

Конспект лекций **Астрономия**

Урюпинск
2020 г

Материал учебной дисциплины Астрономия представлен в виде краткого курса лекций, который, тем не менее, охватывает широкий круг наиболее важных тем, предусмотренных федеральным государственным стандартом среднего общего образования.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
Тема 1. Предмет астрономии	
Лекция 1. Роль астрономии в развитии цивилизации	5
Лекция 2. История развития отечественной космонавтики.....	9
Тема 2. Основы практической астрономии	
Лекция 3. Звездное небо. Небесная сфера.....	12
Лекция 4. Небесные координаты. Звездные карты.....	15
Лекция 5. Суточное движение светил.....	18
Тема 3. Законы движения небесных тел	
Лекция 6. Структура и масштабы Солнечной системы.....	27
Лекция 7. Законы движения планет.....	31
Тема 4. Солнечная система	
Лекция 8. Современные представления о солнечной системе. Планета Земля.....	33
Лекция 9. Планеты земной группы.....	38
Тема 5. Методы астрономических исследований	
Лекция 10. Электромагнитное излучение, космические лучи и гравитационные волны как источник информации о природе и свойствах небесных тел.....	43
Тема 6. Звезды	
Лекция 11. Звезды: основные физико-химические характеристики и их взаимная связь.....	47
Лекция 12. Виды звезд.	51
Лекция 13. Строение Солнца, солнечной атмосферы.....	55
Тема 7. Наша Галактика – Млечный путь	
Лекция 14. Состав и структура Галактики	61
Лекция 15. Многообразие галактик и их основные характеристики	63
Тема 8. Строение и эволюция Вселенной	
Лекция 16. Конечность и бесконечность вселенной - парадоксы классической космологии. Современные проблемы астрономии.....	67
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	72
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	73

ВВЕДЕНИЕ

Изучение астрономии направлено на достижение следующих целей:

- осознание принципиальной роли астрономии в познании фундаментальных законов природы и формирования естественнонаучной картины мира;
- приобретение знаний о физической природе небесных тел и систем, строения эволюции Вселенной, пространственных и временных масштабах Вселенной, наиболее важных астрономических открытиях, определивших развитие науки и техники;
- овладение умениями объяснять видимое положение и движение небесных тел принципами определения местоположения и времени по астрономическим объектам, навыками практического использования компьютерных приложений для определения вида звездного неба в конкретном пункте для заданного времени;
- развитие познавательных интересов, интеллектуальных и творческих способностей в процессе приобретения знаний по астрономии с использованием различных источников информации и современных информационных технологий;
- формирование научного мировоззрения;
- формирование навыков использования естественнонаучных и физико-математических знаний для объектного анализа устройства окружающего мира на примере достижений современной астрофизики, астрономии и космонавтики.

Как видно из поставленных целей, астрономия призвана стать для каждого студента предметом, формирующим не только единую естественнонаучную картину мира, но и познавательные интересы, интеллектуальные и творческие способности. Нельзя не отметить важную роль предмета в становлении гражданской позиции и патриотическом воспитании студентов.

Лекция 1. Роль астрономии в развитии цивилизации

Астрономия – наука о Вселенной, изучающая видимое и кажущееся 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;
- ✓ материю, заполняющую все пространство.

Новые объекты астрономии:

- ✓ пульсары; - квазары (квазизвездные радиоисточники);
- ✓ космические лучи (частицы высоких энергий);
- ✓ микроволновое фоновое (реликтовое) излучение;
- ✓ поиск теоретически предсказанных черных дыр и гравитационных волн;
- ✓ структура пространства – времени Вселенной с позиции космологии;
- ✓ поиск внеземных цивилизаций и разработка способов контактов с ними.

Таким образом, предметом изучения астрономии являются все объекты, видимые невооруженным глазом и с помощью приборов, размещенных на наземных обсерваториях и космических аппаратах. Астрономические объекты различны по своим масштабам.

Возникновение и развитие астрономии

Потребность в астрономических знаниях диктовалась жизненной необходимостью:

1. Счета времени (календарь).
2. Находить дорогу по звездам, особенно мореплавателям
3. Любознательность – разобраться в происходящих явлениях и поставить их себе на службу.
4. Забота о своей судьбе, породившая астрологию.

За **3 тыс. лет до н.э.** египетские жрецы отмечали связь разлива Нила с появлением яркой звезды Сириус.

За **4-2 тыс. лет до н.э.** в Древнем Китае астрономы могли предсказывать наступление солнечных и лунных затмений.

К **VIII в. до н.э.** относятся первые записи астрономических наблюдений, подлинность которых не вызывает сомнения.

Астрономические наблюдения необходимы кочевым племенам первобытного общества, древним земледельцам.

II в. до н.э. На базе геоцентрической системы мира разработаны теории видимых движений Луны и Солнца. (большой вклад внес Гиппарх).

II в. н.э. Птолемей создал наиболее совершенную геоцентрическую теорию.

Средние века: В Европе наука в упадке. Значительных успехов достигли арабские и среднеазиатские астрономы.

Исключительных результатов добились среднеазиатские ученые Бируни (973-1048гг.), Улугбек (1394-1449гг.).

1610 г. – Галилей первым использовал зрительную трубу в качестве телескопа, открыл спутники Юпитера, обнаружение фаз Венеры.

1843 г. – опубликован труд польского ученого Николая Коперника (1473-1543гг.) с гелиоцентрической системой мира.

И.Ньютон (1643-1727гг.) – аксиомы динамики и закон всемирного тяготения привели к бурному развитию **небесной механики**.

Лагранж (1736-1813 гг.), Лаплас (1749-1827гг.) – заложили основы современной теории движения планет и Луны.

1846 г. – открытие планеты Нептун по вычислениям Леверье (Франция) и Адамса (Англия) возмущений орбиты Урана.

С середины XIX в. в астрономии используется фотография и спектральный анализ.

К началу второй четверти XX века:

– выяснилось, что звезды входят в состав грандиозной звездной системы – Галактики;

– что спиральные туманности – аналогичные звездные системы – Галактики;

– обнаружено разбегание галактик, что указывало на расширение видимой части Вселенной – Метагалактики.

30 – е годы XX в. – благодаря кварцевой оптике стало возможным изучать ультрафиолетовое излучение в небесных объектов.

1930г.-открытие Плутона

40 – е годы XX в. – возникла радиоастрономия, благодаря которой обнаружены новые классы небесных тел – квазары, пульсары, фоновое реликтовое микроволновое радиоизлучение, похожее на излучение абсолютно черного тела с температурой около 3К.

1957 г. – запуск ИСЗ, превращение астрономии из науки наблюдательной, в науку экспериментальную.

1959 г. – создание космических станций.

1961 г. – первый полет человека в космос.

1961 г. – впервые обнаружено гамма излучение, исходящее из центра Галактики.

1969 г. – первая высадка людей на Луну.

1970 г. – советская автоматическая межпланетная станция Луна-16 совершила мягкую посадку на поверхности Луны в районе Моря Изобилия. Непосредственно перед стартом был произведен забор лунного грунта, который в специальной капсуле был помещен в возвращаемый аппарат.

1971г.-Американская автоматическая межпланетная станция Mariner-9 выведена на орбиту Марса и стала первым в мире искусственным спутником Марса.

1975г.-Открыт новый тип звезд ПОЛЯРЫ

1977г.-Открыты кольца Урана

1978г.-Открыт первый спутник Плутона – Харон

1979г.-Первое исследование Сатурна

1986г.-Первый КА исследует планету Уран

1988г.-На Плуtone открыта атмосфера

1991г.-Первая фотография астероида КА ГАЛИЛЕО

1994г.-Открыта спиральная форма магнитного поля Солнца

1995г.-Получено первое изображение звезды БЕТЕЛЬГЕЙЗЕ

1997г.-Исследование Марса первым марсоходом.

1999г.-Обнаруженно первое подтверждение рождение черной дыры

Нач. XXI в. дало миру ограниченные варианты квантовых компьютеров, с помощью которых возможно совершать сверхскоростные вычисления.

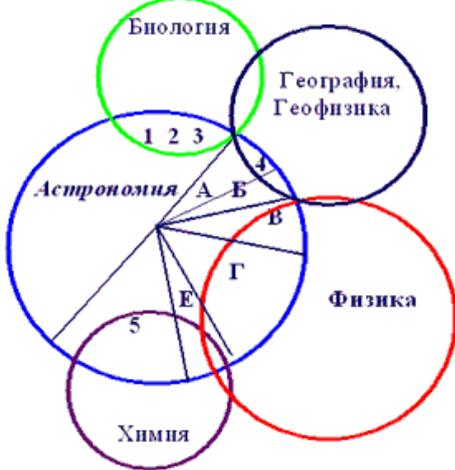
2009 г. - ознаменовался сборкой американскими физиками первого программируемого квантового компьютера.

2012 г.- разработан фотонный квантовый компьютер, который способен проводить вычисления не последовательно, как классические ЭВМ, а одновременно, что увеличивает скорость получения результата.

2014 г. - открытие Ланиакеи, сверхскопления галактик, в котором, в частности, содержится Сверхскопление Девы (составной частью которого является Местная группа, содержащая галактику Млечный Путь с Солнечной системой) и Великий аттрактор, в котором расположен центр тяжести Ланиакеи.

2016 г. - открытие гравитационных волн, начало гравитационно-волновой астрономии.

Таблица 1 - Связь астрономии с другими науками

<p>Философия</p> <p>Астрономия → Математика с 17в</p> <p>Физика</p>	<p>1 - гелиобиология</p> <p>2 - ксенобиология</p> <p>3 - космическая биология и медицина</p> <p>4 - математическая география</p> <p>5 - космохимия</p> <p>А - сферическая астрономия</p> <p>Б - астрометрия</p> <p>В - небесная механика</p> <p>Г - астрофизика</p> <p>Д - космология</p> <p>Е - космогония</p> <p>Ж - космофизика</p>
	

Основные разделы астрономии:

Классическая астрономия	Астрометрия:	Сферическая астрономия	изучает положение, видимое и собственное движение космических тел и решает задачи, связанные с определением положений светил на небесной сфере, составлением звездных каталогов и карт, теоретическим основам счета времени.
		Фундаментальная астрометрия	ведет работу по определению фундаментальных астрономических постоянных и теоретическому обоснованию составления фундаментальных астрономических каталогов
		Практическая астрономия	занимается определением времени и географических координат, обеспечивает Службу Времени, вычисление и составление календарей, географических и топографических карт; астрономические методы ориентации широко применяются в мореплавании, авиации и космонавтике
	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.
Совр		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.
	Космогония	изучает происхождение и развитие космических объектов и их систем (в частности Солнечной системы).
	Космология	исследует происхождение, основные физические характеристики, свойства и эволюцию Вселенной. Теоретической основой ее являются современные физические теории и данные астрофизики и внегалактической астрономии.

Особенности астрономических наблюдений

1. Пассивный характер большинства астрономических наблюдений. Исследователи не могут активно влиять на небесные тела, ставить опыты.

2. Невозможность в большинстве случаев **непосредственных** измерений. Только использование космических аппаратов (КА) дало возможность проводить непосредственные измерения на Луне и ближайших планетах.

3. Медленный характер небесных явлений, что требует громадных сроков наблюдения. Пример: наклон земной оси к плоскости ее орбиты становится заметным по истечении сотен лет.

4. Движение Земли – вращение вокруг своей оси и обращение вокруг Солнца. Движение небесных тел описывается по отношению к земному наблюдению, нередко считая его неподвижным. Пример: мы говорим:

- о восходе и заходе светил, хотя известно, что это следствие вращения Земли вокруг своей оси;

- о годичном движении Солнца по созвездиям, которое является следствием обращения Земли вокруг Солнца. Пример: изменение вида неба для земного наблюдателя в течении года. Он (вид) зависит не только от того, в какое время суток и года идет наблюдение.

5. Очень большая **удаленность** светил. Следствие этого – кажущаяся **одинаковая радиальная** удаленность.

Расстояние между объектами измеряется углом. **Угловое расстояние** – угол, образованный лучами, идущими к объектам из точки наблюдения. **Высота** (h) светила над горизонтом – угловое расстояние светила от горизонта.

6. 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*).

Виды телескопов

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.

В телескопах-рефракторах (а) свет собирается 2х-линзовым объективом и фокусируется в точке F. Телескоп-рефлектор же (b) использует для этой цели вогнутое зеркало. В зеркально-линзовых, или катадиоптрических, телескопах (с) применяется сочетание линз и зеркал, что позволяет применять более короткие и портативные трубы. Все телескопы используют окуляр (расположенный за точкой фокуса F) для увеличения изображения, сформированного основной оптической системой.

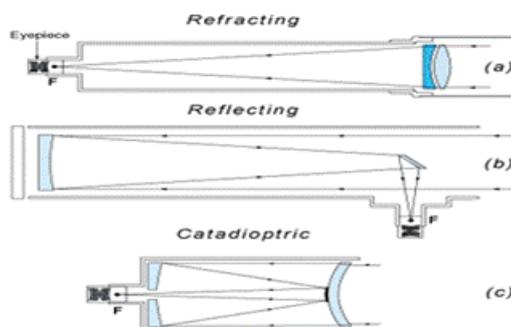


Рисунок 1 – Телескоп-рефрактор

Лекция 2. 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 активно работали Ф.А. Цандер, В.П. Ветчинкин, М.К. Тихонравов, Ю.А. Победоносцев, Н.И.

Тихомиров, И.Т. Клейменов, В.П. Глушко и другие, 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 ВОВ 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 различные 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 нацеливал коллектив на одновременную разработку и выполнение программ изучения и освоения космоса, начиная с научных исследований верхних слоев атмосферы Земли. Поэтому за

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.

Все 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.



Рисунок 2 – Первый искусственный спутник земли

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 животными, 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.

Первый полет в космос

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.



Рисунок 3 – Ю. А. Гагарин

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».

Сегодня освоение космоса продолжается. Успехи прошлого принесли свои плоды — человек уже побывал на Луне и готовится к непосредственному знакомству с Марсом. Однако программы пилотируемых полетов сейчас развиваются меньше, чем проекты автоматических межпланетных станций. Современное состояние космонавтики таково, что создаваемые аппараты способны передавать на Землю информацию о далеком Сатурне, Юпитере и Плутоне, посещать Меркурий и даже исследовать метеориты. Параллельно развивается космический туризм. Огромное значение сегодня имеют международные контакты. Мировое сообщество постепенно приходит к мысли, что великие прорывы и открытия происходят быстрее и чаще, если объединять усилия и возможности разных стран.

Лекция 3. Звездное небо. Небесная сфера

Звездное небо. Созвездия

Для наблюдателя, находящегося в любой точке земной поверхности все небесные светила видны на некоторой воображаемой поверхности, которая называется **небесным сводом**.



Рисунок 4 – Звездное небо

Невооруженным взглядом в безоблачную ночь над горизонтом видно около 3000 звезд. Взаимное расположение звезд на небе изменяется очень медленно. Древние народы, жившие 3-4 тысячи лет назад, видели звездное небо почти таким же, каким оно видно в настоящее время.

В древности группы ярких звезд объединили в **созвездия**. Им присвоили имена, взятые из мифов о богах, героях, различных предметах. У различных народов созвездия имели свои названия.

В III в до н.э. греческие астрономы свели названия созвездий в единую систему, которая впоследствии заимствовала европейская наука. Поэтому все яркие созвездия сохранили греческие названия: Большая Медведица, Малая Медведица, Кассиопея, Андромеда, Персей, Ориона и др.

В конце XVII в. были выделены малозаметные созвездия: созвездия Лисички, Ящерицы, Жирафа, Голубя и др.

В XVIII в. на небе южного полушария Земли образованы созвездия с техническими названиями: Телескоп, Микроскоп, Печь, Насос и др.

В 1922 г. на I съезде международного астрономического союза все небо разделено на **88 созвездий**, разделенных прямыми линиями. Теперь **созвездие** – это не только яркие звезды, а участок неба с определенными границами.

С XVII в. отдельные звезды в созвездии стали обозначать буквами греческого алфавита. Позже введена числовая нумерация звезд в созвездии.

Собственные имена есть у наиболее ярких звезд. Их около 130. Примеры: α Большого Пса – Сириус, α Возничего – Капелла.

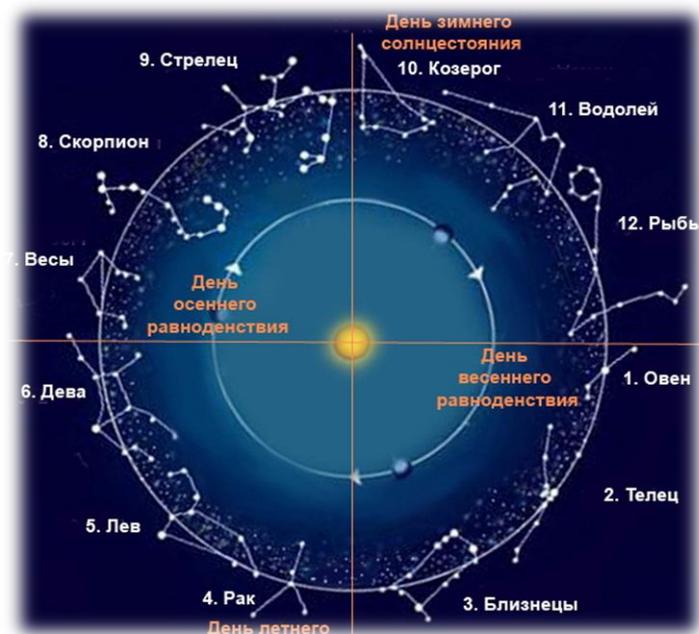


Рисунок 5 - Созвездия

Обозначение звезд буквами предложил немецкий астроном И. Байер в начале XVIIв. В каждом созвездии самая яркая звезда – α (альфа), следующая по яркости β (бета), затем – γ (гамма) и т.д. в последовательности букв греческого алфавита (есть отклонения). За греческой буквой при обозначении звезды обычно следует латинское название созвездия, в котором она находится, в родительном падеже. Трехбуквенное обозначение созвездия – стандартное название.

Созвездия зодиака

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, именуется *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.

Небесная сфера

Небесная сфера – воображаемая сфера произвольного радиуса с центром в точке наблюдения



Рисунок 6 - Основные точки и линии небесной сферы

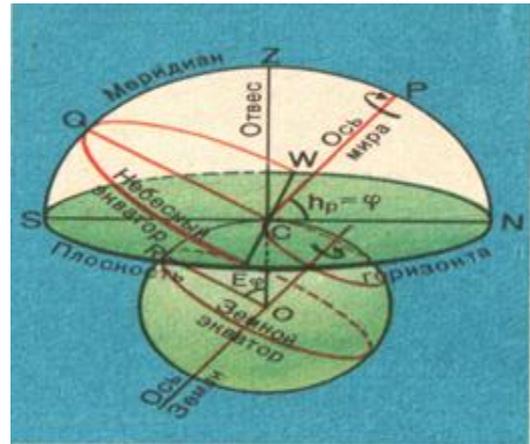


Рисунок 7 - Соотношение между линиями и плоскостями небесной сферы и на земном шаре

Северный полюс мира (СПМ), т.Р – точка на небесной сфере, которая остается неподвижной при суточном движении звезд. (вследствие вращения Земли).

Близко к СПМ находится **Полярная звезда** (α Б.Медведицы).

Диаметрально противоположная СПМ точка на небесной сфере называется **южным полюсом мира (ЮПМ), т.Р'**. Для наблюдателя северного полушария Земли ЮПМ находится под горизонтом.

Отвесная или вертикальная линия – линия, проходящая через центр небесной сферы и совпадающая с направлением нити отвеса в месте наблюдения.

Точка зенита Z – точка пересечения отвесной линии ZCZ' , проходящей через наблюдателя, с небесной сферой.

Точка надира Z' – диаметрально противоположная точке зенита.

Плоскость истинного или математического горизонта (NESM) – плоскость перпендикулярная отвесной линии ZZ' , эта плоскость касается поверхности земного шара в точке, где расположен наблюдатель.

Видимая полусфера небесной сферы находится над плоскостью горизонта, **невидимая** – под ней.

Ось мира – ось видимого вращения небесной сферы, соединяет полюсы мира P и P' и проходит через наблюдателя «С».

Ось мира для любого наблюдателя параллельна оси вращения Земли.

Точка севера N – лежит на горизонте под северным полюсом мира.

