, еще ближе к поверхности, где становится возможно распространение излучения, где фотоны как бы «вырываются на свободу» из непрозрачного вещества, называли фотосферой.

Казалось бы, в зоне лучистого переноса энергия движется быстрее (со скоростью света), чем в конвективной зоне. Но это не так, в зоне лучистого переноса, где очень велика плотность, в частности оптическая, фотон может пройти лишь расстояние порядка сантиметра, он затем поглощается атомом и излучается, возможно, в другом направлении и с другой частотой. И опять, пройдя сантиметр, поглощается и излучается и так далее, т. е. фотон движется как человек в толпе. Фотоны мы привыкли ассоциировать с видимым излучением, поэтому правильнее говорить, что движется квант энергии: в ядре образуются высокоэнергичные γ -кванты, а фотосферы достигают фотоны, с меньшей энергией. Путь от ядра до фотосферы энергия проходит, по разным оценкам, от сотен тысяч до десятков миллионов лет! Свет, который поступает к нам сейчас, мог зародиться в центре Солнца до возникновения человека как вида.

Конвективная зона толщиной около 200 000 км доступна для наблюдения со стороны фотосферы, мы видим поверхность непрозрачного вещества, вот как она выглядит в телескопе (рис. 96).

Фотосфера при большом увеличении выглядит гранулированной, на рис. 96 вы можете оценить размеры этих гранул.

Светлые гранулы – это и есть вершины восходящих потоков, горячие газовые «пузыри», поднимающиеся из глубины Солнца. Темные участки –

это «охладившийся» газ, погружающийся внутрь. Процесс появления и исчезновения гранулы длится 5–10 минут.

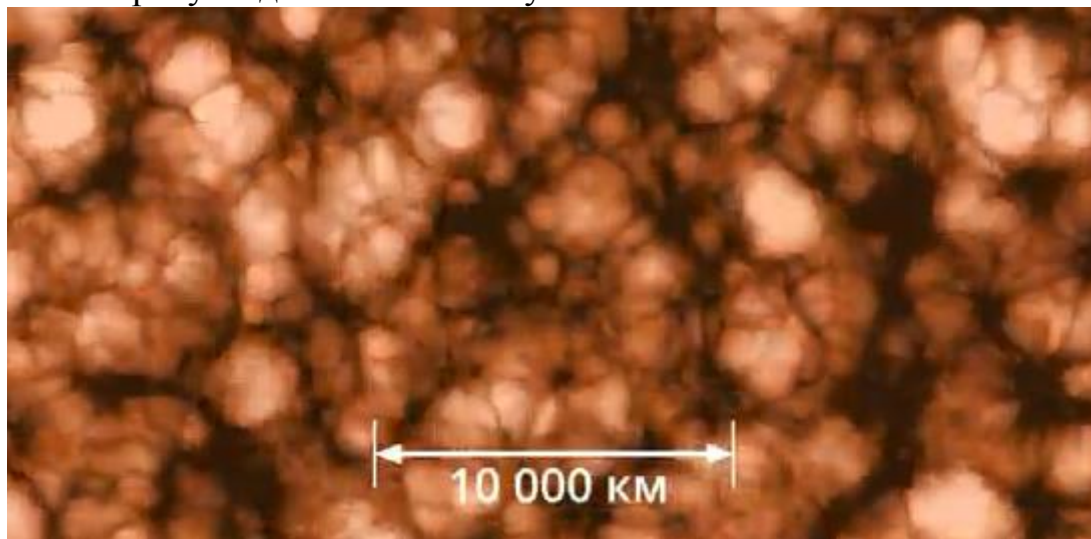


Рисунок 96 – Видимая поверхность Солнца

С тем, как энергия распространяется, разобрались, но откуда она берется? Обсудим источник солнечной энергии.

Производство энергии на Солнце происходит за счет превращения водорода в гелий в процессе, который называется ядерным синтезом – слиянием двух или более ядер в одно более тяжелое ядро.

Чтобы два ядра водорода (два протона) могли слиться, они должны сблизиться на расстояния порядка их размера (10^{-15} м), но уже на расстоянии, в 10 раз большем (10^{-14} м), сила электростатического отталкивания протонов равна 2 Н – для протонов с их мизерной массой это огромная сила. Поэтому сблизиться настолько, чтобы попасть в область действия сильного взаимодействия (это оно удерживает протоны и нейтроны в ядрах), могут только протоны, имеющие огромную скорость. Это то условие, которое трудно обеспечить в промышленных масштабах, чтобы осуществить контролируруемую реакцию. В центре же большинства звезд температура 10–20 млн К, при такой температуре средняя скорость частиц составляет сотни километров в секунду и самые энергичные из них могут преодолеть электростатическое отталкивание.

Если масса полученного в реакции синтеза тяжелого ядра меньше суммы масс сливающихся ядер на величину Δm , то в результате реакции синтеза выделится энергия $E = \Delta m c^2$. Реакцию превращения водорода в гелий в общем виде можно записать так: $4\ ^1\text{H} \rightarrow\ ^4\text{He} + 4,3 \cdot 10^{-12}\ \text{Дж}$. С реакцией, описанной поэтапно, вы можете ознакомиться в ответвлении.

6.3 Этапы синтеза гелия

Из четырех ядер водорода (то есть протонов) образуется ядро гелия, которое состоит из двух протонов и двух нейтронов. То есть должны связаться четыре частицы, при этом два протона должны преобразоваться в нейтроны. Понятно, что, скорее всего, это должно происходить поэтапно.

Так и есть, на рис. 97 приведена схема, на которой эти этапы видны.

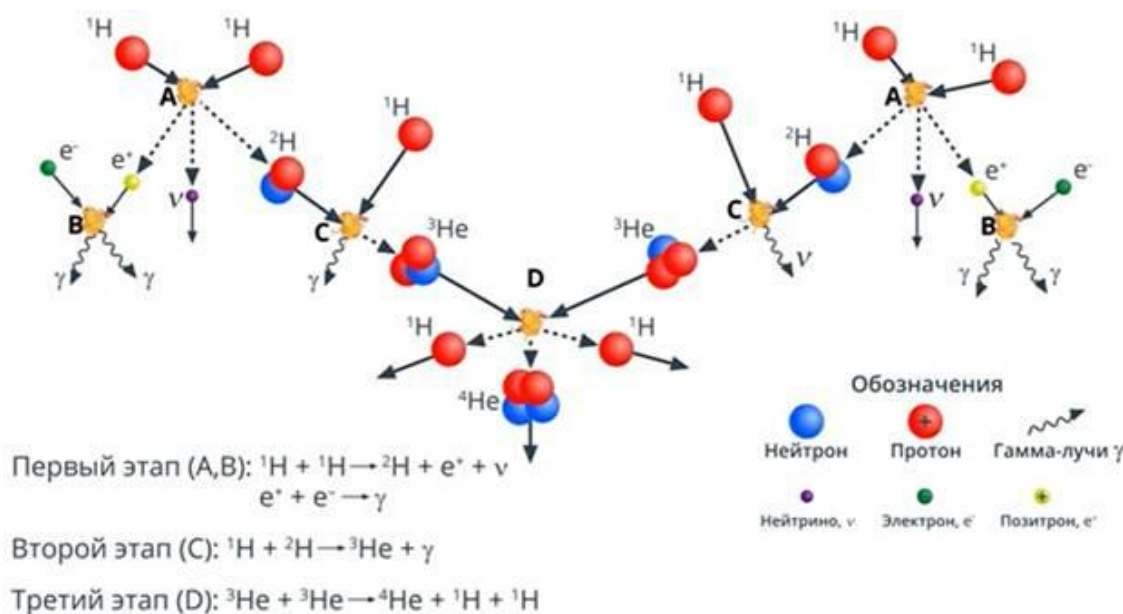


Рисунок 97 – Этапы синтеза гелия

Сначала происходит слияние двух протонов, которые образуют ядро дейтерия (изотопа водорода), этот процесс обозначен буквой А на рис. 97. При этом испускается позитрон, который быстро аннигилирует с электроном с выделением энергии (рис. 97, В). На следующем этапе (рис. 97, С) образовавшееся ядро поглощает еще один протон, образуя ядро гелия-3. А при столкновении двух таких ядер (рис. 97, D) образуется стабильное ядро гелия-4 с выделением двух протонов, готовых участвовать в следующих реакциях:

Звезды типа Солнца каждую секунду теряют миллионы тонн своей массы. Энергия, соответствующая этой массе, уносится квантами излучения и нейтрино. При этом сотни миллионов тонн водорода ежесекундно превращаются в гелий. Солнце каждую секунду теряет 4 млн. тонн своей массы, что эквивалентно взрыву миллиарда 100-мегатонных водородных бомб в секунду!

Скорость превращения водорода в гелий определяют по количеству испускаемых Солнцем нейтрино. Подсчет числа солнечных нейтрино очень труден, так как они не имеют заряда, их масса ничтожна (еще даже не измерена), а проникающая способность не имеет себе равных. Нейтрино проходят, почти не поглощаясь, 700 000 км внутри Солнца, насквозь всю Землю; не принося нам никакого вреда, круглые сутки пролетают сквозь наши тела (и ночью тоже, ведь Землей мы от них не «заслоняемся»). Аналогично они проходят через любые детекторы частиц. Только мизерная часть достигших Земли нейтрино фиксируется детекторами в специальных измерительных устройствах, которые размещают глубоко под водой или в глубоких шахтах. На такие большие глубины не могут проникать другие частицы, поэтому все, что там фиксируется, – это нейтрино.

В звездах, имеющих в центре более высокую температуру, чем Солнце, могут идти и другие реакции синтеза, например, слияние ядер гелия в ядра углерода. В самых горячих звездах может происходить даже синтез ядер же-

леза, а более тяжелые элементы образуются только при взрывах массивных звезд.

6.4 Внешние слои Солнца

Естественно, у газового шара не может быть строгой границы и четкой поверхности. Над фотосферой, которую мы уже обсудили, располагается область, которую называли внешней атмосферой (рис. 98) по аналогии с газовой оболочкой планет.

Газ над фотосферой прозрачен для света. В солнечной атмосфере выделяют два слоя: нижний, толщиной в несколько тысяч км, – хромосфера; верхний, простирающийся на десятки радиусов Солнца, – корона. Эти слои видны при полном солнечном затмении. Хромосфера (chromo – греч. «цвет») видна как кольцо красного цвета вокруг Солнца. Цвет в основном определяется яркой красной линией водорода (656 нм) в спектре излучения. По этому спектру было определено, что температура хромосферы меняется от 2500 К на уровне фотосферы до 50 000 К на высоте 2000 км.

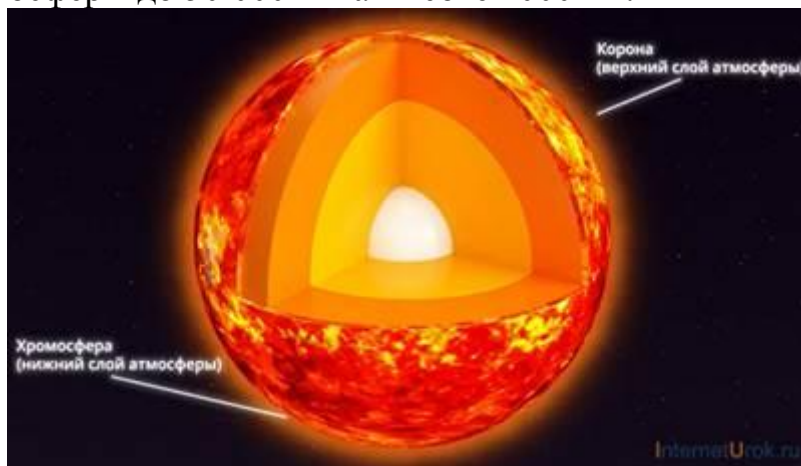


Рисунок 98 – Солнечная атмосфера

Выше 2000 км начинается корона. Спектр излучения короны отличается, в нем нет спектральных линий водорода и других элементов, встречающихся в спектрах фотосферы и хромосферы. Зато в спектре короны обнаружены линии лишенных многих электронов атомов железа, никеля и др. Чтобы так «раздеть» атомы от электронов, температура короны должна достигать 1–2 млн. К. Именно такая температура в солнечной короне. Причина резкого повышения температуры атмосферы, начиная с высоты 2000 км, точно не известна, но все предлагаемые гипотезы считают, что это определяется действием магнитного поля Солнца на ионизированный газ (плазму). Плотность газа в короне очень низка, и поэтому суммарная энергия содержащихся там атомов сравнительно невелика. В основании короны 1 см^3 содержит всего 10^9 атомов, сравните с 10^{16} атомов/ см^3 в фотосфере Солнца и с 10^{19} атомов/ см^3 в атмосфере Земли на уровне моря.

