Автономная некоммерческая организация профессионального образования «Технико - экономический колледж»

Канарейкин А. И.

Лекции по дисциплине «Астрономия»

Канарейкин А. И.

Астрономия: лекции по дисциплине «Астрономия» – Подольск, 2019 г. – 59 с. В учебном пособии изложены все базовые понятия разделов «Звёздное небо, строение солненчной системы, Солнце и звёзды, строение и эволюция Вселенной» программы дисциплины «Астрономия» для специальностей 09.02.04 «Информационные системы», 40.02.01 «Право и организация социального обеспечения», 38.02.04 «Коммерция», 44.02.01 «Дошкольное образование».

Предназначено для преподавателей и обучающихся.

Рассмотрено на заседании педагогического совета, протокол № 1 от «11» июня 2019 г.

Составитель: Канарейкин Алдександр Иванович, к.т.н.

АННОТАЦИЯ

1.1. Нормативная база

Лекции разработаны на основании следующих нормативных документов:

- программы подготовки специалистов среднего звена (далее ППССЗ), федерального государственного образовательного стандарта (далее ФГОС) по специальности среднего профессионального образования (далее СПО) 09.02.04 «Информационные системы», 40.02.01 «Право и организация социального обеспечения», 38.02.04 «Коммерция», 44.02.01 «Дошкольное образование».
 - рабочей программы учебной дисциплины «Астрономия».

1.2 Общие положения

Данное пособие рекомендовано для преподавателей и учащихся 1 курса дневной формы обучения.

Занятия по учебной дисциплине «Астрономия» проводятся за счет учебного времени, выделяемого ППСЗ ФГОС СПО.

Содержание пособия отвечает требованиям к уровню подготовки обучающихся, предусмотренных ППСЗ ФГОС СПО.

Оглавление

Введение	5
Тема 1. Предмет астрономии. Звёздное небо. Способы определения	
географической широты. Основы измерения времени	6
Тема 2. Строение солненчной системы	18
Тема 3. Физическая природа тел солнечной системы	28
Тема 4. Солнце и звёзды	33
Тема 5. Строение и эволюция Вселенной	50

Введение

Астрономия занимает особое место в системе естественно-научных знаний, так как она затрагивает глубинные вопросы существования человека в Окружающем концентрируются основные противоречия между бытием человека и его сознанием. На протяжении тысячелетий астрономия шагала в ногу с философией и религией, информацией, почерпнутой из наблюдений звёздного неба, питала внутренний мир человека, его религиозные представления об окружающем мире. Во всех древних философских школах астрономия занимала ведущее место. Так как астрономия не затрагивала непосредственно условия жизни и деятельности человека, то потребность в ней возникала на более высоком уровне умственного и духовного развития человека, и поэтому, она была доступна пониманию узкого круга образованных людей.

Всё современное естествознание: физика, математика, география и другие науки — питалось и развивалось благодаря развитию астрономии. Достаточно вспомнить механику, математический анализ, развитые Ньютоном и его последователями в основном для объяснения движения небесных тел. Современные идеи и теории: общая теория относительности, физика элементарных частиц — во многом зиждутся на достижениях современной астрономии, таких её разделов, как астрофизика и космология.

Чтобы правильно понять современное естествознание, необходимо изучать астрономию, пронизывающую его и лежащую в его основах.

Данное пособие может быть использовано для ознакомления с изучаемым материалом, при конспектировании лекций, для подготовки к практическим занятиям, для закрепления полученных знаний, умений и навыков. В работы приведены примеры и задания, которые студенты могут выполнять в режиме самоконтроля.

Пособие предназначено для студентов заочной и дневной форм обучения.

Тема 1. Предмет астрономии. Звёздное небо. Способы определения географической широты. Основы измерения времени.

1. Предмет астрономии.

Астрономия (от греч. «астрон» - «заря», «номос» - «закон») - наука, изучающая движение, строение, происхождение и развитие небесных тел и их систем. Астрономия изучает всю совокупность небесных объектов: планеты и их спутники, кометы и метеорные тела, Солнце, звезды, звездные скопления, туманности, галактики, а также вещество и поля, заполняющие пространство между светилами. Слово космос в переводе с греческого означает порядок, в отличие от хаоса, где царит беспорядок. Еще в Древней Греции ученые понимали, что во Вселенной действуют какие-то законы, поэтому на небе существует определенный порядок. В наше время под словом космос мы представляем себе Вселенную.

Астрономия существенно отличается от других отраслей естествознания. В основе других естественных наук лежит эксперимент. Физики или химики могут искусственно создавать те или иные условия и исследовать, как изменение этих условий влияет на протекание определенного процесса. Основа астрономии - наблюдения. Изучая потоки электромагнитных волн от небесных светил, астрономы не только смогли определить расстояния до них, исследовать физические условия в их недрах, установить химический состав их атмосфер, выяснить внутреннее строение, но и наметить пути их эволюции на протяжении миллиардов лет. Можно сказать, что современная астрономия держится на трёх «китах»:

- во-первых, это мощные телескопы с самыми разнообразными вспомогательными приборами и свет регистрирующими приспособлениями;
- во-вторых, вся совокупность законов, идей и методов теоретической физики, установленных и разработанных за последние триста лет;
- в-третьих, весь сложный и разнообразный математический аппарат в сочетании с возможностями современной вычислительной техники. В современной астрономии астрономы не только собирают информацию о далеких мирах, но и проводят эксперименты в окружающем и дальнем космическом пространстве.

Вселенная - все сущее, что расположено на Земле и за ее пределами.

Современная астрономия является настолько развитой наукой, что делится на более десяти отдельных дисциплин, в каждой из которых используются только ей присущие методы исследований, типы инструментов, понятийный аппарат:

- Астрометрия разрабатывает методы измерения положений небесных светил и угловых расстояний между ними, она же решает проблемы измерения времени.
 - Небесная механика выясняет динамику движения небесных тел.
- Астрофизика изучает физическую природу, химический состав и внутреннее строение зрение.
 - Звездная астрономия изучает строение нашей Галактики и других звездных систем.
 - Вопросами происхождения и развития небесных тел занимается космогония.
- Развитием Вселенной в целом космология (от греч. «космос» «Вселенная», «гон» «происхождение», «логос» «учение»).

С давних времен небо поражало воображение людей своей загадочностью, но много веков оно оставалось для них недосягаем, а потому священным. Фантазия людей населила небо могучими существами - богами, которые управляют миром и даже решают судьбу каждого человека. Ночью призрачное сияние зрение очаровывало людей, поэтому выдумка древних астрономов объединила отдельные звезды в фигуры людей и животных - так появились названия созвездий. Потом были замечены светила, которые движутся среди звезд, - их назвали планетами (с греческого - блуждающая). Первые астрономические записи,

найденные в древнеегипетских гробницах, датируемых XXI-XVIII вв. до н. э. Так, известно, что уже за 3000 лет до н. э. египетские жрецы за первой утренней появлением ярчайшей звезды земного звездного неба Сириус определяли время наступления разлива реки Нил. В древнем Китае за 2000 лет до н. э. видимые движения Солнца и Луны были настолько хорошо изучены, что китайские астрономы предсказывали наступление солнечных и лунных затмений.

Было по крайней мере три причины, что обусловили и стимулировали зарождение и развитие астрономии. Первый и, безусловно, самый древний стимул - это практические потребности людей. Для первобытных кочевых племен, занимавшихся охотой, очень важным обстоятельством было чередование темных безлунных и светлых лунных ночей, что требовало наблюдений за изменением фаз Луны.

С ритмичной сменой времен года связан летний цикл жизни земледельцев. Для народов Междуречья, Египта, Китая очень важным было предсказания разливов крупных рек, в долинах которых они жили. А это требовало, как наблюдений за высотой Солнца над горизонтом в течение года, так и сопоставление событий на Земле с видом звездного неба. Опираясь на эти наблюдения, люди уже издавна разработали определенные системы счета времени - календари.

Наблюдая восход Солнца утром и его закат вечером, они смогли выделить для ориентации в пространстве одно из главных направлений - направление восток-запад. Слово «ориентироваться» происходит от латинского «оріенс», что означает «восток», а также «восход Солнца». Для установки направлению ночью люди запоминали расположение на небе ярких зрение и их отдельных характерных групп, выясняли условия видимости светил на небе в течение года.

Вторым стимулом для тщательных наблюдений звездного неба, а в целом - для накопления астрономических знаний и развития астрономии, были астрологические предсказания.

Уже в III тыс. до н. э. древние вавилоняне внимательно следили за движением так называемых «блуждающих светил», которые, в отличие от неподвижных звезд, не занимали постоянных положений на небе, а двигались, перемещаясь из созвездия в созвездие. От древних греков до нас дошла их общее название-планеты, от римлян - собственные названия: Меркурий, Венера, Марс, Юпитер и Сатурн. К числу планет в те времена относили еще и Солнце и Луна, потому что они также «блуждали» небом по созвездиям.

Не зная истинных причин движения планет на небе, древние наблюдатели составили представление, по которому Солнце, Луна и упомянутые пять светил является «глашатаями воли богов». Более 4000 лет назад зародилась астрология - необоснованное с позиций современной науки попытки за положением планет на небе предвидеть ход событий на земле: погоду и урожай, мир или войну для государства, судьбу правителя, а впоследствии - и каждого человека.

Третьим, наверное, самым главным стимулом для развития астрономии было неудержимое желание человеческой мысли проникнуть в суть вещей, осознать истинное положение Земли и человека во Вселенной, познать законы, по которым движутся светила и которые определяют их рождение, строение и развитие. То есть астрономия удовлетворяла потребность человека в объяснении происхождения и развития окружающего мира. Играя огромную мировоззренческую роль, астрономия всегда занимала видное место в духовной жизни человечества. Вот что писал по этому поводу А. Пуанкаре: «Астрономия полезна потому, что она возвышает нас над нами самими; она полезна потому, что она величественна; она полезна, потому что она прекрасна. Она показывает нам, какая ничтожен человек телом и величественная она духом, ибо ум его в состоянии объять сияющие бездны, где его тело -

лишь темная точка, в состоянии насладиться их безмолвной гармонией. Так мы приходим к осознанию своего могущества, и это осознание ... делает нас сильнее».

Астрономия зарождалась в разных уголках планеты: в Междуречье, Китае, Египтевезде, где, осознав себя, человек организовывала свою жизнь в определенном сообществе. Понятное дело, в те времена ответы на вопросы о строении и происхождении окружающего мира и о месте Земли в нем люди давали на основании своих непосредственных впечатлений и ощущений. Поэтому не случайно сложилось представление о том, что Земля неподвижна и находится в центре мира. Как очевидный факт принималось, что Солнце, Луна и весь небосвод вращаются вокруг нее. Долгое время у людей не было оснований сомневаться даже в том, что Земля плоская. Результаты длительных наблюдений, в частности видимых движений Луны, Солнца, планет, передавались из поколения в поколение. Со временем они помогли смоделировать движения этих светил и благодаря этому вычислять их положение среди звёзд на много лет вперед. Самое совершенное это удалось сделать греческому ученому Клавдию Птолемею около 150 г. н. э. Его геоцентрическая модель мира была так тщательно проработана, что ее использовали почти 1500 лет.

В величественное здание современной астрономии укладывали кирпичи сотни ученых всех стран.

Николай Коперник (1473-1543) «сдвинул Землю, остановив Солнце». Иоганн Кеплер (1618-1621) на основании двадцатилетних наблюдений Тихо Браге (1546-1601) установил законы движения планет.

Галилео Галилей (1564-1642), построив первый телескоп и направив его в небо, открыл четыре спутника Юпитера, фазы Венеры и многое другое. Эти открытия утверждали гелиоцентрическую модель мира Коперника. Исаак Ньютон (1643-1727), обобщив законы Кеплера о движении планет, открыл закон всемирного тяготения и заложил основы небесной механики.

Уильям Гершель (1738-1822) создал модель нашей Галактики - гигантские, но конечных размеров системы зрение.

Йозеф Фраунгофер (1787-1826) впервые использовал спектральный анализ в астрономии.

Эдвин Хаббл (1889-1953) доказал, что за пределами нашей Галактики есть несметное число других таких же звездных систем и что этот мир галактик расширяется.

Альберт Эйнштейн (1879-1955) создал теорию относительности, которая стала фундаментом космологии.

Современная астрономия, оставаясь фундаментальной наукой, имеет огромное прикладное значение и непосредственно связана с научно техническим прогрессом человечества. Изучение разнообразных небесных тел, которые могут находиться в условиях очень высоких и очень низких температур, плотностей и давлений, обогащает важными данными «земные» науки - физику, химию и т.д. Законы небесной механики положен в основу теории движения космических аппаратов, а практическую космонавтику представить без астрономии вообще невозможно. Исследования Луны и планет позволяют значительно лучше изучать нашу Землю. Кроме того, астрономия является одной из главнейших наук, благодаря которым создается научная картина мира - система представлений о самых общих законах строения и развития Вселенной и ее отдельных частей. И эта научная картина мира, в большей или меньшей степени, становится элементом мировоззрения каждого человека.

2. Звёздное небо.