Точка юга S – диаметрально противоположная N в плоскости горизонта.

Полуденная линия – линия NCS , соединяющая точки севера и юга и проходящая через точку наблюдения. Название – следствие того, что вдоль этой линии в полдень падает тень от вертикально поставленного стержня.

Линия горизонта – линия пересечения небесной сферы и плоскости истинного горизонта.

Примечание: **Видимый горизонт** – линия вдоль которой небо сходится с Землей.

Точки востока E и запада W лежат на линии горизонта и отстоят от точек N и S на 90° .

Небесный меридиан – большой круг небесной сферы PZSP'Z'NP. Плоскость небесного меридиана проходит через отвесную линию. Или: отвесная линия лежит в плоскости небесного меридиана.

Небесный экватор – большой круг небесной сферы, плоскость которого перпендикулярна оси мира. Он делит небесную сферу на два полушария: **северное (сР)** и **южное (сР')**.

Верхняя Q и нижняя Q' точки экватора – точки пересечения небесного экватора и небесного меридиана.

Примечание: северный полюс мира тот, со стороны которого вращение небесной сферы происходит по часовой стрелке, если смотреть на сферу из вне.

Вследствие вращения Земли вокруг своей оси наблюдается суточное вращение небесной сферы.

Лекция 4. Небесные координаты. Звездные карты

Видимое суточное движение звезд. Небесная Сфера

Из-за осевого вращения Земли звезды нам кажутся перемещающимися по небу. Если стать лицом к южной стороне горизонта и наблюдать суточное движение звезд в средних широтах северного полушария Земли, то можно заметить, что звезды восходят на восточной стороне горизонта, поднимаются выше всего над южной стороной горизонта и заходят на западной стороне, т. е. они движутся слева направо, по ходу часовой стрелки. При внимательном наблюдении можно заметить, что Полярная звезда почти не меняет положения относительно горизонта. Все же другие звезды описывают в течение суток полные круги с центром вблизи Полярной. В этом можно легко убедиться, проделав в безлунную ночь следующий опыт. Фотоаппарат, установленный на "бесконечность", направим на Полярную звезду и надежно укрепим в этом положении. Откроем затвор при полностью открытом объективе на полчаса или час. Проявив полученный таким образом снимок, увидим на нем концентрические дуги - следы путей звезд. Общий центр этих дуг - точка, которая остается неподвижной при суточном движении звезд, условно называется *северным полюсом* мира. Полярная звезда к нему очень близка. Диаметрально противоположная ему точка называется *южным полюсом* мира. Для наблюдателя северного полушария Земли он находится под горизонтом.

Звездные карты и небесные координаты

Чтобы сделать звездную карту, изображающую созвездия на плоскости, надо знать координаты звезд. Координаты звезд относительно горизонта, например, высота, хотя и наглядны, но непригодны для составления карт, так как все время меняются. Надо использовать такую систему координат, которая вращалась бы вместе со звездным небом. Такой системой координат является *экваториальная система*, она так названа потому, что экватор служит той плоскостью, от которой и в которой производятся отсчеты координат. В этой системе одной координатой является *угловое расстояние светила от небесного экватора, называемое склонением* δ . Оно меняется в пределах $\pm 90^\circ$ и считается положительным к северу от экватора и отрицательным к югу. Склонение аналогично географической широте.

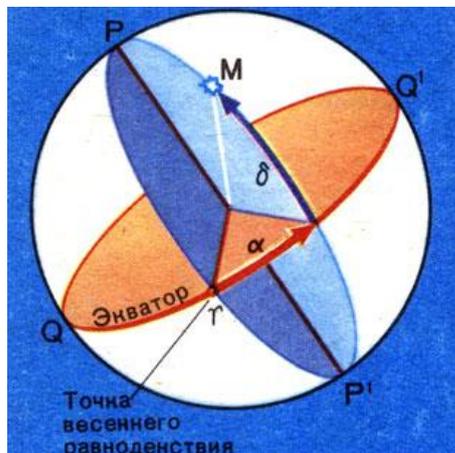


Рисунок 8 -Экваториальные координаты

Вторая координата аналогична географической долготе и называется *прямым восхождением α* .

*Прямое восхождение светила M измеряется углом между плоскостями больших кругов, один проходит через полюсы мира и данное светило M , а другой - через полюсы мира и точку *весеннего равноденствия* γ , лежащую на экваторе (см. рис. 8). Так назвали эту точку потому, что в ней Солнце бывает (на небесной сфере) весной 20-21 марта, когда день равен ночи.*

Прямое восхождение отсчитывают по дуге небесного экватора от точки весеннего равноденствия против хода часовой стрелки, если смотреть с северного полюса. Оно изменяется в пределах от 0 до 360° и называется прямым восхождением потому, что звезды, расположенные на небесном экваторе, восходят (и заходят) в порядке возрастания их прямого восхождения. Поскольку это явление связано с вращением Земли, то прямое восхождение принято выражать не в градусах, а в единицах времени. За 24 ч Земля (а нам кажется, что звезды) совершает один оборот - 360°. Следовательно, 360° соответствуют 24 ч, тогда 15°-1 ч, 1°-4 мин, 15'-1 мин, 15"-1 с. Например, 90° составляют 6 ч, а 7 ч 18 мин - 109°30'.

Астрономические (небесные) координаты

Небесные координаты – это две величины, определяющие положение светила на небесной сфере. Он вводится с помощью основных плоскостей, линий и точек небесной сферы. Для решения различных задач используются различные системы небесных координат (СНК). Они отличаются выбором основной плоскости и началом отсчета.

А) Горизонтальная СНК:

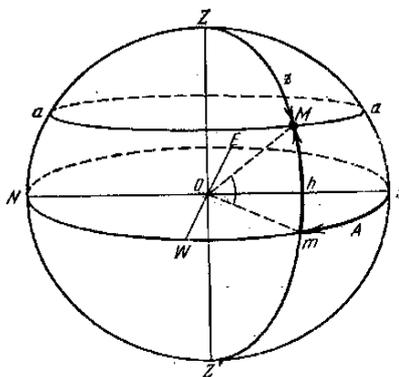


Рисунок 9 - Небесная сфера и горизонтальная система координат

Понятия:

Вертикальный круг (круг высоты, вертикал) – большой полукруг небесной сферы ZMZ' проходящий через зенит, светилом и надир.

Координаты:

- 1) зенитное расстояние Z (или высота светила над горизонтом h)
- 2) азимут A .

Высота h светила M – дуга mM , отсчитывается от математического горизонта до светила или центральный угол mOM в плоскости вертикального круга.

$h = 0 / 90^\circ$ для светил видимой части небесной сферы (1).

$h = 0 / (-90^\circ)$ – в невидимой части (2).

Зенитное расстояние Z – дуга ZM вертикального круга светила M или центральный угол ZOM . $Z + h = 90^\circ$ (3).

Альмукантарат светила – малый круг небесной сферы, проходящий через светило в плоскости, параллельной плоскости математического горизонта.

Светила, находящиеся на одном альмукантарате имеют одинаковые Z и h .

Азимут A – дуга Sm математического горизонта от точки S юга до вертикального круга, проходящего через светило. (или A – центральный угол Som).

Азимуты отсчитываются в сторону вращения небесной сферы к западу от т. S в пределах $0 / 360^\circ$. Или $0 / 180^\circ$ (западные азимуты); от 0° до -180° – восточные азимуты.

Б) Первая экваториальная система координат (ПЭСК) (рис 10):

Основная плоскость – плоскость небесного экватора. **Начало отсчета** – точка Q небесного экватора.

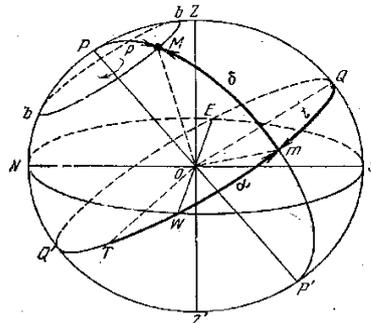


Рисунок 10 - Небесная сфера и экваториальные системы координат

Понятия:

Часовой угол или круг склонения – большой полукруг небесной сферы (PMP'), проходящий через полюсы мира и светило M .

Координаты:

- 1) **Склонение δ** – дуга mM часового круга или центральный угол mOM .

$\delta = 0 \div 90^\circ$ от небесного экватора к северному полюсу мира (4).

$\delta = 0 \div (-90^\circ)$ – к южному полюсу мира (5).

Вместо склонения используется P – полярное расстояние – дуга PM или угол POM .

$P + \delta = 90^\circ$ (по модулю) (6).

Понятие:

Суточная или небесная параллель: малый круг в $M\delta$ небесной сферы, плоскость которого параллельна плоскости небесного экватора.

Светила, находящиеся на одной суточной параллели, имеют одинаковые δ и P .

2) **Часовой угол** светила M – дуга Qm небесного экватора от т. Q до часового круга, проходящего через светило или центральный угол QOm в плоскости небесного экватора.

Часовые углы отсчитываются в сторону суточного вращения небесной сферы от т. Q в пределах от 0^0 до 360^0 или от 0^h до 24^h (в часовой мере) светила, находящиеся на одном круге склонения, имеют одинаковые t .

В) Вторая экваториальная СНК

Координаты:

1) **δ или h** – как в первой ЭСНК.

2) **Прямое восхождение α** – дуга небесного экватора Ym от точки весеннего равноденствия до часового круга, проходящего через светило. Или: центральный угол YOm .

Отсчитывается в сторону, противоположную суточному вращению небесной сферы в пределах от 0^0 до 360^0 или от 0 до 24 часов.

Светила на одном часовом круге имеют одинаковые α .

Координаты **Z , h , A , t** – непрерывно изменяются вследствие суточного вращения небесной сферы, так как они отсчитываются от неподвижных точек, не участвующих во вращении.

Координаты **α , δ** не изменяются, так как они отсчитываются от точек, которые сами участвуют во вращении.

Лекция 5. Суточное движение светил.

Суточное движение светил на различных широтах

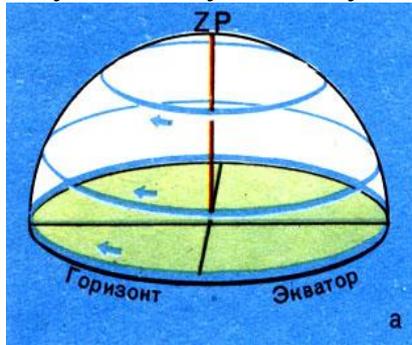
Теперь мы знаем, что с изменением географической широты места наблюдения меняется ориентация оси вращения небесной сферы относительно горизонта. Рассмотрим, какими будут видимые движения небесных светил в районе Северного полюса, на экваторе и на средних широтах Земли.

На полюсе Земли полюс мира находится в зените, и звезды движутся по кругам, параллельным горизонту (рисунок 11а). Здесь звезды не заходят и не восходят, их высота над горизонтом неизменная.

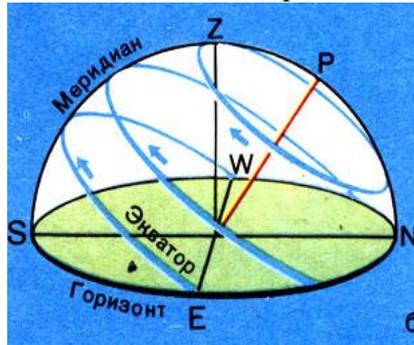
На средних географических широтах существуют как *восходящие* и *заходящие* звезды, так и те, которые никогда не опускаются под горизонт (рисунок 11 б). Например, околополярные созвездия на географических широтах России никогда не заходят. Созвездия, расположенные дальше от северного полюса мира, показываются 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 (рисунок 11 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 (рисунок 11 в).

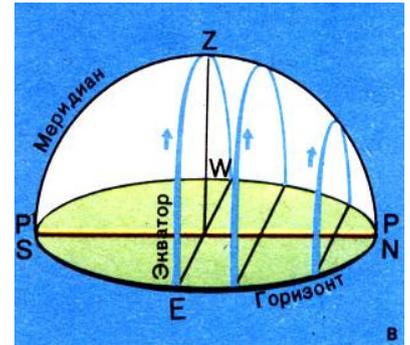
Рисунок 11 - Суточные пути светил относительно горизонта для наблюдателя, находящегося:



а - на полюсе Земли;



б - в средних географических широтах;



в - на экваторе

Высота светил в кульминации

Полюс мира при кажущемся вращении неба, отражающем вращение Земли вокруг оси, занимает неизменное положение над горизонтом на данной широте. Звезды за сутки описывают над горизонтом вокруг оси мира круги, параллельные небесному экватору. При этом каждое светило за сутки дважды пересекает небесный меридиан.

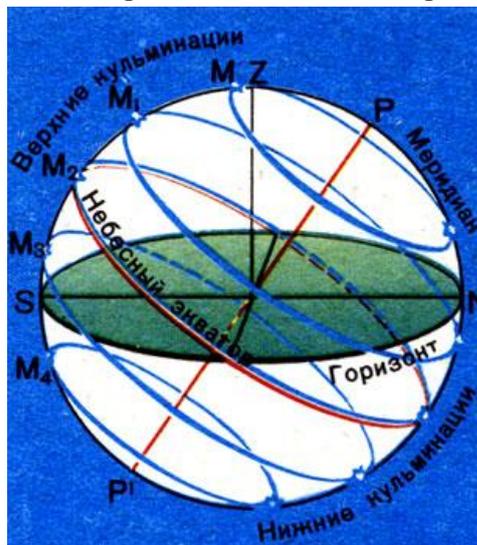


Рисунок 12 - Верхние и нижние кульминации светил

Явления прохождения светил через небесный меридиан относительно горизонта для называются кульминациями. В верхней кульминации высота светила максимальна, а в нижней кульминации - минимальна. Промежуток времени между кульминациями равен половине суток.

У не заходящего на данной широте φ светила M (см. рис. 12) видны (над горизонтом) обе кульминации, у звезд, которые восходят и заходят (M_1, M_2, M_3), нижняя кульминация происходит под горизонтом, ниже точки севера. У светила M_4 , находящегося далеко к югу от небесного экватора, обе кульминации могут быть невидимы (светило невосходящее).

Момент верхней кульминации центра Солнца называется истинным полднем, а момент нижней кульминации - истинной полночью.

Найдем зависимость между высотой h светила M в верхней кульминации, его склонением δ и широтой местности φ . Для этого воспользуемся рисунком 13, на котором изображены отвесная линия ZZ' , ось мира PP' и проекции небесного экватора QQ' и линии горизонта NS на плоскость небесного меридиана ($PZSP'N$).

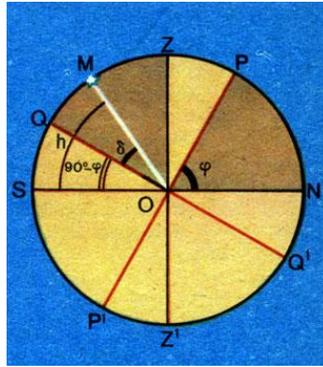


Рисунок 13 - Высота светила в верхней кульминации

Мы знаем, что высота полюса мира над горизонтом равна географической широте места, т. е. $h_p = \varphi$. Следовательно, угол между полуденной линией NS и осью мира PP' равен широте местности φ , т.е. $\angle PON = h_p = \varphi$. Очевидно, что наклон плоскости небесного экватора к горизонту, измеряемый $\angle QOS$, будет равен $90^\circ - \varphi$, так как $\angle QOZ = \angle PON$ как углы с взаимно перпендикулярными сторонами (см. рис.13). Тогда звезда M со склонением δ , кульминирующая к югу от зенита, имеет в верхней кульминации высоту

$$h = 90^\circ - \varphi + \delta. \quad (7)$$

Из этой формулы видно, что географическую широту можно определить, измеряя высоту любого светила с известным склонением δ в верхней кульминации. При этом следует учитывать, что если светило в момент кульминации.

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* (рис14).



Рисунок 14 - Эклиптика и небесный экватор

Так как Луна совершает один оборот навстречу вращению неба за месяц и потому проходит за сутки не 1° , а примерно 13° , то ее кульминации запаздывают ежесуточно уже не на 4 мин, а на 50 мин.

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 (рис. 15). Поэтому в дни равноденствий пути Солнца над и под горизонтом равны, следовательно, равны продолжительности дня и ночи.

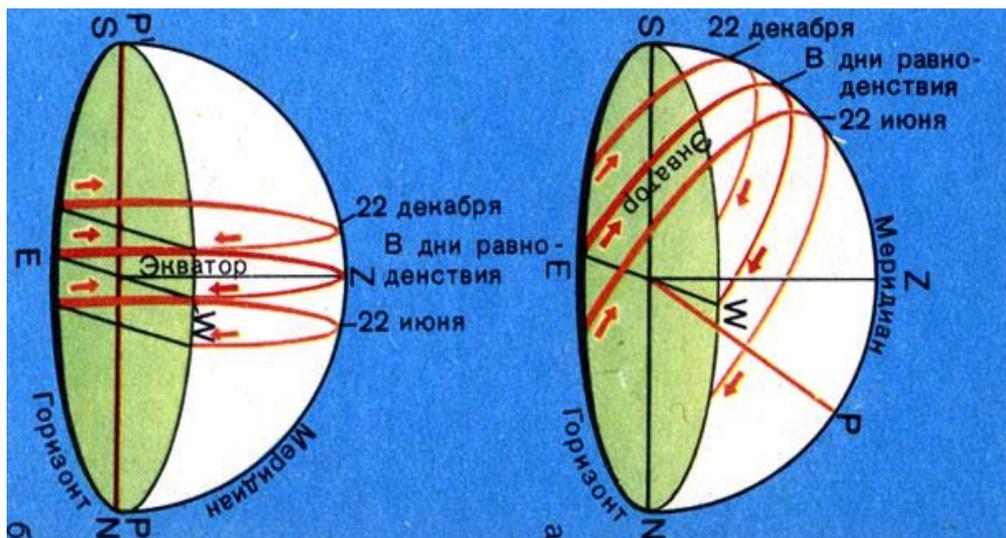


Рисунок 15- Суточные пути Солнца над горизонтом в разные времена года при наблюдениях:
а - в средних географических широтах; б - на экваторе Земли

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. (Из курса физической географии вы знаете, что различия в условиях освещения и нагревания Земли Солнцем определяют ее климатические пояса и смену времен года.)

Обожествление Солнца в древности породило мифы, описывающие периодически повторяющиеся события "рождения", "воскресения" "бога - Солнца" в течение года: умирание природы зимой, ее возрождение весной и т. п. Христианские праздники носят в себе следы культа Солнца.

Путь Солнца пролегает через 12 созвездий, называемых *зодиакальными* (от греческого слова зоо - животное), а их совокупность называется поясом зодиака. В него входят следующие созвездия:

Рыбы, Овен, Телец, Близнецы, Рак, Лев, Дева, Весы, Скорпион, Стрелец, Козерог, Водолей.

Каждое зодиакальное созвездие Солнце проходит около месяца. Точка весеннего равноденствия  (одно из двух пересечений эклиптики с небесным экватором) находится в созвездии Рыб.

Понятно, что в полночь верхнюю кульминацию проходит зодиакальное созвездие, противоположное тому, в котором находится Солнце. Например, в марте Солнце проходит по созвездию Рыб, а в полночь кульминирует созвездие Девы.

Итак, мы убедились, что видимое движение Луны, которая обращается вокруг Земли, и Солнца, вокруг которого обращается Земля, обнаруживается и описывается одинаково. И на основе только этих наблюдений нельзя решить, движется ли Солнце вокруг Земли или Земля вокруг него.

Планеты перемещаются на фоне звездного неба более сложным образом. Они движутся то в одну, то в другую сторону, иногда медленно выписывая петли. Это обусловлено сочетанием их истинного движения с движением Земли. На звездном небе планеты (в переводе с древнегреческого "блуждающие") не занимают постоянного места, так же как Луна и Солнце. Поэтому на карте звездного неба положение Солнца, Луны и планет можно указать лишь для определенного момента.

Движение Луны. Солнечные и лунные затмения

1. 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



Рисунок 16 - Смена лунных фаз (солнечные лучи падают слева, вверху изображены лунные фазы, видимые с Земли)

Когда Луна видна нам 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 7 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 TT_1 , равную почти 27° , так как каждые сутки она смещается примерно на 1° . Чтобы Луна L_1 заняла прежнее положение относительно Солнца и Земли T_1 (пришла в новолуние), потребуется еще двое суток. Действительно, Луна проходит за сутки $360^\circ:27,3 \text{ сут} = 13^\circ/\text{сут}$, чтобы пройти 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.