Как и на Земле, магнитное поле Солнца возникает за счет вращения электропроводящего материала во внутренней его части. С тем отличием, что в Земле это расплавленное железо, а в Солнце – ионизированный газ. В маг-

нитном поле заряженные частицы движутся по спирали вокруг силовых линий магнитной индукции. Почему заряженные частицы именно так движутся в магнитном поле? Ответить на этот вопрос вы сможете, вспомнив уроки физики, на которых мы изучали действие магнитного поля на движущиеся частицы с силой Лоренца.

Солнечная атмосфера производит поток заряженных частиц, в основном протонов (ядер водорода) и электронов, который называют солнечным ветром. Частицы движутся со скоростью порядка 400 км/с. Солнечный ветер возникает потому, что при высокой температуре в короне атомы газов движутся со скоростями, большими первой космической скорости для Солнца, т. е. гравитация не может их удержать. Солнечный ветер был открыт по его действию на хвосты комет. На предыдущих уроках мы рассматривали, что он отклоняет газовые кометные хвосты в направлении от Солнца. Газ солнечного ветра очень разрежен, но, поскольку поверхность Солнца огромна, солнечный ветер уносит 10 миллионов тонн вещества в год. Хотя, конечно, по сравнению с массой Солнца – это совсем немного.

На Земле солнечный ветер вызывает полярные сияния (рис. 99), заряженные частицы космического излучения направляются магнитным полем в области магнитных полюсов.

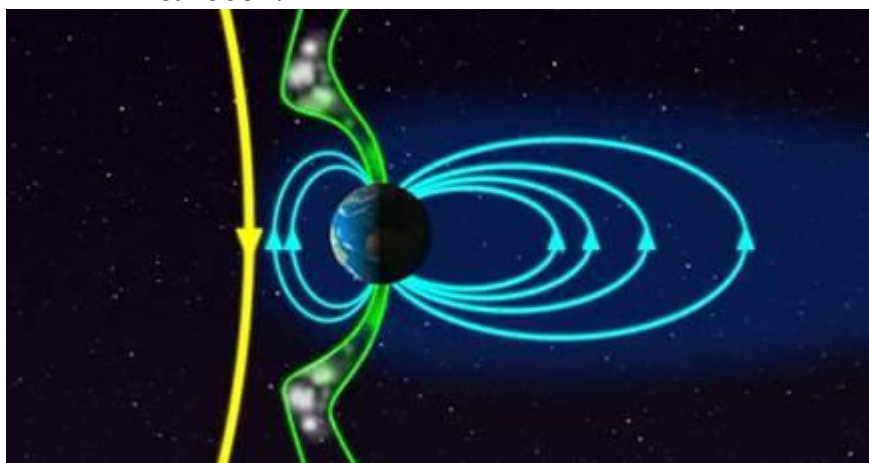


Рисунок 99 – Образование полярных сияний

Разные слои Солнца, в частности внешние, постоянно пребывают в динамике: там распространяется энергия, происходит смешивание вещества, протекают потоки. Естественно, могут возникать неоднородности и нарушения динамического равновесия. Мы их видим, как солнечные пятна, протуберанцы и вспышки.

Солнечное пятно (рис. 100) – это большая темная область фотосферы, которая сохраняется в течение нескольких дней. Наблюдения движения темных пятен доказали вращение Солнца вокруг собственной оси и различие периодов вращения на экваторе и вблизи полюсов Солнца. Температура солнечного пятна порядка 4500 К, и оно кажется темным только в сравнении с обычными участками фотосферы, где температура 6000 К. Считается, что снижение температуры в темном пятне вызывается резкой флуктуацией магнитного поля (оно становится в тысячи раз мощнее), которая локально пре-

пятствует нормальной конвекции – поднятию раскаленного газа к поверхности.

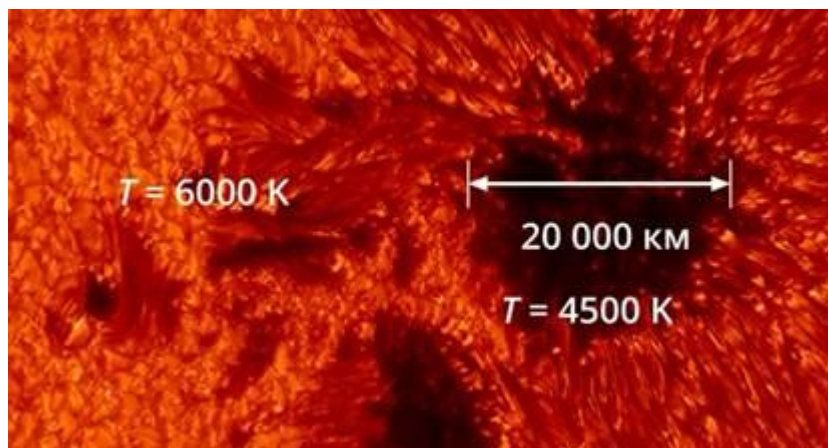


Рисунок 100 – Солнечное пятно

Резкое повышение напряженности магнитного поля (как в области солнечного пятна) может объясняться циклонами на Солнце (рис. 101), подобными циклонам в земной атмосфере. Солнечный циклон затягивает газ, а в него вморожено магнитное поле (что значит этот термин – подробнее в ответвлении). Таким образом, при затягивании газа в циклон в центре циклона магнитное поле увеличивается, что охлаждает газ и увеличивает силу циклона и т. д. по нарастающей.

Солнечные пятна часто возникают парами (рис. 101). В этом случае магнитные поля в них имеют разную полярность и магнитные силовые линии образуют арку: выходя из одного пятна, уходят вглубь Солнца в другом пятне.



Рисунок 101 – Магнитные петли в атмосфере Солнца

6.5 Вмороженность магнитного поля

При попадании движущейся частицы в магнитное поле частица начинает двигаться по винтовой траектории, как бы нанизанной на силовую линию магнитного поля (рис. 102).

Чем мощнее магнитное поле, тем теснее частица связывается с магнитной силовой линией и практически движется вдоль нее (так как большими силами создается большее центростремительное ускорение).



Рисунок 102 – Связь заряженных частиц и магнитного поля

Связь между заряженными частицами и полем может быть настолько сильной, что движение содержащего заряды газа как бы тянет за собой магнитное поле. Оно становится связанным с потоком ионизированного газа, как с намагниченным веществом. И наоборот, движение магнитного поля увлекает заряженные частицы. Это называли замороженным магнитным полем.

Протуберанцами (рис. 103) называли мощные факелы светящегося газа, выбрасываемые из нижних слоев хромосферы в корону. Они вызываются флуктуациями магнитного поля в прозрачном и менее плотном горячем газе над видимой поверхностью Солнца. Протуберанцы возникают в тех областях атмосферы, куда магнитное поле уменьшает приток тепла. Эти области становятся холоднее, и, следовательно, давление газа в них становится меньше, чем в окружении. Горячий газ как бы запечатывается в протуберанце более холодный газ. Протуберанец, захваченный в такую магнитную ловушку, может сохраняться несколько недель.



Рисунок 103 – Протуберанец

Если протуберанец вызван магнитным полем пары связанных солнечных пятен, то поток газа в протуберанце направлен по магнитной арке от одного пятна к другому.

Вспышки на Солнце (рис. 104) – это краткие (в минуты или часы) очень яркие выбросы горячего газа в хромосферу. Спектр излучения вспышки от радиоволн до ультрафиолета, а яркость в тысячу раз больше обычной. Про-

цесс возникновения вспышек на Солнце пока понятен не полностью, но считается, что и он зависит от флуктуаций магнитного поля.

Снимок на рис. 104 сделан космическим телескопом в ультрафиолетовом свете.



Рисунок 104 – Вспышки на Солнце. Фотография в ультрафиолетовом спектре

Иногда вспышки бывают настолько интенсивными, что раскаленные газы выбрасываются в корону и далее. Если поток газов направлен в сторону Земли, то через несколько дней он достигает ее и вызывает особенно яркие полярные сияния. Такие солнечные вспышки вызывают магнитные бури на Земле, деформируя ее магнитное поле (снова эффект вмороженности), создают радиопомехи, могут испортить электронные приборы.

Эти явления наблюдаются то чаще, то реже – в этом попытались уловить закономерность.

Наблюдения показали, что среднее количество солнечных пятен меняется год от года с периодом приблизительно 11 лет, этот процесс называется **солнечным циклом**. С тем же периодом меняется количество вспышек, протуберанцев на Солнце, интенсивность полярных сияний на Земле. Поэтому солнечный цикл логично называть также циклом солнечной активности.

Сложно сказать, почему период именно такой, но повлиять мы на это не можем. А вот солнечная активность оказывает влияние на климат и погоду на Земле. Это влияние не является определяющим, так как другие факторы (парниковый эффект, извержения вулканов, разрушение озонового слоя и т. п.) оказывают больший эффект на климат. Тем не менее солнечный ветер, интенсивность которого напрямую связана с солнечной активностью, меняет распределение температуры в верхних слоях атмосферы Земли. Это, в свою очередь, меняет атмосферную циркуляцию и, следовательно, время и место возникновения циклонов, выпадения осадков.

6.6 Физическая природа звезд

Большинство звезд очень похожи на Солнце, поэтому для них характерно многое из того, что мы говорили о нашем светиле. Например, они состоят в основном из водорода и гелия, имеют сравнимые массы. Но есть и сильно отличающиеся от Солнца звезды. Так, небольшая доля звезд имеет массы, в 30 и более раз превышающие массу Солнца, или, наоборот, массы менее 10 % солнечной. Более того, и при сравнимых с Солнцем массах некоторые звезды отличаются от него размерами и, следовательно, плотностью. Среди

них есть гиганты, радиус которых больше радиуса орбиты Земли, и карлики размером с Землю при массе, близкой к солнечной.

Рассмотрим, чем они похожи и чем друг от друга отличаются.

Чтобы сравнивать звезды, нам нужно их описывать с помощью физических величин. Некоторые мы перечислили: это массы, размеры, еще важны характеристики излучения. Важно также, на каком расстоянии от нас находится звезда.

К настоящему времени с достаточной точностью могут быть определены расстояния до миллиарда звезд. Это делается специальными спутниками, измеряющими параллаксы звезд. На уроке, посвященном небесной механике, мы говорили о звездном параллаксе.

Параллакс звезды (рис. 105) – это половина углового смещения звезды за полгода или угол, под которым со звезды можно было бы увидеть радиус орбиты Земли. В астрономии есть единица длины парсек – это расстояние, с которого радиус орбиты Земли виден под углом 1 угловая секунда, т. е. равен 1". 1 парсек = 3,26 светового года = $3,09 \cdot 10^{13}$ км. Ближайшая к Земле после Солнца звезда (Проксима Центавра) находится на расстоянии 1,3 парсека.

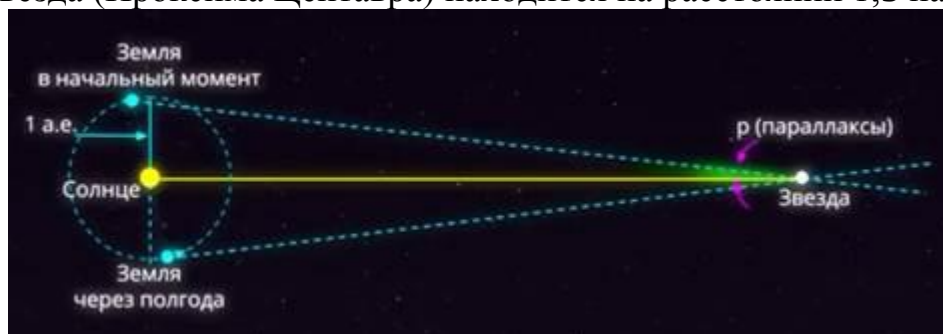


Рисунок 105 – Звездный параллакс

Вы уже знаете из предыдущих уроков, что такое звездные величины, светимости звезд, их спектральные классы. По спектру излучения звезды можно определить ее температуру. Как это сделать – подробнее в ответвлении.

6.7 Определение термодинамических параметров звезды по оптическим

Температуры звезд определяют по их цвету, используя закон Вина. Температура объекта, максимум излучения которого приходится на длину волны

$\lambda_{\max}$, равна $T = \frac{2,9 \times 10^6}{\lambda_{\max}}$. Коэффициент подобран так, что если $\lambda_{\max}$ выразить в нм, то температура будет в кельвинах.