В безоблачную и безлунную ночь открывается величественная картина звездного неба. Россыпи звезд - в котором кажется, невозможно разобраться. Тысячи лет назад люди

глядели на небо, считали звезды и мысленно соединяли их в разнообразные фигуры (созвездия), называя их именами персонажей древних мифов и легенд, животных и предметов.

У разных народов имелись свои мифы и легенды о созвездиях, свои названия, разное их количество. Деления были чисто условны, рисунки созвездия редко соответствовали названной фигуре, однако это существенно облегчало ориентирование по небу. Даже босоногие мальчики в древней Халдее или Шумерах лучше знали небо любого из нас. В общем случае на небе можно насчитать до 2500-3000 звезд (в зависимости от вашего зрения) – а всего видимых звезд около 6000.

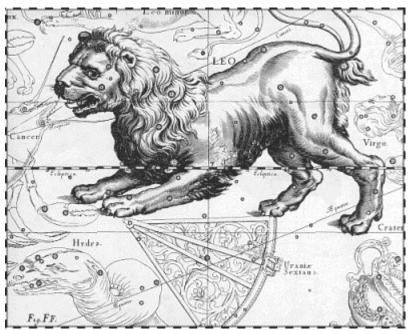
Старейшие по названиям считаются созвездия зодиакальные — пояс, вдоль которого происходит годичное движение Солнца (эклиптика), а также видимые пути Луны и планет. Так созвездия Телец — было известно > 4000 лет назад, так как в это время в этом созвездии находилась точка весеннего равноденствия. Интересны описания созвездий в древности.

Итак, у разных народов и в разное время был разный принцип деления. Так: 4 век до н.э. был список 809 звезд входящих в 122 созвездия. 18 век — Монголия — было 237 созвездий. 2 век — Птолемей ("Альмагеста") — описано 48 созвездий. 15-16 век — период великих морских путешествий — описано 48 созвездий южного неба. В Русском звездном атласе Корнелия Рейссига, изданном в 1829г содержались 102 созвездия.

Были попытки переименовать установившиеся созвездия, но не одно название не прижилось у астрономов (там церковь в 1627г издала атлас созвездия "Христианское звездное небо", давались названия монархов – Георг, Карл, Людовик, Наполеон).

Многие звездные карты (атласы) 17-19 века содержали названия созвездий и рисунки фигур. Но прижился только один звездный атлас Яна Гавелия (1611-1687, Польша) изданный в 1690г и имеющий не только точное расположение звезд и впервые экваториальных координатах, но и прекрасные рисунки (лицевая обложка и титульный лист).

Путаница с созвездиями прекращена в 1922г Международный астрономический союз разделил все небо на 88 созвездий, а границы окончательно установлены в 1928году (пример Ориона).



3. Способы определения географической широты.

По мере перемещения наблюдателя к Северному полюсу Земли Северный полюс мира поднимается над горизонтом. На полюсе Земли полюс мира будет находиться в зените. Звезды здесь движутся по кругам, параллельным горизонту, который совпадает с небесным экватором. Становится неопределенным небесный меридиан, теряют смысл точки севера, юга, востока и запада. На средних географических широтах ось мира и небесный экватор

наклонены к горизонту, суточные пути звезд также наклонены к горизонту. Поэтому наблюдаются восходящие и заходящие звезды. Под восходом понимается явление пересечения светилом восточной части горизонта, а под заходом — западной части горизонта.

В средних широтах, например, на территории Республики Крым, наблюдаются звезды северных околополярных созвездий, которые никогда не опускаются под горизонт. Они называются незаходящими. Звезды, расположенные около Южного полюса мира, у нас никогда не восходят. Их называют невосходящими.

На экваторе Земли ось мира совпадает с полуденной линией, а полюсы мира — с точками севера и юга. Небесный экватор проходит через точки востока, запада, точки зенита и надира. Суточные пути всех звезд перпендикулярны горизонту, и каждая из них половину суток находится над горизонтом.

При своем суточном вращении вокруг оси мира светила два раза за сутки пересекают небесный меридиан. Явление прохождения светилом небесного меридиана называется кульминацией.

Различают верхнюю и нижнюю кульминации. В верхней кульминации светило при суточном движении находится в наивысшей точке над горизонтом, ближайшей к зениту. Точка нижней кульминации светила более удалена от точки зенита, чем точка верхней кульминации, и нижняя кульминация происходит через половину суток после верхней кульминации. Точка пересечения суточной параллели светила с восточной частью истинного горизонта называется точкой восхода светила, а точка пересечения с западной частью истинного горизонта — точкой захода светила.

Найдем зависимость между географическими и небесными координатами.

 $hB = (90^{\circ} - \phi) + \delta$ над южным горизонтом.

 $hH = \delta - (90^{\circ} - \phi)$ для Северного полушария

 $hB = (90^{\circ} + \phi)$ - δ над северным горизонтом т. к. $\delta > \phi$

Соотношения связывают географическую широту с высотой и склонением звезд во время их кульминации.

При составлении географических и топографических карт, прокладке дорог и магистралей, разведке залежей полезных ископаемых и в ряде других случаев необходимо знать географические координаты местности. Эту задачу можно решить с помощью астрономических наблюдений. Рассмотрим три способа.

Первый способ. Определить географическую широту можно из наблюдения Полярной звезды.

Второй способ. Определить географическую широту можно из наблюдения верхней кульминации звезд

$$\phi = \delta \pm (90^{\circ} - hB).$$

Знак «+» ставится, если звезда кульминирует к югу от зенита, а знак «-» — при кульминации звезды к северу от зенита.

Третий способ. Определить географическую широту можно из наблюдения звезд, проходящих вблизи зенита:

$$\phi = \delta Z$$

4. Основы измерения времени.

- 1. Продолжительность суток и года зависит от того, в какой системе отсчета рассматривается движение Земли (связана ли она с неподвижными звездами, Солнцем и т.д). Выбор системы отсчета отражается в названии единицы счета времени.
- 2. Продолжительность единиц счета времени связана с условиями видимости (кульминациями) небесных светил.

- 3. Введение атомного стандарта времени в науке было обусловлено неравномерностью вращения Земли, обнаруженной при повышении точности часов.
- 4. Введение поясного времени обусловлено необходимостью согласования хозяйственных мероприятий на территории, определяемой границами часовых поясов.

Системы счета времени.

Связь с географической долготой. Тысячи лет назад люди заметили, что многое в природе повторяется. Именно тогда возникли первые единицы времени - день, месяц, год. С помощью простейших астрономических приборов было установлено, что в году около 360 дней, и приблизительно за 30 дней силуэт Луны проходит цикл от одного полнолуния к следующему. Поэтому халдейские мудрецы приняли в основу шестидесятеричную систему счисления: сутки разбили на 12 ночных и 12 дневных часов, окружность - на 360 градусов. Каждый час и каждый градус были разделены на 60 минут, а каждая минута - на 60 секунд.

Однако последующие более точные измерения безнадежно испортили это совершенство. Оказалось, что Земля делает полный оборот вокруг Солнца за 365 суток 5 часов 48 минут и 46 секунд. Луне же, чтобы обойти Землю, требуется от 29,25 до 29,85 суток.

Периодические явления, сопровождаемые суточным вращением небесной сферы и видимое годовое движение Солнца по эклиптике лежат в основе различных систем счета времени. Время - основная физическая величина, характеризующая последовательную смену явлений и состояний материи, длительность их бытия.

Короткие - сутки, час, минута, секунда

Длинные - год, квартал, месяц, неделя.

- 1. "Звездное" время, связанное с перемещением звезд на небесной сфере. Измеряется часовым углом точки весеннего равноденствия.
- 2. "Солнечное" время, связанное: с видимым движением центра диска Солнца по эклиптике (истинное солнечное время) или движением "среднего Солнца" воображаемой точки, равномерно перемещающейся по небесному экватору за тот же промежуток времени, что и истинное Солнце (среднее солнечное время).

С введением в 1967 году атомного стандарта времени и Международной системы СИ в физике используется атомная секунда.

Секунда - это физическая величина, численно равная 9192631770 периодам излучения, соответствующего переходу между сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133.

В повседневной жизни используется среднее солнечное время. Основной единицей звездного, истинного и среднего солнечного времени являются сутки. Звездные, средние солнечные и иные секунды мы получаем делением соответствующих суток на 86400 (24h, 60m, 60s). Сутки стали первой единицей измерения времени свыше 50000 лет назад.

Звездные сутки - это период вращения Земли вокруг своей оси относительно неподвижных звезд, определяется как промежуток времени между двумя последовательными верхними кульминациями точки весеннего равноденствия.

Истинные солнечные сутки - это период вращения Земли вокруг своей оси относительно центра диска Солнца, определяемый как промежуток времени между двумя последовательными одноименными кульминациями центра диска Солнца.

Ввиду того, что эклиптика наклонена к небесному экватору под углом 23о26', а Земля вращается вокруг Солнца по эллиптической (слегка вытянутой) орбите, скорость видимого движения Солнца по небесной сфере и, следовательно, продолжительность истинных солнечных суток будет постоянно изменяться на протяжении года: наиболее быстро вблизи точек равноденствий (март, сентябрь), наиболее медленно вблизи точек солнцестояний (июнь, январь). Для упрощения расчетов времени в астрономии введено понятие средних

солнечных суток - периода вращения Земли вокруг своей оси относительно "среднего Солнца".

Средние солнечные сутки определяются как промежуток времени между двумя последовательными одноименными кульминациями "среднего Солнца". Они на 3m55,009s короче звездных суток.

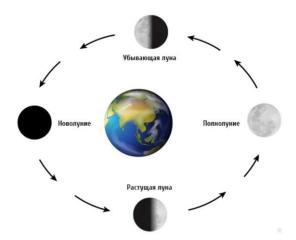
24h00m00s звездного времени равны 23h56m4,09s среднего солнечного времени. Для определенности теоретических расчетов принята эфемеридная (табличная) секунда, равная средней солнечной секунде 0 января 1900 года в 12 часов равнотекущего времени, не связанного с вращением Земли.

Около 35000 лет назад люди обратили внимание на периодическое изменение вида Луны - смену лунных фаз. Фаза Ф небесного светила (Луны, планеты и т.д.) определяется отношением наибольшей ширины освещенной части диска d к его диаметру D: Ф=d/D. Линия терминатора разделяет темную и светлую часть диска светила. Луна движется вокруг Земли в ту же сторону, в какую Земля вращается вокруг своей оси: с запада на восток. Отображением этого движения является видимое перемещение Луны на фоне звезд навстречу вращению неба. Каждые сутки Луна смещается к востоку на 13,50 относительно звезд и за 27,3 суток совершает полный круг. Так была установлена вторая после суток мера времени - месяц.

Сидерический (звездный) лунный месяц - период времени, в течение которого Луна совершает один полный оборот вокруг Земли относительно неподвижных звезд. Равен 27d07h43m11,47s.

Синодический (календарный) лунный месяц - промежуток времени между двумя одноименными последовательными фазами (обычно новолуниями) Луны. Равен 29d12h44m2,78s.

Совокупность явлений видимого движения Луны на фоне звезд и смены фаз Луны позволяет ориентироваться по Луне на местности (рис. 1). Луна появляется узеньким серпиком на западе и исчезает в лучах утренней зари таким же узким серпом на востоке. Мысленно приставим слева к лунному серпу прямую линию. Мы можем прочесть на небе либо букву "Р" - "растет", "рога" месяца повернуты влево - месяц виден на западе; либо букву "С" - "стареет", "рога" месяца повернуты вправо - месяц виден на востоке. В полнолуние Луна в полночь видна на юге.



В результате наблюдений за изменением положения Солнца над горизонтом в течение многих месяцев возникла третья мера времени года

Год-это промежуток времени, в течение которого Земля делает один полный оборот вокруг Солнца относительно какого-либо ориентира (точки).

Звездный год-это сидерический (звездный) период обращения Земли вокруг Солнца, равный 365,256320... средних солнечных суток.

Аномалистический год-это промежуток времени между двумя последовательными прохождениями среднего Солнца через точку своей орбиты (обычно, перигелий), равен 365,259641... средних солнечных суток.

Тропический год-это промежуток времени между двумя последовательными прохождениями среднего Солнца через точку весеннего равноденствия, равный 365,2422... средних солнечных суток или 365d05h48m46,1s.

Всемирное время определяется как местное среднее солнечное время на нулевом (Гринвичском) меридиане (То, UT - Universal Time). Так как в повседневной жизни местным временем пользоваться нельзя (так как в Колыбельке оно одно, а в Новосибирске другое), поэтому и утверждено было Конференцией по предложению канадского инженеражелезнодорожника Сэнфорда Флеминга (8 февраля 1879 при выступлении в Канадском институте в г.Торонто) поясное время, разделив земной шар на 24 часовых зоны (по 360:24=150, по 7,50 от центрального меридиана). Нулевой часовой пояс расположен симметрично относительно нулевого (гринвичского) меридиана. Нумерация поясов дается от 0 до 23 с запада на восток. Реальные границы поясов совмещены с административными границами районов, областей или государств. Центральные меридианы часовых поясов отстоят друг от друга ровно на 150 (1 час), поэтому при переходе из одного часового пояса в другой время изменяется на целое число часов, а число минут и секунд не изменяется. Новые календарные сутки (и Новый год) начинаются на линии перемены даты (демаркационной линии), проходящей в основном по меридиану 180о восточной долготы вблизи северовосточной границы Российской Федерации. Западнее линии перемены дат число месяца всегда на единицу больше, нежели к востоку от нее. При пересечении этой линии с запада на восток календарное число уменьшается на единицу, а при пересечении линии с востока на запад календарное число увеличивается на единицу, что исключает ошибку в счете времени при кругосветных путешествиях и перемещениях людей из Восточного в Западное полушария Земли.