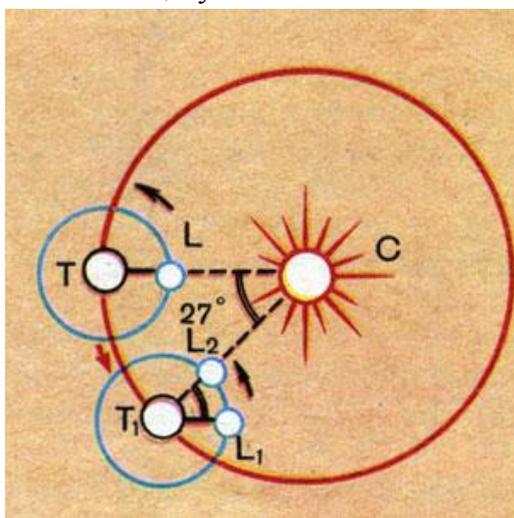


Рисунок 17 - Различие между звездным и синодическим месяцем

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.



Рисунок 18 – Луна и Земля из космоса

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. На рисунке 18 представлена фотография неба и лунного горизонта с Землей, у которой видна лишь ее освещенная часть - меньше полукруга.

2. Лунные и солнечные затмения

Земля и Луна, освещенные Солнцем, отбрасывают конусы тени (сходящиеся) и конусы полутени (расходящиеся). Когда Луна попадает в тень Земли полностью или частично, происходит *полное* или *частное затмение Луны*. С Земли оно видно одновременно отовсюду, где Луна над горизонтом. Фаза полного затмения Луны продолжается, пока Луна не начнет выходить из земной тени, и может длиться до 1 ч 40 мин. Солнечные лучи, преломляясь в атмосфере Земли, попадают в конус земной тени. При этом атмосфера сильно поглощает голубые и соседние с ними лучи, а пропускает внутрь конуса преимущественно красные, которые поглощаются слабее. Вот почему Луна при большой фазе затмения окрашивается в красноватый цвет, а не пропадает совсем. В старину затмения Луны боялись как страшного предзнаменования, считали, что "месяц обливается кровью". Лунные затмения бывают до трех раз в году, разделенные почти полугодовыми промежутками, и, конечно, лишь в полнолуние.

Диаметр пятна не превышает 250 км, и поэтому одновременно полное затмение Солнца видно лишь на малом участке Земли. Когда Луна перемещается по своей орбите, ее тень

движется по Земле с запада на восток, вычерчивая последовательно узкую полосу полного затмения.

Вследствие небольшого изменения расстояний Земли от Луны и Солнца видимый угловой диаметр Луны бывает то немного больше, то немного меньше солнечного, то равен ему. В первом случае полное затмение Солнца длится до 7 мин 40 с, в третьем - только одно мгновение, а во втором случае Луна вообще не закрывает Солнца целиком, наблюдается *кольцеобразное затмение*. Тогда вокруг темного диска Луны виден сияющий ободок солнечного диска.

На основе точного знания законов движения Земли и Луны вычислены на сотни лет вперед моменты затмений и то, где и как они будут видны. Составлены карты, на которых показаны полоса полного затмения, линии (изофазы), где затмение будет видно в одинаковой фазе, и линии, относительно которых для каждой местности можно отсчитать моменты начала, конца и середины затмения.

Солнечных затмений в году для Земли может быть от двух до пяти, в последнем случае непременно частных. В среднем в одном и том же месте полное солнечное затмение бывает видно чрезвычайно редко - лишь однажды в течение 200-300 лет.

Особый интерес для науки представляют полные затмения Солнца, наводившие ранее суеверный ужас на невежественных людей. Такие затмения считали предзнаменованием войны, конца света.

Астрономы предпринимают экспедиции в полосу полного затмения, чтобы в течение секунд, редко минут полной фазы изучать внешние разреженные оболочки Солнца, невидимые непосредственно вне затмения. Во время полного солнечного затмения небо темнеет, вдоль горизонта горит заревое кольцо - свечение атмосферы, освещенной лучами Солнца в местностях, где затмение неполное, вокруг черного солнечного диска простираются жемчужные лучи так называемой солнечной короны.

Если бы плоскость лунной орбиты совпадала с плоскостью, эклиптики, то в каждое новолуние происходило бы солнечное, а в каждое полнолуние - лунное затмение. Но плоскость лунной орбиты пересекает плоскость эклиптики под углом 59'. Поэтому Луна обычно проходит севернее или южнее плоскости эклиптики, и затмений не происходит. Лишь в течение двух периодов в году, разделенных почти полугодом, когда в полнолунии и новолунии Луна находится вблизи эклиптики, возможно наступление затмения.

Плоскость лунной орбиты вращается в пространстве (это один из видов возмущений в движении Луны, производимых притяжением Солнца)* и за 18 лет делает полный поворот. Поэтому периоды возможных затмений смещаются по датам года. Ученые древности подметили периодичность в затмениях, связанную с этим 18-летним периодом, и могли поэтому приблизительно предсказывать наступление затмений.

Лекция 6 . Структура и масштабы Солнечной системы

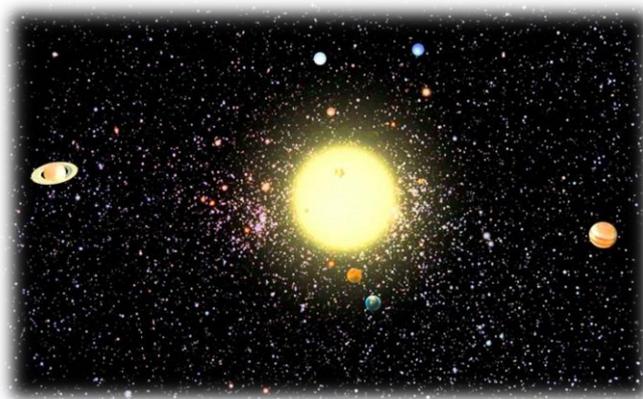


Рисунок19 – Солнечная система

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 Птолемей 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, кроме того, 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 опровергало 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.

Состав и масштабы солнечной системы



Рисунок 20 – Планеты 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

планетсоставляет всего лишь около 0,1% от массы Солнца, поэтому оно силой своего притяжения управляет движением всех членов Солнечной системы.

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.*

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 большой 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 невращающейся 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 $\frac{360^\circ}{T_\oplus}$, (8) 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 $\frac{360^\circ}{T_\oplus} - \frac{360^\circ}{T}$. (9) Если S - синодический период планеты в сутках, то через S суток Земля, обгонит планету на 360° , т. е.

$$\left(\frac{360^\circ}{T_\oplus} - \frac{360^\circ}{T}\right)S = 360^\circ, \quad \text{или} \quad \frac{1}{S} = \frac{1}{T_\oplus} - \frac{1}{T}. \quad (10)$$

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

$$\left(\frac{360^\circ}{T} - \frac{360^\circ}{T_\oplus}\right)S = 360^\circ, \quad \text{или} \quad \frac{1}{S} = \frac{1}{T} - \frac{1}{T_\oplus}. \quad (11)$$

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

Лекция 7. Законы движения планет

Законы И.Кеплера

Одним из первых основных вопросов астрономии был вопрос о движении небесных тел. К видимым, заметным движениям относится движение Солнца, Луны, планет, комет. Раздел астрономии, изучающий их движение, называется небесной механикой. Она основывается на законе всемирного тяготения, следствием которых, являются законы И.Кеплера. Однако, следует отметить что законы, определяющие движение планет, были определены И.Кеплером до формулировки И.Ньютоном закона всемирного тяготения, но, как оказалось, в принципе могут быть выведены на основе закона всемирного тяготения, то есть являются его следствиями. Механика небесных тел изучает движение, его причины и законы. Ниже схематически представлено содержание науки о движении небесных тел

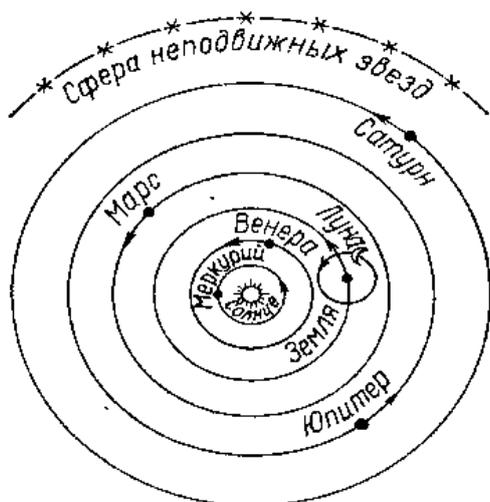
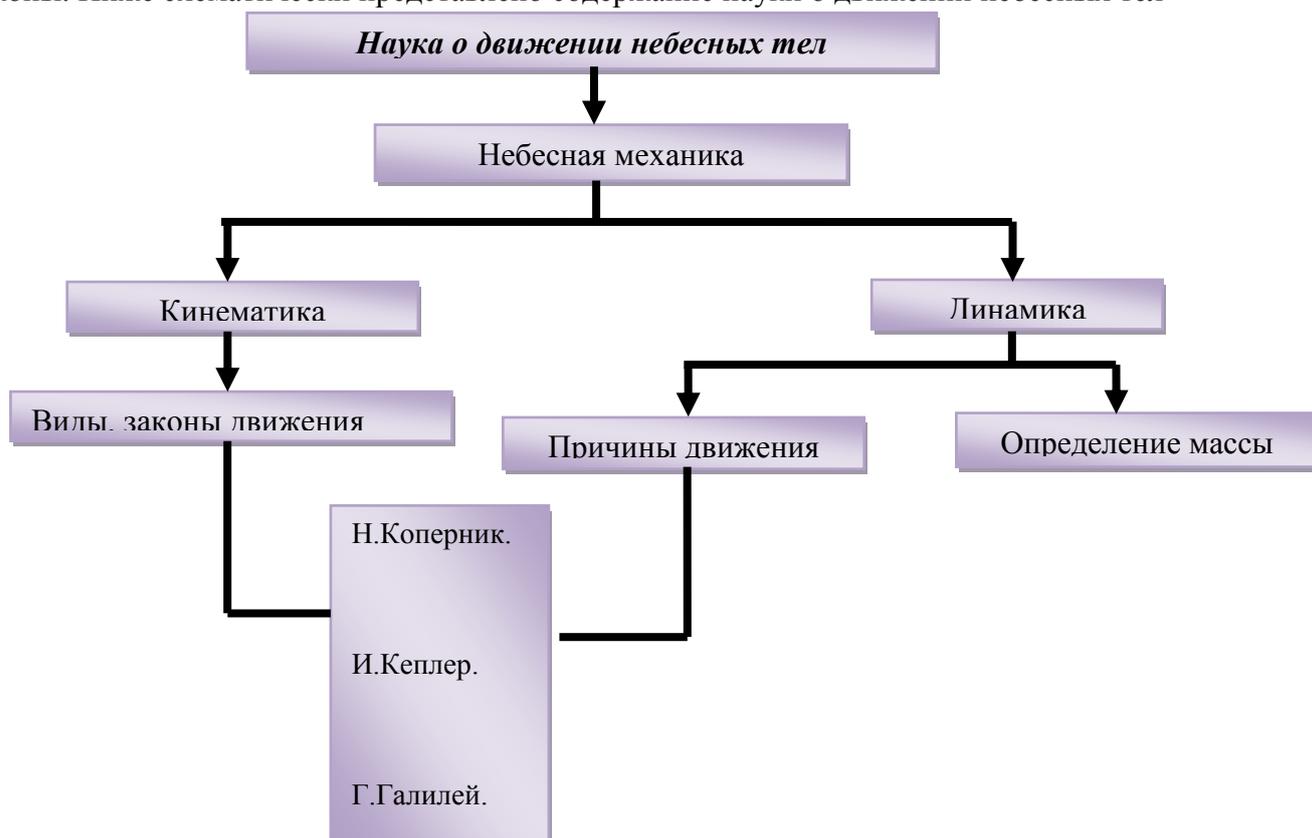


Рисунок 21 – Система мира

В истории астрономии известна длительная дискуссия о строении мира, которая фактически сводилась к строению Солнечной системы, так как звезды считались неподвижными. В предыдущей теме рассмотрен переход от геоцентрической системы к гелиоцентрической системе мира. На рисунке 21 представлена схема принятой в настоящее время в науке системы мира, разработанной Н. Коперником с Солнцем в центре и вращающимися вокруг него планетами.

Рассмотрим эмпирические законы И. Кеплера, которые явились важным этапом в развитии астрономии. Кеплер был сторонником учения Коперника. Он использовал длительные астрономические наблюдения Тихо Браге за планетой Марс и в течение нескольких лет сам наблюдал за этой планетой. В то время было убеждение, что орбиты планет являются круговыми. При таком подходе возникли трудности анализа имеющихся данных. После многолетних и трудоемких вычислений Кеплер понял существующие заблуждения о круговой форме орбит, понял возможность их эллиптической формы. Это позволило ему сформулировать законы движения планет.

Первый закон: Все планеты обращаются вокруг Солнца по эллиптическим орбитам в одном из фокусов, которых находится Солнце.

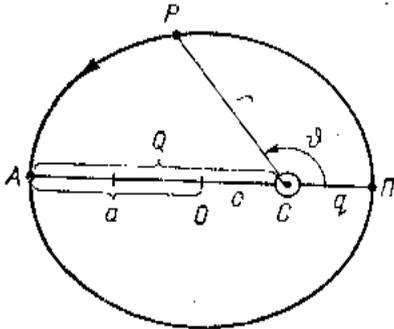


Рисунок 22 - Иллюстрация первого закона Кеплера

точки и линии:

A – афелий аспиды

П – перигелий

C – фокус

O – центр

расстояния:

r – радиус – вектор (гелиоцентрическое расстояние);

a – большая полуось

θ – истинная аномалия (угловое удаление от перигелия)

Эллиптическая орбита в – малая полуось.

Уравнение эллипса:

$$r = \frac{a(1 - e^2)}{1 + e \cos \theta} \quad (12)$$

$e = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a}$ (13) – эксцентриситет – среднее гелиоцентрическое расстояние планеты равно большой полуоси эллипса.

Единица измерения расстояний – астрономическая единица – среднее гелиоцентрическое расстояние (большая полуось орбиты) Земли.

$$a_e = 1 \text{ а.е.} = 149,6 * 10^6 \text{ км} \quad (14)$$

Второй закон Кеплера (закон площадей, рис 23)

$$\frac{S_1}{S_2} = \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2} \left(\Delta t_1 = \Delta t_2 \right) \quad (15)$$

S – векторная площадь, т.е. площадь, описываемая радиус – вектором планеты в единицу времени ()

Закон: Радиус – векторы планет в равные промежутки времени описывает равновеликие площади – является следствием закона сохранения импульса.

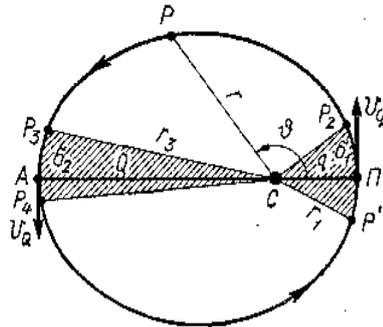


Рисунок 23 - Иллюстрация второго закона Кеплера

Третий закон Кеплера записывается так:

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3} \quad (16)$$

Где T_1 и T_2 – сидерические периоды обращения планет, a_1 и a_2 – большие полуоси их орбит.

Если большие полуоси орбит планет выразить в единицах среднего расстояния Земли от Солнца (в астрономических единицах), а периоды обращений планет – в годах, то для Земли $a = 1$ и $t = 1$ и период обращения вокруг Солнца любой планеты

$$T = \sqrt{a^3} \quad (17)$$

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

Лекция 8. Современные представления о солнечной системе. Планета Земля

Солнечная система — планетная система, включающая в себя центральную звезду — Солнце — и все естественные космические объекты, вращающиеся вокруг неё.

Большая часть массы объектов, связанных с Солнцем гравитацией, содержится в восьми относительно уединённых планетах, имеющих почти круговые орбиты и располагающихся в пределах почти плоского диска — плоскости эклиптики. Четыре меньшие внутренние планеты: Меркурий, Венера, Земля и Марс, также называемые планетами земной группы, состоят в основном из силикатов и металлов. Четыре внешние планеты: Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун, также называемые газовыми гигантами, в значительной степени состоят из водорода и гелия и намного массивнее, чем планеты земной группы.

В Солнечной системе имеются две области, заполненные малыми телами. Пояс астероидов, находящийся между Марсом и Юпитером, сходен по составу с планетами земной группы, поскольку состоит из силикатов и металлов. Крупнейшими объектами пояса астероидов являются Церера, Паллада и Веста. За орбитой Нептуна располагаются транснептуновые объекты, состоящие из замёрзшей воды, аммиака и метана, крупнейшими из которых являются Плутон, Седна, Хаумеа, Макемаке и Эрида. Дополнительно к тысячам малых тел в этих двух областях другие разнообразные популяции малых тел, таких как кометы, метеориты и космическая пыль, перемещаются по Солнечной системе. Шесть

планет из восьми и три карликовые планеты окружены естественными спутниками. Каждая из внешних планет окружена кольцами пыли и других частиц. Солнечный ветер (поток плазмы от Солнца) создаёт пузырь в межзвёздной среде, называемый гелиосферой, который простирается до края рассеянного диска. Гипотетическое облако Оорта, служащее источником долгопериодических комет, может простираться на расстояние примерно в тысячу раз больше по сравнению с гелиосферой. Солнечная система входит в состав галактики Млечный Путь.

Центральным объектом Солнечной системы является Солнце — звезда главной последовательности спектрального класса G2V, жёлтый карлик. В Солнце сосредоточена подавляющая часть всей массы системы (около 99,866 %), оно удерживает своим тяготением планеты и прочие тела, принадлежащие к Солнечной системе. Четыре крупнейших объекта — газовые гиганты, составляют 99 % оставшейся массы (при том, что большая часть приходится на Юпитер и Сатурн — около 90 %).

Большинство крупных объектов, обращающихся вокруг Солнца, движутся практически в одной плоскости, называемой плоскостью эклиптики. Однако в то же время кометы и объекты пояса Койпера часто обладают большими углами наклона к этой плоскости. Все планеты и большинство других объектов обращаются вокруг Солнца в одном направлении с вращением Солнца (против часовой стрелки, если смотреть со стороны северного полюса Солнца). Есть исключения, такие как комета Галлея. Самой большой угловой скоростью обладает Меркурий — он успевает совершить полный оборот вокруг Солнца всего за 88 земных суток. А для самой удалённой планеты — Нептуна — период обращения составляет 165 земных лет.

Большая часть планет вращается вокруг своей оси в ту же сторону, что и обращается вокруг Солнца. Исключения составляют Венера и Уран, причём Уран вращается практически «лёжа на боку» (наклон оси около 90°). Для наглядной демонстрации вращения используется специальный прибор — теллурий.

Планета Земля



Рисунок 24 – Земля из космоса

1. Строение

Многочисленные фотографии Земли, полученные с борта космических аппаратов, дают возможность увидеть три основные оболочки земного шара: атмосферу и ее облака, гидросферу и литосферу с ее природными покровами. Соответствующие этим оболочкам три агрегатных состояния вещества - газообразное, жидкое и твердое - являются привычными для нас, жителей Земли. Атмосферой обладает большинство планет Солнечной системы,

твердая оболочка характерна для планет земной группы, спутников планет и астероидов. Гидросфера же Земли - уникальное явление в Солнечной системе, никакая другая из известных планет ею не располагает. Ведь для существования воды в жидком виде нужны определенные условия температуры и давления. Вода является весьма распространенным химическим соединением во Вселенной, но на других небесных телах мы встречаемся с водой главным образом в ее твердой фазе, известной и на Земле в виде снега, инея и льда.

Процессы, происходящие в литосфере, химический состав ее вещества несут на себе следы тех изменений, которые совершались в течение миллиардов лет. За счет энергии, выделяющейся при распаде радиоактивных элементов, происходило расплавление и дифференциация вещества. В результате легкие соединения, в основном силикаты, оказались сверху, в коре, а более тяжелые образовали центральную часть - ядро.