Для примера рассмотрим две звезды созвездия Орион: Бетельгейзе (α Ориона) и Ригель (β Ориона). Эти звезды отличаются цветом: Бетельгейзе имеет красноватый цвет, а Ригель – голубоватый.

На рис. 106 вы видите графики относительной яркости поверхностей (фотосфер) этих звезд и видимый диапазон спектра излучения абсолютно черного тела при температурах, определенных по закону Вина.

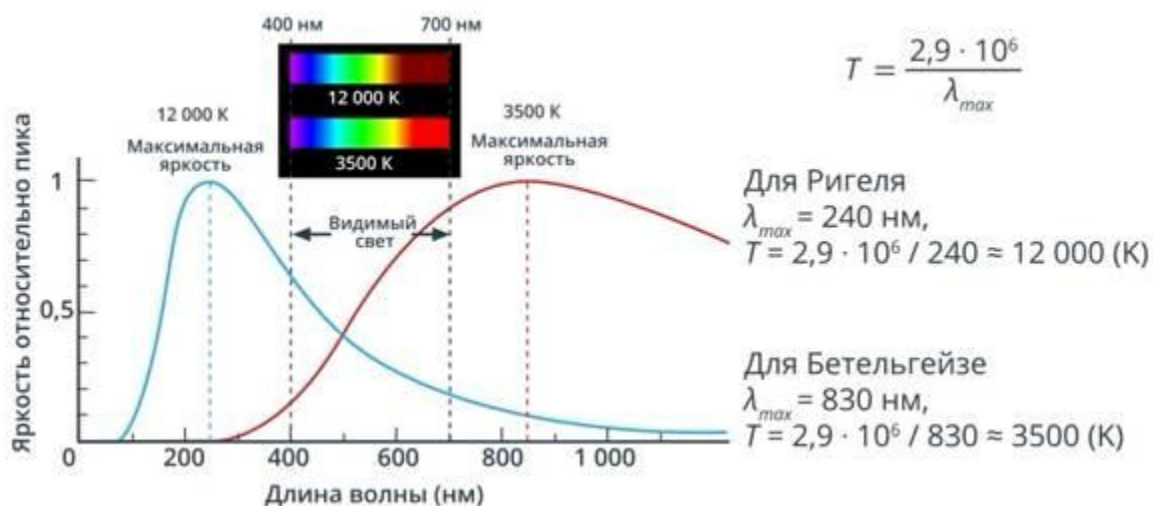


Рисунок 106 – Спектры светимости двух звезд (Ригеля и Бетельгейзе) и расчет их температур по закону Вина

Зная температуру (T) и светимость (L) звезды, можно оценить ее радиус, используя закон Стефана – Больцмана:

$$L = 4\pi R^2 \sigma T^4,$$

т. е. полная мощность излучения звезды L равна произведению мощности излучения с единицы площади σT^4 (где σ – постоянная Стефана – Больцмана) на площадь поверхности $4\pi R^2$.

С помощью телескопа с высокой разрешающей способностью размеры очень больших звезд можно определить непосредственно. Чтобы определить угловые размеры меньших звезд, используют пару телескопов, отстающих друг от друга на большое расстояние. Компьютерная обработка полученных одновременно с двух телескопов снимков позволяет реконструировать изображение звезды.

Все звезды разбили на спектральные классы O, B, A, F, G, K, M, различающиеся температурой и цветом, классификацию вы видите в табл. 2.

Таблица 2 – Спектральные классы звезд

Спектральный класс	Цвет	Температура, К	Типичные звёзды
O	Голубой	30 – 60 тыс.	Наос (α Кормы)
B	Бело-голубой	10 – 30 тыс.	Ригель (β Ориона)
A	Белый	7,5 – 10 тыс.	Сириус
F	Жёлто-белый	6 – 7,5 тыс.	Альтаир (α Орла)
G	Жёлтый	5 – 6 тыс.	Солнце
K	Жёлто-оранжевый	3,5 – 5 тыс.	Альдебаран (α Тельца)
M	Оранжево-красный	2 – 3,5 тыс.	Бетельгейзе (α Ориона)

Связь между светимостью и спектральным классом звезды отмечают на диаграмме Герцшпрунга – Рассела (или H-R), названной по именам астрономов, которые первые построили такие диаграммы (рис. 107).

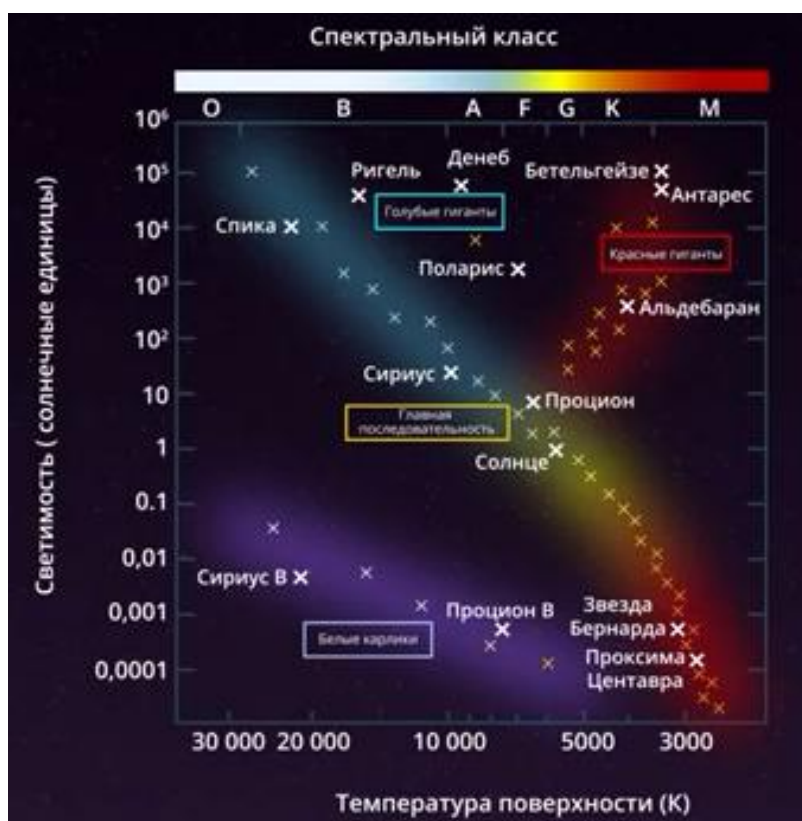


Рисунок 107 – Диаграмма Герцшпрунга – Рассела

Большая часть (90 %) звезд располагается на диаграмме в области главной последовательности (диагональная прямая), выше располагаются звезды с высокой светимостью – гиганты и сверхгиганты, а ниже звезды низкой светимости – карлики. На приведенной H-R диаграмме видно (рис. 107), что рассмотренные нами в ответвлении звезды созвездия Орион являются сверхгигантами: Бетельгейзе – красным сверхгигантом, а Ригель – голубым.

Рассмотрим, чем отличается внутреннее строение звезд разных групп в классификации.

6.8 Звезды главной последовательности

У всех звезд главной последовательности источником энергии являются термоядерные реакции синтеза гелия из водорода. Эффективность этих реакций зависит от температуры. При этом чем больше масса звезды, тем выше температура в ее ядре и тем выше темп выделения энергии. Поэтому главная последовательность является и последовательностью масс звезд, т. е. звезды с массой, большей массы Солнца, расположены в главной последовательности выше, а менее массивные звезды – ниже.

Строение звезд с массами, сравнимыми с массой Солнца, такое же, как у Солнца. У более массивных звезд скорость выделения энергии в термоядерных реакциях так велика, что лучистый перенос не успевает уносить энергию к поверхности и происходит конвективный перенос. У значительно меньших по массе звезд главной последовательности зоны конвективного переноса нет, а у гигантов, напротив, отсутствует зона лучистого переноса и конвективная зона начинается практически в центре звезды.

6.9 Красные гиганты и сверхгиганты

Красные гиганты – это звезды с радиусами, в десятки раз большими солнечного, и со светимостью, большей светимости Солнца в десятки и сотни раз. Они светят красным светом, т. е. обычно имеют температуру поверхности менее 5000 К. Светимость сверхгигантов в $10^4 - 10^5$ раз больше светимости Солнца, а размеры больше в сотни раз. Пример сверхгиганта – звезда Бетельгейзе. Масса этой звезды в 15 раз больше солнечной, а радиус превышает радиус Солнца в 1000 раз, поэтому средняя плотность Бетельгейзе всего $2 \cdot 10^{-11} \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, т. е. в миллион раз меньше плотности воздуха.

Особенностью этих огромных звезд (рис. 108) является слоистое устройство центральной ее части, где идут ядерные реакции. В самом центре, несмотря на высокую температуру, ядерные реакции не идут, они протекают в окружающих центральное ядро слоях.

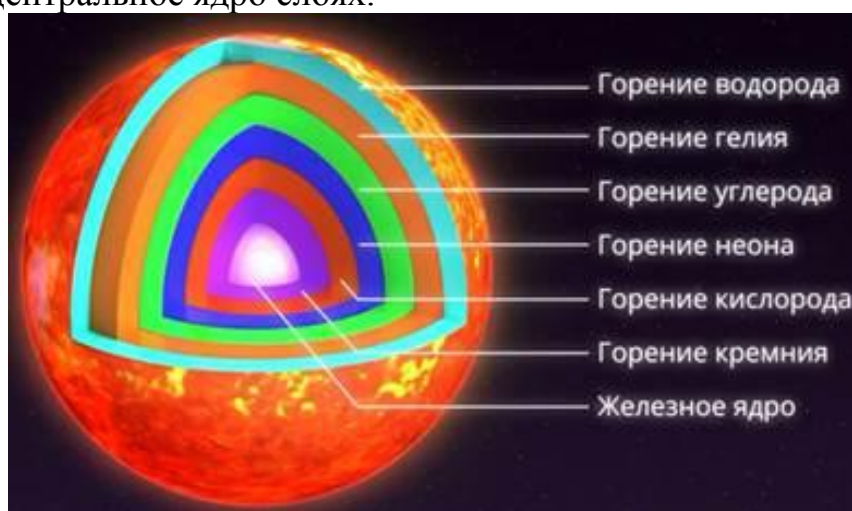


Рисунок 108 – Строение красного гиганта

В самых внешних слоях при температуре около 15 млн. К из водорода образуется гелий. Глубже, где температура выше, из гелия образуется углерод, далее из углерода – кремний. В самых глубоких слоях образуется железо. Таким образом, в центральной части красных гигантов и сверхгигантов наряду с производством энергии образуются химические элементы вплоть до железа. Элементы тяжелее железа образуются по-другому, их образование требует затрат энергии.

6.10 Белые карлики

По своим размерам (в тысячи и десятки тысяч км) белые карлики сравнимы с Землей, но их массы ближе к массе Солнца. Поэтому их средняя плотность – сотни $\frac{\text{кг}}{\text{см}^3}$. При такой плотности нарушена атомная структура вещества: электроны не связаны с ядрами.

Примером белого карлика является Сириус В (звезда, образующая двойную звезду с Сириусом). Температура поверхности Сириуса В – 25 000 К, диаметр немного больше земного, масса равна солнечной, а плотность больше 100 кг/см^3 . Попробуйте представить, сколько весит чайная ложка такого вещества.

В белых карликах термоядерные реакции не протекают, они светят за счет запасов тепловой энергии. Через миллиарды лет эти запасы иссякнут, белые карлики остынут и перестанут светиться.

6.11 Двойные звезды, нейтронные звезды, черные дыры.

Новые и сверхновые звезды

Рассмотрим еще некоторые объекты, которые не подходят под классификацию звезд по диаграмме Герцшпрунга – Рассела (рис. 107), но которые обнаружены и до некоторой степени изучены.

Следующую группу звезд выделили не по их строению и характеристикам излучения, а по механике движения и взаимодействия.

Большой интерес у астрономов вызывают **двойные звезды**, т. е. системы, состоящие из двух звезд, вращающихся вокруг общего центра тяжести. Наблюдения за такими системами позволяют определить эллиптические орбиты, по которым они вращаются, а по параметрам орбит найти массы обеих звезд. На сегодняшний день это единственный прямой, то есть соответствующий законам механики, метод определения масс звезд.

Существуют системы, состоящие из большего числа звезд. Так, тройными являются Полярная звезда и ближайшая к Земле Проксима Центавра.