Поэтому Международной меридианной Конференцией (1884г, Вашингтон, США) в связи с развитием телеграфа и железнодорожного транспорта вводится:

- начало суток с полуночи, а не с полудня, как это было.
- начальный (нулевой) меридиан от Γ ринвича (Γ ринвичская обсерватория возле Лондона, основанная Дж. Флемстид в 1675 Γ , через ось телескопа обсерватории).
 - система счета поясного времени.

Поясное время определяется по формуле: Tn = T0 + n, где T0 - всемирное время; n - номер часового пояса.

Декретное время - это поясное время, измененное на целое число часов правительственным распоряжением. Для России равно поясному, плюс 1 час.

Московское время - это декретное время второго часового пояса (плюс 1 час): $T_M = T_0 + 3$ (часа).

Летнее время - декретное поясное время, изменяемое дополнительно на плюс 1 час по правительственному распоряжению на период летнего времени с целью экономии энергоресурсов. По примеру Англии, которая в 1908г впервые вводит переход на летнее время, сейчас 120 стран мира, в том числе и Российская Федерация осуществляет ежегодно переход на летнее время.

Далее следует кратко ознакомить учеников с астрономическими методами определения географических координат (долготы) местности. Вследствие вращения Земли разность между моментами наступления полдня или кульминаций звезд с известными экваториальными координатами в 2 пунктах равна разности географических долгот пунктов, что дает

возможность определения долготы данного пункта из астрономических наблюдений Солнца и других светил и, наоборот, местного времени в любом пункте с известной долготой.

В зависимости от местонахождения на Земле (меридиана - географической долготы) кульминация любого светила наблюдается в разное время, то есть время связано с географической долготой или T= UT+λ, а разность во времени для двух пунктов, расположенных на разных меридианах будет T_1 - T_2 = λ_1 - λ_2 . Географическая долгота (λ) местности отсчитывается к востоку от "нулевого" (гринвичского) меридиана и численно равна промежутку времени между одноименными кульминациями одного и того же светила на гринвичском меридиане (UT) и в пункте наблюдения (T). Выражается в градусах или часах, минутах и секундах. Чтобы определить географическую долготу местности, необходимо определить момент кульминации какого-либо светила (обычно Солнца) с известными экваториальными координатами. Переведя с помощью специальных таблиц или калькулятора время наблюдений из среднего солнечного в звездное и зная по справочнику время кульминации этого светила на гринвичском меридиане, мы без труда определим долготу местности. Единственную сложность вычислений составляет точный перевод единиц времени из одной системы в другую. Момент кульминации можно не "караулить": достаточно определить высоту (зенитное расстояние) светила в любой точно зафиксированный момент времени, но вычисления тогда будут довольно сложными.

Для измерения времени служат часы. От простейших, применяемые еще в древности, - это гномон - вертикальный шест в центре горизонтальной площадки с делениями, затем песочные, водные (клепсидры) и огневые, до механических, электронных и атомных. Еще более точный атомный (оптический) стандарт времени был создан в СССР 1978 году. Ошибка в 1 секунду происходит раз в 10 000 000 лет.

Система счета времени в нашей стране.

- 1) С 1 июля 1919г вводится поясное время (декрет СНК РСФСР от 8.02.1919г)
- 2) В 1930г устанавливается Московское (декретное) время 2-го часового пояса в котором находится Москва, переводом на один час вперед по сравнению с поясным временем (+3 к Всемирному или +2 к среднеевропейскому). Отменено в феврале 1991г и опять восстановлено с января 1992г.
- 3) Этим же Декретом 1930г отменяется действующее с 1917г переход на летнее время (20 апреля и возврат 20 сентября), впервые введено в Англии в 1908г.
 - 4) В 1981г возобновляется в стране переход на летнее время.
- 5) В 1992г восстановлено Указам Президента, отмененное в феврале 1991г, декретное (Московское) время с 19 января 1992г с сохранением перевода на летнее время в последнее воскресенье марта в 2 часа ночи на час вперед, а на зимнее время в последнее воскресенье сентября в 3 часа ночи на час назад.
- 6) В 1996г Постановлением Правительства РФ №511 от 23.04.1996г летнее время продлевается на один месяц и заканчивается теперь в последнее воскресенье октября. Новосибирская область переводится из 6-го часового пояса в 5-й.

Итак, для нашей страны в зимнее время T= UT+n+1ч, а в летнее время T= UT+n+2ч Служба точного времени.

Для точного счета времени необходим эталон, из-за неравномерности движения Земли по эклиптике. В октябре 1967г в Париже 13 Генеральнаяконференция Международного комитета мер и весов определяет продолжительность атомного секунды - промежутка времени, за который совершается 9 192 631 770 колебаний, соответствующих частоте излечения (поглощения) атомом Цезия - 133. Точностью атомных часов - ошибка в 1с за 10000 лет.

С 1 января 1972г СССР и многие страны мира перешли на атомный стандарт времени. Транслируемые по радио сигналы точного времени передаются по атомным часам для точ-

ного определения местного времени (т.е географической долготы - местонахождения опорных пунктов, находя моменты кульминации звезд), а также для авиационной и морской навигации.

Летоисчисления, календарь.

Летоисчисление - система исчисления больших промежутков времени. Во многих системах летосчисления счет велся от какого-либо исторического или легендарного события.

Современное летоисчисление - "наша эра", "новая эра" (н.э.), "эра от Рождества Христова" (Р.Х.), Аппо Domeni (А.D. - "год господа") - ведется от произвольно выбранной даты рождения Иисуса Христа. Поскольку ни в одном историческом документе она не указана, а Евангелия противоречат друг другу, ученый монах Дионисий Малый в 278г эры Диоклетиана решил "научно", на основе астрономических данных вычислить дату эпохи. В основу расчетом была положены: 28-летний "солнечный круг" - промежуток времени, за который числа месяцев приходятся точно на те же дни недели, и 19-летний "лунный круг" - промежуток времени, за который одинаковые фазы Луны приходятся на одни и те же дни месяца. Произведение циклов "солнечного" и "лунного" круга с поправкой на 30-летнее время жизни Христа (28 х 19 + 30 = 572) дало начальную дату современного летоисчисления. Счет лет согласно эре "от Рождества Христова" "приживался" очень медленно: вплоть до XV века (т.е. даже 1000 лет спустя) в официальных документах Западной Европы указывалось 2 даты: от сотворения мира и от Рождества Христова (А.D). Сейчас эта система летосчисления (новая эра) принята в большинстве стран.

Начальная дата и последующая система летоисчисления называются эрой. Начальную точку отсчета эры называют ее эпохой. У народов, исповедующих ислам, летосчисление ведется от 622 н.э. (от даты переселения Мухаммеда - основателя ислама - в Медину).

На Руси летоисчисление "От сотворения мира" ("Древнерусская эра") велось от 1 марта 5508г до НЭ вплоть до 1700г.

Календарь (лат. calendarium - долговая книжка; в Древнем Риме должники платили проценты в день календ - первый день месяца) - система счисления больших промежутков времени, основан на периодичности видимых движений небесных тел.

Выделяют три основных типа календарей:

- 1. **Лунный календарь**, в основе которого лежит синодический лунный месяц продолжительностью 29,5 средних солнечных суток. Возник свыше 30000 лет назад. Лунный год календаря содержит 354 (355) суток (на 11,25 суток короче солнечного) и делится на 12 месяцев по 30 (нечетные) и 29 (четные) суток в каждом (мусульманский, турецкий и т.д). Лунный календарь принят в качестве религиозного и государственного в мусульманских государствах Афганистане, Ираке, Иране, Пакистане, ОАР и других. Для планирования и регулирования хозяйственной деятельности параллельно применяются солнечный и лунно-солнечный календари.
- 2. Солнечный календарь, в основу которого положен тропический год. Возник свыше 6000 лет назад. В настоящее время принят в качестве мирового календаря. Например, Юлианский солнечный календарь "старого стиля" содержит 365,25 суток. Разработан александрийским астрономом Созигеном, введен императором Юлием Цезарем в Древнем Риме в 46 г. до НЭ и распространился затем по всему миру. На Руси был принят в 988 г. НЭ. В юлианском календаре продолжительность года определяется в 365,25 суток; три "простых" года насчитывают по 365 суток, один високосный 366 суток. В году 12 месяцев по 30 и 31 день каждый (кроме февраля). Юлианский год отстает от тропического на 11 минут 13,9 секунды в год. Ошибка в сутки накапливалась за 128,2 лет. За 1500 лет его применения накопилась ошибка в 10 суток.

В григорианском солнечном календаре "нового стиля" продолжительность года составляет 365, 242500 суток (на 26 с превышает тропический год). В 1582 году юлианский календарь по указу Папы Римского Григория XIII был реформирован в соответствие с проектом итальянского математика Луиджи Лилио Гаралли (1520-1576). Счет дней передвинули на 10 суток вперед и условились каждое столетие, не делящееся на 4 без остатка: 1700, 1800, 1900, 2100 и т. д. не считать високосным. Тем самым исправляется ошибка в 3 суток за каждые 400 лет. Ошибка в 1 сутки "набегает" за 3323 лет. Новые столетия и тысячелетия начинаются с 1 января "первого" года данного столетия и тысячелетия: так, XXI век и III тысячелетие нашей эры (н.э.) начался 1 января 2001 года по григорианскому календарю.

В нашей стране до революции применялся **юлианский календарь** "**старого стиля**", ошибка которого к 1917 году составляла 13 суток. 14 февраля 1918 году в стране был введен принятый во всем мире григорианский календарь "нового стиля" и все даты сдвинулись на 13 суток вперед. Различие между старым и новым стилями составляет в 18в 11 сут, в 19в 12 сут и в 20в 13 сут (сохраниться до 2100 г).

Другими разновидностями солнечных календарей являются:

Персидский календарь, определявший продолжительность тропического года в 365,24242 суток; 33-летний цикл включает в себя 25 "простых" и 8 "високосных" лет. Значительно точнее григорианского: ошибка в 1 год "набегает" за 4500 лет. Разработан Омаром Хайямом в 1079 году; применялся на территории Персии и ряда других государств до середины XIX века.

Коптский календарь похож на юлианский: в году насчитывается 12 месяцев по 30 суток; после 12 месяца в "простом" году добавляется 5, в "високосном" - 6 дополнительных дней. Используется в Эфиопии и некоторых других государствах (Египет, Судан, Турция и т.д.) на территории проживания коптов.

3. **Лунно-солнечный календарь**, в котором движение Луны согласовывается с годичным движением Солнца. Год состоит из 12 лунных месяцев по 29 и по 30 суток в каждом, к которым для учета движения Солнца периодически добавляются "високосные" годы, содержащие дополнительный 13-й месяц. В результате "простые" годы продолжаются 353, 354, 355 суток, а "високосные" - 383, 384 или 385 суток. Возник в начале І тысячелетия до НЭ, применялся в Древнем Китае, Индии, Вавилоне, Иудее, Греции, Риме. В настоящее время принят в Израиле (начало года приходится на разные дни между 6 сентября и 5 октября) и применяется, наряду с государственным, в странах Юго-Восточной Азии (Вьетнаме, Китае и т.д).

Все календари неудобны тем, что нет постоянства между датой и днем недели. Возникает вопрос, как придумать постоянный всемирный календарь. В ООН решается данный вопрос и в случае принятия такой календарь можно ввести, когда 1 января выпадет на воскресенье.

Задача 1. Исаак Ньютон родился 4 января 1643г по новому стилю. Какова дата его рождения по старому стилю.

<u>Решение</u>: Разность при переходе на новый стиль в 1643г была 10 дней. Следовательно, 4ян -10 дн = -6 дн. 31 декабря -6 дн = 25 декабря 1642г по старому стилю.

Задача 2. Долгота Колыбельки λ =79°08'42'' или 5°16^м35°. Найдите для Колыбельки местное время и сравните со временем, по которому мы живем.

<u>Решение</u>: Так как время определяется по среднему меридиану пояса, а наш 5-й, то **T**₁- **T**₂= λ_1 - λ_2 = **5**^ч**16**^м**35**^c-**5**^ч= **16**^м**35**^c. Мы живем к востоку от среднего меридиана (15^o 5=75^o), поэтому местное время больше на 16^м**35**^c времени, показываемого вашими часами.