Толщина коры очень невелика: от 10 км под океанами до 80 км под горными хребтами. Ядро имеет радиус вдвое меньше радиуса планеты, а между ядром и корой располагается промежуточный слой - мантия Земли, состоящая из веществ, более плотных, чем в коре.

Результаты исследований, выполненных с помощью космических аппаратов, показали, что внутреннее строение Луны и планет земной группы в общих чертах такое же.

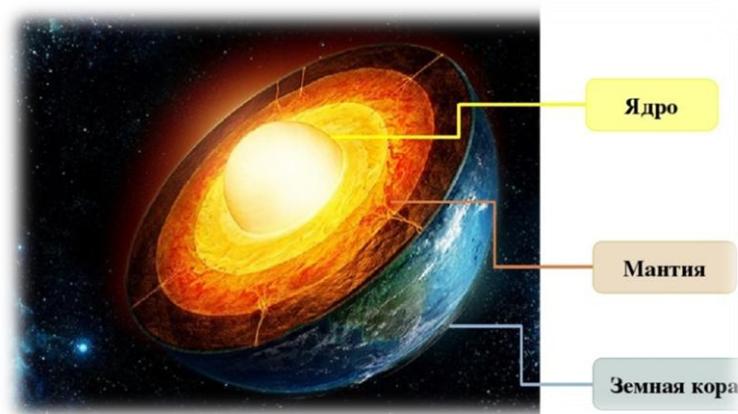


Рисунок 25 – Строение Земли

2. Атмосфера

Газовая оболочка - атмосфера, окружающая Землю, содержит 78% азота, 21% кислорода и ничтожное количество других газов.

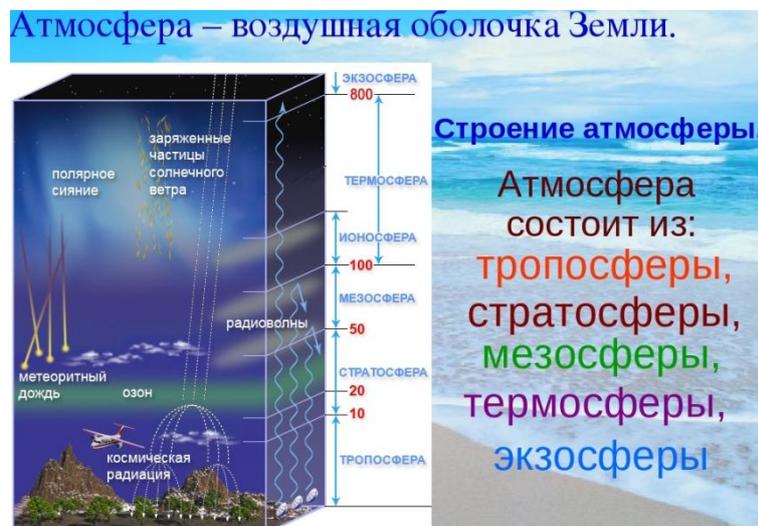


Рисунок 26 – Строение атмосферы

Нижний слой атмосферы называется тропосферой, которая простирается до высоты 10-12 км (в средних широтах). В ней с увеличением высоты температура падает. Выше - в стратосфере она остается почти постоянной, порядка - 40 °С. С высоты около 25 км температура земной атмосферы медленно растет вследствие поглощения ультрафиолетового излучения Солнца.

Плотность атмосферы тоже уменьшается с высотой. Так, на высоте около 6 км она в 2 раза меньше, чем у поверхности Земли, а на высоте в сотни километров в миллионы раз меньше. Выше, до нескольких радиусов Земли, имеется в основном водород с концентрацией частиц порядка тысяч атомов в объеме 1 см³.

В верхних слоях земной атмосферы солнечное излучение производит сильную ионизацию. Ионизованные слои атмосферы называются ионосферой.

Атмосфера отражает или поглощает большую часть излучения, приходящего к Земле из космического пространства. Например, она не пропускает рентгеновское излучение Солнца. Атмосфера предохраняет нас и от непрерывной бомбардировки микрометеоритами, и от разрушающего действия *космических лучей* - потоков быстро летящих частиц (в основном протонов и ядер атомов гелия).

Атмосфера играет важнейшую роль в тепловом балансе Земли. Видимое солнечное излучение может проходить через нее почти без ослабления. Оно поглощается земной поверхностью, которая при этом нагревается и излучает инфракрасные лучи.

Почему при ясной погоде ночью происходит наиболее сильное похолодание?

Согласно современным представлениям только благодаря существованию гидросферы и атмосферы на Земле смогла возникнуть жизнь. Поэтому проблемы экологии, сохранения природы нашей уникальной планеты приобретают особое значение.

3. Магнитное поле

Магнитное поле Земли достаточно велико (около $5 \cdot 10^{-5}$ Тл). С удалением от Земли индукция магнитного поля ослабевает.

Исследование околоземного пространства космическими аппаратами показало, что наша планета окружена мощным радиационным поясом, состоящим из быстро движущихся заряженных элементарных частиц - протонов и электронов. Его называют также поясом частиц высоких энергий.

Внутренняя часть пояса простирается примерно на 500-5000 км от поверхности Земли. Внешняя часть радиационного пояса находится на высоте от 1 до 5 радиусов Земли и состоит в основном из электронов с энергией в десятки тысяч электронвольт - в 10 раз меньшей, чем энергия частиц внутреннего пояса.

Частицы, образующие радиационный пояс, вероятно, захватываются земным магнитным полем из числа частиц, непрерывно выбрасываемых Солнцем. Особенно мощные потоки частиц рождаются при взрывных явлениях на Солнце - так называемых солнечных вспышках. Поток солнечных частиц движется со скоростью 400-1000 км/с и достигает Земли примерно через 1 - 2 дня после того, как на Солнце произошла породившая его вспышка горячих газов. Такой усиленный корпускулярный поток возмущает магнитное поле Земли. Быстро и сильно меняются характеристики магнитного поля, что называется магнитной бурей. Стрелка компаса колеблется. Возникает возмущение ионосферы, нарушающее радиосвязь, происходят полярные сияния. Полярные сияния разной формы и окраски возникают на высотах от 80 до 1000 км. Их образование связано с тем, что в полярных областях частицы, двигаясь вдоль линий индукции магнитного поля, которые там почти

перпендикулярны поверхности, проникают в атмосферу. Частицы бомбардируют молекулы воздуха, ионизуют их и возбуждают свечение, как поток электронов в вакуумной трубке. М. В. Ломоносов первым высказал догадку о том, что полярные сияния имеют электрическую природу. Цветовые оттенки полярного сияния обусловлены свечением различных газов атмосферы.

Итак, мы выяснили, что на Земле и в ее атмосфере происходят разнообразные процессы, многие из которых связаны с Солнцем, отстоящим от нас на 150 млн. км, то есть Земля не изолирована от космоса.

Луна - естественный спутник Земли



Рисунок 27 – Луна

1. Физические условия на Луне

Луна - самое близкое к Земле небесное тело, и потому изучена лучше всего. Ближайшие к нам планеты находятся примерно в 100 раз дальше. Луна меньше Земли по диаметру вчетверо, а по массе в 81 раз. Средняя ее плотность $3,3 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, т. е. меньше, чем у Земли. Вероятно, у Луны ядро не такое плотное, как у Земли. На Луне нет атмосферы, смягчающей палящее солнечное излучение и защищающей от космических лучей и потоков метеороидов. Нет там ни облаков, ни воды, ни туманов, ни радуги, ни зари с рассветом. Тени резкие и черные. Отсутствие на Луне водяных паров и атмосферы было подтверждено прямыми измерениями на ее поверхности. Небо на Луне даже днем было бы черное, как в космическом пространстве, но окружающая Луну разреженная пылевая оболочка немного рассеивает солнечный свет.

Частые удары метеороидов, падающих на лунную поверхность, дробят ее на мелкие осколки и пылинки. В условиях вакуума происходит молекулярное сцепление этой пыли в пористый шлакоподобный слой. Такая структура поверхностного слоя придает ему малую теплопроводность. В результате даже на небольшой глубине температура сохраняется постоянной, несмотря на ее сильные колебания снаружи. Огромные перепады температуры лунной поверхности от дня к ночи объясняются не только отсутствием атмосферы, но и продолжительностью лунного дня и лунной ночи, которая соответствует двум нашим неделям. Температура в подсолнечной точке Луны равна $+120^\circ\text{C}$, а в противоположной точке ночного полушария - -170°C . Вот как изменяется температура в течение одного лунного дня!

2. Рельеф

Вся поверхность Луны изрыта мелкими кратерами - пологими углублениями - это результат ударов мелких метеороидов.

Химический анализ образцов лунного вещества показал, что породы Луны не столь разнообразны, как земные, и сходны по составу с базальтами.

Посылались на Луну и советские автоматические самоходные лаборатории - *луноходы*, выполнившие много научных измерений и анализов грунта и прошедшие по Луне значительные расстояния - несколько десятков километров. Даже в тех местах лунной поверхности, которые с Земли выглядят ровными, грунт изобилует воронками и засыпан камнями всевозможных размеров. Луноход, управляемый с Земли по радио, "шаг за шагом" передвигался с учетом характера местности, вид которой передавался на Землю по телевидению. Это величайшее достижение советской науки важно как пример прямого исследования физических условий на другом небесном теле, которое находится от Земли на огромном расстоянии.

Советские космические станции установили отсутствие у Луны магнитного поля и поясов радиации.

Изучение лунного рельефа и его происхождения интересно и потому, что Луна сохранила на своей поверхности следы древних геологических событий, так как вода и ветер не разрушают кору. Но Луна - это не совсем мертвый мир. В 1958 г. советский астроном Н. А. Козырев заметил в кратере Альфонс выделение газов из лунных недр.

Рассмотрите внимательно вид внутренности вала и центральной горки кратера Коперник, сфотографированных искусственным спутником Луны сбоку.

Большинство лунных кратеров образовалось при ударах метеоритов и даже астероидов. На Земле также есть кратеры ударного происхождения

Многочисленные кратеры, обнаруженные на некоторых других телах планетной системы, например на Марсе и Меркурии, должны иметь такое же происхождение, как и лунные. Интенсивное кратерообразование, по-видимому, связано с разреженностью их атмосферы, неспособной уменьшить скорость падения метеоритов.

Лекция 9. Планеты земной группы



Рисунок 28 – Планеты земной группы

Планеты земной группы - Меркурий, Венера, Земля и Марс отличаются от планет-гигантов меньшими размерами, меньшей массой, большей плотностью, более медленным вращением, гораздо более разреженными атмосферами, малым числом спутников или их отсутствием.

В настоящее время исследование планет этой группы (как и Луны) носит комплексный характер и привлекает внимание не только астрономов, но и специалистов других профилей: геологов, геофизиков, топографов, радиоинженеров и др., которые используют для изучения планет методы, хорошо апробированные в земных условиях и позволяющие получать надежные сведения о строении их поверхности и атмосферы.

1. Меркурий

Это ближайшая к Солнцу планета, немногим больше Луны, но средняя плотность ее почти такая же, как и у Земли. Радиолокационные наблюдения обнаружили крайне медленное вращение Меркурия. Звездные сутки его, то есть период вращения вокруг оси относительно звезд, равны 58,65 наших суток. Солнечные сутки на этой планете (то есть промежуток времени между последовательными полуднями) составляют около 176 земных суток. Они равны двум меркурианским годам, так как один оборот вокруг Солнца Меркурий делает за 88 земных суток.

Атмосфера на Меркурии практически отсутствует. Поэтому дневное полушарие его сильно накаляется. В подсолнечной точке на Меркурии температура более 400°C. При такой температуре плавится свинец, олово и даже цинк.

Поверхность Меркурия усеяна кратерами так, что на фотографиях ее трудно отличить от поверхности Луны. Сходны они также отражательной способностью и теплопроводностью поверхностного слоя. Заметным различием является малое число впадин, подобных лунным "морям". Крупнейшая из них - море Зноя - имеет диаметр около 1300 км.

2. Венера

Эта планета лишь немногим меньше Земли по объему и массе. Еще Ломоносов и его современники обнаружили существование у Венеры атмосферы. Ломоносов правильно полагал, что она плотнее, чем земная. Венера окутана сплошным покровом белых облаков, прозрачным только для радиоволн. Радиолокационные наблюдения выявили, что Венера вращается вокруг оси в сторону, противоположную той, в которую вращаются все планеты (кроме Урана) и в которую она сама обращается вокруг Солнца. Солнечные сутки на ней составляют 117 земных суток.

Наклон оси Венеры к плоскости ее орбиты близок к прямому углу, так что северное и южное полушария всегда освещаются Солнцем одинаково.

С 1961 г. начались запуски к Венере советских автоматических станций. Некоторые станции имели аппараты, спускавшиеся на Венеру на парашюте, автоматические приборы которых измеряли характеристики ее атмосферы на различной высоте и у поверхности и передавали эти сведения по радио на Землю. Магнитного поля Венеры эти приборы не обнаружили. У поверхности они зарегистрировали температуру 470-480 °С и давление примерно в 100-раз больше атмосферного на Земле ($\approx 10^7$ Па). Выяснилось, что на 97% по массе атмосфера Венеры состоит из углекислого газа. Азот и инертные газы составляют лишь несколько процентов, кислород - около 0,1%, а водяной пар еще меньше.

В атмосфере Венеры зарегистрированы грозные разряды. Крайне высокая температура в нижних слоях атмосферы Венеры и на ее поверхности в большой мере обусловлена так называемым "парниковым эффектом". Энергия солнечных световых лучей поглощается в нижних слоях и, излучаясь обратно в виде инфракрасных лучей, задерживается ее облачным слоем, как тепло в парниках. С высотой над поверхностью температура понижается, *и в стратосфере Венеры царит мороз.

В видимых лучах облака Венеры совершенно однородны и белы, но в ультрафиолетовых отчетливо видна структура облачного слоя, говорящая о движениях газа, происходящих в верхних слоях атмосферы. Скорость ветров, составляющая всего несколько метров в секунду в нижних слоях атмосферы, на высотах около 50 км достигает 60 м/с. Через облака Венеры (состоящие, по-видимому, из капелек серной кислоты с небольшой примесью

других химических соединений) поверхность планеты не видна. Радиолокационные исследования, проводимые как с Земли, так и с борта автоматических межпланетных станций, позволили изучить рельеф поверхности Венеры. На ней найдены горные хребты и кратеры.

Анализ содержания радиоактивных калия, урана и тория в поверхностных породах Венеры показал их сходство с земными базальтовыми породами. Телевизионные камеры советских автоматических станций, опущенные на поверхность планеты, впервые в мире передали на Землю панорамы окружающей их безжизненной каменистой местности: в 1975 г. - в черно-белом изображении ("Венера-9 и -10"), а в 1982 г. - в цветном ("Венера-13 и -14"). Атмосфера Венеры изучалась при помощи научной аппаратуры, установленной на воздушных шарах, доставленных на планету советскими станциями, например в 1986 г. станциями "Вега-1 и -2", запущенными для исследования Венеры и кометы Галлея с близкого расстояния (отсюда и название Венера и Галлея).

По-видимому, лишь дальнейшие исследования смогут дать ответ на вопрос: почему столь похожая на Землю по размерам и массе планета стала в ходе своей эволюции по многим характеристикам сильно отличаться от нашей?

Несмотря на серьезные различия в природе двух соседних планет, исследования атмосферных процессов на Венере позволяют получать результаты, полезные для решения задач земной метеорологии.

3. Марс

Марс вдвое меньше Земли по диаметру. Его орбита имеет значительный эксцентриситет, поэтому, когда Марс находится в противостоянии вблизи перигелия, он сияет на небе, уступая по яркости только Венере. Такие противостояния называются великими и повторяются через 15 и 17 лет.

Год Марса почти вдвое длиннее земного, есть там и смена времен года! так как ось суточного вращения Марса наклонена к плоскости его орбиты, почти как земная.

В школьный телескоп на Марсе можно заметить белые полярные шапки, темные пятна ("моря") на общем оранжево-красном фоне марсианских "пустынь".

Автоматические станции-лаборатории, выведенные на орбиту вокруг Марса, по команде с Земли производили фотографирование поверхности планеты и изучение ее атмосферы, существование которой было установлено уже давно. Оказалось, что атмосфера планеты очень разрежена и ее давление примерно в 100 раз меньше земного. В основном она состоит из углекислого газа. Кислорода и водяных паров в ней крайне мало. Условия на Марсе суровые. Даже на экваторе летом температура редко поднимается до 0°C, а к ночи падает до жестокого мороза (-70; -100°C). Суточные температурные изменения на Марсе достигают 80-100°C.

Почему на Марсе происходят более резкие, чем на Земле, колебания температуры в течение суток?

Особенно холодно на полюсах (до - 130°C). В таких условиях замерзает не только вода, но и углекислый газ, которые образуют белый покров, хорошо видимый у полюсов, но имеющийся и в других частях планеты.

В атмосфере Марса (в отличие от Венеры) лишь иногда можно наблюдать редкие белые облака и туману чаще над полярными шапками.

Иногда на Марсе происходят мощные пылевые бури, иногда длящиеся месяцами, поднимающие в атмосферу колоссальнейшие количества мельчайших пылинок. Таким образом, подтверждается существование там песчаных пустынь, определивших собой

оранжевый цвет Марса в целом. Судя по пылевым бурям, на Марсе могут быть сильные ветры, дующие со скоростями в десятки метров в секунду.

Несколько космических аппаратов опускалось на поверхность Марса. Получены тысячи фотографий планеты с разного расстояния, на основе которых составлены подробные карты ее поверхности.

Марс, подобно Луне и Меркурию, усеян кратерами. Форма марсианских кратеров свидетельствует о явлениях выветривания и выравнивания его поверхности. На Марсе обнаружено несколько гигантских, по-видимому, давно потухших вулканов. Высота самого большого из них составляет 27 км. Между отдельными участками поверхности планеты, как и на Земле, имеются большие перепады высот. Обнаружены на Марсе и каньоны, которые по своим масштабам и форме напоминают земные русла высохших рек.

Исследования марсианского грунта, проведенные автоматическими станциями на поверхности планеты, позволяют сделать вывод о сходстве пород с земными и лунными, а красноватый оттенок ее объяснить наличием гидратов оксидов железа.

Магнитное поле Марса значительно слабее земного.

Биологические эксперименты по обнаружению органических соединений и живых организмов (хотя бы в форме бактерий), проведенные автоматическими космическими аппаратами "Викинг-1 и -2", не привели к положительному результату.

Планеты-гиганты

1. Особенности планет-гигантов

Из четырех гигантских планет лучше всего изучен Юпитер - самая большая планета



Рисунок 29 – Планеты гиганты

этой группы и ближайшая из планет-гигантов к нам и Солнцу. Ось вращения Юпитера почти перпендикулярна к плоскости его орбиты, поэтому сезонных изменений условия освещения на нем нет.

У всех планет-гигантов вращение вокруг оси довольно быстрое, а плотность мала. Вследствие этого они значительно сжаты.

Все планеты-гиганты окружены мощными протяженными атмосферами, и мы видим лишь плавающие в них облака, вытянутые полосами, параллельными экватору, вследствие их быстрого вращения.

Используя данные приложения V, рассчитайте линейную и угловую скорости вращения на экваторах Земли и Юпитера.

Полосы облаков видны на Юпитере даже в слабый телескоп (см. форзац). Юпитер вращается зонами - чем ближе к полюсам, тем медленнее. На экваторе период вращения 9 ч 50 мин, а на средних широтах на несколько минут больше. Аналогичным образом вращаются и другие планеты-гиганты.

Поскольку планеты-гиганты находятся далеко от Солнца, их температура (по крайней мере над их облаками) очень низка: на Юпитере - 145°C, на Сатурне - 180°C, на Уране и Нептуне еще ниже.

Атмосферы планет-гигантов содержат в основном молекулярный водород, есть там метан CH_4 и, по-видимому, много гелия, а в атмосфере Юпитера и Сатурна обнаружен еще и аммиак NH_3 . Отсутствие полос NH_3 в спектрах более далеких планет объясняется тем, что он там вымерз. При низкой температуре аммиак конденсируется, и из него, вероятно, состоят видимые облака Юпитера.

Химический состав облаков на планетах весьма различен. Каковы общие свойства этих облаков? Какие процессы лежат в основе их образования на различных планетах?

Интенсивные движения, охватывающие облачный и соседние с ним слои атмосферы, имеют устойчивый характер. В частности, таким устойчивым атмосферным "вихрем" является знаменитое Красное пятно, наблюдаемое на Юпитере уже свыше 300 лет.