6.12 Нейтронные звезды

В 1967 году с помощью радиотелескопов были обнаружены странные объекты (их называли пульсары), которые испускали строго периодические импульсы радиоволн. Периоды этих импульсов заключены в пределах от нескольких секунд до 1 мс. Вскоре было доказано, что периодическое радиоизлучение пульсаров создают нейтронные звезды с сильным магнитным полем. Период импульсов равен периоду собственного вращения нейтронной звезды. Так быстро может вращаться только небольшой объект, и действительно, размеры нейтронных звезд около 10 км. Массы нейтронных звезд сравнимы с массой Солнца, следовательно, их плотности колоссальны. Нейтронными такие звезды называют потому, что они состоят из плотно упакованных нейтронов.

6.13 Черные дыры

Преодолеть притяжение небесного тела массой M и радиусом R может только объект, обладающий скоростью не меньше второй космической

$v_2 = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$. Оказывается, существуют объекты с такими массами и радиусами, что даже скорость света меньше их второй космической скорости.

Получается, если тело массой M имеет радиус $R = \frac{2GM}{c^2}$, где c – скорость света, то ни один сигнал не покинет это тело и мы его не сможем увидеть. Такие тела называли черными дырами, а указанный радиус – гравитационным радиусом.

В настоящее время обнаружены черные дыры в составе двойных звездных систем. В такой системе по размеру орбиты и периоду вращения мы можем определить массу, даже не видя объект.

Так в созвездии Лебеда наблюдается двойная система: одна звезда – обычная излучающая видимый свет звезда, а другая невидимая звезда, излучающая рентгеновский свет, является черной дырой с массой десяти Солнц и размером 30 км. Рентгеновское излучение испускает не сама черная дыра, а нагретый до миллионов К газовый диск, вращающийся вокруг черной дыры. Этот диск состоит из вещества светящейся звезды, которое черная дыра своим притяжением вытягивает из нее.

Мы до этого говорили о характеристиках звезд как бы в статике. Многие звезды можно так рассматривать. Например, то, что мы сказали о строении Солнца, о его размерах, характеристиках излучения, актуально на протяжении тысяч и миллионов лет. Но есть звезды, параметры которых изменяются сравнительно быстро, и как раз это изменение интересно.

Такие объекты называют новыми и сверхновыми звездами. Давайте разбираться в определениях.

Новые звезды на самом деле не новые, а такие, которые за несколько дней увеличивают свою светимость в несколько тысяч раз. Вспышки на небе новых звезд – редкое событие (раз в несколько лет). Например, в августе 1975 г. в созвездии Лебеда вспыхнула очень яркая новая, несколько дней она была в числе ярчайших в созвездии, а затем ее светимость постепенно уменьшилась во много тысяч раз.

Изучение новых звезд до и после вспышки установило, что они являются двойными звездами, одна из которых большая с малой плотностью (гигант), а другая – маленькая с большой плотностью (белый карлик). Причина вспышки – перетекание вещества звезды-гиганта на белый карлик (рис. 109). По мере накопления вещества в оболочке белого карлика происходит нагревание звезды до такой температуры, при которой происходит термоядерный взрыв. Этот взрыв наблюдается как вспышка новой. При взрыве часть вещества (оболочка белого карлика) навсегда покидает звезду. Через много лет весь процесс может повториться с новой порцией вещества гиганта.



Рисунок 109 – Перетекание вещества в системе из двух звезд

Очень редко (раз в несколько сотен лет) в нашей Галактике наблюдаются взрывы звезд значительно большей мощности, чем вспышки новых звезд. При таких взрывах появляется необычайно яркая звезда там, где никаких звезд ранее не наблюдали, и высокая яркость сохраняется в течение ряда но-

чей, иногда эту звезду можно видеть и днем. Такие явления называли вспышками сверхновых звезд (или просто сверхновых).

За последнюю тысячу лет известно пять вспышек сверхновых (последняя была в 1667 г.). Сверхновую, вспыхнувшую в 1572 году в созвездии Кассиопеи, наблюдал Тихо Браге. Эта сверхновая была яркой, как Венера, и светила 16 месяцев. Сверхновую в 1604 г. наблюдали Галилей и Кеплер.

С помощью телескопов за год обнаруживается несколько десятков вспышек сверхновых, но не в нашей галактике. При этом даже в огромных галактиках, содержащих сотни миллиардов звезд, сверхновые вспыхивают лишь раз в несколько десятилетий. При взрыве сверхновой в течение нескольких недель может выделяться такая энергия, какую Солнце излучает за миллиарды лет. Одна сверхновая звезда в максимуме своей светимости излучает больше света, чем вся остальная галактика.

Существует два основных типа сверхновых звезд, образующихся по-разному. В одном случае это термоядерный взрыв белого карлика, но более мощный, чем при вспышке новой. Во втором случае взрыв происходит в результате затухания звезды-гиганта. При истощении запасов ядерного топлива и снижении температуры внутри звезды давления в центре оказывается недостаточно для того, чтобы удержать массу вышележащих слоев. Звезда резко сжимается (коллапсирует), а затем взрывается. После взрыва может остаться компактный объект (нейтронная звезда или черная дыра).

Сброшенное при взрыве вещество сверхновой образует быстро расширяющуюся газовую оболочку. Это газовое облако, являющееся следом взрыва сверхновой, обычно наблюдается как туманность (рис. 110).



Рисунок 110 – Туманность

Например, Крабовидная туманность, находящаяся в созвездии Тельца, образовалась в результате взрыва сверхновой, который наблюдался в 1054 г. и о котором сохранились записи в китайских и японских летописях. Эту звезду можно было видеть даже днем, за несколько недель ее свечение ослабло, и она исчезла. Сейчас на месте этой сверхновой наблюдается только газовое облако, в центре которого слабенькая звездочка – нейтронная звезда (пульсар).

6.14 Эволюция звезд

За все время существования цивилизации на небе не исчезло и не появилось ни одной видимой звезды, если не считать кратковременных вспышек новых и сверхновых звезд. Но это не означает, что звезды неизменны. В них происходят необратимые процессы, такие как выгорание термоядерного топлива. Меняется температура, светимость, химический состав звезда, она постепенно «стареет» (рис. 111). Процесс этот медленный, старение может длиться миллиарды лет. Поэтому мы не в состоянии проследить старение конкретной звезды. Но поскольку звезды имеют разные возрасты, массы, светимости, т.е. находятся на разных стадиях своего существования, астрономы по наблюдениям берутся рассчитывать и предсказывать эволюцию звезд. Разумеется, говоря об эволюции звезд, мы имеем в виду нечто отличное от биологической эволюции, в которой возникают новые виды. В астрономии под эволюцией звезды понимают ее жизненный цикл, в течение которого звезда последовательно переходит от одной стадии к другой, качественно отличной от предыдущей.



Рисунок 111 – Жизненный цикл Солнца

В настоящее время относительно эволюции звезд известны следующие факты.

1. Процесс старения звезды происходит неравномерно. 90 % своей жизни звезды остаются практически неизменными, находясь на главной последовательности. Все это время в недрах звезд энергия выделяется за счет превращения водорода в гелий.

2. Чем больше масса звезды, тем быстрее происходит ее эволюция и тем короче время ее существования на главной последовательности, которое зависит от запаса энергии и скорости ее расходования. Для звезд, похожих на Солнце, начальное содержание водорода пропорционально массе звезды M , а скорость его расхода пропорциональна светимости L , тогда

время существования звезды $t = \frac{M}{L}$. Для большинства этих звезд светимость пропорциональна M^4 , а время существования $t \sim \frac{1}{M^3}$. Из-за этого звезды раз-

мером с Солнце живут 10 –13 млрд. лет, а самые массивные – всего несколько миллионов лет.

3. Когда запасы энергии в центре звезды подходят к концу, ее размеры и светимость начинают расти, а температура атмосферы уменьшается. Звезда начинает превращаться в огромную красноватую звезду высокой светимости и очень низкой плотности (красный гигант или сверхгигант). В недрах такой звезды образуется небольшое по размеру плотное гелиевое ядро. Когда температура в нем повышается до ста миллионов кельвинов, начинается реакция слияния ядер гелия и образования углерода. Этот процесс сопровождается выделением большого количества энергии. При этом в слое газа вокруг гелиевого ядра температура несколько ниже, но достаточна для того, чтобы там продолжалась реакция превращения водорода в гелий. По мере выгорания гелия, в ядре начинаются реакции синтеза углерода и т. д.

В звездах малой массы (менее 0,08 массы Солнца) вообще термоядерные реакции не возникают. Они медленно остывают и становятся похожими скорее на планеты-гиганты Солнечной системы, а не на звезды. Их называют коричневыми карликами. Обнаружить их очень трудно из-за слабой светимости.

Более массивные звезды (но меньшие Солнца) после исчерпания главного ядерного топлива проходят стадию красного гиганта и сбрасывают часть своей массы. Оболочка звезды постепенно рассеивается в пространстве, а ядро продолжает существовать. Его дальнейшая судьба зависит от массы.

Звезды примерно такой же массы, как Солнце, после стадии красного гиганта и сброса небольшой части вещества сжимаются до размеров планет. Они таким образом превращаются в вырожденные звезды – белые карлики, которые медленно остывают и через миллиарды лет превращаются в очень плотные и холодные шары.

Если звезда обладает начальной массой, в несколько раз большей массы Солнца, то она в итоге тоже превращается в белого карлика, но быстрее, чем Солнце (так как в больших звездах быстрее выгорает топливо).

В звездах наибольших масс (не менее 10 солнечных) после сброса вещества остается очень массивное ядро. После исчерпания термоядерного топлива оно сжимается под действием собственного веса и взрывается как сверхновая звезда. Остаток звезды, если он имеет массу менее трех солнечных, превращается в нейтронную звезду. Если же масса остатка была больше, то он превращается в черную дыру.

Мы рассмотрели разные варианты эволюции звезд и увидели среди них тот, который, возможно, ожидает наше Солнце (рис. 111). Это стадия красного гиганта и вырождение до белого карлика. Произойдет это, по расчетам, примерно через 8 млрд. лет. Этого времени достаточно, чтобы человечество тысячи раз проделало свой эволюционный путь, который оно прошло к сего-

дняшнему моменту. Так что для нас эти прогнозы представляют теоретический интерес, близкий к научному любопытству.

Тема 7 Наша Галактика – Млечный Путь

Мы рассмотрим, что такое Вселенная, как она родилась и развивается, ее форму и размеры, а также содержимое – галактики, скопления, звезды, черные дыры, зарождение жизни.

7.1 Строение и эволюция Вселенной

Ускорение свободного падения отдельно взятой синей ручки равно $9,8 \frac{м}{с^2}$. Эта информация полезна только для одного частного случая. Если взять ручку другого цвета, другую синюю ручку или вообще поменять ручку на другой предмет – что-то изменится? В утверждении, с которого мы начали, ответа нет. А вот утверждение «ускорение любого тела вблизи поверхности Земли в отсутствие сопротивления равно $9,8 \frac{м}{с^2}$ » уже более информативно. Оно описывает универсальную закономерность, применимую ко многим частным случаям. Задача науки – выявить универсальные закономерности, которые позволят решать не одну, а целый класс задач.

Мы описали движение планет Солнечной системы и попытались объяснить, почему оно такое. Мы связали структуру Солнечной системы с ее происхождением. Тела Солнечной системы вращаются вокруг Солнца приблизительно в одной плоскости, в одном направлении, и мы связали это с тем, как Солнечная система формировалась из облака пыли в процессе вращения вещества, гравитационного коллапса и других процессов.

Везде в мире действуют одни и те же законы гравитации. Так почему бы не существовать другим системам с похожим строением среди звезд? Серебристую полосу, которая тянется по небесной сфере и образует кольцо, назвали Млечным Путем. Наблюдая Млечный Путь (см. рис. 112) в телескоп, Галилей установил, что он состоит из колоссального множества не очень ярких звезд.



Рисунок 112 – Млечный Путь

В начале XX века было установлено, что те звезды, которые наблюдаются невооруженным глазом или в небольшой телескоп, образуют в пространстве огромный сплюснутый звездный диск. Толщина этого диска составляет несколько тысяч световых лет, а диаметр превышает толщину более чем в десять раз. Этот диск является главным компонентом нашей звездной систе-

мы – Галактики (от греческого слова $\gamma\acute{\alpha}\lambda\alpha\zeta\acute{\iota}\alpha\varsigma$ – «молочный»). Наше Солнце (и мы) находимся внутри звездного диска и поэтому вблизи его плоскости видим много далеких звезд, которые сливаются для нас в светящуюся полосу Млечного Пути (см. рис. 113). В направлении, перпендикулярном плоскости галактического диска, звезды расположены менее плотно.