Контрольные вопросы и задания

- 1. Что такое кульминация светила?
- 2. Какие точки называются точками восхода и захода светил?
- 3. Найдите интервал склонений звезд, которые на данной широте: а) никогда не восходят; б) никогда не заходят; в) могут восходить и заходить.
- 4. Как изменяется при суточном движении светила его высота, прямое восхождение, склонение?
- 5. Какая зависимость существует между географической широтой места наблюдения и соответствующими горизонтальной и экваториальной координатами светила?
- 6. Как приближенно определить географическую широту места из наблюдения Полярной звезды?
 - 7. Каким календарем мы пользуемся?
 - 8. Чем старый стиль отличается от нового?
 - 9. Что такое всемирное время?
 - 10. Что такое полдень, полночь, истинные солнечные сутки?
 - 11. Чем объясняется введение поясного времени?
 - 12. Как определить поясное, местное время?

Тема 2. Строение солненчной системы.

1. Видимое движение планет.

Более чем за 2000 лет до НЭ люди заметили, что некоторые звезды перемещаются по небу — их позже греки назвали "блуждающими" — **планетами**. К ним относили Луну и Солнце. Нынешнее название планет заимствовано у древних римлян. Выяснилось, что планеты блуждают в зодиакальных созвездиях. Но объяснить смог только **Н.Коперник**.

Траектория движения небесного тела называется его **орбитой**. Скорости движения планет по орбитам убывают с удалением планет от Солнца. Плоскости орбит всех планет Солнечной системы лежат вблизи плоскости эклиптики, отклоняясь от нее: Меркурий на 7°, Венера на 3,5°; у других наклон еще меньше. По отношению к орбите и условиям видимости с Земли планеты разделяются на **внутренние** (Меркурий, Венера) и **внешние** (Марс, Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун). Внешние планеты всегда повернуты к Земле стороной, освещаемой Солнцем. Внутренние планеты меняют свои фазы подобно Луне.

2. Развитие представлений о Солнечной системе.

Первые высеченные в камне звездные карты были созданы 32-35 тысяч лет назад. Знание созвездий и положений некоторых звезд обеспечивало первобытным людям ориентацию на местности и приблизительное определение времени ночью. Более чем за 2000 лет до НЭ люди заметили, что некоторые звезды перемещаются по небу — их позже греки назвали "блуждающими" — планетами. Это послужило основой для создание первых наивных представлений об окружающем нас мире ("Астрономия и мировоззрение" или кадры другого диафильма).

Фалес Милетский (624-547 гг. до н.э.) самостоятельно разработал теорию солнечных и лунных затмений, открыл сарос. Об истинной (сферической) форме Земли древнегреческие астрономы догадались на основе наблюдений формы земной тени во время лунных затмений.

Анаксимандр (610-547 гг. до н.э.) учил о бесчисленном множестве непрерывно рождающихся и гибнущих миров в замкнутой шарообразной Вселенной, центром которой является Земля; ему приписывалось изобретение небесной сферы, некоторых других астрономических инструментов и первых географических карт.

Пифагор (570-500 гг. до н.э.) первым назвал Вселенную Космосом, подчеркивая ее упорядоченность, соразмерность, гармоничность, пропорциональность, красоту. Земля имеет форму шара, потому что шар наиболее соразмерен из всех тел. Считал, что Земля находится во Вселенной без всякой опоры, звездная сфера совершает полный оборот в течение дня и ночи и впервые высказал предположение, что вечерняя и утренняя звезда есть одно и то же тело (Венера). Считал, что звезды находятся ближе планет.

Предлагает пироцентрическую схему строения мира = в центре священный огонь, а вокруг прозрачные сферы, входящие друг в друга на которых закреплена Земля, Луна и Солнце со звездами, затем планеты. Сферы, вращаясь с востока на запад и подчиняясь определенным математическим соотношениям. Расстояния до небесных светил не могут быть произвольными, они должны соответствовать гармоническому аккорду. Эта "музыка небесных сфер" может быть выражена математически. Чем дальше сфера от Земли, тем больше скорость и выше издаваемый тон.

Анаксагор (500-428 гг. г. до н.э.) предполагал, что Солнце - кусок раскаленного железа; Луна - холодное, отражающее свет тело; отрицал существование небесных сфер; самостоятельно дал объяснение солнечным и лунным затмениям.

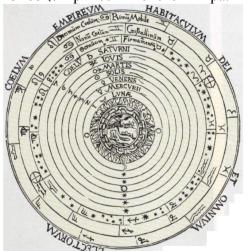
Демокрит (460-370 гг. до н.э.) считал материю состоящей из мельчайших неделимых частиц - атомов и пустого пространства, в котором они движутся; Вселенную - вечной и бесконечной в пространстве; Млечный Путь состоящим из множества неразличимых глазом далеких звезд; звезды - далекими солнцами; Луну - похожей на Землю, с горами, моря-

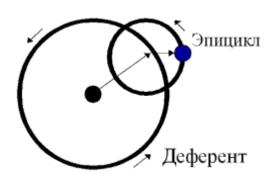
ми, долинами... "Согласно Демокриту, миров бесконечно много и они различных размеров. В одних нет ни Луны, ни Солнца, в других они есть, но имеют значительно большие размеры. Лун и солнц может быть больше, чем в нашем мире. Расстояния между мирами различны, одни больше, другие меньше. В одно и то же время одни миры возникают, а другие умирают, одни уже растут, а другие достигли расцвета и находятся на краю гибели. Когда миры сталкиваются между собой, они разрушаются. На некоторых совсем нет влаги, а также животных и растений. Наш мир находится в самом расцвете" (Ипполит "Опровержение всякой ереси", 220 г. н.э.)

Евдокс (408-355 гг. до н.э.) - один из крупнейших математиков и географов древности; разработал теорию движения планет и первую из геоцентрических систем мира. Он подбирал комбинацию из нескольких вложенных одна в другую сфер, причём полюса каждой из них были последовательно закреплены на предыдущей. 27 сфер, из них одна для неподвижных звёзд, вращаются равномерно вокруг различных осей и расположены одна внутри другой, к которым прикреплены неподвижные небесные тела.

Архимед (283-312 гг. до н.э.) впервые попытался определить размеры Вселенной. Считая Вселенную шаром, ограниченным сферой неподвижных звезд, а диаметр Солнца в 1000 раз меньшим, он вычислил, что Вселенная может вмещать 10^{63} песчинок.

Гиппарх (190-125 гг. до н.э.) "более, чем кто-либо доказал родство человека со звездами...он определил места и яркость многих звезд, чтобы можно было разобрать, не исчезают ли они, не появляются ли вновь, не движутся ли они, меняются ли они в яркости" (Плиний Старший). Гиппарх был создателем сферической геометрии; ввел сетку координат из меридианов и параллелей, позволявших определять географические координаты местности; составил звездный каталог, включавший 850 звезд, распределенные по 48 созвездиям; разделил звезды по блеску на 6 категорий - звездных величин; открыл прецессию; изучал движение Луны и планет; повторно измерил расстояние до Луны и Солнца и разработал одну из геоцентрических систем мира.





Первая научно обоснованная теория строения мира была разработана **Аристотелем** и опубликована в 355г до НЭ в книге "О небе". Признавая шарообразность Земли, Луны и небесных тел, отказывается от движения Земли и ставит ее в центр, так как считал, что звезды должны были бы описывать круги, а не находиться на месте (что было доказано лишь в 18 веке). Система получила название **геоцентрической** (Гея – Земля).

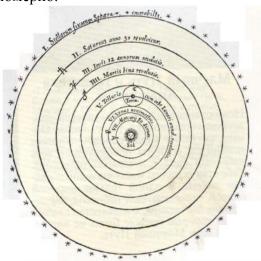
С развитием астрономии и получении более точных знаний о движении планет, система была доработана Гиппархом и окончательно кинематически разработана к 150 г н. э. александрийским астрономом **Клавдием Птолемеем** (87-165) в сочинении, состоящем из 13 книг "Великое математическое построение астрономии" (Альмагест). Для объяснения движения планет, применив систему эпициклов и деферентов.

Эпициклическая система Птолемея была простой, универсальной, экономичной и, несмотря на свою принципиальную неверность, позволяла предвычислять небесные явления с любой степенью точности; с её помощью можно было бы решать некоторые задачи совре-

менной астрометрии, небесной механики и космонавтики. Сам Птолемей, обладая честностью настоящего ученого, делал упор на чисто прикладной характер своей работы, отказываясь рассматривать её как космологическую ввиду отсутствия явных доказательств в пользу гео- или гелиоцентрической теорий мира.

По теории Птолемея:

- 1) Земля неподвижна и находится в центре мира;
- 2) планеты вращаются по строго круговым орбитам;
- 3) движение планет равномерно.



Идея поместить в центр Солнечной системы не Землю а Солнце принадлежит **Аристарху Самосскому** (310-230) впервые определившему расстояние до Луны, Солнца и их размеры. Но заключений и доказательств о том, что Солнце больше и вокруг движутся плнеты было явно недостаточно. "Он полагает, что неподвижные звезды и Солнце не меняют свои места в пространстве, что Земля движется по окружности вокруг Солнца, находящегося в её центре" - писал Архимед. В работе "О размерах и взаимных расстояниях Солнца и Луны" Аристарх Самосский, принимая гипотезу о суточном вращении Земли, зная диаметр Земли (по Эратосфену) и считая Луну в 3 раза меньше Земли, на основе собственных наблюдений рассчитал, что Солнце - одна, ближайшая из звезд - в 20 раз дальше от Земли, нежели Луна (на самом деле - в 400 раз) и больше Земли по объему в 200-300 раз.

Только в эпоху Возрождения польский ученый **Николай Коперник** (1473-1543) обосновал **гелиоцентрическую** систему строения мира к 1539г в книге "Об обращении небесных сфер" (1543г), объяснив суточное движение светил вращением Земли и петлеобразное движение планет их обращением вокруг Солнца, рассчитав расстояния и периоды обращения планет. Однако сферу неподвижных звезд он оставил, отодвинув её в 1000 раз дальше, чем Солнце.

Подтверждение гелиоцентрической системы мира.

В трудах Галилео ГалилеяГалилей – открыл смену фаз Венеры, доказывающую ее вращение вокруг Солнца. Открыл 4 спутника Юпитера, доказав, что не только Земля может быть центром.

- В трудах Иоганна Кеплера открывает движение планет.
- В трудах Исаака Ньютона опубликовывает закон всемирного тяготения.
- В трудах **М.В.** Ломоносов не только высмеивает идеи геоцентризма в стихах, но и открывшего атмосферу на Венере.

3.Законы Кеплера – законы движения небесных тел

Исследование движения планет показало, что это движение вызвано силой притяжения к Солнцу. Используя тщательные многолетние наблюдения датского астронома Тихо Браге, немецкий ученый Иоганн Кеплер в начале XVII в. установил кинематические зако-

ны движения планет — так называемые законы Кеплера.

Первый закон Кеплера

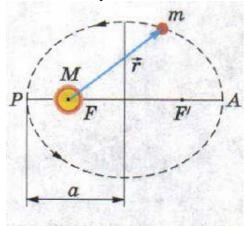
Все планеты движутся по эллипсам, в одном из фокусов которых находится Солнце.

Эллипсом называется плоская замкнутая кривая, сумма расстояний от любой точки которой до двух фиксированных точек, называемых фокусами, постоянна. Эта сумма расстояний равна длине большой оси AB эллипса, т. е.

$$F_1P + F_2P = 2b,$$

где F_1 и F_2 - фокусы эллипса, а b — его большая полуось; О — центр эллипса. Ближайшая к Солнцу точка орбиты называется перигелием, а самая далекая от него точка — афелием. Если Солнце находится в фокусе F_X . то точка A — перигелий, а точка B — афелий.

Рассмотрим важнейшие точки и линии эллипса



а - большая полуось, b - малая полуось,

 F_1 , F_2 - фокусы, Γ - радиус вектор,

А - афелий,

П - перигелий.

Перигелий - ближайшая к Солнцу точка орбиты, а афелий - самая удаленная от Солнца точка орбиты. Обе эти точки лежат на большой оси орбиты по разные стороны от Солнца. Степень вытянутости эллипса характеризуется эксцентриситетом е

$$e = c/a$$

с - расстояние от центра до фокуса, а - большая полуось.

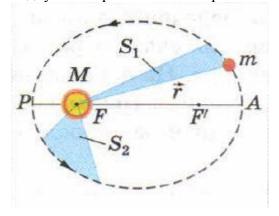
При совпадении фокусов с центром (e = 0) эллипс превращается в окружность, при e = 1 становится параболой, при e > 1 - гиперболой.

Орбиты планет - эллипсы, мало отличаются от окружностей, так как их эксцентриситеты малы. Например, $e_{3\text{емли}}=0.017$, $e_{\text{Марса}}=0.091$.

Второй закон Кеплера (закон равных площадей)

Радиус-вектора планеты за равные промежутки времени описывает равновеликие площади.

Радиус-вектор планеты - это расстояние от Солнца до планеты.



Площади S₁ и S₂ равны, если дуги описаны за одно и тоже время. Дуги, ограничивающие площади различны, следовательно, линейные скорости движения планет будут разными. Чем ближе планета к Солнцу, тем ее скорость больше. В перигелии скорость планеты максимальна, а в афелии - минимальна.

Таким образом, второй закон Кеплера количественно определяет изменение скорости движения планеты по эллипсу.