Изучение процессов, происходящих в атмосферах различных планет, помогает земной метеорологии и климатологии.

Теоретически построены модели массивных планет, состоящих из водорода и гелия. Расчеты модели внутреннего строения Юпитера показывают, что по мере приближения к центру водород должен последовательно проходить через газообразную, газожидкую и жидкую фазы. В центре планеты, где температура может достигать нескольких тысяч кельвин, находится жидкое ядро, состоящее из металлов, силикатов и водорода в металлической фазе, которая наступает при давлениях порядка 10^{11} Па. В 1975 г. металлическую фазу водорода удалось экспериментально получить на Земле, что подтверждает справедливость теоретических расчетов внутреннего строения планет-гигантов.

Благодаря наличию магнитного поля Юпитер имеет пояса радиации, подобные земным, но значительно превосходящие их. Его магнитосфера простирается на миллионы километров, охватывая четыре крупнейших спутника. Юпитер является источником радиоизлучения. Космические аппараты зарегистрировали на нем мощные вспышки молний.

Из остальных данных о планетах заслуживает упоминания особенность осевого вращения Урана, которое, как и у Венеры, происходит в направлении, противоположном направлению вращения всех остальных планет. Кроме того, он вращается как бы лежа на боку, поэтому в течение года происходит значительное изменение условий освещения поверхности планеты.

Самая далекая планета - Плутон - не является планетой-гигантом. Это очень небольшая и плохо изученная холодная планета, год на которой длится около 250 земных лет.

2. Спутники и кольца планет

У Меркурия и Венеры спутников нет. У Земли имеется один естественный спутник - Луна. Она меньше Земли по диаметру всего лишь в 4 раза. У Плутона обнаружен единственный спутник - Харон, который по размерам вдвое меньше, чем сама планета. У Марса - два спутника - Фобос и Деймос. У остальных планет спутников много, но они неизмеримо меньше своих планет. Почти каждый космический аппарат, пролетающий вблизи планет-гигантов, обнаруживает у них неизвестные ранее спутники небольшого размера. Так, у Урана за последнее время открыто еще 8 спутников.

Самые крупные спутники - Титан (спутник Сатурна) и Ганимед (третий спутник Юпитера). Они в 1,5 раза больше Луны по диаметру и немного больше Меркурия. Титан - единственный спутник, обладающий мощной атмосферой, которая в основном состоит из азота.

С помощью автоматических межпланетных станций удалось получить с близкого расстояния четкие фотографии спутников Марса и многих спутников планет-гигантов. На них хорошо видны многочисленные детали поверхности: кратеры, трещины, отдельные неровности. Спутники Юпитера и более далеких планет покрыты слоем льда с пылью в десятки километров толщиной. На спутнике Юпитера - Ио было сфотографировано

несколько действующих вулканов. Кратерами, главным образом ударного (метеоритного) происхождения, оказались покрыты все спутники, даже столь малые, как спутники Марса размером около 20 км .

Многие спутники, как и Луна, повернуты к своей планете всегда одной и той же стороной. Их звездные периоды вращения равны периодам их обращения вокруг своих планет.

Четыре наибольших спутника Юпитера можно разглядеть даже в призмный бинокль. В телескоп за несколько часов удастся проследить, как спутники заметно перемещаются (рис. 54), иногда проходят между Юпитером и Землей, а иногда уходят за диск Юпитера или в его тень. Наблюдая периодичность этих затмений спутников, Ремер в XVII в. открыл, что скорость распространения света конечна, и определил ее числовое значение.

Лекция 10. 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.



Рисунок 30 - Телескоп

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 31 – Спектр

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

$$\lambda = \lambda_0 \left(1 + \frac{v}{c} \right), \quad (18)$$

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.

Лекция 11. Звезды: основные физико-химические характеристики и их взаимная связь

Звезды являются самым распространенным типом небесных тел во Вселенной. Звезд до 6-й звездной величины насчитывается около 6000, до 11-й звездной величины примерно миллион, а до 21-й звездной величины их на всем небе около 2 млрд.

Все они, как и Солнце, являются горячими самосветящимися газовыми шарами, в недрах которых выделяется огромная энергия. Однако звезды даже в самые сильные телескопы видны как светящиеся точки, так как они находятся очень далеко от нас.

1. Годичный параллакс и расстояния до звезд

Радиус Земли оказывается слишком малым, чтобы служить базисом для измерения параллактического смещения звезд и для определения расстояний до них. Еще во времена Коперника было ясно, что если Земля действительно обращается вокруг Солнца, то видимые положения звезд на небе должны меняться. За полгода Земля перемещается на величину диаметра своей орбиты. Направления на звезду с противоположных точек этой орбиты должны различаться. Иначе говоря, у звезд должен быть замечен годичный параллакс



Рисунок 32 - Годичные параллаксы звезд

Годичным параллаксом звезды p называют угол, под которым со звезды можно было бы видеть большую полуось земной орбиты (равную 1 а. е.), если она перпендикулярна лучу зрения.

Чем больше расстояние D до звезды, тем меньше ее параллакс. Параллактическое смещение положения звезды на небе в течение года происходит по маленькому эллипсу или кругу, если звезда находится в полюсе эклиптики

Коперник пытался, но не смог обнаружить параллакс звезд. Он правильно утверждал, что звезды слишком далеки от Земли, чтобы существовавшими тогда приборами можно было заметить их параллактическое смещение.

Впервые надежное измерение годичного параллакса звезды Веги удалось осуществить в 1837 г. русскому академику В. Я. Струве. Почти одновременно с ним в других странах определили параллаксы еще у двух звезд, одной из которых была α Центавра. Эта звезда, которая в СССР не видна, оказалась ближайшей к нам, ее годичный параллакс $p = 0,75''$. Под таким углом невооруженному глазу видна проволочка толщиной 1 мм с расстояния 280 м. Неудивительно, что так долго не могли заметить у звезд столь малые угловые смещения.

$$\text{Расстояние до звезды } D = \frac{a}{\sin p}, \quad (19)$$

где a - большая полуось земной орбиты.

При малых углах $\sin p \approx \frac{p}{206265''}$, (20) если p выражено в секундах дуги. Тогда, приняв $a = 1$ а. е., получим:

$$D_{\text{а. е.}} = \frac{206265''}{p}. \quad (21)$$

Расстояние до ближайшей звезды α Центавра $D=206\,265'' : 0,75'' = 270\,000$ а. е. Свет проходит это расстояние за 4 года, тогда как от Солнца до Земли он идет только 8 мин, а от Луны около 1 с.

Расстояние, которое свет проходит в течение года, называется световым годом. Эта единица используется для измерения расстояния наряду с парсеком (пк).

Парсек - расстояние, с которого большая полуось земной орбиты, перпендикулярная лучу зрения, видна под углом в $1''$.

Расстояние в парсеках равно обратной величине годового параллакса, выраженного в секундах дуги. Например, расстояние до звезды α Центавра равно $0,75''$ ($3/4''$), или $4/3$ ПК.

1 парсек = 3,26 светового года = 206 265 а. е. = $3 \cdot 10^{13}$ км.

В настоящее время измерение годового параллакса является основным способом при определении расстояний до звезд. Параллаксы измерены уже для очень многих звезд.

Измерением годового параллакса можно надежно установить расстояние до звезд, находящихся не далее 100 ПК, или 300 световых лет.

Почему не удастся точно измерить годичный параллакс более о далеких звезд?

Расстояние до более далеких звезд в настоящее время определяют другими методами (см. §25.1).

2. Видимая и абсолютная звездная величина

Светимость звезд. После того как астрономы получили возможность определять расстояния до звезд, было установлено, что звезды отличаются по видимой яркости не только из-за различия расстояния до них, но и вследствие различия их светимости.

Светимостью звезды L называется мощность излучения световой энергии по сравнению с мощностью излучения света Солнцем.

Если две звезды имеют одинаковую светимость, то звезда, которая находится дальше от нас, имеет меньшую видимую яркость. Сравнивать звезды по светимости можно лишь в том случае, если рассчитать их видимую яркость (звездную величину) для одного и того же стандартного расстояния. Таким расстоянием в астрономии принято считать 10 ПК.

Видимая звездная величина, которую имела бы звезда, если бы находилась от нас на стандартном расстоянии $D_0=10$ ПК, получила название абсолютной звездной величины M .

Рассмотрим количественное соотношение видимой и абсолютной звездных величин звезды при известном расстоянии D до нее (или ее параллаксе p). Вспомним сначала, что разность в 5 звездных величин соответствует различию яркости ровно в 100 раз. Следовательно, разность видимых звездных величин двух источников равна единице, когда один из них ярче другого ровно в $\sqrt[5]{100}$ раз (эта величина примерно равна 2,512). Чем ярче источник, тем его видимая звездная величина считается меньшей. В общем случае отношение видимой яркости двух любых звезд $I_1:I_2$ связано с разностью их видимых звездных величин m_1 и m_2 простым соотношением:

$$I_1:I_2=2,512^{m_2-m_1}. \quad (22)$$

Пусть m - видимая звездная величина звезды, находящейся на расстоянии D . Если бы она наблюдалась с расстояния $D_0=10$ ПК, ее видимая звездная величина m_0 по определению

была бы равна абсолютной звездной величине M . Тогда ее кажущаяся яркость изменилась бы в

$$I : I_0 = 2,512^{M-m} \text{ раз.} \quad (23)$$

В то же время известно, что кажущаяся яркость звезды меняется обратно пропорционально квадрату расстояния до нее. Поэтому

$$I : I_0 = D_0^2 : D^2. \quad (24)$$

Следовательно,

$$2,512^{M-m} = D_0^2 : D^2. \quad (25)$$

Логарифмируя это выражение, находим:

$$0,4(M - m) = \lg 10^2 - \lg D^2, \quad (26)$$

или

$$M = m + 5 - 5 \lg D, \quad (27)$$

или

$$M = m + 5 + 5 \lg p, \quad (28)$$

где p выражено в секундах дуги.

Эти формулы дают абсолютную звездную величину M по известной *видимой звездной величине* m при реальном расстоянии до звезды D . Наше Солнце с расстояния 10 пк выглядело бы примерно как звезда 5-й видимой звездной величины, то есть для Солнца $M_0 \approx 5$.

Зная абсолютную звездную величину M какой-нибудь звезды, легко вычислить ее светимость L . Принимая светимость Солнца $L_0 = 1$, по определению светимости можно записать, что

$$L = 2,512^{5-M}, \text{ или } \lg L = 0,4(5 - M). \quad (29)$$

Величины M и L в разных единицах выражают мощность излучения звезды.

Исследование звезд показывает, что по светимости они могут отличаться в десятки миллиардов раз. В звездных величинах это различие достигает 26 единиц.

Абсолютные величины звезд очень высокой светимости отрицательны и достигают $M = -9$. Такие звезды называются гигантами и сверхгигантами. Излучение звезды S Золотой Рыбы мощнее излучения нашего Солнца в 500 000 раз, ее светимость $L = 500\,000$, наименьшую мощность излучения имеют карлики с $M = +17$ ($L = 0,000013$).

Чтобы понять причины значительных различий в светимости звезд, необходимо рассмотреть и другие их характеристики, которые можно определить на основе анализа излучения.

3. Цвет, спектры и температура звезд

Во время наблюдений вы обратили внимание на то, что звезды имеют различный цвет, хорошо заметный у наиболее ярких из них. Цвет нагретого тела, в том числе и звезды, зависит от его температуры. Это дает возможность определить температуру звезд по распределению энергии в их непрерывном спектре.

Цвет и спектр звезд связаны с их температурой. В сравнительно холодных звездах преобладает излучение в красной области спектра, отчего они и имеют красноватый цвет. Температура красных звезд низкая. Она растет последовательно при переходе от красных звезд к оранжевым, затем к желтым, желтоватым, белым и голубоватым. Спектры звезд крайне разнообразны. Они разделены на классы, обозначаемые латинскими буквами и

цифрами (см. таблицу 1). В спектрах холодных красных звезд класса М с температурой около 3000 К видны полосы поглощения простейших двухатомных молекул, чаще всего оксида титана. В спектрах других красных звезд преобладают оксиды углерода или циркония. Красные звезды первой величины класса М - *Антарес, Бетельгейзе*.

В спектрах желтых звезд класса G, к которым относится и Солнце (с температурой 6000 К на поверхности), преобладают тонкие линии металлов: железа, кальция, натрия и др. Звездой типа Солнца по спектру, цвету и температуре является яркая Капелла в созвездии Возничего.

В спектрах белых звезд класса А, как Сириус, Вега и Денеб, наиболее сильны линии водорода. Есть много слабых линий ионизованных металлов. Температура таких звезд около 10 000 К.

В спектрах наиболее горячих, голубоватых звезд с температурой около 30 000 К видны линии нейтрального и ионизованного гелия.

Температуры большинства звезд заключены в пределах от 3000 до 30 000 К. У немногих звезд встречается температура около 100 000 К

Таблица 2- Спектры

Спектральный класс	Цвет	Температура, К	Особенности спектра	Типичные звезды
W	Голубой	80 000	Излучения в линиях гелия, азота, кислорода	γ Парусов
O	Голубой	40 000	Интенсивные линии ионизованного гелия, линий металлов нет	Минтака
B	Голубовато-белый	20 000	Линии нейтрального гелия. Слабые линии H и K ионизованного кальция	Слика
A	Белый	10 000	Линии водорода достигают наибольшей интенсивности. Видны линии H и K ионизованного кальция, слабые линии металлов	Сириус, Вега
F	Желтоватый	7 000	Ионизованные металлы. Линии водорода ослабевают	Процион, Канопус
G	Желтый	6 000	Нейтральные металлы, интенсивные линии ионизованного кальция K и H	Солнце, Капелла
K	Оранжевый	4 500	Линий водорода почти нет. Присутствуют слабые полосы окиси титана. Многочисленные линии металлов	Арктур, Альдебаран
M	Красный	3 000	Сильные полосы окиси титана и других молекулярных соединений	Антарес, Бетельгейзе
L	Темно-красный	2 000	Сильные полосы CrH, рубидия, цезия	Ke1u-1
T	"Коричневый карлик"	1 500	Интенсивные полосы поглощения воды, метана, молекулярного водорода	Gliese 229B

Таким образом, спектры звезд очень сильно отличаются друг от друга и по ним можно определить химический состав и температуру атмосфер звезд. Изучение спектров показало, что в атмосферах всех звезд преобладающими являются водород и гелий.

Различия звездных спектров объясняются не столько разнообразием их химического состава, сколько различием температуры и других физических условий в звездных атмосферах. При высокой температуре происходит разрушение молекул на атомы. При еще более высокой температуре разрушаются менее прочные атомы, они превращаются в ионы, теряя электроны. Ионизованные атомы многих химических элементов, как и нейтральные

атомы, излучают и поглощают энергию определенных длин волн. Путем сравнения интенсивности линий поглощения атомов и ионов одного и того же химического элемента теоретически определяют их относительное количество. Оно является функцией температуры. Так, по темным линиям спектров звезд можно определить температуру их атмосфер.

У звезд одинаковой температуры и цвета, но разной светимости спектры, в общем, одинаковы, однако можно заметить различия в относительных интенсивностях некоторых линий. Это происходит от того, что при одинаковой температуре давление в их атмосферах различно. Например, в атмосферах звезд-гигантов давление меньше, они разреженнее. Если выразить эту зависимость графически, то по интенсивности линий можно найти абсолютную величину звезды.

Лекция 12. Виды звезд

Звезда - это некий газовый шарообразный космический объект, излучающий свет, и в недрах которого ранее происходили реакции термоядерного синтеза (или происходят сейчас).

Звёзды - большие космические объекты. Настолько большие, что вокруг них образуются целые системы.

Различные космические объекты (планеты, астероиды, кометы и другие), вращающиеся вокруг центральной звезды - и есть такие системы. Например, мы находимся в Солнечной системе. И подобных ей во Вселенной миллиарды миллиардов.

Виды звёзд

Звёзды различают по таким параметрам, как масса, размер и светимость. Цвет их изменяется от красного до голубого. И чем ближе к голубому - тем выше температура космического объекта.

Красный (класс М) - 2000-3500 градусов.

Оранжевый (класс К) - от 3500 до 5000 градусов.

Жёлтый (класс G) - 5-6 тысяч градусов. К данному типу относится и наше Солнце.

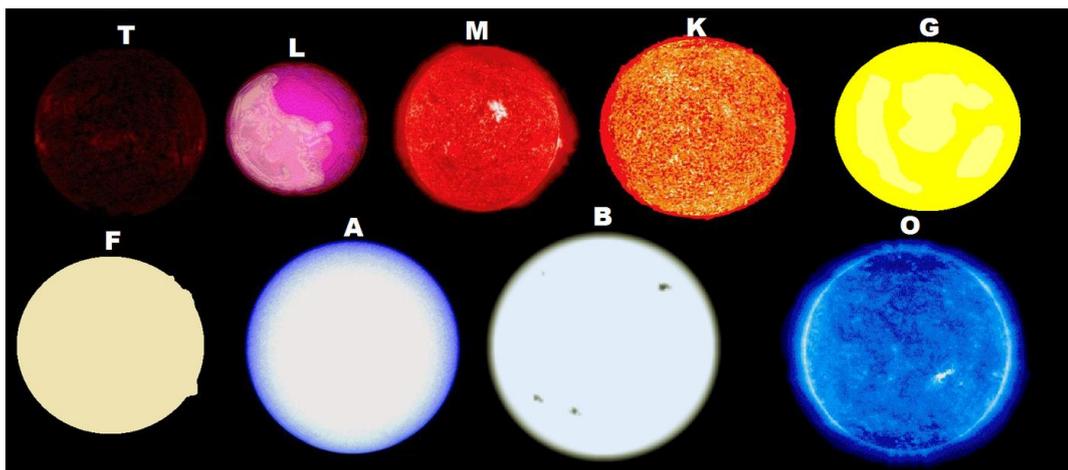


Рисунок 33 – Виды звезд

Жёлто-белый (класс F) - от 6000 К до 7500 К.

Белый (класс A) - 7500 К - 10000 К.

Бело-голубой (класс B) - 10-30 тысяч градусов.

Голубой (класс O) - 30-60 тысяч К.

Коричневый карлик. Это тип звёзд, которые на излучение тратят больше энергии, чем получают в результате ядерной реакции. Их температура около 300-500 градусов.

Белый карлик. Практически все звёзды завершают свою эволюцию превращением в белых карликов.

В конце своей жизни они начинают сжиматься, уменьшаясь в сотни раз от своего первоначального размера. При этом они обретают плотность, превосходящую плотность воды в миллион раз. Однако, теряют источники энергии и постепенно остывают. Такую участь ждёт и наше Солнце (но сейчас его относят к типу жёлтых карликов).

Красный гигант. Тип звёзд, имеющих относительно низкую температуру (3-5 тысяч градусов), но при этом обладающие огромной светимостью.

Типа Вольфа — Райе. Класс звёзд, обладающих очень высокой температурой и светимостью.

Сверхновые. Это те звёзды, которые закачивают свой цикл взрывным процессом. Если в спектре такой вспышки присутствуют линии водорода - это Сверхновая 2 типа, если нет - 1 типа.

Новые. Это Сверхновые, вспышка которых гораздо слабее - не такая яркая, и выделяет не так много энергии.

Гиперновые. Это очень большие Сверхновые, или, другими словами, Гиперновые - это очень большие и тяжёлые звёзды (более 100 масс Солнца), оканчивающие свою эволюцию взрывом.

Яркие голубые переменные (ЯГП). Очень яркие гигантские звёзды, ещё и пульсирующие при этом. Их сияние, может быть, представьте только, в миллион раз сильнее солнечного. Полагают, это объясняется тем, что звёзды такого типа сбрасывают излишки энергии - отсюда и такое яркое сияние.

Ультраяркие рентгеновские источники. Это тип звёзд, имеющих очень сильное излучение, но только в рентгеновском диапазоне.

Нейтронные звёзды. Это тип звёзд, сжатие Ядра которых не прекращается до тех пор, пока практически все частицы не превратятся в нейтроны.

Масса таких звёзд превосходит массу Солнца в полтора - три раза, но их диаметр при этом около 10 км. Это насколько же высокой плотностью они обладают?!

Звёздные системы

Звёздные системы могут состоять из одной звезды, двух или более.