Рисунок 113 – Расположение Солнечной системы в галактическом диске

Полоса Млечного Пути имеет очень неровные очертания, и внутри светлой полосы есть и более яркие, и темные участки. Это объясняется наличием в Галактике скоплений межзвездной пыли, которые могут поглощать видимый свет. Наблюдения, проводимые в менее поглощаемых пылью инфракрасных лучах, позволили увидеть плотное центральное ядро Галактики и понять ее структуру.

В структуре Млечного Пути выделяют три основные части: диск диаметром около 30 килопарсеков (около 100 000 св. лет), центральное сферическое вздутие балдж (англ. bulge) и гало, которое простирается на большое расстояние. Большая часть газовых и пылевых облаков вместе с множеством ярких молодых звезд лежат в плоскости диска, собираясь в спиральные рукава, отходящие от центра. Наша Солнечная система располагается в средней части спирального рукава в 8 килопарсеках от центра Галактики. Плоскость орбит планет Солнечной системы образует угол приблизительно 60° с плоскостью галактического диска, поэтому полоса Млечного Пути на небосводе наклонена к плоскости эклиптики (см. рис. 114).



Рисунок 114 – Структура Млечного Пути

Балдж имеет форму огромного немного уплощенного мяча для регби, в нем велика плотность звезд. Гало имеет форму, близкую к сферической, и

содержит ряд шаровых звездных скоплений, отдельные звезды и горячий газ. Плотность вещества в гало ниже, чем в диске и балдже, а простирается оно дальше диаметра диска.

Солнце движется вокруг центра Галактики со скоростью около 220 км/с. Но ввиду огромных размеров Галактики полный оборот Солнце совершает за 220 миллионов лет, т. е. за время, прошедшее с гибели динозавров (65 миллионов лет назад), Солнце прошло только около четверти своей орбиты.

Галактика выглядит (с учетом разницы в размерах) как Солнечная система в процессе ее формирования. В частности, подобно тому, как дальние от Солнца планеты совершают оборот за большее время, чем ближние, внутренние части Галактики обращаются быстрее внешних. Это приводит к образованию спиральных рукавов и объясняет их изогнутую форму.

Полное число звезд различных масс, возрастов и светимостей в Галактике оценивается в несколько сотен миллиардов, лишь небольшая их часть доступна наблюдению даже в крупные телескопы. Расстояния между соседними звездами в диске Галактики велики (световые года): например, от Солнца до ближайшей соседней звезды расстояние 4,2 световых года. Вблизи ядра Галактики плотность звезд значительно больше, чем в диске, и расстояния между звездами меньше в 1500 раз. В центре Галактики в кубе со стороной 1 световой год может быть более 10 млн. звезд, на краю диска звезды встречаются значительно реже. Но явной внешней границы у Галактики нет.

Кроме звезд, в Млечном Пути есть много межзвездного вещества в виде облаков газа и пыли (около 15 % массы звезд). Газ и пыль распределены в Галактике неоднородно, нередко в ней наблюдаются темные облака пыли, которые заслоняют находящиеся за ними звезды. Но если эти плотные облака освещены яркими звездами, то они отражают этот свет и становятся видимыми. Если вблизи или внутри газопылевого облака имеется горячая звезда, то она возбуждает свечение газа, и мы видим светящуюся туманность.

Мы уже говорили о том, что в газопылевых туманностях возникают молодые звезды. Кроме газа и пыли, наша Галактика заполнена космическими лучами – релятивистскими частицами: протонами, электронами и ядрами атомов других химических элементов, которые двигаются со скоростями, близкими к скорости света. Под действием магнитного поля, которое тоже пронизывает всю Галактику, космические лучи двигаются по запутанным траекториям, не покидая Галактику.

Массу Галактики оценили по тому гравитационному притяжению, которое удерживает ее звезды. Оказалось, что масса той части Галактики, которая лежит внутри орбиты Солнца, составляет не менее $10^{11} M_{\text{Солнца}}$, а общая масса Галактики $2 \cdot 10^{12} M_{\text{Солнца}}$. Результаты, полученные по закону всемирного тяготения, озадачили астрономов. Потому что, когда они сложили массы всех видимых звезд и межзвездного газа, то получили существенно меньшую величину. И если масса всего, что мы видим, меньше массы, которая есть по расчетам, то остается предположить, что остальную массу мы не видим, ее мож-

но обнаружить только по ее гравитационному воздействию. Материю, обладающую такими свойствами, называли темной материей.

Темная материя – это одна из тайн в современной астрономии. Свойства темной материи изучать очень трудно, так как она действительно темная – не излучает ничего. Ученые могут только приблизительно оценить ее массу в Млечном Пути и в других галактиках. Неопределенность природы темной материи и общей массы Галактики затрудняет подсчет числа звезд в Млечном Пути. Остается только предположить, что средняя масса звезды близка к массе Солнца, тогда общее их число в Галактике будет около 10^{11} (ста миллиардов). Каждая из них движется по своей орбите под действием суммарного гравитационного поля остальных звезд, межзвездной пыли и газа и темной материи.

Не все звезды Галактики имеют одинаковый возраст, некоторые звезды образуются прямо сейчас. Возрастом Галактики можно считать возраст (то есть время, прошедшее с рождения) самых старых звезд – это около 13 млрд. лет. Возраст звезды, как мы говорили ранее, определяют по ее светимости, массе, типу. Таким образом, за 13 млрд. лет образовалось 100 млрд. звезд, т. е. каждый год в Галактике рождается 7–8 звезд. Правда, темп образования звезд в молодой Галактике, вероятно, был выше.

Поговорим о звездах, которые входят в состав Галактики. Больше всего в Галактике тусклых, холодных красных карликов – звезд, лежащих на главной последовательности *H-R* диаграммы внизу, их массы 0,1–0,5 солнечных масс. Средняя масса звезд близка к массе Солнца (немного меньше). Звезд с массой более 30 солнечных в Галактике очень немного. Самые распространенные в Галактике звезды – красные и коричневые карлики – мы почти не видим, так как они очень тусклые. Ночной небосвод заполняют в основном редкие, но яркие гиганты, которые видны, даже если они расположены очень далеко от нас (см. рис. 115).

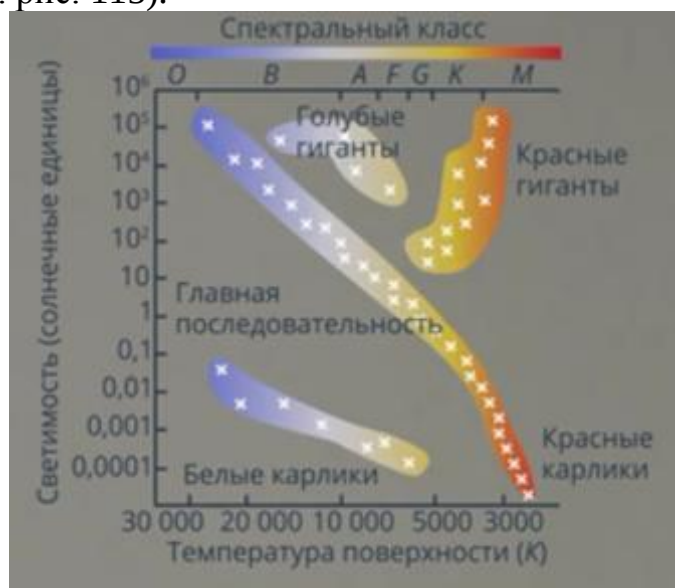


Рисунок 115 – Классификация звезд. Диаграмма Герцшпрунга – Рессела

Условно звезды Галактики делят на две популяции (иногда их называют двумя населенными). Звезды разных популяций отличаются: положением в

Галактике, характером движения, составом, цветом и возрастом (см. рис. 116).

	Популяция I	Популяция II
Возраст	От молодых до старых (10^6 – 10^9 лет)	Старые (порядка 10^{10} лет)
Цвет	Голубые	Красные
Положение	Диск (в основном в рукавах)	Гало и балдж
Орбита	Почти круговая в плоскости диска	Пересекающая диск
Содержание тяжёлых элементов	Высокое, как в Солнце	Низкое (0,1–1 % солнечного)

Рисунок 116 – Параметры звезд Галактики разных популяций

Не следует считать разделение на две популяции точным, оно является модельным упрощением, не все звезды можно уверенно отнести к одной из популяций. Существует гипотеза, что звезды популяции II образовались в период начального коллапса, а звезды популяции I образовались позже и продолжают образовываться сейчас.

В Галактике существуют скопления (кластеры) звезд, которые удерживаются на сравнительно близких расстояниях друг от друга взаимным притяжением. Обратите внимание: кластеры – это не созвездия. В созвездиях звезды только кажутся близкими на небосводе, а в реальности могут располагаться очень далеко друг от друга. Звезды в таких скоплениях связаны не только пространственной близостью, но и общим происхождением и движением, как единое целое. Кроме звезд скопления содержат облака газа и пыли. Выделяют два основных типа скоплений: рассеянные и шаровые (см. рис. 117).

Тип скопления	Количество звёзд в скоплении	Радиус	Расположение
Рассеянное	От десятков до нескольких тысяч	2–6 пк (7–20 св. лет)	В спиральных рукавах диска
Шаровое	10^5 – 10^6	12–50 пк 40–160 св. лет)	Гало и балдж

Рисунок 117 – Отличия звездных скоплений

На рис. 118 вы видите рассеянное скопление Плеяды в созвездии Тельца. В хорошую погоду Плеяды видны невооруженным глазом.

Расчеты показывают, что в центре Млечного Пути есть черная дыра. Центр Галактики наблюдать нелегко, так как видимый свет располагающихся вблизи центра объектов загораживают пылевые облака. Поэтому для наблюдения за центром Галактики используют другие диапазоны излучения (радио,

инфракрасный, рентгеновский), которые позволили заглянуть за пылевые облака. Обнаружилось, что на расстоянии около 10 а.е. (это размер орбиты Юпитера) вокруг центра Галактики звезды вращаются со скоростью много сотен километров в секунду. Удержать такие быстрые звезды на орбитах может только очень сильное гравитационное поле, которое может создать только объект с массой, равной 4 миллионам солнечных. Но такого объекта астрономы в центре Вселенной не видят. Следовательно, это черная дыра.



Рисунок 118 – Скопление Плеяды
в созвездии Тельца



Рисунок 119 – Шаровое скопление М15
в созвездии Пегаса (снимок сделан
космическим телескопом Хаббл)

Вероятно, эта черная дыра образовалась от слияния множества черных дыр массой около 10 солнечных, являвшихся остатками взрывов сверхновых. Как мы говорили ранее, такими взрывами заканчивается эволюция массивных звезд. Образовавшаяся в центре Галактики черная дыра продолжает втягивать в себя межзвездное вещество и увеличиваться. Огромные ускорения поглощаемых черной дырой объектов вызывают интенсивное рентгеновское излучение, обнаруживаемое в центре Галактики.

Как и отдельные звезды, Галактика постоянно меняется, и можно сделать предположения о ее эволюции. Межзвездный газ постоянно используется при образовании звезд. И хотя при гибели звезд часть их вещества возвращается в пространство в виде газопылевых облаков, но звездный ветер (аналогичный солнечному) и такие остатки сверхновых, как белые карлики, нейтронные звезды и черные дыры, из этого процесса исключаются. Поэтому в Млечном Пути уменьшается количество межзвездного вещества для образования звезд.

Тема 8 Галактики. Строение и эволюция Вселенной

За пределами нашей Галактики видимая часть Вселенной заполнена звездами, которые также можно выделить в десятки миллиардов других звездных систем. Эти далекие огромные звездные облака также называли галактиками (только со строчной буквы). Некоторые галактики похожи на Млечный Путь, другие отличаются формой, размерами или составом. В настоящее время природа таких различий еще не ясна астрономам, например, не ясно, почему одни галактики имеют форму диска, а другие – яйца.

Только несколько галактик видны без телескопа, они выглядят на небосводе как очень тусклые объекты. В Северном полушарии осенью и зимой в созвездии Андромеды можно видеть бледное вытянутое пятно (рис. 120).



Рисунок 120 – Галактика М31 (ближайшая к нам)

Так она выглядит в телескопе. Раньше галактики принимали за облака звездной пыли, далекие звездные скопления. Только в 20-х годах прошлого века астрономы пришли к согласию в том, что многие такие объекты являются полноценными галактиками. Многие из них каталогизированы, получили имена, звездные координаты, фотографии, описания и т. п.