Первый и второй закон Кеплера были опубликованы в 1608-1609 годах. Оба закона решают задачу движения каждой планеты в отдельности. Совершенно естественно у Кеплера возникла мысль о существовании закономерности, связывающей все планеты в единую стройную планетную систему. Только в 1618 году Кеплер нашел и опубликовал в книге "Гармония мира" эту закономерность, известную под названием третьего закона Кеплера.

Третий закон Кеплера

Квадраты звездных (сидерических) периодов обращения планет относятся между собой как кубы больших полуосей их орбит.

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

где Т1, а1 - звездный период обращения и большая полуось одной планеты, а Т2, а2 другой планеты Большая полуось земной орбиты принята за астрономическую единицу расстояний: 1 а. е. = 149000000000 м. Звездный период Земли 1 год = 365 суток.

Этот закон имеет огромное значение для определения относительных расстояний от Солнца, так как звездный период нетрудно вычислить по известному синодическому периоду.

Открыт в 1618 году, напечатан в 1619г в книге "Гармония мира".

Законы Кеплера применимы не только для планет, но и к движению их естественных и искусственных спутников.

Кеплер лишь описал, как движутся планеты, но не объяснил причин движения. Это удалось сделать лишь во второй половине 17 века Ньютону.

Обобщение и уточнение Ньютоном законов Кеплера

Исаак НЬЮТОН (1643-1727) в 1686г в 3-х книгах "Математические начала натуральной философии", излагает учение о всемирном тяготении и теорию движения небесных тел.

$$\mathsf{F} = \mathbf{G} \frac{\mathbf{m}_{1} \mathbf{m}_{2}}{\mathbf{r}^{2}}$$

Сила тяготения между Солнцем и планетой пропорциональна произведению их масс и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними.

Можно показать упрощенный вывод закона Всемирного тяготения описан в учебнике физики для X классов физико-математических школ под редакцией А.А. Пинского. Если планеты движутся по почти круговым орбитам, их центростремительные ускорения равны: $a_{_{qe}} = \frac{\upsilon^2}{R} = \frac{4\pi^2 R}{T^2}$

$$a_{yc} = \frac{\upsilon^2}{R} = \frac{4\pi^2 R}{T^2}$$

где T – период обращения планеты вокруг Солнца, R - радиус орбиты планеты.

Из III закона Кеплера $\frac{R^3}{T^2} = k$ или $\frac{1}{T^2} = \frac{k}{R^3}$. Следовательно, ускорение любой планеты независимо от ее массы обратно пропорционально квадрату радиуса ее орбиты:

$$a_{ye} = \frac{4\pi^2 R \cdot k}{R^3} = 4\pi^2 k \frac{1}{R^2}$$

Согласно II закону Ньютона, сила F, сообщающая планете это ускорение, равна:

$$F = m \cdot a = 4\pi^2 k \frac{m}{R^2} \tag{1}$$

сила, действующая на любую планету, прямо пропорциональна массе планеты и обратно пропорциональна квадрату расстояния от нее до Солнца.

Согласно III закону Ньютона, сила F', действующая на планету со стороны Солнца, равна ей по модулю, противоположна по направлению и равна:

$$F' = 4\pi^2 k' \frac{M}{R^2}$$

где M – масса Солнца.

Поскольку F = F', $\frac{4\pi^2 k}{R^2} = \frac{4\pi^2 k' \frac{M}{R^2}}{R^2}$. Обозначим $\frac{4\pi^2 k}{M} = \frac{4\pi^2 k'}{m} = G$ где G – постоянная величина. Тогда $\frac{4\pi^2 k}{R^2} = G \cdot M$ и выражение (1) можно записать в виде известной нам формулы закона Всемирного тяготения:

$$F = G \frac{M \cdot m}{R^2}$$

Законы Кеплера в формулировки Ньютона.

Сформулировав задачу двух тел (m_1 , m_2 со скоростями v_1 , v_2) и решая ее с помощью высшей математики (находя коэффициенты тел под действием силы взаимного притяжения) Ньютон вывел все законы Кеплера из Закона Всемирного тяготения, при этом открыл и разработал дифференциальное и интегральное исчисление. Спутниками космических объектов называются объекты, вращающиеся вокруг них (общего центра тяжести) под действием сил тяготения. Луна - единственный естественный спутник Земли, а искусственных спутников Земли (ИСЗ) в настоящее время насчитывается свыше 7500. Спутники есть у всех планет Солнечной системы, кроме Меркурия и Венеры. У больших астероидов тоже есть спутники - астероиды поменьше. Все планеты Солнечной системы можно считать спутниками Солнца. Наша Галактика имеет 2 больших спутника - галактики Большое и Малое Магелланово Облако и более 30 других звездных систем поменьше.

Допуская неподвижность одного тела, Ньютон доказывает: **Под действием силы тя**готения одно небесное тело по отношению к другому может двигаться по окружности, эллипсу, параболе и гиперболе (виды канонического сечения).

Первому закону подчиняется и форма орбиты искусственных небесных тел, которая зависит от модуля и направления начальной скорости.

Зависимость формы орбиты от скорости:

1. *Круговая* – v_0 =7,91 км/с.

$$\frac{mv_1^2}{R_3} = G\frac{Mm}{R_3^2} = gm$$
, отсюда $v_1 = \sqrt{G\frac{M}{R_3}} = \sqrt{gR_3} = 7,9\cdot10^3$ м/с.

Для ИСЗ, запускаемых на околоземные низкие орбиты (h = 200 км), $v_1 = 7,78$ км/с. В общем виде первую космическую скорость можем найти по формуле

$$\upsilon_I = \sqrt{\frac{G(M+m)}{r}}$$

2. Эллиптическая (разной степени вытянутости орбиты): υ_2 =9 км/с, υ_3 = 11,1 км/с (облет Луны - сильно вытянутый эллипс).

3. Параболическая $v_4 = v_0 \cdot \sqrt{2} = 11,19$ км/с (тело становится ИС Солнца) $\frac{mv_2^2}{2} - G\frac{Mm}{R_3} = 0$, отсюда $v_2 = \sqrt{2G\frac{M}{R_3}} = \sqrt{2gR_3} = 11,2\cdot 10^3$ м/с

В общем виде вторую космическую скорость можно найти по формуле $\upsilon_{\rm II} = \sqrt{\frac{2G(M+m)}{r}}$

4. Гиперболическая $v_5 = v_2$. $\sqrt{2} = 16,67$ км/с (при скорости $v_3 > 12$ км/с полет к ближай-шим планетам, а при скорости $v_3 > 16,7$ км/с полет к дальним планетам СС.

Скорость, с которой запущенный с Земли КЛА покинет пределы Солнечной системы, называют иногда третьей космической скоростью. Она равна сумме скоростей движения Земли вокруг Солнца и II космической скорости КЛА относительно Земли, $v_{III} = 42 \text{ км/c}$.

И. Ньютон решая задачу двух тел, вращающихся вокруг общего центра, найдя их получаемые ускорения из закона всемирного тяготения и через угловую скорость центростремительное ускорение получил уточненный 3-й закон Кеплера с массами тел. Вывод может выглядеть так:

Угловая скорость их обращения вокруг центра масс равна

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

, где T – период обращения. Тогда центростремительное ускорение тел:

$$a_1 = \frac{4\pi^2}{T^2} r_1 \quad a_2 = \frac{4\pi^2}{T^2} r_2 \tag{2},$$

где r_1 и r_2 - расстояния тел от центра масс системы. Приравнивая выражения (1) и (2), получим:

$$G\frac{m}{R^2} = \frac{4\pi^2}{T^2}r_1$$
, $G\frac{M}{R^2} = \frac{4\pi^2}{T^2}r_2$ (3).

Складывая почленно выражения (3), получим:

$$G\frac{(M+m)}{R^2} = \frac{4\pi^2}{T^2}(r_1 + r_2) \qquad \frac{R^3}{T^2(M+m)} = \frac{G}{4\pi^2}$$
(4).

В правой части выражения (4) находятся лишь постоянные величины, откуда следует его справедливость для любой системы двух гравитационно взаимодействующих тел. Для двух космических систем это выражение запишется в виде уточненного III закона Кеплера:

двух космических систем это выражение запишется в виде уточненного III закона Кеплера:
$$\frac{R_1^3}{T_1^2(M_1+m_1)} = \frac{R_2^3}{T_2^2(M_2+m_2)} \qquad \qquad \frac{\left(M_1+m_1\right)}{\left(M_2+m_2\right)} \cdot \frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{R_1^3}{R_2^3}$$

$$\frac{T_{l}^{2}\cdot(M_{\odot}+m_{l})}{T_{2}^{2}\cdot(M_{\odot}+m_{2})}=\frac{a_{l}^{3}}{a_{2}^{3}}$$

Квадраты сидерических периодов планет, умноженные на сумму масс Солнца и соответствующей планеты, относятся как кубы больших полуосей орбит планет. Закон применим не только для планет, но и спутников и позволяет определить массу любого тела в связанной системе движущихся тел.

4. Определение расстояний до тел Солнечной системы и размеров этих небесных тел.

В астрономии нет единого универсального способа определения расстояний. По мере перехода от близких небесных тел к более далеким одни методы определения расстояний сменяют другие, служащие, как правило, основой для последующих. Точность оценки расстояний ограничивается либо точностью самого грубого из методов, либо точностью измерения астрономической единицы длины (а. е.).

1-й способ: (приближённый метод) По третьему закону Кеплера можно определить расстояние до тел СС, зная периоды обращений и одно из расстояний. $\frac{{T_1}^2}{{T_2}^2} = \frac{{a_1}^3}{{a_2}^3} \Rightarrow a_1 = \sqrt[3]{\frac{{T_1}^2 \bullet {a_2}^3}{{T_2}^2}}$

2-й способ: Определение расстояний до Меркурия и Венеры в моменты элонгации (из прямоугольного треугольника по углу элонгации).

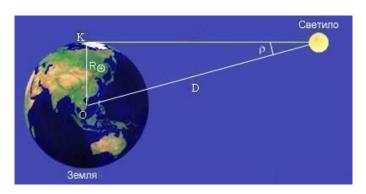
3-й способ: Геометрический (параллактический).

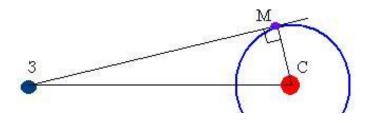
Пример: Найти неизвестное расстояние АС. [AB] — Базис - основное известное расстояние, т. к. углы САВ и СВА — известны, то по формулам тригонометрии (теорема синусов) можно в ∆ найти неизвестную сторону, т. е. [CA]. Параллактическим смещением называется изменение направления на предмет при перемещении наблюдателя. Параллакс- угол (ACB), под которым из недоступного места виден базис (AB - известный отрезок). В пределах СС за базис берут экваториальный радиус Земли R=6378км.

Пусть K - местонахождение наблюдателя, из которого светило видно на горизонте. Из рисунка видно, что из прямоугольного треугольника гипотенуза, расстояние D равно:

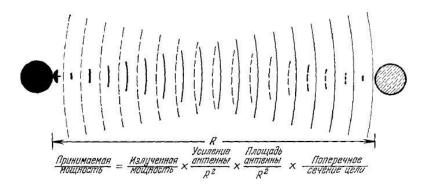
$$D = \frac{R_{\oplus}}{\sin \ p} \quad D = \frac{20626 \ 5''}{p''} \cdot R_{\oplus}$$

так как при малом значении угла если выражать величину угла в радианах и учитывать, что угол выражен в секундах дуги, а 1рад = $57,3^0$ =3438'=206265'', то и получается вторая формула.





4-й способ Радиолокационный: **импульс объект отраженный сигнал время**. Предложен советскими физиками **Л.И. Мандельштам** и **Н.Д. Папалекси**. Быстрое развитие радиотехники дало астрономам возможность определять расстояния до тел Солнечной системы радиолокационными методами. В 1946г была произведена первая радиолокация Луны Баем в Венгрии и в США, а в 1957-1963гг — радиолокация Солнца (исследования солнечной короны проводятся с 1959г), Меркурия (с 1962г на λ = 3.8, 12, 43 и 70 см), Венеры, Марса и Юпитера (в 1964 г. на волнах λ = 12 и 70 см), Сатурн (в 1973 г. на волне λ = 12.5 см) в Великобритании, СССР и США. Первые эхо-сигналы от солнечной короны были получены в 1959 (США), а от Венеры в 1961 (СССР, США, Великобритания). По скорости распространения радиоволн $c = 3 \cdot 10^5$ $\kappa m/ce\kappa$ и по промежутку времени t ($ce\kappa$) прохождения радиосигнала с Земли до небесного тела и обратно легко вычислить расстояние до небесного тела.



Основная трудность в исследовании небесных тел методами радиолокации связана с тем, что интенсивность радиоволн при радиолокации ослабляется обратно пропорционально четвертой степени расстояния до исследуемого объекта. Поэтому радиолокаторы, используемые для исследования небесных тел, имеют антенны больших размеров и мощные передатчики. Например, радиолокационная установка центра дальней космической связи в Крыму имеет антенну с диаметром главного зеркала 70 м и оборудована передатчиком мощностью несколько сотен кВт на волне 39 см. Энергия, направляемая к цели, концентрируется в луче с углом раскрыва 25'.