Самый распространённый тип звёздных систем - двойной (две звезды, связанные гравитационно друг с другом и обращающиеся вокруг одного центра масс) - около 70% всех звёзд являются двойными.

Бывают случаи, когда более десятка звёзды образуют систему. В таком случае они называются **звёздным скоплением**.

Огромные скопления звёзд, вращающиеся вокруг одного центра масс - это Галактики.

Важнейшие закономерности в мире звезд. Эволюция звезд

Эволюция звезды начинается в гигантском молекулярном облаке, также называемом звёздной колыбелью. Большая часть «пустого» пространства в галактике в действительности содержит от 0,1 до 1 молекулы на см³. Молекулярное облако же имеет плотность около миллиона молекул на см³. Масса такого облака превышает массу Солнца в 100 000–10 000 000 раз благодаря своему размеру: от 50 до 300 световых лет в поперечнике.

Эволюция звезды начинается в гигантском молекулярном облаке, также называемом звёздной колыбелью.

Пока облако свободно обращается вокруг центра родной галактики, ничего не происходит.

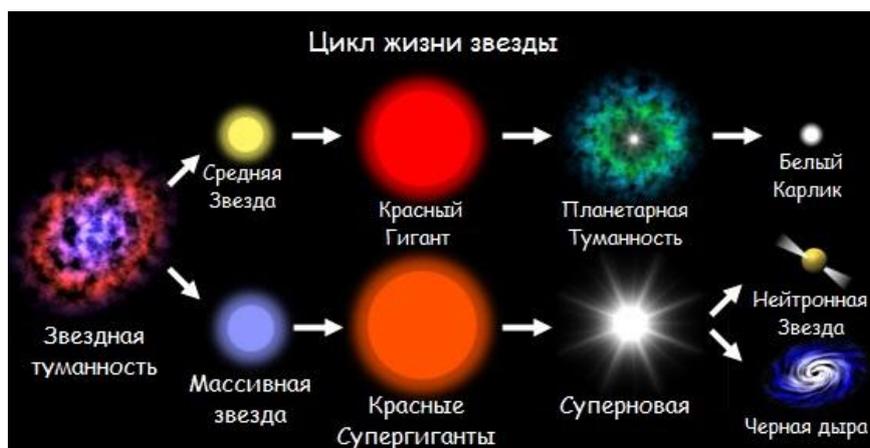


Рисунок 34 – Эволюция звезд

Однако из-за неоднородности гравитационного поля в нём могут возникнуть возмущения, приводящие к локальным концентрациям массы. Такие возмущения вызывают гравитационный коллапс облака. Один из сценариев, приводящих к этому – столкновение двух облаков. Другим событием, вызывающим коллапс, может быть прохождение облака через плотный рукав спиральной галактики. Также критическим фактором может стать взрыв близлежащей сверхновой звезды, ударная волна которого столкнётся с молекулярным облаком на огромной скорости. Кроме того, возможно столкновение галактик, способное вызвать всплеск звёздообразования, по мере того, как газовые облака в каждой из галактик сжимаются в результате столкновения. В общем, любые неоднородности в силах, действующих на массу облака, могут запустить процесс звездообразования.

В ходе протекания этого процесса неоднородности молекулярного облака будут сжиматься под действием собственного тяготения и постепенно принимать форму шара. При сжатии энергия гравитации переходит в тепло, и температура объекта возрастает.

Когда температура в центре достигает 15–20 миллионов К, начинаются термоядерные реакции и сжатие прекращается. Объект становится полноценной звездой.

Последующие стадии эволюции звезды почти полностью зависят от её массы, и лишь в самом конце эволюции звезды свою роль может сыграть ее химический состав.

Первая стадия жизни звезды подобна солнечной – в ней доминируют реакции водородного цикла.

В таком состоянии она пребывает большую часть своей жизни, находясь на главной последовательности диаграммы Герцшпрунга – Расселла, пока не закончатся запасы топлива в её ядре. Когда в центре звезды весь водород превращается в гелий, образуется гелиевое ядро, а термоядерное горение водорода продолжается на периферии ядра.

Маленькие и холодные красные карлики медленно сжигают запасы водорода и остаются на главной последовательности десятки миллиардов лет, в то время как массивные сверхгиганты сходят с главной последовательности уже через несколько десятков миллионов (а некоторые спустя всего несколько миллионов) лет после формирования.

В настоящее время достоверно неизвестно, что происходит с лёгкими звёздами после истощения запаса водорода в их недрах. Поскольку возраст вселенной составляет 13,8 миллиардов лет, что недостаточно для истощения запаса водородного топлива в таких

звёздах, современные теории основываются на компьютерном моделировании процессов, происходящих в таких звёздах.

Согласно теоретическим представлениям, некоторые из легких звезд, теряя свое вещество (звездный ветер), будут постепенно испаряться, становясь все меньше и меньше. Другие – красные карлики, будут медленно остывать миллиарды лет, продолжая слабо излучать в инфракрасном и микроволновом диапазонах электромагнитного спектра.

Звёзды среднего размера, такие как Солнце, остаются на главной последовательности в среднем 10 миллиардов лет.

Считается, что Солнце все ещё на ней, так как оно находится в середине своего жизненного цикла. Как только звезда истощает запас водорода в ядре, она покидает главную последовательность.

Как только звезда истощает запас водорода в ядре, она покидает главную последовательность.

Без давления, возникшего в ходе термоядерных реакций и уравновешивавшего внутреннюю гравитацию, звезда снова начинает сжиматься, как уже было ранее в процессе её формирования.

Температура и давление снова растут, но, в отличие от стадии протозвезды, до гораздо более высокого уровня.

Коллапс продолжается до тех пор, пока при температуре приблизительно в 100 миллионов К не начнутся термоядерные реакции с участием гелия, в ходе которых происходит превращение гелия в более тяжёлые элементы (гелий – в углерод, углерод – в кислород, кислород – в кремний, и наконец – кремний в железо).

Коллапс продолжается до тех пор, пока при температуре приблизительно в 100 миллионов К не начнутся термоядерные реакции с участием гелия

Возобновившееся на новом уровне термоядерное «горение» вещества становится причиной чудовищного расширения звезды. Звезда «распухает», становясь очень «рыхлой», и её размер увеличивается приблизительно в 100 раз.

Звезда становится красным гигантом, а фаза горения гелия продолжается около нескольких миллионов лет.

То, что происходит далее, также зависит от массы звезды.

У звезд средней величины реакция термоядерного сжигания гелия может приводить к взрывному сбросу внешних слоев звезды с образованием из них планетарной туманности. Ядро звезды, в котором прекращаются термоядерные реакции, остывая, превращается в гелиевый белый карлик, как правило, имеющий массу до 0,5—0,6 Солнечных масс и диаметр порядка диаметра Земли.

Для массивных и сверхмассивных звезд (с массой от пяти Солнечных масс и более) происходящие в их ядре процессы по мере нарастания гравитационного сжатия приводят к взрыву сверхновой звезды с выделением огромной энергии. Взрыв сопровождается выбросом значительной массы вещества звезды в межзвёздное пространство. Это вещество в дальнейшем участвует в образовании новых звёзд, планет или спутников. Именно благодаря сверхновым Вселенная в целом и каждая галактика в частности, химически эволюционирует. Оставшееся после взрыва ядро звезды может закончить свою эволюцию как нейтронная звезда (пульсар), если масса звезды на поздних стадиях превышает предел Чандрасекара (1,44 Солнечной массы), либо как чёрная дыра, если масса звезды превышает предел Оппенгеймера – Волкова (оценочные значения 2,5-3 Солнечных масс).

Лекция 13. Строение Солнца, солнечной атмосферы

1. Общие сведения о Солнце

Ближайшая к нам звезда, желтый карлик – звезда, средняя по своим характеристикам.

Таблица 3 - Характеристики Солнца

№	Параметр	Характеристика
1	Диаметр	$D_{\odot} = 109,120 D_{\oplus}$
3	Поверхность	$S_{\odot} = 11930 S_{\oplus}$
4	Наибольший видимый угловой диаметр (Земля в афелии)	31°31',34
5	Масса	$m_{\odot} \approx 1.99 \cdot 10^{30} \text{ кг}$
6	Средняя плотность	$\rho_{\odot} = 1410 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} = 0,255 \rho_{\oplus}$
7	Среднее расстояние от Земли	$\approx 107,6 D_{\oplus}$
8	Плотность в центре Солнца	≈ 98000
9	Ускорение силы тяжести на поверхности	$\approx 27,9 g_{\oplus}$
10	Критическая скорость (скорость освобождения) на поверхности	$6,177 \cdot 10^5$
11	Линейная скорость точек экватора	2025
12	Синодический период вращения точек экватора	27,275 суток
13	Сидерический период вращения точек экватора	25,380 суток
14	Наклон экватора Солнца к эклиптике	7°15'00"
15	Мощность солнечного излучения на границе атмосферы Земли	1388
16	Среднее значение солнечной постоянной на высоте 65 км.	1388
17	Мощность общего излучения	$3,74 \cdot 10^{26} \text{ Вт}$
18	Видимая звездная величина в системе вне атмосферы	26 ^m ,58
19	Эффективная температура поверхности	5807 ± 29 К.
20	Расстояние до центра Галактики	$\approx 10000 \text{ пс.}, \approx 30000 \text{ св.лет}$
21	Расстояние от галактической плоскости	15 пс. к северу
22	Скорость движения вокруг центра Галактики	$\approx 250 \frac{\text{км}}{\text{с}}$
23	Период обращения вокруг центра Галактики	$\approx 200 \text{ млн.лет}$
24	Средняя продолжительность полного цикла солнечной активности	(22,11 ± 0,6) года

Солнечная постоянная – интегральная плотность потока солнечного излучения на среднем расстоянии Земли от Солнца. Она определяет энергию, падающую на единичную поверхность в единицу времени за пределами атмосферы

Солнечная постоянная обусловлена в основном излучением в оптическом диапазоне.

Эффективная температура определяется по закону Стефана – Больцмана

$$\epsilon_{\odot} = \frac{L_{\odot}}{4\pi R_{\odot}^2} = 6,3 \cdot 10^7 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \quad (30)$$

ϵ_{\odot} – светимость Солнца, полная энергия, излучаемая в 1 секунду.

Солнце вращается не как твердое тело. Угловая скорость уменьшается при удалении от экватора. Такое вращение называется **дифференциальным или зональным**.

$$\omega = 14^{\circ},4 - 2^{\circ},7 \sin^2 \varphi \quad (31)$$

φ – гелиографическая широта, угловое расстояние от экватора.

1. Спектр Солнца – не прерывный спектр, на фоне которого несколько десятков тысяч темных линий поглощения (фраунгоферовы линии). Наибольшая интенсивность в синезеленой части спектра (4300 – 5000 Å)

Химический состав: преобладает водород (70% массы), 29% - гелий (по массе). Обнаружены линии около 70 химических элементов (азот, углерод, кислород, магний, натрий, калий, железо и др.).

2. Магнитное поле Солнца

Магнитное поле есть, по – видимому, у всех звезд. На Солнце оно обнаружено в 1908г Дж. Хейлом (США) по зеемановскому расщеплению фраунгоферовых линий в солнечных пятнах. По современным представлениям оно ≈ 4000 Э (напряженность), или 0,4 Тл (магнитная индукция). Поле в пятнах есть проявление общего азимутального поля Солнца, силовые линии которого имеют различное направление в северном и южном полушарии.

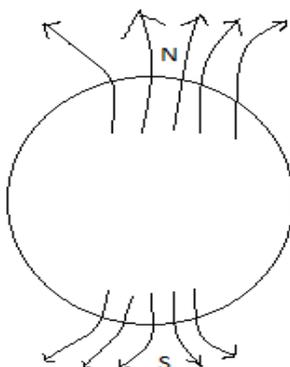


Рисунок 35 - Дипольная осесимметричная составляющая крупномасштабного магнитного поля Солнца

Наиболее выражена у полюсов. Слабую дипольную составляющую магнитного поля обнаружил в 1953г Бэбкок (США) (≈ 1 Э или 10^{-4} Тл)

В 70-х годах 20 века обнаружена такая же слабая неосесимметричная крупномасштабная составляющая магнитного поля. Она оказалась связанной с межпланетным магнитным полем, имеющим различные направления в радиальных составляющих в разных пространственных секторах. Это соответствует квадруполью, ось которого лежит в плоскости солнечного экватора. Наблюдаются и двухсекторная структура, соответствующая магнитному диполью.

В целом крупномасштабное поле Солнца сложно. Еще сложнее структура поля, обнаруженного в мягких масштабах. Наблюдения указывают на существование мелкомасштабных иглоподобных полей напряженностью до $2 \cdot 10^3$ Э (индукция 0,2 Тл). Магнитное поле Солнца изменяется. Осесимметричное крупномасштабное поле изменяется с периодом ≈ 22 года. Каждые 11 лет происходит обращение дипольной составляющей и смена направления азимутального поля.

Неосимметричная составляющая, (секторная) изменяется приблизительно с периодом вращения Солнца вокруг своей оси. Мелкомасштабные поля изменяются нерегулярно, хаотично.

Магнитное поле не существенно для равновесия Солнца. Равновесное состояние определяет баланс сил тяготения и градиента давления. Но все проявления солнечной активности (пятна, вспышки, протуберанцы и др.) связаны с магнитными полями. Магнитное поле играет определяющую роль в создании солнечной хромосферы и в нагреве до миллиона градусов солнечной короны. Высвечиваемая в ультрафиолетовом и рентгеновском диапазонах энергия выделяется в многочисленных локализованных областях, отождествляемых с петлями магнитного поля. Области, в которых излучение ослаблено (корональные дыры) отождествляются с открытыми во внешнее пространство конфигурациями магнитных силовых линий. Считается, что в этих областях берет начало потоки *солнечного ветра*.

3. Модель внутреннего строения Солнца. Источники солнечной энергии

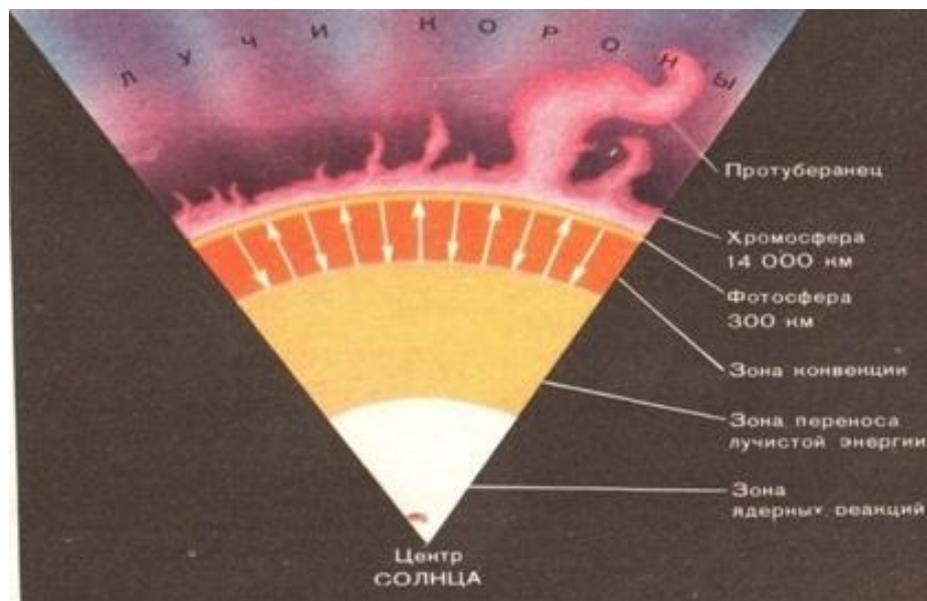


Рисунок 36 - Схема строения солнца

Внешние слои Солнца (атмосферы) непосредственно доступны наблюдениям. Поэтому теоретические модели их строения проверены. Модели внутреннего строения в основном теоретические. Они получены на экстраполяции физических условий, на поверхности и характеристиках: размеры, масса, светимость, вращение, химический состав.

По геологическим данным возраст Солнца около 5 млрд. лет. Последние 3 млрд. лет светимость его мало изменилась. За эти 3 млрд. лет Солнце излучило $3,6 \cdot 10^{44}$ Дж, то есть каждый килограмм массы Солнца выделил $\sim 1,8 \cdot 10^{13}$ Дж энергии. Такое количество энергии, как показали расчеты, не могут обеспечить химические процессы и гравитация.

(гравитационная энергия Солнца $\frac{GM_{\odot}}{R_{\odot}} = 4 \cdot 10^{43}$ Дж (32)).

Единственным возможным, по современным представлениям, источником энергии может быть ядерная энергия. Если на Солнце идут ядерные реакции и вначале все вещество – водород, то при современной светимости Солнца ядерной энергии хватило бы на 170 млрд. лет. Для протекания ядерных реакций нужна температура порядка десяти млн. градусов. Следовательно, из высокой светимости следует высокая температура внутри Солнца. По наблюдениям в фотосфере температура с глубиной растет с градиентом 20 К на 1 км. Это

дает в центре $\sim 1,4 \cdot 10^6$ К. Температуру можно оценить по условию гидростатического равновесия, считая солнечное вещество идеальным газом: газовое давление уравновешивают силы тяготения. Получается $\approx 14 \cdot 10^6$ К в центре, что в 3 раза выше средней.

Наиболее существенной в недрах Солнца является *протон – протонная реакция*. Она начинается с крайне редкого события – β – распада одного из двух протонов в момент особенно тесного их сближения ($14 \cdot 10^9$ лет).

При β – распаде протон превращается в нейтрон с испусканием позитрона и нейтрино. Объединяясь со вторым протоном, нейтрон дает ядро тяжелого водорода – дейтерия. Для каждой пары протонов процесс, в среднем осуществляется за 14 миллиардов лет, что и определяет медленность термоядерных реакций на Солнце и общую протяженность его эволюции. Дальнейшие ядерные превращения протекают значительно быстрее. Возможны несколько вариантов, из которых чаще всего должны происходить столкновения дейтерия с третьим протоном и образование ядер изотопа гелия которые, объединяясь и испуская два протона, дают ядро обычного гелия.

Другая реакция в условиях Солнца играет значительно меньшую роль. В конечном счете, она также приводит к образованию ядра гелия из четырех протонов. Процесс сложнее и может протекать только при наличии углерода, ядра которого вступают в реакцию на первых ее этапах и выделяются на последних. Таким образом, углерод является катализатором, почему и вся реакция носит название *углеродного цикла*.

При термоядерных реакциях в недрах Солнца выделяется в виде жестких гамма-квантов. При движении к поверхности они многократно переизлучаются, дробятся на кванты меньшей энергии. Процесс занимает миллионы лет. Из одного γ – кванта образуется несколько миллионов квантов видимого света, которые и покидают поверхность Солнца.

При термоядерных реакциях выделяется нейтрино. Из –за ничтожно малой массы и отсутствия электрического заряда нейтрино очень слабо взаимодействует с веществом. Почти свободно проходит Солнце и со скоростью света вылетает в межпланетное пространство. Его регистрация сложна, но нейтрино может жать важную информацию о внутреннем строении и условиях внутри Солнца и звезд.

4. Солнечная атмосфера

Многие характеристики Солнца с течением времени практически не изменяются. Но есть и множество изменяющихся явлений, которые характеризуют солнечную активность. Эти явления проходят в атмосфере.

Условно солнечную атмосферу можно разделить на три области:

- фотосфера;
- хромосфера;
- корона.

Фотосфера – самый глубокий слой атмосферы, толщина 200 – 300 км. Из него исходит почти вся энергия Солнца, наблюдаемая в видимой части спектра. Из – за ухода энергии в пространство температура фотосферы убывает при удалении от центра.

В фотосфере активными образованиями являются *гранулы, солнечные пятна и фотосферные факелы*. Гранулы размером до 700 км, со временем жизни ≈ 8 млн., разделены темными промежутками размером до 300 км. Яркость гранул и темных промежутков различается в пределах 10%.

Гранулы непрерывно появляются и угасают.

Пятна и факелы появляются в зоне $\approx \pm 30^\circ$ от экватора. Обычно факелы цепочкой окружают пятна $\approx 4500^\circ$. В области пятен достаточно сильное магнитное поле (2000 – 4500 Э

или 0,2 – 0,45 Тл). Обычно пятна появляются группами, мерой пятнообразовательной деятельности являются числа Вольфа.

$$W = 10g + f(33)$$

g – число группы пятен;

f – общее число видимых пятен.