Поговорим о классификации галактик. Американский астроном Хаббл (в честь него назван космический телескоп, позволяющий получать фотографии самых удаленных космических объектов) разделил галактики по форме на три типа: спиральные, эллиптические и неправильные. Мы знаем, что Млечный Путь является спиральной галактикой.

Спиральные галактики могут иметь особенности, например, спиральные рукава могут начинаться не от центра галактики, а от концов «перемычки» (рис. 121).



Рисунок 121 – Спиральная галактика

Эллиптические (рис. 122) галактики не имеют диска или спиральных рукавов, по форме они напоминают мяч (иногда мяч для регби). Звезды в них распределены практически равномерно по трем измерениям, разумеется, при уменьшающейся плотности звезд при удалении от центра. В эллиптических галактиках не обнаруживаются массивные голубые звезды.



Рисунок 122 – Эллиптическая галактика

Галактики, названные неправильными, не похожи ни на спиральные, ни на эллиптические. Они меньше по размерам и выглядят как случайная смесь звезд и газовых облаков. Часто они бывают голубоватого света, потому что в них большую часть занимают звездные скопления с молодыми голубыми гигантами.



Рисунок 123 – Неправильная галактика

Так выглядит в телескопе неправильная галактика Малое Магелланово Облако (см. рис. 123). Эта галактика видна невооруженным глазом (в Южном полушарии). Первым эту галактику целенаправленно наблюдал и описал Магеллан во время своего путешествия.

При изучении спектров галактик было обнаружено, что большая часть спектральных линий в них сдвинута в сторону длинных волн (к красному концу спектра). Это явление назвали красным смещением, оно характерно для большинства галактик, за исключением самых близких к нам.

8.1 Эффект Доплера

Представьте себе источник волн, который излучает волны, и приемника, который их улавливает. Мы не конкретизируем природу волн – электромагнитные или механические – явление, о котором пойдет речь, наблюдается для любых волн. Оказывается, если источник и приемник движутся друг относительно друга в направлении распространения волн (то есть отдаляются или приближаются), то волна, принятая приемником, будет иметь длину волны, отличную от длины волны, испускаемой источником.

Например, когда мимо нас проезжает автомобиль с включенной сиреной, при его приближении (когда он движется к нам) звук сирены звучит для нас как для приемника волн более высоким, а при отдалении – более низким. Слышны и изменения в звуке двигателя автомобиля (рис. 124).

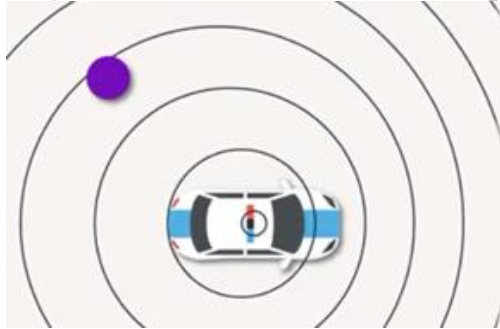


Рисунок 124 – Эффект Доплера

Звезды являются источниками электромагнитных волн, и, если они движутся, длины принимаемых нами от звезд волн тоже должны изменяться. Так и есть. Только как обнаружить изменение, откуда мы знаем, волна какой длины излучается? Спектры излучения звезд являются линейчатыми, и набор линий строго определен составом звезды. Вот относительно длин волн этих линий мы и обнаруживаем смещение.

Пусть λ – наблюдаемая длина волны определенной спектральной линии движущегося объекта, λ_0 – длина волны этой линии, наблюдаемая в лабораторных условиях. Тогда скорость объекта $v = c \cdot \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0}$, c – скорость света.

Согласно эффекту Доплера, о котором вы можете узнать в ответвлении, красное смещение галактик говорит о том, что галактика удаляется от нас. При этом чем больше смещение, тем больше скорость удаления объекта. Оказывается, что скорость удаления галактики (величина красного смещения) тем больше, чем дальше от нас галактика. Т. е. все галактики «разбегаются» от нас. Но мы ничем не выделены во Вселенной, не являемся ее центром. Поэтому все галактики разбегаются от любого наблюдателя, т. е. явление красного смещения – это свойство пространства.

Хаббл вывел простую формулу для этого эмпирического факта, названного законом Хаббла:

$$v = H \cdot d$$

где v – скорость удаления галактики, d – расстояние до нее, H – постоянная Хаббла. Значение H зависит от выбора единиц измерений. v принято измерять в км/с, а d – в мегапарсеках (Мпк), тогда $H \approx 70$ км/(с·Мпк). Верно и обратное: чем быстрее движется галактика (чем больше красный сдвиг спектральных линий), тем дальше она от наблюдателя. Поэтому формула Хаббла позволяет найти расстояние до галактики по красному смещению ее спектра. Формулу Хаббла нельзя применять для ближайших к Млечному Пути галактик, так как на их скорость оказывает влияние Млечный Путь. Эту формулу нельзя применять и для группы совместно движущихся галактик, например, когда две галактики вращаются вокруг общего центра масс.

Говоря о массе нашей Галактики, мы ввели модель темной материи. Для других галактик тоже характерна такая нестыковка видимой и расчетной масс. Массу галактики можно определить двумя способами. Во-первых, зная светимость галактики и деля ее на светимость всех ее звезд, мы получаем количество звезд в галактике. Умножая это число на массу средней звезды, получаем полную массу. Во-вторых, мы, как и в случае Млечного Пути, можем получить массу галактики, измеряя скорости движения звезд, скоплений звезд, газовых туманностей на различных расстояниях от центра. Массы, определенные двумя способами, не совпадают, вторая больше на существенную величину (иногда на десятки процентов). Считается, что различие создается темной материей, сосредоточенной в центре галактики.

Классифицировать галактики можно не только по форме и размерам. Поговорим о других признаках. Активными называют галактики, у которых в ядрах есть небольшие участки, излучающие необычайно много энергии. Некоторые из таких галактик излучают из области размером в 1 св. год столько энергии, сколько излучает весь Млечный Путь. Иногда активные галактики выбрасывают узкие струи газа, движущегося со скоростями порядка 10 000 км/с. Приблизительно 10 % всех галактик являются активными (рис. 125).



Рисунок 125 – Активная галактика

Квазар – это сокращение от английского выражения *quasi-stellarradiosource* (похожий на звезду радиоисточник). Квазары выглядят как очень слабые звезды, но по мощности своего радиоизлучения (светимости в радиодиапазоне) они являются самыми яркими объектами на небе, превосходя в этом Млечный Путь в 1000 раз. В радиодиапазоне также обнаруживается смещение спектральных линий, и по формуле Хаббла получается, что квазары находятся на расстоянии порядка 10 млрд. св. лет от Земли.

Для объяснения сверхмощных излучений ядрами активных галактик и квазарами была предложена модель сверхмассивной черной дыры, содержащей от миллиона до нескольких миллиардов солнечных масс вещества. Вокруг черной дыры имеется так называемый аккреционный диск, по которому вещество (звезды, межзвездный газ и т. п.), как воронкой, засасывается черной дырой. Трение при вращательном движении и гравитация при движении к черной дыре разогревают газ настолько, что он может из небольшого объема излучать много энергии, причем в очень широком диапазоне длин волн (рис. 126).



Рисунок 126 – Модель сверхмассивной черной дыры

Средние расстояния между звездами в миллионы раз больше размеров звезд. Средние расстояния между галактиками больше размеров галактик только в десятки раз. То есть галактики в сравнении со своими размерами сближены значительно теснее, чем звезды. Поэтому неудивительно, что галактики чаще, чем звезды, образуют скопления галактик. Так Млечный Путь, Туманность Андромеды, Большое и Малое Магеллановы Облака и другие близкие к нам звездные системы образуют так называемую Местную группу. Галактики Местной группы связаны тяготением и движутся вокруг общего центра масс.

Сейчас известно около 4000 скоплений галактик. Средний размер скопления 8 Мпк (26 млн. св. лет). Кроме галактик, скопления содержат газ. Как показали наблюдения на космических рентгеновских телескопах, скопления галактик являются мощными источниками рентгеновского излучения, которое испускает нагретый до температуры свыше 10^9 К очень разреженный межгалактический газ. Его концентрация оказалась небольшой: около 1000 атомов водорода в 1 м^3 . Но общее количество межгалактического газа сравнимо с массой всех галактик в скоплении.

Чтобы удержать горячий газ в скоплении, необходима большая сила тяготения. Полная масса галактик, входящих в скопление, для этого недостаточна. Астрономы пришли к выводу, что и скопление должно быть заполнено большим количеством темной материи, способной удержать его от разрушения.

8.2 Космология

Раздел астрономии, изучающий строение и эволюцию Вселенной в целом, называется космологией. Космология, в частности, объясняет распределение галактик в пространстве и их «разбегание». Обсудим некоторые вопросы, которые изучает космология.

Конечность и бесконечность Вселенной. Во времена античности и в средние века Вселенная считалась статичной и конечной, ограниченной сферой неподвижных звезд (рис. 127). Изучением звездного неба и занималась тогда астрономия. Позднее, с развитием физики, внимание астрономов пере-

ключилось на движение небесных объектов, источники энергии во Вселенной и т. п.

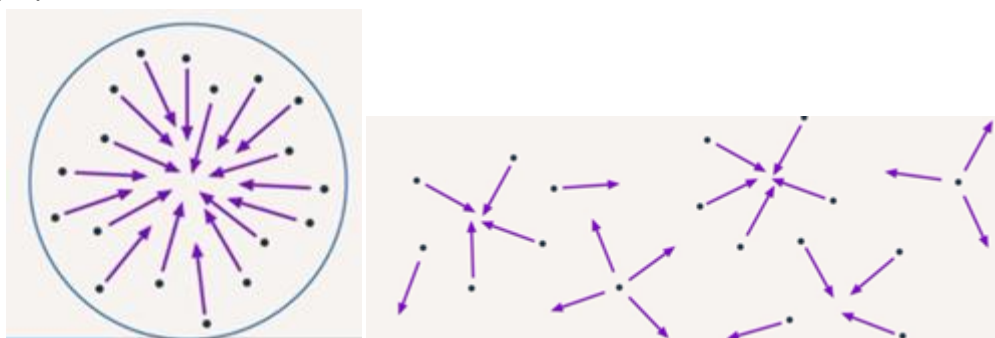


Рисунок 127 – Модели конечной и бесконечной Вселенной

Большое значение для космологии имело открытие Ньютоном закона всемирного тяготения. «Всемирное» выполнение этого закона потребовало рассмотрения гипотезы о бесконечности Вселенной. В конечной Вселенной все ее вещество должно стянуться в единую плотную систему, тогда как в бесконечной Вселенной вещество под действием тяготения собирается в некоторых отдельных телах (звезды), равномерно заполняющих Вселенную.

В рамках классической механики и теории тяготения Ньютона принятие гипотезы бесконечности Вселенной приводило к некоторым парадоксам. Примером является фотометрический парадокс.

Почему ночью небо темное? В бесконечной статичной Вселенной имеется бесконечное число звезд. Поэтому, если мы направим наш взгляд в какое-то выбранное направление, то луч зрения непременно попадет на какую-то звезду. Все небо должно быть сплошь перекрыто дисками звезд разных угловых размеров. Если все звезды похожи на Солнце, то любой участок неба должен быть таким же ярким, как Солнце. Но это не так. Если же Вселенная конечна, то звезд в ней конечное число и небо, естественно, не столь яркое (звезды не покрывают его полностью). Но это противоречит закону всемирного тяготения и наблюдаемому равномерному распределению звезд.

Общая теория относительности. Механика Ньютона прекрасно согласуется с опытом для окружающих нас тел средней массы, которые движутся с небольшими скоростями. Космические тела могут иметь огромные массы и размеры (например, галактики), могут двигаться со скоростями, сравнимыми со скоростью света (например, звезды и газ вблизи ядер галактик). Изучать взаимодействия таких тел и их движения с помощью классической механики невозможно. Обобщает теорию Ньютона для подобных объектов общая теория относительности Эйнштейна (рис. 128).

	Классическая механика
Гравитационное взаимодействие передаётся	Мгновенно
Пространство	Эвклидово
Время	Абсолютно
	Теория относительности
Гравитационное взаимодействие передаётся	С конечной скоростью
Пространство	Может быть искривлено
Время	Относительно

Рисунок 128 – Теория относительности

Согласно общей теории относительности, гравитационное взаимодействие передается с конечной скоростью (скоростью света), а в теории Ньютона оно передается мгновенно. В классической механике пространство считается эвклидовым, а время абсолютным. В общей теории относительности время не абсолютно, а пространство может быть искривленным. Гравитационное поле в общей теории относительности представляет собой искривление пространства-времени, создаваемое массивными телами.