Из радиолокации Венеры, уточнено значение астрономической единицы: 1 а. е.=149 597 870 691 \pm 6м \approx 149,6 млн.км., что соответствует P_{\odot} =8,7940". Так проведенная в Советском Союзе обработка данных радиолокационных измерений расстояния до Венеры в 1962-75гг (один из первых удачных экспериментов по радиолокации Венеры провели сотрудники Института радиотехники и электроники АН СССР в апреле 1961г антенной дальней космической связи в Крыму, λ = 39 см) дала значение 1 а.е. =149597867,9 \pm 0,9 км. XVI Генеральная ассамблея Международного астрономического союза приняла в 1976г значение 1 а.е. =149597870 \pm 2 км. Путем радиолокации с КА определяется рельеф поверхности планет и их спутников, составляются их карты.

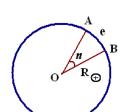
С изобретение Квантовых генераторов (лазера) в 1969г произведена первая лазерная локация Луны (зеркало для отражения лазерного луча на Луне установили астронавты США «Apollo - 11» 20.07.69г), точность измерения составили ± 30 см. На рисунке показано расположение лазерных уголковых отражателей на Луне, установленных при полете КА "Луна-17, 21" и "Аполлон - 11, 14, 15". Все, за исключением отражателя Лунохода-1 (L1), работают и сейчас.

Лазерная (оптическая) локация нужна для:

- -решение задач космических исследований.
- -решение задач космической геодезии.
- -выяснения вопроса о движении земных материков и т.д.

Определение размеров небесных тел.

а) Определение радиуса Земли.



AOB=n=φA-φВ(разность e=AB длина т.к. $e10=e/n=2\pi R/3600$, то

$$R_{\oplus} = \frac{180^0 \bullet e}{\pi n}$$

Аналогичным способом в 240г до НЭ (рисунок выше) определяет радиус Земли географ Эратосфен. L/800=3600/7,20

ДУГИ

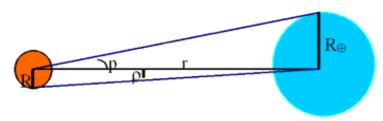
географических

вдоль

широт)

меридиана

б) Определение размера небесных тел.



Р-параллакс.

р - угловой радиус светила

Из прямоугольных треугольников дважды используя формулу R=rsin ρ получим

$$R = \frac{P}{p} \bullet R_{\oplus}$$

Задача 3. Звездный период обращения Юпитера вокруг Солнца составляет около 12 лет. Каково среднее расстояние Юпитера от Солнца?

Решение: Среднее расстояние планеты от Солнца равно большой полуоси эллиптиче-

 $rac{m{T_1^2}}{m{T_2^2}} = rac{m{a_1^3}}{m{a_2^3}}$, сравнивая движение планеты с Землей, для которой приняв звездный период обращения $T_2 = 1$ год, а большую полуось орби-

ты $a_2 = 1$ а.е., получим простое выражение $a_1 = \sqrt[3]{T_1^2}$ для определения среднего расстояния планеты от Солнца в астрономических единицах по известному звездному (сидерическому) периоду обращения, выраженному в годах. Подставив численные значения окончательно

найлем: $a = \sqrt[3]{12^2} \approx 5$ а е

Ответ: около 5 а.е.

Контрольные вопросы и задания

- На чем основывался Кеплер, открывая свои законы? 1)
- 2) Что такое перигелий, афелий?
- 3) Когда Земля обладает наибольшей кинетической энергией, наименьшей?
- 4) Как найти эксцентриситет?
- 5) О каких периодах вращения синодических или сидерических идет речь в третьем законе Кеплера?
- У некоторой планеты большая полуось орбиты равна 4 а.е., а эксцентриситет равен нулю. Чему равна малая полуось ее орбиты?

Тема 3. Физическая природа тел солнечной системы.

Все планеты Солнечной системы очень сильно отличаются друг от друга своими размерами, характеристиками, наличием спутников. Только у Меркурия и Венеры отсутствуют спутники. Крупные спутники (такие, как Луна у Земли или Титан у Сатурна) имеют шарообразную форму, а мелкие (как Фобос и Деймос у Марса) — неправильную форму, свойственную большинству астероидов.

Малых планетах.

Планета Церера (диаметр 770 км.) - переведена в группу карликовых планет.

Более мелкие планеты:

Юнона, Астрея, Геба, Ирида, Флора, Метида, Гигея, Парфенопа, Виктория, Эгерия, Ирена, Эвномия, Психея, Фетида, Мельпомена, Фортуна, Массалия, Лютеция, Каллиопа, Талия, Фемида, Фокея, Прозерпина, Эвтерпа, Беллона, Амфитрита, Урания и др.

Всего их насчитывается около 100 тыс. Иногда их называют астероидами.

1. Система Земля-Луна.

Луна — ближайшее к Земле небесное тело и ее естественный спутник. Луна - это, пожалуй, единственное небесное тело, в отношении которого с древнейших времен ни у кого не было сомнений, что оно движется вокруг Земли.

Во II в. до н.э. Гиппарх определил наклон лунной орбиты к плоскости эклиптики и выявил ряд особенностей движения Луны. Он создал весьма совершенную для своего времени теорию ее движения, а также теорию солнечных и лунных затмений. Как же возникла Луна?

Почему ее так назвали? Слово луна восходит к праславянской форме «светлая», к этой же индоевропейской форме восходит и латинское слово luna «луна». Греки называли спутник Земли Селеной, древние египтяне — Ях (Иях).

Луна — единственный естественный спутник Земли. Второй по яркости объект на земном небосводе после Солнца и пятый по величине естественный спутник планет Солнечной системы. Также является первым и единственным небесным телом, помимо Земли, на котором побывал человек.

Орбитальные характеристики Луны. Луна делает один оборот вокруг Земли за 27,3 сут. и с таким же периодом вращается вокруг своей оси, поэтому с Земли видно только одно ее полушарие. Движение Луны вокруг Земли происходит в плоскости эклиптики, а не в плоскости земного экватора (большинство естественных спутников других планет вращаются в плоскости экватора своих планет).



Физические характеристики Луны:

Среднее расстояние между центрами Земли и Луны — 384 467 км (~ 30 диаметров Земли).

Экваториальный радиус - 1738,14 км Полярный радиус - 1735,97 км

Macca (m)-7,3477*1022 кг (0,0123 земных). В 81 раз меньше массы Земли.

Средняя плотность Луны равна 3,34 г. см (0.61 средней плотности Земли).

Ускорение свободного падения на поверхности Луны в 6 раз меньше, чем на Земле.

Поверхность Луны нагревается днем до + 110 °C, а ночью остывает до - 120° C.

Луна, подобно Земле, представляет собой темный непрозрачный шар, светящий отраженным солнечным светом. Солнце всегда освещает примерно половину этого шара, другая половина остается темной. Поверхность луны довольно темная, то есть она отражает в среднем лишь 7.3 % световых лучей Солнца. Она посылает в полнолуние на Землю в 465000 раз меньше света, чем Солнце.

Видимое перемещение Луны происходит неравномерно, потому что Луна движется в пространстве по эллиптической орбите, в одном из фокусов которой находится центр Земли. Но, так как к Земле обыкновенно бывают обращены и часть светлого видимого полушария, и часть неосвещенного, то Луна большую часть времени кажется нам неполной. Различают четыре основные фазы Луны: новолуние, первая четверть, полнолуние и последняя четверть.

Солнечные и лунные затмения.

Периодически Луна частично или полностью заслоняет Солнце — такое явление называется солнечным затмением, оно может произойти во время новолуний. Когда Луна попадает в тень Земли, наступает лунное затмение, которое может наступить во время полнолуний. На протяжении календарного года происходят от 2 до 5 солнечных затмений и от 0 до 3 лунных затмений.

Приливные явления

Под действием лунного притяжения водная оболочка Земли принимает слегка вытянутую в сторону Луны (и противоположную сторону) форму. Там, где Луна выше всего над горизонтом и где ниже всего под горизонтом, будет прилив. На восходе и заходе Луны будут наблюдаться отливы. Во время приливов уровень воды плавно нарастает, достигая наибольшего значения, а затем постепенно снижается до низшего уровня. Вследствие вращения Земли приливные выступы образуются в каждый следующий момент уже в новых точках земной поверхности. Солнце, как и Луна, также вызывает приливы. Несмотря на большую удаленность от Земли, но благодаря большой массе Солнца приливы, которые оно вызывает всего в 2,5 раза меньше лунных.

Во время полнолуний и новолуний лунные и солнечные приливы складываются и наблюдаются самые большие приливы. Напротив, когда Луна в первой или последней четверти, во время лунного прилива будет солнечный отлив; действие Солнца вычитается из действия Луны, и приливы бывают существенно меньшими.

2. Планеты земной группы.

Планеты, движутся внутри пояса астероидов (Меркурий, Венера, Земля и Марс), принадлежат к земной группе, так как имеют много общего.

Все эти планеты, небольшие по размерам и массе (самая крупная из них — Земля).

Они имеют твердую поверхность, сравнительно высокую среднюю плотность, близкую к плотности Земли (5,5 г/см), и обладают атмосферами (кроме Меркурия).

Планеты земной группы состоят из тяжелых химических элементов.

Из планет земной группы мы более подробно остановимся на Марсе- одной из самых загадочных и притягательных планет нашей системы.

Марс — четвёртая по удалённости от Солнца и седьмая по размерам планета Солнечной системы; масса планеты составляет 10,7 % массы Земли. Названа в честь Марса — древнеримского бога войны, соответствующего древнегреческому Аресу. Иногда Марс называют «красной планетой» из-за красноватого оттенка поверхности, придаваемого ей оксидом железа.

Физические зарактеристики Марса следующие:

Среднее расстояние от Солнца 228 млн. км.

Средний диаметр 6780 км - 0,5320 земного.

Масса 6,4*10 кг, то есть 0,108 массы Земли.

Средняя плотность 3,95 г/см - 0,714 земной.

Ускорение свободного падения на экваторе 3,76 м/c2 - 0,378 g.

Температура на планете колеблется от -153 °C на полюсе зимой и до более +20 °C на экваторе в полдень. Средняя температура составляет -50 °C.

Орбитальные характеристики Марса:

Сидерический период обращения (продолжительность года) 686,98 земных суток

Синодический период 779,94 земных суток обращения

Орбитальная скорость (v) 24,13 км/с

Период вращения 24,5 ч.

Атмосфера Марса. Давление у поверхности Марса в 160 раз меньше земного. Из-за большого перепада высот на Марсе давление у поверхности сильно изменяется. Примерная толщина атмосферы — 110 км. Атмосфера Марса состоит на 95,32 % из углекислого газа; также в ней содержится незначительное количество других элементов.



Особенностями поверхностного рельефа Марса можно считать ударные кратеры наподобие лунных, а также вулканы, долины, пустыни и полярные ледниковые шапки наподобие земных.

У Марса есть два естественных спутника — Фобос и Деймос (в переводе с древнегреческого — «страх» и «ужас» — имена двух сыновей Ареса, сопровождавших его в бою), которые относительно малы (Фобос — 27х22х18 км, Деймос — 15х12,2х10,4 км) и имеют неправильную форму. Начиная с 1960-х годов, непосредственным исследованием Марса с помощью АМС занимались СССР (программы «Марс»и «Фобос»), США (программы «Маринер», «Викинг», «MarsGlobalSurveyor» и другие) и Европейское космическое агентство (программа «Марс-экспресс»).

3. Планеты-гиганты.

Планеты, движущиеся за кольцом астероидов, образуют группу планет-гигантов, возглавляемую Юпитером — самой крупной и массивной планетой Солнечной системы. Его диаметр в 11 раз превышает диаметр Земли и составляет 142 800 км. К этой группе относятся также Сатурн, Уран и Нептун.

Планеты-гиганты обладают значительными размерами, малой средней плотностью, быстрым вращением, протяженными гелиево-водородными атмосферами с небольшим содержанием аммиака и метана и, по-видимому, не имеют твердой поверхности. Планетыгиганты состоят из легких химических элементов, в основном водорода и гелия. Планетыгиганты окружены кольцами, состоящими из мелких твердых частиц. Вокруг планетгигантов обращаются десятки спутников.

Общая характеристика планет-гигантов.

- 1. Большой размер и масса (тах Юпитер, тіп Нептун, Уран).
- 2. Малая плотность (\approx H₂O) [max − Heптун, min Caтурн].

- 3. Быстрое вращение вокруг оси (10-15 часов) (экваториальные зоны вращаются быстрее полярных ⇒ большое сжатие планет).
- 4. Очень удалены от Солнца поэтому на них низкая температура.
- 5. Большое число спутников.
- 6. У всех планет имеются кольца (предсказаны Всехсвятским в 1960г).
- 7. Планеты не имеют твердой поверхности.
- 8. У планет сильное магнитное поле⇒ имеются мощные радиационные пояса.
- 9. Плотная Не Н атмосфера.