Если пятен нет, то $W=0$, если пятно одно, то $W=11$, так как это пятно учитывается дважды. Число W изменяется с периодом ≈ 11 лет.

Теория пятен разрабатывается. Более низкая температура связывается с существованием сильного магнитного поля в области пятна. Оно тормозит движение плазмы поперек поля. Поле может препятствовать конвекции в слоях под фотосферой. В результате уменьшается приток тепла из внутренних слоев. Причиной может быть и затраты энергии на образование альвеновских волн, которые уносят эту энергию в хромосферу и корону.

Влиянием магнитного поля объясняют и увеличение яркости факелов. Слабое поле приводит к усилению конвекции.

Хромосфера – слой атмосферы, расположенный выше фотосферы.

Хромосферные активные образования:

- **спикулы** - светящиеся газовые столбы, диаметр ~ 1000 км, скорость подъема и опускания ≈ 20 км/с, а высота до 3000 км, время жизни несколько минут.

- **флоккулы** - яркие образования, пересеченные системой темных волокон – **фибрилл**.

- **хромосферные вспышки** – наиболее грандиозные проявления солнечной активности. Область вспышек до 10000 км. За время одного часа может выделиться энергия до 10% общей светимости Солнца. В области вспышки генерируется поток частиц высоких энергий и электромагнитного излучения от гамма – лучей до радиоволн.

Вспышка образуется над сложной группой пятен с сильными магнитными полями противоположной полярности.

В короне, в верхней части атмосферы, наблюдается протуберанцы – активные образования разнообразные по форме и характеру развития: являются также связанные с магнитными полями.

Корона не находится в равновесном состоянии. Она непрерывно расширяется, создавая потоки ионизированной плазмы с вмороженным магнитным полем. Такие потоки назвали **солнечным ветром**. Скорость частиц солнечного ветра увеличивается при удалении от Солнца. У основания короны (20000 км. от поверхности Солнца) она составляет несколько сотен метров в секунду, а на расстоянии орбиты Земли достигает $2507000 \frac{\text{Км}}{\text{с}}$ и более. при температуре плазмы $\approx 10^5 \text{К}$, и концентрации до 10 в 1 см^3 , магнитное поле $10^{-5} - 10^{-4} \text{ Э}$ ($\approx 10^{-8}$ Тл). Естественно возникает вопрос о процессе переноса энергии, приводящей к увеличению скорости и кинетической энергии направленного движения частиц.

Все активные образования в солнечной атмосфере тесно связаны между собой. Появлению пятен предшествует появление факелов и флоккулов. Вспышки возникают во время наиболее быстрого роста группы пятен или их сильных изменений. В это же время возникают и протуберанцы, которые живут и после распада активной области. Таким образом можно говорить о **центрах солнечной активности**.

Радиоизлучения Солнца. Наблюдаются как непрерывное радиоизлучение, так и радиовсплески различных типов. По теории Максвелла, излучать электромагнитные волны могут заряженные частицы, скорость которых изменяется по модулю и направлению. На Солнце – эти частицы ионизированной плазмы.

Радиоизлучения Солнца содержит **тепловую и нетепловую составляющие**. Тепловая - следствие изменения скорости при столкновениях, нетепловая – **магнитотормозное излучение** – следствие вращения заряженных частиц в магнитных полях. Излучение радиоизлучения различного типа и в различных диапазонах позволяет получать информацию о состоянии и процессах в различных слоях солнечной атмосферы.

5. Влияние солнечной активности на географические и биологические процессы на Земле

К Земле от Солнца приходят корпускулярные потоки солнечного ветра, несущие вмороженные магнитные поля, электромагнитное излучение различных диапазонов, от коротковолнового до радиоволн. Они влияют на физико-химические процессы в верхних слоях атмосферы, на состояние магнитного поля Земли. Периодические и непериодические измерения солнечной активности вызывают изменения в околоземном пространстве, что влияет на физические процессы и биосферы.

Некоторые примеры:

✓ Видимые и инфракрасные лучи являются основными поставщиками тепла на Земле. Солнечная энергия используется и в народно – хозяйственных целях (солнечные электростанции)

✓ Потоки заряженных частиц ускоренные во вспышках, влияют на геомагнитное поле, вызывая магнитные бури.

✓ Заряженные частицы проникают в верхние слои атмосферы, вызывая полярные сияния.

✓ Коротковолновое излучение Солнце создает ионизацию верхних слоев атмосферы Земли. От уровня солнечной активности зависит состояние ионосферы и, следовательно, распространение радиоволн. Во время вспышек наблюдаются нарушения радиосвязи, особенно на длинных волнах от 15 м до 60 м.

✓ Активные процессы на Солнце, влияя на атмосферу и магнитное поле Земли, воздействует на сложные процессы органического мира животного и растительного.

- толщина годовых колец деревьев повторяется с периодом солнечной активности. В максимум солнечной активности более широкие кольца, то есть более благоприятные условия роста.

- вспышки чумы, холеры, скарлатины, дифтерита происходят преимущественно в годы максимума солнечной активности;

- в максимуме солнечной активности изменяется состав крови, понижаются защитные свойства организма.

Созданная **служба Солнца** систематически отслеживают состояние Солнца и информируют о нем, через публикации, радио, телевидение.

Лекция 14. Состав и структура Галактики

1. Млечный Путь и структура Галактики.

Уже к началу нашего века было известно, что те звезды, которые наблюдаются невооруженным глазом или в телескоп, образуют в пространстве сплюснутый *звездный диск* громадного размера. Мы находимся внутри этого диска и поэтому вблизи его плоскости видим очень много далеких звезд. Совокупность этих звезд сливается для нас в светящуюся полосу *Млечного Пути*. Раньше думали, что Солнце расположено вблизи центра звездной системы — Галактики, потому что яркость Млечного Пути примерно одинакова во всех направлениях, хотя в нем и существуют отдельные более яркие участки. Сейчас мы знаем, что свет самой яркой центральной области Галактики сильно ослабляется из-за поглощения межзвездной пылью. Лишь наблюдения в инфракрасных лучах, которые испытывают меньшее поглощение, позволили «увидеть» наиболее плотную центральную область нашей Галактики. Она расположена в созвездии Стрельца.

Эта центральная, наиболее компактная область Галактики называется ее *звездным ядром*. Солнце расположено очень далеко от ядра Галактики — на расстоянии 25—30 тыс. световых лет (8—10 кпк) — вблизи плоскости симметрии звездного диска, толщина которого составляет несколько тысяч световых лет. Ядро находится в центре *звездного диска* Галактики.

Часть звезд нашей Галактики не входит в состав диска, а образует сферическую составляющую. Эти звезды концентрируются не к плоскости диска, к ядру Галактики. Диск и сферическая составляющая — основные элементы структуры нашей Галактики.

Полное число звезд в Галактике можно оценить только ориентировочно. Оно составляет несколько сотен миллиардов. Лишь незначительная доля всех этих звезд доступна наблюдениям даже при помощи крупнейших телескопов.

Галактика — это огромный звездный остров, диаметр которого превышает 100000 св. лет, объединяющий многие миллиарды самых различных звезд. Помимо звезд, в Галактике содержится много тел небольшой массы (например, планет) и очень неоднородная по плотности межзвездная среда (разреженный газ, пыль, космические лучи). Несмотря на большую массу, Галактика — очень разреженная система: расстояния между соседними звездами, как правило, измеряются световыми годами.

2. Звездные скопления



Рисунок 37— Скопления звезд

Хорошо известно, что звезды неравномерно распределены по небу. Например, вблизи Млечного Пути слабые звезды встречаются заметно чаще, чем вдали от него. Это не кажущийся эффект. Звезды действительно неравномерно заполняют пространство. Наиболее наглядно это проявляется в существовании групп из большого числа звезд, называемых *звездными скоплениями*.

Примером звездных скоплений, хорошо видимых невооруженным глазом, являются скопления Плеяды и Гиады (оба в созвездии Тельца). В Плеядах нормальный глаз видит 5—7 слабых звездочек, располагающихся в виде маленького ковшика (по этому скоплению удобно проверять остроту зрения). В телескоп в Плеядах заметны сотни звезд. Гиады — скопление не столь компактное, как Плеяды, но оно содержит более яркие звезды. Рядом с Гиадами — красноватый Альдебаран — ярчайшая звезда в созвездии Тельца.

Невооруженным глазом на небе заметно всего несколько скоплений. Но в телескоп их можно видеть сотни. Наблюдения показали, что звездный состав скоплений различен. Измеряя температуру и светимость звезд скоплений, и сверяя их положение на диаграмме Герцшпрунга - Рессела с теорией звездной эволюции, удается оценить возраст скоплений. Оказалось, что некоторые скопления состоят из сравнительно молодых, некоторые — из старых звезд.

Звезды внутри скопления имеют близкий возраст и, следовательно, связаны общим происхождением.

Наблюдается два типа скоплений — *рассеянные* и *шаровые*. Рассеянные скопления содержат десятки, сотни, а наиболее крупные — тысячи звезд и выглядят в телескоп сверкающей россыпью. Плеяды и Гиады относятся к этому типу. Среди рассеянных скоплений встречаются как сравнительно старые, с возрастом в несколько миллиардов лет, так и очень молодые, в которых еще сохранились много голубых горячих звезд высокой светимости. Эти звезды значительно массивнее Солнца, и поэтому (как мы уже знаем) продолжительность жизни у них более короткая, чем у звезд других типов. Существование в рассеянных скоплениях таких звезд говорит о том, что образование скоплений продолжается и в наше время. Сравнительно молодым скоплением являются Плеяды: его возраст около 10^8 лет.

Рассеянные скопления можно найти не в любой части неба. Почти все они наблюдаются вблизи Млечного Пути. Именно там, вблизи плоскости диска Галактики, наиболее активно происходит образование звезд.

3. Шаровые скопления

По размеру шаровые скопления, как правило, больше рассеянных и содержат сотни тысяч звезд. Все они очень далеки от нас. Лишь одно-два можно заметить невооруженным глазом или в бинокль, но даже они из-за громадного расстояния видны как крошечные светящиеся пятнышки. На фотографиях шаровые скопления обычно выглядят как целый рой огромного числа. Кажется, что в центре скопления звезды сливаются в сплошную светлую массу. Но на самом деле даже там между звездами достаточно много свободного пространства, чтобы они двигались, не сталкиваясь друг с другом. В отличие от рассеянных скоплений, в шаровых мы не наблюдаем молодых звезд. Это очень старые звездные системы. Их возраст трудно точно оценить. Основываясь на теории звездной эволюции, ученые получают оценки возраста наиболее старых скоплений в 13 — 18 млрд. лет.

Всего в нашей Галактике известно около 150 шаровых скоплений. В отличие от рассеянных звездных скоплений, шаровые скопления слабо концентрируются к полосе Млечного Пути. Зато практически все они наблюдаются в одной половине неба, в центре которой находится созвездие Стрельца. Такая особенность распределения отражает структуру нашей звездной системы — Галактики: в созвездии Стрельца находится ее центр. Шаровые скопления, в отличие от рассеянных, относятся к сферической составляющей Галактики.

Лекция 15. Многообразие галактик и их основные характеристики

1. Открытие других галактик

Идея о том, что наша Галактика не заключает в себя весь звездный мир и существуют другие, сходные с ней звездные системы, впервые была высказана учеными и философами в середине 18 века (Э.Сведенборг в Швеции, И.Кант в Германии, Т.Райт в Англии).

Вильям (Уильям) Вильгельм Фридрих ГЕРШЕЛЬ (1738-1822, Англия) начав с 1775 г вести планомерные обзоры неба открывает, что среди данных видимых туманностей ряд из них состоит из звезд (открывает звездные скопления), а некоторые представляют собой правильную форму (открывает и вводит название планетарных туманностей) и к 1791г приходит к правильному выводу о существовании самостоятельных звездных систем (галактик), подтвержденных лишь в 1924г.

1 января 1925г Эдвин Поуэлл ХАББЛ (1889-1953, США) - сообщает об открытии других галактик на примере М31 Андромеды (NGC224-по Новому общему каталогу (NewGeneralCatalog), 1908 год) - определив по цефеидам расстояние до нее в 300кпк (на самом деле 675кпк). Это единственная для наших широт видимая невооруженным глазом галактика и замечена была еще в 10 веке арабским астрономом Ас-Суфи (903-986). Обозначение М сохранилось еще по каталогу 1781 года Шарля МЕССЬЕ (1730-1817, Франция), составившего каталог на 110 объектов, чтобы не путать туманные пятна на небе с появляющимися кометами. Если взять например галактику в созвездии Девы, и посмотреть, сколько названий она имеет, то получится: М 87, NGC 4486, UGC 7654, PGC 41361, 87GB 122819.0 +124029, 1 ES 1228 +126, IRAS 12282+1240, Дева А, Арп 152. Посмотрев на эти цифры, подумаешь, что это слишком сложно, но если разобраться, то на самом деле всё это не так уж сложно. Немного о каталогах галактик.

Невооруженному глазу на небе доступно всего три галактики – туманность Андромеды в северном полушарии и более близкие к нам Большое и Малое Магеллановы Облака – в южном.

2. Многообразие (классификация) галактик

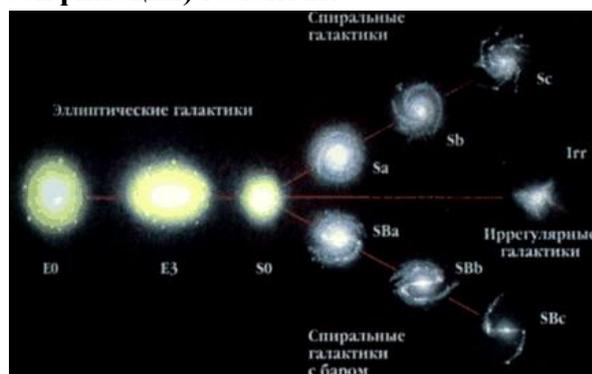


Рисунок 38 – Классификация галактик

Галактики – это большие звездные системы, в которых звезды связаны друг с другом силами гравитации. Существуют галактики, включающие триллионы звезд. Наша Галактика с 200-250 млрд. звезд – Млечный Путь – достаточно велика. Самые маленькие галактики содержат в миллион раз меньше звезд. Абсолютная звездная величина самых ярких сверхгигантских галактик $M = -24m$, у карликовых галактик $M = -15m$, самые слабые из карликовых галактик имеют абсолютную звездную величину $M = -6m$. У туманности Андромеды абсолютная звездная величина $M = -20,3m$, у нашей Галактики $M = -19m$.

Э.П. Хаббл в 1925 году впервые разработал первую классификацию галактик (внегалактических туманностей), руководствуясь гипотезой Д. Джинса по формам, составляющим основу современной классификации.

Сперва были: E- эллиптические, S – спиральные, I – неправильные (иррегулярные), а в 1936г усовершенствовал свою классификацию (опубликована в 1961г А.Сендидж в «Хаббловском атласе галактик»).

Считал, что классификация отражает эволюцию галактик: возникая как сферические, они сильно вытягивались в эллиптические, превращаясь в спиральные с перемычками или без. На самом деле никакой эволюции в классификации нет.

Сейчас известно свыше 1 млрд. разнообразных галактик. Наша Галактика, как и M31, принадлежит к типу Sb, а M33 к типу Sc.

Около 90 % массы галактик приходится на долю тёмной материи и энергии, природа этих невидимых компонентов пока не изучена. Существуют свидетельства того, что в центре многих (если не всех) галактик находятся сверхмассивные чёрные дыры.

В 2004 году самой далёкой галактикой из тех, что когда-либо наблюдались человечеством, стала галактика Abell 1835 IR1916. Однако в феврале 2007 года обнаружена галактика еще более удаленная, в 11 миллиардах световых лет от Земли, располагаемая вокруг квазара.

1) Эллиптические галактики

Эллиптические галактики составляют примерно 20 % от общего числа галактик высокой светимости, обозначаются буквой E (англ. elliptical). Типичная E-галактика выглядит как сфера или эллипсоид, диск в ней практически полностью отсутствует. Эллиптические галактики, как и сферические компоненты у галактик других типов, почти лишены межзвездного газа (не считая разреженного и очень горячего газа, заполняющего всю галактику), а следовательно и молодых звезд. По степени вытянутости эллиптических галактик Эдвин Хаббл получил 8 подтипов галактик от E0 до E7 (E0 – «шаровые» галактики, E7 – «сплюснутые»). Звезды эллиптических галактик обращаются вокруг центра галактики очень медленно (скорость вращения обычно не превышает нескольких десятков км/с). Таким образом, эллиптические галактики – это системы с низким удельным моментом импульса. Ближайшая к нам эллиптическая галактика – Sculptor (ESO 351-30, подкласс – E0, радиус – 1505 световых лет). На фото последний объект в каталоге Шарля Мессье - M110 (или NGC 205)- карликовая эллиптическая галактика - яркий спутник большой спиральной галактики Андромеды. На переднем плане изображения видно множество близких звезд. Размер M110 - около 15 тысяч световых лет.

2) Линзовидные галактики

– это промежуточный тип между спиральными и эллиптическими, составляют до 20%. У них есть гало и диск, но нет спиральных рукавов. Такие галактики обозначаются S0.

3) Спиралевидные туманности

В 1845 году английский астроном лорд Росс (Вильям ПАРСОНС, 1800-1877) обнаружил целый класс «**спиральных туманностей**».

В начале XX века было доказано, что спиральные туманности – это огромные звездные системы, похожие на нашу Галактику. С тех пор их стали называть галактиками и они составляют до 80% всех галактик. Спиральные галактики содержат как гало, так и массивный звездный диск и обозначаются буквой S. Их различают по степени своей спиральной структуры добавлением к символу S букв a, b, c. Sa – спиральная галактика с

мало развитой спиральной структурой и с мощным ядром. Sc – галактика с малым ядром и с сильно развитыми спиральными ветвями. Наша Галактика принадлежит к промежуточному типу Sb. У некоторых спиральных систем в центральной части имеется звездная перемиčka – бар. В этом случае к их обозначению после буквы S добавляется B. В 2005 году при работе с Космическим телескопом имени Спитцера и основываясь на более ранних наблюдениях, было установлено, что Млечный Путь также следует относить к спиральным галактикам с баром. Гипотеза о наличии бара в нашей галактике была выдвинута на основе многочисленных данных с радиотелескопов. Однако, только благодаря изображениям со Спитцера, работающего в инфракрасном диапазоне, данное предположение получило твердое подтверждение. На фото спиральной галактики NGC 613 с перемичкой, находящейся на расстоянии 65 миллионов световых лет от нас в южном созвездии Скульптор, имеющая размер более 100 тысяч световых лет и в центре массивную черную дыру.

Плоская дискообразная форма объясняется вращением. Существует гипотеза, что во время образования галактики центробежные силы препятствуют сжатию протогалактического облака в направлении, перпендикулярном оси вращения. Газ концентрируется в некоторой плоскости – так образовались диски галактик. Характер движения звезд и газа в галактиках не одинаков: газ вращается быстрее, чем старые звезды. Если характерные скорости вращения газа в галактиках составляют 150–500 км/с, то старые звезды гало всегда вращаются медленнее. Балджи спиральных галактик, состоящие из старых звезд, вращаются в 2–3 раза медленнее, чем диски. Во вращающемся диске, образуемом звездным газом, могут даже распространяться спиральные волны плотности сжатия-разрежения, наподобие звуковых волн. Они обегают галактику за несколько сотен миллионов лет с постоянной угловой скоростью. Именно эти волны ответственны за появление спиральных ветвей. При сжатии газа начинается образование холодных газовых облаков и их комплексов, активное звездообразование. Почти все звезды диска то попадают внутрь спиральных ветвей, то выходят из них. Когда звёзды проходят сквозь рукав галактики, они замедляются, несколько увеличивая среднюю плотность рукава. Подобные «волны», состоящие из медленно едущих машин, можно увидеть на переполненных дорогах. В результате возникающей неоднородности гравитационного потенциала (10-20 %) «догоняющий» межзвёздный газ разгоняется до сверхзвуковых скоростей и тормозится о «набегающий», образуя ударную волну со значительно повышенной, по сравнению со средней, плотностью. Рукава заметны потому, что повышенная плотность способствует формированию звёзд, из-за чего спиральные рукава населены молодыми голубыми звёздами. Единственное место, где скорости звезд и рукавов совпадают, – это коротационная окружность. Именно вблизи нее в нашей Галактике и располагается наше Солнце. Для Земли это обстоятельство крайне благоприятно: наша планета существует в относительно спокойном месте Галактики и в течение миллиардов лет не испытывает влияния галактических катаклизмов.