Расширяющаяся Вселенная. Впервые космологическую модель Вселенной в рамках общей теории относительности рассмотрел советский математик А. Фридман. Он показал, что Вселенная, однородно заполненная веществом, должна быть нестационарной, и тем самым объяснил наблюдаемую картину разбегания галактик.

Понять основные особенности наблюдаемой картины расширения Вселенной можно и в рамках теории тяготения Ньютона. Это связано с тем, что в небольших масштабах применима теория тяготения Ньютона и в расширении Вселенной можно убедиться по движению одной галактики, которая удаляется от нас со скоростью, меньшей скорости света.

Рассмотрим далекую галактику, находящуюся на расстоянии R от нас. На ее движение оказывает влияние притяжение только того вещества, которое находится внутри сферы с радиусом R , остальное вещество Вселенной не влияет своим притяжением на движение галактики. Масса вещества, находящегося внутри сферы радиусом R и плотностью ρ , равна $M = \rho \cdot (4/3)\pi R^3$ (рис. 129).

Эта галактика как бы находится на поверхности шара с данной массой и данным радиусом и движется по закону Хаббла со скоростью $v = H \cdot R$. Если эта скорость окажется меньше второй космической скорости для рассматриваемого шара, то наблюдаемое удаление галактики сменится, в конце концов, приближением, т. е. расширение Вселенной сменится сжатием. Если же скорость будет больше или равна второй космической, то галактика будет неог-

раниченно удаляться, т. е. наблюдаемое сейчас расширение Вселенной никогда не прекратится.



Рисунок 129 – Выбранный участок Вселенной со средней плотностью ρ

Из подобных рассуждений можно сделать следующий вывод. Существует критическое значение плотности вещества во Вселенной $\rho_{кр}$ такое, что при $\rho > \rho_{кр}$ в будущем расширение Вселенной сменится сжатием, а при $\rho \leq \rho_{кр}$ Вселенная будет расширяться неограниченно.

8.3 Модели искажения пространства

Один из эффектов искажения мы рассмотрели – красное смещение. Для решения разных задач бывает удобно использовать разные модели: либо при расширении пространства законы геометрии выполняются как-то по-другому, либо можно считать, что законы выполняются правильно, только само пространство искажается. Есть несколько моделей законов геометрии для разных случаев искажения пространства (рис. 130), и вид искажения зависит от того, какова средняя плотность вещества Вселенной.

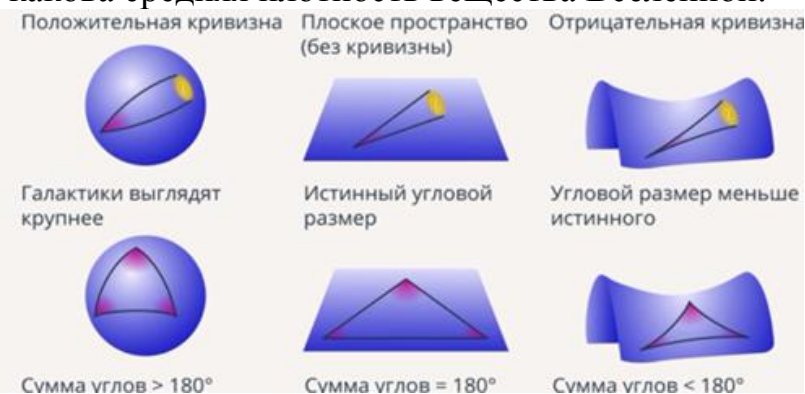


Рисунок 130 – Модели искажения

При $\rho > \rho_{кр}$ во Вселенной будут выполняться законы геометрии Римана и сумма углов треугольника будет больше 180° (как на сфере).

При $\rho = \rho_{кр}$ будут выполняться законы геометрии Евклида, где сумма углов треугольника равна 180° (как на плоскости).

При $\rho < \rho_{кр}$ во Вселенной будут выполняться законы геометрии Лобачевского, сумма углов треугольника будет меньше 180° (как на седле).

Мы не знаем средней плотности вещества во Вселенной, но расчеты, сделанные для той ее части, которая доступна наблюдению, указывают на то,

что средняя плотность Вселенной примерно в 8 раз меньше критической плотности и Вселенная должна расширяться вечно.

Возраст Вселенной. Если наблюдения пока не позволяют нам с определенностью сказать о характере будущего расширения Вселенной, то время, когда в прошлом это расширение началось, мы можем оценить из закона Хаббла. Действительно, если наблюдаемая нами галактика удаляется со скоростью v и сейчас находится на расстоянии r от нас, то с начала удаления до нынешнего момента времени прошло

$$T = \frac{r}{v} = \frac{r}{rH} = \frac{1}{H} = \frac{1}{2,4 \cdot 10^{-18} \text{ с}^{-1}} = 13 \cdot 10^9 \text{ лет.}$$

Эти рассуждения применимы для любой галактики. Что же было эти 13 млрд. лет назад – непонятно, просто расчеты ведут к этой точке. Можно предположить, что в отправной точке расширения все вещество Вселенной было сосредоточено в небольшом объеме и плотность вещества была настолько высокой, что ни галактик, ни звезд не существовало. Не существовало ни атомов, ни молекул, а была сверхплотная смесь элементарных частиц.

Пока не ясны ни природа физических процессов, протекавших в этом сверхплотном веществе, ни причины, вызвавшие расширение Вселенной. Ясно одно, что со временем расширение привело к значительному уменьшению плотности вещества и на определенном этапе расширения стали формироваться галактики и звезды.

Некоторые видят в наблюдаемом разбегании галактик аналогию с разлетом вещества во время взрыва, поэтому описанная теория расширения Вселенной получила название теории Большого взрыва, а время $T = 1 / H = 13$ млрд. лет, прошедшее с начала этого взрыва, называют возрастом Вселенной.

Теперь понятно, как объяснить фотометрический парадокс – как следствие расширения Вселенной и связанного с ним наблюдаемого разбегания галактик. Действительно, из-за эффекта Доплера свет далеких галактик и звезд испытывает красное смещение, т. е. энергия световых квантов уменьшается, и от этих галактик приходит меньше света. Кроме этого, мы увидели, что радиус наблюдаемой Вселенной ограничен. Этими двумя положениями и объясняется то, что небо ночью темное.

Радиус Вселенной. Поскольку скорость света ограничена, мы можем видеть только те объекты, которые ближе к нам, чем расстояние, которое свет прошел за время существования Вселенной. Это расстояние называется космическим горизонтом (рис. 131). Вселенная может существовать и за этим горизонтом, но мы этого не видим.

Поскольку Вселенная расширяется, космический горизонт сдвигается. Когда мы говорим о расстояниях до удаленных галактик, мы имеем в виду расстояние, которое прошел до нас свет от галактики при условии, что Вселенная не расширяется. Это расстояние тогда есть просто мера того, насколько старше стала галактика в момент наблюдения ее света по сравнению с моментом излучения света. Такое определение расстояния позволяет нам считать космический горизонт удаленным от нас на 14 млрд. парсек. Эта величина и принимается за размер (радиус) видимой Вселенной.



Рисунок 131 – Границы наблюдаемой Вселенной

Горячая Вселенная и реликтовое излучение. Общие представления о ранних стадиях расширения Вселенной можно получить из анализа ее химического состава. Естественным считать, что до образования звезд веществом Вселенной был водород, из которого в недрах звезд образовывался гелий. В дальнейшем часть вещества звезд возвращалась в межзвездную среду и служила материалом для формирования новых поколений звезд. Спектральные данные показали, что во Вселенной доля гелия в веществе Вселенной составляет 30 % (по массе). Предполагалось, что весь этот гелий образовался в ходе термоядерных реакций в ядрах звезд.

Однако расчет количества гелия во Вселенной по интенсивности образования его в звездах, количеству звезд во Вселенной и времени существования звезд дает значительно меньшую величину – 13 %.

Следовательно, не весь гелий образовался в звездах. Исходя из этого Георгий Гамов (русский и американский физик) пришел к выводу, что большая часть гелия образовалась еще на ранних стадиях расширения Вселенной, когда в ней еще не было звезд. Если учесть, что образование гелия в термоядерных реакциях возможно только при температурах свыше нескольких миллионов кельвинов, то на ранних стадиях, вскоре после Большого взрыва, Вселенная была не только колоссально плотной, но и горячей.

Кроме вещества, в ранней Вселенной было еще и излучение, которое находилось в равновесии с веществом. По мере расширения температура вещества уменьшалась и, следовательно, уменьшалась температура теплового излучения, которая к настоящему времени должна была снизиться до 3 К (–270 °С). Это предсказание подтвердилось открытием микроволнового излучения, максимум интенсивности которого приходится на длину волны $\lambda_{\text{max}} = 1$ мм, что соответствует (по закону смещения Вина) температуре 2,7 К.

Это излучение не связано ни с одним космическим объектом, оно равномерно заполняет Вселенную и, следовательно, относится к началу расширения Вселенной, до образования небесных тел. Оно получило название реликтового излучения, т. е. оставшегося от ранних этапов эволюции Вселенной.

Ускоренное расширение Вселенной и темная энергия. Мы говорили уже, что основной вклад в массу галактик вносит темная материя, природа кото-

рой пока неясна, но учитывать которую необходимо для рационального объяснения расширения Вселенной. С тем, что Вселенная расширяется, мы уже свыклись, но делать окончательные выводы о бесконечном (!) ее расширении преждевременно.

Наблюдая вспышки сверхновых звезд в очень далеких галактиках, ученые обнаружили, что расстояния до этих галактик, вычисленные по красному смещению в их спектрах (эффект Доплера), оказались больше, чем дает формула Хаббла. Отсюда следовало, что на таких расстояниях расширение происходит с ускорением, то есть во Вселенной действует некоторая сила отталкивания, которая проявляется только на очень больших расстояниях. Эту силу считают проявлением необычной энергии, которую называли темной энергией.

Свойства темной энергии совершенно необычные. Она проявляет себя только в гравитационном взаимодействии, но не как сила притяжения, а как сила отталкивания, в слабом ядерном и электромагнитном взаимодействиях она не участвует. Плотность темной энергии постоянна во времени. Так как при расширении Вселенной плотность обычной и темной материи уменьшается (объем увеличивается, а масса не меняется), начиная с некоторого момента, масса темной энергии (вспомните эквивалентность массы и энергии $E = mc^2$) будет превышать массу остальных видов материи, и она будет оказывать основное влияние на гравитацию во Вселенной. Наблюдения показали, что ускоренное расширение демонстрируют галактики, которые находятся на расстоянии около 6 млрд. св. лет от нас. Это означает, что темная энергия стала преобладать над обычной материей, когда возраст Вселенной был 7 млрд. лет.

8.4 Жизнь во Вселенной

По данным радиоуглеродного анализа ископаемых, жизнь на Земле существует по крайней мере 3,8 млрд. лет (большую часть времени существования нашей планеты). Естественно, что в 600 млн. лет существовали только примитивные формы жизни, сложные организмы возникли позже в результате биологической эволюции. Длительность существования и единство всех форм жизни на Земле указывают на то, что жизнь возникла из единого источника вскоре после образования Земли.

Экспериментально доказано, что химические предшественники организмов (органические соединения, нуклеиновые и аминокислоты и т. п.) вполне могли возникнуть в условиях, существовавших на молодой Земле. Поэтому не представляется чем-то невозможным, что такие же условия могут или когда-то могли существовать еще где-то во Вселенной, и многие астрономы верят в то, что жизнь зарождалась во многих других местах Вселенной.

Однако до сих пор все поиски ее в космосе были безрезультатными. Это не означает, что внеземной жизни нет, просто нам неизвестен достоверный факт, что она есть. Доказательств существования внеземной жизни действительно нет, но «отсутствие доказательств не то же самое, что доказательство отсутствия».

Даже если бы жизнь существовала на многих объектах Солнечной системы, вряд ли мы ее смогли бы обнаружить в тех немногих местах, где люди или автоматические станции уже побывали. На Луне нет воды и атмосферы, и поиск жизни на ней бесперспективен. Марс кажется более подходящим для поиска жизни. Хотя условия там суровые, но все-таки Марс – самая похожая на Землю планета.