4. Астероиды и метеориты. Кометы и метеоры

Астероид - малая планета; "звездообразный" объект. В ночь на 1 января 1801 года сицилийский астроном Джузеппе Пиацци случайно обнаружил звёздный объект, координаты которого заметно менялись от ночи к ночи. Так была открыта первая из большого числа малых планет - Церера. Диаметр Цереры - 770 км. Вскоре были открыты ещё три астероида - Паллада - 490 км, Юнона- 170 км, Веста-380 км.

Сегодня уже известно около 1800 астероидов, орбиты которых хорошо изучены, некоторые из них имеют орбиты, пересекающие орбиту Земли. Размеры большинства других не превышают 5 - 10 км. Пространство между орбитами Марса и Юпитера заполнено огромным количеством обломков: с размерами больше 1 км - 30000; с диаметром менее 1 км сотни миллионов. Такое количество астероидов между Марсом и Юпитером наводит на мысль о существовании здесь прежде некой планеты, разрушившейся потом. Этот вопрос остаётся открытым.

Все астероиды лишены атмосферы. Выделяют три группы астероидов (тёмные, светлые, металлические) - по своим химическим характеристикам. Астероиды имеют температуру от -1200С до -1000С. Все астероиды (взятые вместе) составили бы планету диаметром 1500 км. Астероиды могут стать причиной разрушений на поверхности Земли.

Кометы. Эти небесные светила получили свое название от греческого слова кометас — хвостатая, или косматая, звезда. Прилетают они в основном из пояса Койпера или облака Оорта. Яркие кометы появляются сравнительно редко, в среднем одна комета за 10—15 лет. Слабые же по блеску кометы появляются часто (на фотографиях звездного неба ежегодно обнаруживают несколько комет).

Под действием притяжения Солнца кометы, как и планеты, обращаются вокруг него по вытянутым эллиптическим орбитам.

Самой известной кометой является комета Галлея, названная так в честь первого исследователя комет, который предсказал появление этой кометы. Она движется по очень вытянутой эллиптической орбите - заходит внутрь орбиты Венеры и удаляется за орбиту Нептуна. Последний раз комета появилась в 1986 г. В момент ее прохождения вблизи Солнца для ее изучения был осуществлен полет четырех космических аппаратов, два из которых — «Вега-1» и «Вега-2».

Фотографирование ядра кометы Γ аллея советскими космическими станциями с расстояния около 8000 км показало, что оно имеет неправильную форму с размерами 16x18x8 км. В следующий раз ее можно будет увидеть в 2062 году. Кометы и астероиды- остатки древнейшего вещества CC.

Кометы имеют строение - голова, ядро, хвост. Кометы отличаются от всех других тел Солнечной системы: (своим видом; формой орбит; большими размерами; быстрым и бурным развитием). Массы комет оцениваются в 10-10 кг. Хвост кометы всегда направлен от Солнца. Хвост растёт с огромной скоростью, около 106 км в сутки, пока не достигнет величины 10 км. В конце концов, комета теряет вещество и распадается на части, образуя метеорный рой.

Каждый метеорный рой обращается вокруг Солнца с постоянным периодом, равным периоду обращения породившей его кометы, и многие из них в определенные дни года

встречаются с Землей. В эти дни количество метеоров значительно возрастает, а если метеорный рой компактный, то наблюдаются метеорные или звездные дожди, когда в одной ограниченной области неба за одну минуту вспыхивают сотни метеоров.

Многие метеорные потоки связаны с кометами. Так, метеорный поток, исходящий из созвездия Ориона (Ориониды), связан с кометой Галлея, а метеорный поток Андромениды — с распавшейся кометой Биэлы.

Метеором - называется световое явление, возникающее на высоте от 130 до 80 км при вторжении в земную атмосферу частиц - метеорного тела из межпланетного пространства.

Метеоры (от греческого слова метеорос — парящий в воздухе) — это вспыхивающие в земной атмосфере мельчайшие твердые частицы, которые вторгаются в нее извне с огромной скоростью. Метеоры часто называют падающими звездами. В межпланетном пространстве хаотично движется с различными скоростями множество таких частиц. Массы подавляющего их большинства измеряются десятыми и тысячными долями грамма, в редких случаях — несколькими граммами. Если в атмосферу влетает частица со скоростью свыше 30 км/с, то из-за трения о воздух она быстро раскаляется, вспыхивает и порождает метеор. Чем больше масса и скорость частицы, тем ярче метеорная вспышка. В среднем по всему небу за 1 ч появляются 5—6 ярких метеоров.

Помимо пыли, в межпланетном пространстве движется множество твердых тел размерами от сантиметров до десятков метров. При падении на Землю они получают название метеоритов.

По химическому составу метеориты подразделяют на три группы: каменные, железокаменные и железные. Химические соединения, присутствующие в метеоритах, и их кристаллическая структура показывают, что метеоритное вещество сформировалось в условиях высоких давлений и температур. Возраст метеоритов колеблется обычно в пределах от нескольких сотен миллионов до нескольких миллиардов лет.

На месте падения крупных метеоритов образуются метеоритные кратеры значительных размеров. Такие кратеры обнаружены в Аризоне (США), Канаде, на Таймыре (Россия) и в других местах. У Аризонского метеоритного кратера диаметр 1207 м, глубина 174 м, а высота окружающего его вала составляет от 40 до 50 м.

Самый крупный железный метеорит — Гоба — найден на территории Намибии: он имеет размеры 3x3x1 м, а массу — 60 т.

На других планетах и их спутниках также обнаружены кратеры метеоритного происхождения. Крупные метеориты могут образовать кратеры диаметром в несколько десятков километров.

Из наиболее известных событий на Земле связанных с малыми телами следует выделить - Тунгусский феномен (30 июня 1908 года - тайга Центральной Сибири). Ну, а самым нашумевшим за последнее время - Челябинский метеорит.

Болиды - вторжение массивных метеорных тел вызывающее очень яркие вспышки. Метеор аналог болид (скорость вторжения в атмосферу Земли от 11 до 73 км/с; высота возгорания от 130 до 80 км). Болид напоминает летящий по небу огненный шар.

Контрольные вопросы и задания

- 1. Что представляет собой Солнечная система, что в неё входит?
- 2. На какие группы поделены тела Солнечной системы?
- 3. Перечислите характерные особенности планет земной группы и планет-гигантов, т.е. почему они так поделены?
- 4. Какие тела относятся к малым телам Солнечной системы?

Тема 4. Солнце и звёзды.

1. Общие сведения о Солнце

Солнце, как и многие звезды, представляет собой пылающий огненный шар. Оно то чрезвычайно активное, то спокойное. Солнце превосходит земной шар по объему в 1300000 раз.

Для сравнения: книга в миллион страниц была бы размером с 16-этажный дом. Солнце находится от нас на расстоянии 150 млн. км. Это расстояние принято за 1 астрономическую единицу.

Солнце - центральное тело Солнечной системы; раскаленный плазменный шар, типичная звезда-карлик спектрального класса G2; масса в 333000 раз больше массы Земли, радиус = 696000 км, средняя плотность $1,416*10^3$ кг/м3, светимость $L = 3,86*10^{23}$ кВт, эффективная температура поверхности (фотосферы) около 6000 К.



Рис. 1. Распределение солнечного излучения на Земле.

Период вращения (синодический) изменяется от 27 суток на экваторе до 32 суток у полюсов, ускорение свободного падения 274 м/с2. Химический состав, определенный из анализа солнечного спектра: излучения ионизированного гелия) водород - около 90%, гелий - 10%, остальные элементы - менее 0,1% (по числу атомов) Строение Солнца

Передача энергии на Солнце происходит от центральной части к более холодным наружным слоям, а оттуда - в космическое пространство - осуществляется двумя способами: излучением и конвекцией. Третий способ - теплопроводность - в газовом шаре не играет существенной роли.

Источник солнечной энергии - ядерные превращения водорода в гелий в центральной области Солнца, где температура 15000000 К. Солнечное ядро представляет собой атомную электростанцию. Энергия из недр переносится излучением, а затем во внешнем слое толщиной около 0,2 R— конвекцией. С конвективным движением плазмы связано существование фотосферной грануляции, солнечных пятен, спикул и т. д. Интенсивность плазменных процессов на Солнце периодически изменяется. Это явление называют солнечная активность. Поэтому в строении Солнца условно выделяют 4 зоны; ядро, "лучистая" зона, конвективная зона, атмосфера. Солнечная атмосфера (фотосфера,

хромосфера и солнечная корона) очень динамична, в ней наблюдаются вспышки, протуберанцы, происходит постоянное истечение вещества короны в межпланетное пространство (солнечный ветер). Земля принимает около $2*10^{17}$ Вт солнечной лучистой энергии. Солнце - основной источник энергии для всех процессов, совершающихся на земном шаре. Вся биосфера, жизнь существуют только за счет солнечной энергии. На многие земные процессы влияет корпускулярное излучение Солнца.

Строение атмосферы Солнца

Солнечная атмосфера состоит из 3^x слоев: фотосфера, хромосфера, солнечная корона.

- **1.** Фотосфера -светящаяся "поверхность" Солнца, =нижний слой атмосферы 300-400 км., $T \approx 5800 \text{K}$, $\rho_{\text{ср.}} \approx 10^{-4} \text{кг/м}^3 \approx 10^{17} \text{атом/см}^3$. **Н**-водород. Излучает прочти всю энергию.
- а) Гранулы размером до 1000 км., время существования до 8мин. Непрерывно появляются и исчезают причина - движение вещества в фотосфере (подъем и опускание в под фотосферной области за счет конвекции, начиная с глубины 0,3R, т.е подобие кипящей рисовой каши).
- **б).** Пятна- диаметром от нескольких до 100 тыс. км. (крупные существуют до нескольких месяцев). Имеют ядро, волокнистую структуру полутени. Пятна появляются на широте $\mp 40^{0}$ (редко 50^{0}) группами (редко одно), но обязательно есть и на противоположной стороне Солнца и опускаются до широты $\mp 5^{0}$ где исчезают (существуя от нескольких дней до нескольких месяцев). Пятно видно так как более холодное по сравнению с остальной частью фотосферы (≈ 4500 K). Причина торможение магнитным полем конвекции, (на поверхность поступает <энергии), глубина воронки 300-400км. Расщепление линий в спектре указывает на существование магнитного поля. В пятнах напряженность магнитного поля 1500-4500 Эрстед, в то время как в спокойных областях Солнца напряженность- 5 Эрстед. Что пятно холодное и в них существует магнитное поле, установлено в 1908г Дж. Э. Хейл (1868-1938, США).

Рудольф Вольф (1816-1893, Швейцария) в 1852г установил зависимость 11-летний цикл появления пятен), что 4 года происходит подъем, а 7 лет затухание - цикл $11^{1}/_{9}$ лет, и ввел число Вольфа **W=(10g+f)k,** характеризирующую активность пятно образований, где **g** - число групп, а **f** - число пятен. Самая большая из когда-либо зарегистрированных групп солнечных пятен достигла своего максимума 8 апреля 1947г. Она захватила область площадью в 18130 миллионов квадратных километров.

Главное пятно имеет одну полярность, а хвостовое - противоположную. Если в данном цикле главное имело северный магнитный полюс, то в следующем цикле главное будет иметь южный полюс. Последний 23-й наблюдаемый цикл имел растянутый MAX 1999-2001гг, а минимум был в 2006 году. Вообще то цикл $\approx 11,1$ лет, но предсказать невозможно.

- **в)** Вокруг солнечных пятен наблюдались светлые *ореолы*, температура которых на 10 K > чем у окружающего газа и радиус в 2 раза> радиуса пятна, открыты в 1999 году.
- г) Фотосферные факелы более светлые образования (примерно на 300 К горячее), связанные с выносом более горячего вещества за счет усиления конвекции в подфотосферных слоях. Факел долгоживущее образование, он часто не исчезает в течение целого года, а группа пятен на его фоне "живёт" около месяца. Волокна факелов отчётливо видны лишь около края диска Солнца (но не на самом краю), где превышение их яркости над фоном достигает 10-20%.
 - 2. Хромосфера (греч. "сфера цвета") названа так за свою красноватофиолетовую окраску (видна только при полных затмениях, или при помощи специальных приборов). Состоит из трех слоев: нижний до 1500 км, $T \approx 5000 \text{K}$; средний 1500-4000 км, $T \approx 6000-15000 \text{ K}$; верхний 4000-10000км T = 20000-50000 K. Яркость хромосферы не одинакова. Между хромосферой и короной лежит узкий переходный слой, в котором температура быстро рас-

тёт от $\sim 10^4$ до $\sim 10^6$ К.