При исследовании неба с помощью телескопов обнаружено множество галактик неправильной, клочковатой формы, похожих на Магеллановы Облака. Около половины вещества в них – межзвёздный газ. Подобные галактики называются неправильными и по классификации Хаббла обозначаются Ir (англ. irregular). К этому классу относятся около 3% всех галактик. (на фото неправильная галактика NGC 1427A) Существует два больших типа неправильных галактик:

- Неправильные галактики первого типа (Irr I) представляют собой неправильные галактики, имеющие намеки на структуру, которых, однако, не достаточно, чтобы отнести их к последовательности Хаббла. Существует два подтипа таких галактик — обнаруживающих подобие спиральной структуры (Sm), и с отсутствием таковой (Im).

- Неправильные галактики второго типа (Irr II) — это галактики, не имеющие никаких особенностей в своей структуре, позволяющих отнести их к последовательности Хаббла.

- Третий подтип неправильных галактик — так называемые карликовые неправильные галактики, обозначаемые как dI или dIrrs. Этот тип галактик в настоящее время считается важным звеном в понимании общей эволюции галактик. Вызвано это тем, что они обнаруживают тенденцию низкого содержания металлов и экстремально высокого содержания газа и поэтому подразумеваются схожими с самыми ранними галактиками, заполнявшими Вселенную. Этот тип галактик может представлять местную (и поэтому наиболее современную) версию тусклых голубых галактик, обнаруженных при сверх глубоком обзоре неба.

В прошлом считалось, что Большое и Малое Магеллановы Облака относятся к неправильным галактикам. Однако позже было обнаружено, что они имеют спиральную структуру с баром. Поэтому эти галактики были переклассифицированы в SBm, четвертый тип спиральных галактик с баром. Да и возможно они просто пролетающие мимо галактики, а не спутники Млечного Пути.

- E0—E7 — эллиптические галактики, имеют относительно равномерное распределение звёзд без явного ядра. Цифра показывает эксцентриситет: галактики E0 практически шарообразны, с увеличением номера развивается уплощение. Число показывает форму проекции на плоскость наблюдения, а не реальную форму галактики, которую может быть трудно установить.

- S0 — линзообразные галактики дискообразной формы, с явно выраженным центральным балджем (выпуклостью), но без наблюдаемых рукавов.

- Sa, Sb, Sc, Sd — спиральные галактики, состоящие из балджа и внешнего диска, содержащего рукава. Буква показывает, насколько плотно расположены рукава.

- SBa, SBb, SBc, SBd — спиральные галактики с перемычкой, в которых центральный балдж пересекает яркий бар (перемычка), от которого отходят рукава.

- Irr — иррегулярные галактики, которые не могут быть отнесены ни к одному из перечисленных классов. Галактики типа IrrI показывают остатки спиральной структуры, а IrrII имеют совершенно неправильную форму.

Таблица 4 – Типология галактик

Тип галактики	Масса (в массах Солнца)	Светимость (в светимостях Солнца)	Диаметр (килопарсек)	Звёздное население	Процент среди наблюдаемых галактик
Спиральные (S и SB)	$10^9 — 10^{11}$	$10^8 — 10^{10}$	5 — 250	диск: Население I гало: Население II	77%
Эллиптические (E)	$10^5 — 10^{13}$	$10^5 — 10^{11}$	1 — 205	Население II	20%
Иррегулярные (Irr)	$10^8 — 10^{10}$	$10^7 — 10^9$	1 — 10	Население I	3%

Лекция 16. Конечность и бесконечность вселенной - парадоксы классической космологии. Современные проблемы астрономии

К концу XIX в. появились серьезные сомнения в классической космологической модели. Они приняли форму так называемых космологических парадоксов – фотометрического, гравитационного и термодинамического.

Фотометрический парадокс. Еще в XVIII в. швейцарский астроном Р. Шезо высказал сомнения в пространственной бесконечности Вселенной. Если предположить, утверждал Шезо, что в бесконечной Вселенной существует бесконечное множество звезд, и они распределены в пространстве равномерно, то тогда по любому направлению взгляд земного наблюдателя непременно наткнется бы на какую-нибудь звезду. Тогда небосвод, сплошь усеянный звездами, имел бы бесконечную светимость, то есть такую поверхностную яркость, что даже Солнце на его фоне казалось бы черным пятном. Однако этого не происходит. Независимо от Шезо к аналогичным же выводам пришел известный немецкий астроном Ф. Ольберс. Это парадоксальное утверждение получило в астрономии наименование *фотометрического парадокса Шезо-Ольберса*. Таков был первый космологический парадокс, поставивший под сомнение пространственную бесконечность Вселенной.

Гравитационный парадокс. В конце XIX в. немецкий астроном К. Зеелигер обратил внимание на другой парадокс, также неизбежно вытекавший из представлений о бесконечности Вселенной. Он получил название *гравитационного парадокса*. Нетрудно подсчитать, что в бесконечной Вселенной с равномерно распределенными в ней телами сила тяготения со стороны всех тел Вселенной на данное тело оказывается бесконечно большой или неопределенной. Результат зависит от способа вычисления. Поскольку этого не происходит, Зеелигер сделал вывод, что количество небесных тел во Вселенной ограничено, а значит, и сама Вселенная не бесконечна.

Термодинамический парадокс. Третий, термодинамический, парадокс также был сформулирован в XIX в. Он вытекает из второго начала термодинамики – принципа возрастания энтропии. Мир полон энергии, которая подчиняется важнейшему закону природы – закону сохранения энергии. Казалось бы, из этого закона неизбежно вытекает вечный круговорот материи во Вселенной. В самом деле, если в природе при всех изменениях материи она не исчезает и не возникает из ничего, а лишь переходит из одной формы существования в другую, то Вселенная вечна, а материя, ее составляющая, пребывает в вечном круговороте. Таким образом, погасшие звезды снова превращаются в источник света и тепла. Никто, конечно, не знал, как это происходит, но убеждение в том, что Вселенная в целом всегда одна и та же, было в то время почти всеобщим.

Тем неожиданнее прозвучал вывод из второго начала термодинамики, открытого в середине XIX в. англичанином Кельвином и немецким физиком Клаузиусом. При всех превращениях различные виды энергии, в конечном счете, переходят в тепло, которое, будучи предоставлено себе, стремится к состоянию термодинамического равновесия, т.е. рассеивается в пространстве. Так как процесс рассеяния тепла необратим, то рано или поздно все звезды погаснут, все активные процессы в природе прекратятся и Вселенная превратится в мрачное замерзшее кладбище. Наступит тепловая смерть Вселенной.

Встать на позицию Клаузиуса – значит признать, что Вселенная имела когда-то начало, и неизбежно будет иметь конец. Действительно, если бы в прошлом Вселенная существовала вечно, то в ней давно наступило бы состояние тепловой смерти, а так как этого нет, то, по убеждению Клаузиуса и многих других его современников, Вселенная была сотворена

сравнительно недавно, а в будущем, если не случится какого-нибудь чуда, Вселенную ждет тепловая смерть.

Таким образом, концепция тепловой смерти Вселенной, термодинамический парадокс поставили под сомнение вопрос о вечности Вселенной во времени. Три космологических парадокса заставили ученых усомниться в классической космологической модели Вселенной, побудили их к поискам новых непротиворечивых моделей.

Модель расширяющейся Вселенной

Модель Вселенной Эйнштейна стала первой космологической моделью, базирующейся на выводах общей теории относительности. Это связано с тем, что именно тяготение определяет взаимодействие масс на больших расстояниях. Поэтому теоретическим ядром современной космологии выступает теория тяготения – общая теория относительности. Эйнштейн допускал в своей космологической модели наличие некоей гипотетической отталкивающей силы, которая должна была обеспечить стационарность, неизменность Вселенной. Однако последующее развитие естествознания внесло существенные коррективы в это представление.

Пять лет спустя, в 1922 г., советский физик и математик А. Фридман на основе строгих расчетов показал, что Вселенная Эйнштейна не может быть стационарной, неизменной. При этом Фридман опирался на сформулированный им космологический принцип, который строится на двух предположениях: об изотропности и однородности Вселенной. Изотропность Вселенной понимается как отсутствие выделенных направлений, одинаковость Вселенной по всем направлениям. Однородность Вселенной понимается как одинаковость всех точек Вселенной: мы можем проводить наблюдения в любой из них, и везде увидим изотропную Вселенную.

Фридман на основе космологического принципа доказал, что уравнения Эйнштейна имеют и другие, нестационарные решения, согласно которым Вселенная может либо расширяться, либо сжиматься. При этом речь шла о расширении самого пространства, т.е. об увеличении всех расстояний мира. Вселенная Фридмана напоминала раздувающийся мыльный пузырь, у которого и радиус, и площадь поверхности непрерывно увеличиваются.

Первоначально модель расширяющейся Вселенной носила гипотетический характер и не имела эмпирического подтверждения. Однако в 1929 г. американский астроном Э. Хаббл обнаружил эффект «красного смещения» спектральных линий (смещение линий к красному концу спектра). Это было истолковано как следствие эффекта Доплера – изменение частоты колебаний или длины волн из-за движения источника волн и наблюдателя по отношению друг к другу. «Красное смещение» было объяснено как следствие удаления галактик друг от друга со скоростью, возрастающей с расстоянием. Согласно последним измерениям увеличение скорости расширения составляет примерно 55 км/сна каждый миллион парсек.

В результате своих наблюдений Хаббл обосновал представление, что Вселенная – это мир галактик, что наша Галактика – не единственная в ней, что существует множество галактик, разделенных между собой огромными расстояниями. Вместе с тем Хаббл пришел к выводу, что межгалактические расстояния не остаются постоянными, а увеличиваются. Таким образом, в естествознании появилась *концепция расширяющейся Вселенной*.

Какое же будущее ждет нашу Вселенную? Фридман предложил три модели развития Вселенной.

В *первой модели* Вселенная расширяется медленно для того, чтобы в силу гравитационного притяжения между различными галактиками расширение Вселенной замедлялось и в конце концов прекращалось. После этого Вселенная начинала сжиматься. В

этой модели пространство искривляется, замыкаясь на себя, образуя сферу. Во *второй модели* Вселенная расширялась бесконечно, а пространство искривлено как поверхность седла и при этом бесконечно. В *третьей модели* Фридмана пространство плоское и тоже бесконечное.

По какому из этих трех вариантов идет эволюция Вселенной, зависит от отношения гравитационной энергии к кинетической энергии разлетающегося вещества.

Если кинетическая энергия разлета вещества преобладает над гравитационной энергией, препятствующей разлету, то силы тяготения не остановят разбегания галактик, и расширение Вселенной будет носить необратимый характер. Этот вариант динамической модели Вселенной называют *открытой Вселенной*. Если же преобладает гравитационное взаимодействие, то темп расширения со временем замедлится до полной остановки, после чего начнется сжатие вещества вплоть до возврата Вселенной в исходное состояние сингулярности (точечный объем с бесконечно большой плотностью). Такой вариант модели назван *осциллирующей*, или *закрытой*, *Вселенной*. В граничном случае, когда силы гравитации точно равны энергии разлета вещества, расширение не прекратится, но его скорость со временем будет стремиться к нулю. Через несколько десятков миллиардов лет после начала расширения Вселенной наступит состояние, которое можно назвать *квазистационарным*. Теоретически возможна и пульсация Вселенной.

Наблюдаемое нами разбегание галактик есть следствие расширения пространства замкнутой конечной Вселенной. При таком расширении пространства все расстояния во Вселенной увеличиваются подобно тому, как растут расстояния между пылинками на поверхности раздувающегося мыльного пузыря. Каждую из таких пылинок, как и каждую из галактик, можно с полным правом считать центром расширения. Когда Э. Хаббл показал, что далекие галактики разбегаются друг от друга со все возрастающей скоростью, был сделан однозначный вывод о том, что наша Вселенная расширяется. Но расширяющаяся Вселенная – это изменяющаяся Вселенная, мир со всей своей историей, имеющий начало и конец. Постоянная Хаббла позволяет оценить время, в течение которого продолжается процесс расширения Вселенной. Получается, что оно не менее 10 млрд. и не более 19 млрд. лет. Наиболее вероятным временем существования расширяющейся Вселенной считают 15 млрд. лет. Таков приблизительный возраст нашей Вселенной.

Происхождение Вселенной – концепция Большого взрыва

Представление о развитии Вселенной закономерно привело постановке проблемы начала эволюции (рождения) Вселенной и ее конца (смерти). В настоящее время существует несколько космологических моделей, объясняющих отдельные аспекты возникновения материи во Вселенной, но они не объясняют причин и процесса рождения самой Вселенной. Из всей совокупности современных космологических теорий только теория Большого взрыва Г. Гамова смогла к настоящему времени удовлетворительно объяснить почти все факты, связанные с этой проблемой. Основные черты модели Большого взрыва сохранились до сих пор, хотя и были позже дополнены теорией инфляции, или теорией раздувающейся Вселенной, разработанной американскими учеными А. Гуттом и П. Стейн-хардтом и дополненной советским физиком А.Д. Линде.

В 1948 г. выдающийся американский физик русского происхождения Г. Гамов выдвинул предположение, что физическая Вселенная образовалась в результате гигантского взрыва, происшедшего примерно 15 млрд лет тому назад. Тогда все вещество и вся энергия Вселенной были сконцентрированы в одном крохотном сверхплотном сгустке. Если верить

математическим расчетам, то в начале расширения радиус Вселенной был и вовсе равен нулю, а ее плотность равна бесконечности. Это начальное состояние называется *сингулярностью* – точечный объем с бесконечной плотностью. Известные законы физики в сингулярности не работают. В этом состоянии теряют смысл понятия пространства и времени, поэтому бессмысленно спрашивать, где находилась эта точка. Также современная наука ничего не может сказать о причинах появления такого состояния.

Тем не менее, согласно принципу неопределенности Гейзенберга вещество невозможно стянуть в одну точку, поэтому считается, что Вселенная в начальном состоянии имела определенную плотность и размеры. По некоторым подсчетам, если все вещество наблюдаемой Вселенной, которое оценивается примерно в 1061 г, сжать до плотности 1094 г/см³, то оно займет объем около 10–33 см³. Ни в какой электронный микроскоп разглядеть ее было бы невозможно. Долгое время ничего нельзя было сказать о причинах Большого взрыва и переходе Вселенной к расширению. Но сегодня появились некоторые гипотезы, пытающиеся объяснить эти процессы. Они лежат в основе инфляционной модели развития Вселенной.

«Начало» Вселенной

Основная идея концепции Большого взрыва состоит в том, что Вселенная на ранних стадиях возникновения имела неустойчивое вакуумоподобное состояние с большой плотностью энергии. Эта энергия возникла из квантового излучения, т.е. как бы из ничего. Дело в том, что в физическом вакууме отсутствуют фиксируемые частицы, поля и волны, но это не безжизненная пустота. В вакууме имеются виртуальные частицы, которые рождаются, имеют мимолетное бытие и тут же исчезают. Поэтому вакуум «кипит» виртуальными частицами и насыщен сложными взаимодействиями между ними. Причем энергия, заключенная в вакууме, располагается как бы на его разных этажах, то есть имеется феномен разностей энергетических уровней вакуума.

Пока вакуум находится в равновесном состоянии, в нем существуют лишь виртуальные (призрачные) частицы, которые занимают в долг у вакуума энергию на короткий промежуток времени, чтобы родиться, и быстро возвращают позаимствованную энергию, чтобы исчезнуть. Когда же вакуум по какой-либо причине в некоторой исходной точке (сингулярности) возбудился и вышел из состояния равновесия, то виртуальные частицы стали захватывать энергию без отдачи и превращались в реальные частицы. В конце концов, в определенной точке пространства образовалось огромное множество реальных частиц вместе со связанной ими энергией. Когда же возбужденный вакуум разрушился, то высвободилась гигантская энергия излучения, а суперсила сжала частицы в сверхплотную материю. Экстремальные условия «начала», когда даже пространство-время было деформировано, предполагают, что и вакуум находился в особом состоянии, которое называют «ложным» вакуумом. Оно характеризуется энергией предельно высокой плотности, которой соответствует предельно высокая плотность вещества. В этом состоянии вещества в нем могут возникать сильнейшие напряжения, отрицательные давления, равносильные гравитационному отталкиванию такой величины, что оно вызвало безудержное и стремительное расширение Вселенной – Большой взрыв. Это и было первотолчком, «началом» нашего мира. С этого момента начинается стремительное расширение Вселенной, возникают время и пространство. В это время идет безудержное раздувание «пузырей пространства», зародышей одной или нескольких вселенных, которые могут отличаться друг от друга своими фундаментальными константами и законами. Один из них стал зародышем нашей Метагалактики.

По разным оценкам, период «раздувания», идущий по экспоненте, занимает невообразимо малый промежуток времени – до 10^{-33} с после «начала». Он называется *инфляционным периодом*. За это время размеры Вселенной увеличились в 1050 раз – от миллиардной доли размера протона до размеров спичечного коробка.

К концу фазы инфляции Вселенная была пустой и холодной, но когда инфляция иссякла, Вселенная вдруг стала чрезвычайно «горячей». Этот всплеск тепла, осветивший космос, обусловлен огромными запасами энергии, заключенными в «ложном» вакууме. Такое состояние вакуума очень неустойчиво и стремится к распаду. Когда распад завершается, отталкивание исчезает, заканчивается и инфляция. А энергия, связанная в виде множества реальных частиц, высвободилась в виде излучения, мгновенно нагревшего Вселенную до 1027 К. С этого момента Вселенная развивалась согласно стандартной теории «горячего» Большого взрыва.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

7 июня 2017 года был подписан приказ Министерства образования и науки Российской Федерации № 506 «О внесении изменений в федеральный компонент государственных образовательных стандартов начального общего, основного общего и среднего (полного) общего образования, утвержденный приказом Министерства образования Российской Федерации от 5 марта 2004 г. № 1089». Данный приказ внес изменения в часть II федерального компонента «Среднее (полное) общее образование» по вопросу возвращения в обязательную часть учебного плана предмета «Астрономия».

Астрономия призвана стать предметом, формирующим не только единую естественнонаучную картину мира, но и познавательные интересы, интеллектуальные и творческие способности студентов. Нельзя не отметить важную роль предмета в становлении гражданской позиции и патриотическом воспитании выпускников – Российская Федерация в развитии астрономии, космонавтики и космофизики всегда занимала лидирующие позиции в мире.

Задача астрономии, как и любого естественнонаучного предмета – формирование естественнонаучной грамотности. Естественнонаучная грамотность - это способность человека занимать активную гражданскую позицию по вопросам, связанным с развитием естественных наук и применением их достижений, а также его готовность интересоваться естественнонаучными идеями, это не синоним естественнонаучных знаний и умений, а знания и умения - в действии, и не просто в действии, а в действии применительно к реальным задачам. Естественнонаучно грамотный человек стремится участвовать в аргументированном обсуждении проблем, относящихся к естественным наукам и технологиям, что требует от него следующих компетентностей:

- научно объяснять явления;
- понимать основные особенности естественнонаучного исследования;
- интерпретировать данные и использовать научные доказательства для получения выводов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Чаругин, В. М. Астрономия. 10-11 классы.: учебник для общеобразовательных организаций: базовый уровень / Виктор Чаругин – М.: Просвещение, 2018.- 144 с.
2. Воронцов-Вильяминов, Б. А. Астрономия. 11 класс.: учебник / Б.А. Воронцов – Вильяминов, Е.К.Страут –5-е изд. - М.: Дрофа, 2017. - 238 с.
3. Российская астрономическая сеть [Электронный ресурс]. – Режим доступа:<http://www.asnronet.ru>
4. Сайт Государственного Астрономического института им. Штернберга [Электронный ресурс]. – Режим доступа:<http://www.sai.msu.ru>
5. Познавательный сайт – «Моя астрономия» [Электронный ресурс]. – Режим доступа:<http://www.myastronomy.ru>
6. Кругосвет-универсальная энциклопедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа:<http://www.krugosvet.ru>
7. Элементы: Популярный сайт о фундаментальной науке [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.elementy.ru>
8. Популярная механика. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.popmech.ru>