Моделируя в лаборатории марсианские условия, ученые доказали, что некоторые земные организмы (бактерии и лишайники) на Марсе могли бы выжить, хотя не смогли бы нормально развиваться и размножаться. Известно, что в прошлом условия на Марсе были не так суровы. Например, на его поверхности обнаружены следы водных потоков, это указывает на то, что климат тогда был теплее, а атмосфера плотнее. И хотя жизнь на Марсе так и не была обнаружена, существуют проекты более тщательного поиска там ее следов (может быть, она была там прежде).

Другие объекты Солнечной системы, где имеет смысл искать жизнь, – это подледные океаны таких спутников планет-гигантов, как Европа, Ганимед или Энцелад. Благодаря приливному сжатию и внутреннему радиоактивному нагреву вода подо льдом остается жидкой.

Условия там похожи на те, что были в океане с подводными вулканами на молодой Земле. Сейчас разрабатываются проекты доставки подводных исследовательских аппаратов в океаны таких спутников. Основная проблема таких проектов – необходимость преодолевать многокилометровый слой льда (рис. 132).

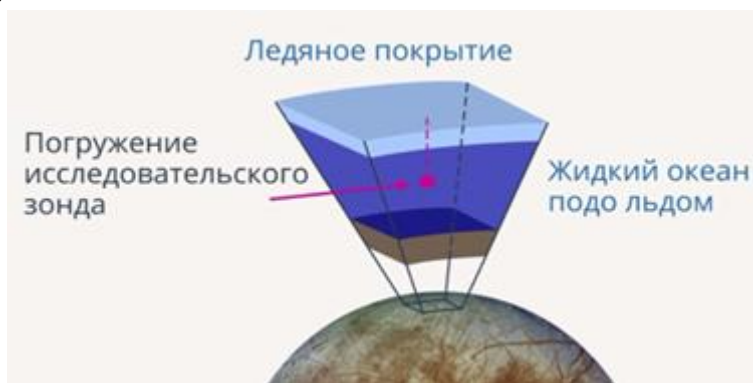


Рисунок 132 – Проект исследования подледных водоемов спутников

Сейчас считается, что жизнь на Земле возникла спонтанно, а не занесена из космоса. Однако считать это твердо доказанным нельзя. Например, на Землю падали метеориты с Марса. Эти метеориты образовывались при столкновениях с астероидами, астероид выбивает большой кусок поверхности Марса, который в качестве метеорита может достигнуть Земли и перенести на нее марсианский биологический материал (конечно, если он был в этом куске поверхности). Во всяком случае некоторые органические вещества в таких метеоритах обнаруживались.

Падения таких метеоритов случались в ранней Солнечной системе достаточно часто, и, возможно, мы все являемся потомками древних микроскопических марсиан. Это не обязательно были марсиане, простые организмы

могли попасть на Землю не только из Солнечной системы, потому что, будучи «запечатанными» в каменный метеорит, они могут перенести суровые условия длительного космического путешествия.

Гипотеза заселения Земли организмами, возникшими где-то далеко во Вселенной, называется панспермией. Эта теория была популярна сто лет назад, но теперь понятно, что она не объясняет происхождение жизни, а просто переносит это событие куда-то далеко от Земли.

С вероятными «обитаемыми» местами в Солнечной системе разобрались, но одиноки ли мы во Вселенной? Может быть, где-то в сотнях световых лет от нас существует планета, где ученики тоже изучают астрономию и обсуждают проблему существования жизни на других планетах и, в частности, на Земле. Одна группа ученых считает, что в огромной Галактике могут быть миллионы планет, где возникла жизнь, и среди них есть такие, где развилась цивилизация. Другая группа считает, что вероятность развития интеллекта настолько мала, что вряд ли где-то вне Земли есть еще одна цивилизация, по крайней мере в нашем ее представлении.

Рассмотрим аргументы в пользу множественности обитаемых миров. Сторонники идеи множественности обитаемых миров рассуждают следующим образом. На Земле жизнь возникла и развилась цивилизация. Таких планет, как Земля, в одном только Млечном Пути множество. Чтобы оценить их число, сначала прикинем, сколько в Галактике звезд с массой, приблизительно равной массе Солнца. Оказывается, их около 10 % от общего числа звезд в Галактике, т. е. $1/10$ от $10^{11} = 10^{10}$.

Следующий вопрос: у скольких из них есть планеты, похожие на Землю? То есть имеющие жидкую воду. А это в основном зависит от наличия атмосферы и ее температуры, т. е. от типа звезды (ее светимости) и расстояния до планеты. Если считать, что таких планет будет тоже $1/10$ от числа солнц, то у 10^9 планет физические условия подходят для возникновения жизни. Так как мы знаем, что жизнь на Земле развилась, по астрономическим меркам, очень быстро, можно считать, что вероятность возникновения жизни в подходящих условиях достаточно велика, т. е. она скорее порядка $1/100$, а не $1/1\,000\,000$. Другими словами, жизнь могла возникнуть в Галактике на 10 млн планетах.

Вероятность развития и сохранения цивилизации, которая может погибнуть от внешних (например, столкновения с астероидом) и внутренних (войн, эпидемий и т. п.) причин, эти ученые оценивают величиной $1/1000$. Следовательно, из 10 млн. планет, где возникла жизнь, на 10 000 возникнет и сохранится развитая цивилизация.

Конечно, приведенные оценки очень грубые и, возможно, слишком оптимистичные. Но давайте с ними согласимся и попробуем оценить расстояния между этими цивилизациями. Обратимся к чертежу. Пусть радиус диска Млечного Пути равен R , и пусть в нем есть N цивилизаций, которые равномерно распределены со средним расстоянием между ними d (рис. 133).

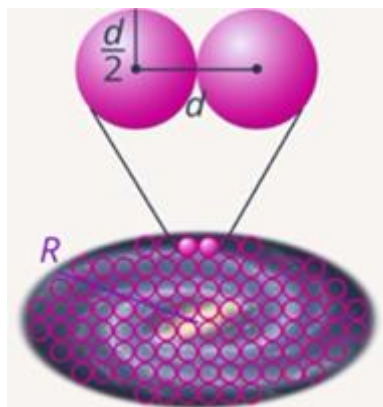


Рисунок 133 – Расстояние между предполагаемыми цивилизациями Галактики

Площадь диска Галактики πR^2 . Он плотно покрыт N цивилизациями радиуса $d/2$. Площадь покрытия $N \cdot \pi (d/2)^2$, следовательно, $\pi R^2 = N \cdot \pi (d/2)^2$, откуда $d = 2R/\sqrt{N}$. Если $R = 50\,000$ св. лет и $N = 10\,000$, то $d = 1000$ св. лет. Таким образом, даже при завышенных оценках расстояния между цивилизациями так велики, что какая-либо коммуникация между ними невозможна.

Аргументы в пользу единственности земной цивилизации. Сторонники этой идеи считают, что их оппоненты завышают вероятности в своих расчетах. Кроме того, они полагают, что цивилизации не вечны и их расцветы могут быть сдвинуты по времени. Так, если бы на Марсе была цивилизация, но всего лишь 200 лет назад по некоторой причине она прекратила свое существование, то мы не могли об этом узнать и связаться с ней, потому что на Земле еще не изобрели радио.

Еще один аргумент сторонников единственности – это парадокс, сформулированный итальянским физиком Ферми. Предположим, что бурное технологическое развитие приведет к тому, что через 1000 лет мы сможем совершать путешествия между звездами. Перелетая от звезды к звезде, мы постепенно колонизируем всю Галактику. Даже если перелет от звезды до звезды будет длиться тысячи лет, на колонизацию Галактики нам понадобится только несколько миллионов лет. В масштабах истории Галактики — это ничтожное время и, если бы существовали другие цивилизации, то какие-то из них давно уже побывали бы на Земле. Конечно, Ферми делает некоторые вольные предположения. Например, он считает, (1) что все цивилизации стремятся к экспансии, (2) что цивилизации скорее ищут контакты, чем избегают их, и (3) что все цивилизации стремятся в космос.

Изучение планет вне Солнечной системы интересно не только с точки зрения поиска жизни, но и с точки зрения закономерностей строения и эволюции Солнечной системы. Поэтому сотни лет астрономы мечтали обнаружить планеты, вращающиеся не вокруг Солнца, а вокруг других звезд Галактики. Но увидеть даже в мощный телескоп такие маленькие по сравнению с межзвездными расстояниями несветящиеся объекты было практически невозможно. Наконец в 1995 году первая экзопланета (планета вне Солнечной системы) была обнаружена.

К настоящему времени обнаружено уже около 4000 экзопланет. Для поиска планет за пределами Солнечной системы применяют космические теле-

скопы и используют методы, основанные на ослаблении света звезды, когда планета проходит по ее диску и частично заслоняет свет, или по измерению доплеровского смещения спектральных линий в звездном спектре из-за движения звезды вокруг общего центра масс звезды и экзопланеты. Большую часть обнаруженных экзопланет составляют планеты-гиганты. Это естественно, так как планеты типа Земли обнаружить значительно труднее. Таких экзопланет было найдено несколько сотен. Сейчас найдено около 40 экзопланет, движущихся на таких расстояниях от звезды, на которых они получают достаточно тепла для формирования условий, подходящих для возникновения жизни.

Для оценки пригодности экзопланеты для жизни был введен индекс подобия Земле. Этот индекс учитывает все известные параметры планеты и ее звезды, которые считаются важными для возникновения жизни (рис. 134).

Название планеты	Индекс подобия	Расстояние (св. лет)	Год открытия
Luyten b	0,91	12,2	2017
Проксима Центавра b	0,87	4,224	2016
KOI-3010.01	0,84	1213,4	2011
Gliese 667 Cc	0,84	23,6	2011
Kepler-442 b	0,83	1291,6	2015
Kepler-62 e	0,86	1199,7	2013
Kepler-452 b	0,86	1400	2015
Gliese 832 c	0,81	16,1	2017
Kepler-283 c	0,79	1496,8	2011
Земля	1,00	0	–
Марс	0,60	0	–
Меркурий	0,70	0	–
Венера	0,44	0	–

Рисунок 134 – Экзопланеты

Теперь основная цель наблюдения экзопланет – обнаружение у них атмосферы и определение ее химического состава. Если в химическом составе атмосферы будут обнаружены кислород, углекислый газ, метан и т. п., то на такой планете возможно наличие жизни.

СОДЕРЖАНИЕ

1	Тема 1 Предмет астрономии	3
1.1	Предмет и задачи астрономии	3
1.2	Подразделение астрономии	3
1.3	Основа и источник астрономических исследований	4
1.4	Геоцентрическая и гелиоцентрическая системы	7
1.5	История развития отечественной космонавтики	8
2	Тема 2 Основы практической астрономии	12
2.1	Небесная сфера	12
2.2	Небесные координаты	16
2.3	Звезды	20
2.4	Созвездия	23
2.5	Суточное движение светил на различных широтах	27
2.6	Эклиптика. Видимое движение Солнца и Луны	28
2.7	Движение Луны. Солнечные и лунные затмения	30
3	Тема 3 Законы движения небесных тел	35
3.1	Структура и масштабы Солнечной системы	35
3.2	Состав и масштабы солнечной системы	36
3.3	Конфигурации и условия видимости планет	36
3.4	Законы движения планет. Законы И.Кеплера	39
4	Тема 4 Солнечная система	44
4.1	Общая характеристика Солнечной системы	44
4.2	Планеты земной группы и их спутники	51
4.3	Планеты-гиганты	61
5	Тема 5 Методы астрономических исследований	70
5.1	Электромагнитное излучение, космические лучи и гравитационные волны как источник информации о природе и свойствах небесных тел	70
6	Тема 6 Звезды	74
6.1	Внутреннее строение Солнца	74
6.2	Перенос энергии к поверхности Солнца	76
6.3	Этапы синтеза гелия	78
6.4	Внешние слои Солнца	80
6.5	Вмороженность магнитного поля	82
6.6	Физическая природа звезд	84
6.7	Определение термодинамических параметров звезды по оптическим	85
6.8	Звезды главной последовательности	87
6.9	Красные гиганты и сверхгиганты	88
6.10	Белые карлики	88
6.11	Двойные звезды, нейтронные звезды, черные дыры. Новые и сверхновые звезды	89
6.12	Нейтронные звезды	89
6.13	Черные дыры	89

6.14	Эволюция звезд	92
7	Тема 7 Наша Галактика – Млечный Путь	94
7.1	Строение и эволюция Вселенной	94
8	Тема 8 Галактики. Строение и эволюция Вселенной	99
8.1	Эффект Доплера	101
8.2	Космология	104
8.3	Модели искажения пространства	107
8.4	Жизнь во Вселенной	110
	Содержание	115