- а) **Факелы** (хромосферные)-наиболее яркие участки расположены над фотосферными нитями и факелами.
- б) **Вспышки** самые мощные и быстроразвивающиеся (слабые вспышки исчезают через 5-10 мин, а самые мощные до нескольких часов) происходят в результате быстрой перестройка ("перезамыкание") магнитных полей. Небольшие вспышки происходят по несколько раз в сутки, мощные (охватывают десятки млрд. км²) значительно реже. Как правило они наблюдаются вблизи пятен. Вспышка взрывной процесс, сопровождающийся выбросами электрически заряженных частиц потока протонов и электронов.
- в) Спикулы на краю хромосферы наблюдаются выступающие язычки пламени, представляющие вытянутые столбики из уплотненного газа, температура которых выше чем в фотосфере. Диаметры спикул ~ 1000 км, скорости подъёма или опускания ≈ 20 км/с, время жизни минуты. На высоте $h\approx 3000$ км они занимают ок. 2% площади солнечной поверхности. Механизм образования спикул связан со сложной структурой магнитных полей фотосферы.
- г) **Протуберанцы** гигантские яркие вспышки и арки, опирающиеся на хромосферу и врывающиеся в солнечную корону это выброс вещества (плазмы). Наиболее распространены "спокойные" протуберанцы, появление которых обычно связано с развитием группы пятен, но существуют они значительно дольше пятен (до 1 года). Другой вид протуберанцев связан с выбросами вещества вверх (обычно после вспышек) со скоростями ~ 100-1000 км/с (т. н. быстрые эруптивные протуберанцы).

3. Солнечная корона протяженность равна от 1R - 8-10 R Солнца. Наблюдается во время затмений (или с помощью коронографа) серебристожемчужного цвета с Т≥1млн.К. Почти круглая в период МАХ, сильно вытянута в плоскости экватора в МІЛ. Солнечную корону образует чрезвытами.

чайно разреженный газ, и даже слабые магнитные поля, проникающие в корону, оказывают существенное влияние на её характеристики и строение. В короне выделяются корональные щёточки близ полюсов, дуги и корональные лучи на более низких широтах. Структура короны довольно устойчива, существенные изменения происходят за годы.

Сверхкорона - отдельные выбросы плазмы доходит до земли. Температура до 1 млн. К - нагревается за счет волнового движения, возникающего при конвекционном движении газа внутри Солнца. Разгон частиц осуществляется магнитным полем; частицы движутся по спирали.

Солнечная активность – периодический комплекс нестационарных образований в атмосфере Солнца (петли, факелы, протуберанцы и т.д.). Связующее звено между различными ярусами центров активности – магнитное поле. Период – 11 лет (4 подъема – 7 затухание).

К 1997г установлено, что на Солнце одновременно происходит до 30 тысяч различных взрывных событий. Они подробно исследованы с помощью космического УФ спектрометра SOHO (Солнечная геосферная обсерватория). Их средняя продолжительность \approx 1 мин, протяженность 1500 км, скорость выброса вещества до 1500 км/с. Так 6 января 1997г зафиксирован "протуберанец" диаметром >40 млн. км, что привело к увеличению солнечного ветра с 350 до 430 км/с у Земли.

К 2007 году прошло наблюдаемых 23 цикла солнечной активности. Анализ в 20-22 циклах показал, что экватор вращался с почти постоянным синодическим периодом 26.92 ± 0.02 сут. Но после 1996г вращение значительно ускорилось, и в 23-ем цикле доминирует период 26.57 ± 0.07 сут (рост скорости на 1.3%).

2. Источник энергии Солнца.

Излучает L_{Θ} =3,876·10²⁶ Дж/с. Откуда восполняется энергия, превращаясь в излучение? В 1931г **Ханс Альбрехт Бете** указывает, что источником энергии в звездах является ядерный синтез. В 1937г открывает термоядерную реакцию, а в 1939г в работе "Генерация

энергии в звездах" строит количественную теорию ядерных процессов внутри звезд, найдя цепочку (цикл) ядерных реакций, проводимых к синтезу гелия.

Цепочка (цикл) протон-протонный (хотя есть и другие циклы):

 ${}^{1}\text{H}+{}^{1}\text{H}\rightarrow{}^{2}\text{D}+\text{e}^{+}+\text{v}$ (позитрон + нейтрино+дейтерий+2,2Мэв).

 2 **D**+ 1 **H**> 3 **H**е+ γ (гамма-квант+тритий+ **5**,**5**Мэв).

 3 He+ 3 He \rightarrow 4 He+ 1 H+ 1 H (гелий+протон+протон+12,8Мэв)

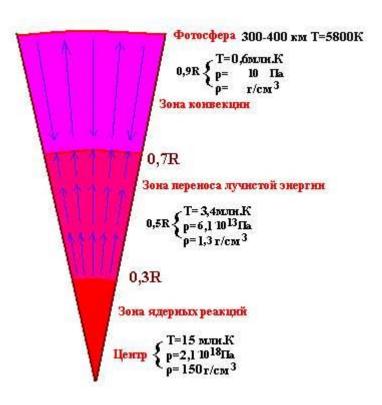
При этом выделяется огромная энергия. Рассчет выделение энергии при "сгорании" водорода модно провести, используя формулы.

E=Δmc ²	Формула Эйн- штейна	1,00728 а.е.м- масса протона; 1,00866 а.е.м - масса нейтрона
Δ m=(m _p ·Z+m _h ·N)-m _{ядра}	дефект массы	$4,0026$ а.е.м - масса ядра гелия, 1 а.е.м = $1,6605655 \cdot 10^{-27}$ кг
$N=v:N_A=(m/M):N_A$	число молекул	N_A = 6,022045·10 ²³ моль ⁻¹ - число Авогадро

Т.к. M_{Θ} =2·10³⁰ кг, то H гореть еще 150 млрд. лет, но горит в центре только 0,1 M_{Θ} , следовательно еще гореть Солнцу примерно 5-7 млрд. лет. Все виды излучения ежесекундно уносят порядка ~ 4 млн.т.

Нейтрино - элементарная частица, появляющаяся в ходе термоядерной реакции, проникает свободно через звезды, планеты. Регистрируя их с помощью нейтринных телескопов (глубоко под землей, над водой) можно "заглянуть" внутрь Солнца.

Внутреннее строение Солнца.



Зона конвенции - происходит перемешивание вещества. Нагретые слои поднимаются к фотосфере и остыв, уступают место нижним более нагретым.

Зона излучения — (от 0,3R до 0,7R) здесь происходит процесс переноса энергии излучаемой ядром в вышележащие слои путем многократного поглощения и последующего ее переизлучения с постепенным увеличением длины волны и понижения температуры.

Ядро - в общепринятой теоретической модели Солнца (так называемой "Стандартной модели") предполагается, что подавляющая часть энергии вырабатывается реакциями прямого синтеза водорода с образованием гелия.

Приближенные расчеты можно выполнить с помощью обычных формул, выделив условно внутри Солнца столбик площадью S и h=R.

 $F=mg=\rho Vg=\rho SRg$. Из закона Всемирного тяготения $g=GM/R^2$. Тогда вес столба $P=\rho SGM/R$. Отсюда давление $p=F/S=\rho GM/R$. Применяя уравнение Менделеева-Клапейрона ($pV=(m/\mu)RT$) можно вычислить один из параметров: давление, среднюю плотность, температуру если известны другие.

Солнце и жизнь Земли.

Жизнь на Земле зависит от энергии, излучаемой Солнцем. Около 1/3 солнечной энергии отражается обратно в космическое пространство, а 2/3 солнечного излучения проходит к земле сквозь атмосферу. Солнечная энергия согревает Землю, вызывает ветры и бури, рождает океанские и морские течения.

Проявления солнечной активности мы замечаем по изменению состояния нашего организма, неожиданным эпидемиям, неурожайным годам. Эти события напрямую связаны со вспышками на Солнце. Примерно раз в 11 лет на Солнце происходит увеличение активности, увеличивается количество протуберанцев, возрастает число солнечных пятен и их размер. Все это сказывается на течении многих земных процессов, т.к. обуславливается увеличением коротковолнового и корпускулярного излучения. Впервые о роли закона сохранения энергии применительно к жизни растений заговорил К.А. Тимирязев, понимая под лучистой энергией энергию Солнца в биологических процессах.

Практически вся продукция фотосинтеза (10¹¹ тонн сухого органического вещества в год) вновь разлагается живыми организмами на углекислый газ и воду. Лишь ничтожная часть остается неиспользованной и запасается впрок. За год в топках сжигается в 1000 раз больше угля, нефти и газа, чем запасается впрок.

А. Чижевский установил солнечно-земные связи. С этим открытием возникла новая наука - гелиобиология.

Фотосинтез, освещает и согревает Землю, полярное сияние, магнитные бури, нарушение радиосвязи, уровень рек, озер изменяется, изменяется число колец на деревьях, численность населения зависит от активности Солнца, увеличивается число эпидемий, болезней, которые служат источниками инфекций, растет число сердечно-сосудистых заболеваний.

Научные факты, ваши познания Солнца на разных учебных предметах (географии, биологии, физики и др) дают вам возможность изучать, исследовать явления солнечно-земной связи и ответить на вопрос: "Надолго ли хватит Солнцу энергетических ресурсов?". Данные науки говорят, что каждый квадрат площади солнечной поверхности посылает энергию, сравнимую с энергией производимой электростанцией мощностью в 100 000 кВт.

Видимые проявления солнечной активности представляют собой комплекс явлений, охватывающих фотосферу, хромосферу и корону Солнца. История показывает, что весомый вклад в открытие циклов солнечной активности внесли астрономы-любители.

"Человек - властелин природы" - сказано давно, но мы, похоже забыли, что власть предполагает ответственность.

Наш долг перед будущими поколениями не в том, чтобы сберечь для них в неприкосновенности запасы угля и нефти, а в том, чтобы передать им более высокую культуру, которая со временем поможет найти новые пути и новые источники энергии.

3. Определение расстояния до звезд.

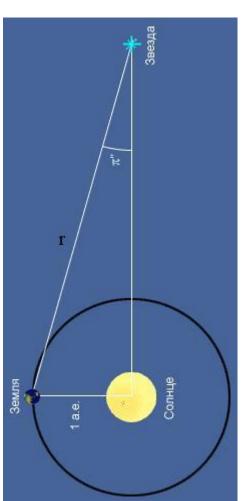


Во всех системах, в т.ч. **К. Птолемея** (150г) и даже **Н. Коперника** (1543г) - на сфере звезды неподвижны, только у **Н. Коперник** она дальше удалена. Но уже в 1610г **Г.Галилей**, разглядев в Млечном Пути множество звезд, говорит, что они находятся на разном расстояние от Земли.

В 1728г Дж. Брадлей (Англия), производя измерения координат у Дракона с 14 декабря 1725г по 14 декабря 1726г определяет, что звезда описала эллипс с большой полуосью 20,5". Еще в течение года проверил на других звездах, вывод тот же, все звезды в течение года описывают на небе эллипсы, - что доказывает годичное движение Земли вокруг Солнца [открыл аберрацию, 1726г]. Это была первая в мире попытка определения параллакса звезды и впервые в качестве базиса использовал **R** земной орбиты, который равен 146,9 млн. км =1 а.е. (астрономической единице).

Как определить расстояние до звезд?

1 способ (параллактический)



Годичным параллаксом звезды называется угол, под которым со звезды можно было бы видеть большую полуось земной орбиты, перпендикулярную направлению на звезду.

Из рисунка видно, что $r=a/\sin \pi$

Так как для звезд угол π очень мал (< 1"), то переходим к радианной мере (стр49)

1 рад =206265", тогда r=206265" a/π =206265"/ π a.e.

Расстояние до звезды, которое соответствует параллаксу = 1" - называют парсеком, тогда $r=1/\pi$.

Из формулы видно, что:

1пк = 206265a.e. =206265*149,6*10⁶км =3,08*10¹³км

1св.г. = $3*10^5$ км/с*365,25*24*3600с = $9,46*10^{12}$ км 1 пк = $3,08*10^{13}$ км/ $9,46*10^{12}$ км = 3,26 св. лет

1кпк (килопарсек) = 10^3 пк 1Мпк (мегапарсек) = 10^6 пк

Впервые параллакс был измерен к 8 февраля 1837г русским астрономом **Василий Яковлевич Струве** (1793-1864). После 17 измерений звезды **Вега** он определил ее параллакс в 0,125".

8 августа был запущен астрономический спутник «Гиппарх» (HIPPARCOS, EKA). Космический аппарат проработал на орбите 37 месяцев. По результатам его работы напечатан в июле 1997 году каталог Hipparcos (Перриман и др., 1997). который является одним из наиболее точных массовых каталогов положений, собственных движений и параллаксов 118 218 звезд, удаленных от нас на расстоянии до 1000 пк (точность 0,001").

<u>II Способ</u> (визуальный) через блеск (яркость) звезд и звездные величины.

Глядя на звездное небо видим, что яркость звезд неодинакова - поэтому **Гиппарх** к 126 г до НЭ, составляя каталог на 1008 звезд, вводит понятие звездной величины. Самые яркие обозначал $1^{\rm m}$, еле заметные - $6^{\rm m}$, считая, что они отличаются размером. Позже выяснилось, что звездная величина характеризуется не размерами, а *БЛЕСКОМ (яркостью)* - освещенность, создаваемая звездой на Земле. Но шкалу Гиппарха сохранили. Причем звезды $1^{\rm m}$ оказались в 100 раз ярче $6^{\rm m}$.

Обозначим X - разность в блеске на одну звездную величину, тогда $X^{6-1}=100 \rightarrow X^5=100$, логарифмирует по основанию 10 и получим 5lg X=20, или lgX=0,4, тогда X=2,512.

Возьмем две произвольные звезды. Для 1-й звезды обозначим звездную величину \mathbf{m}_1 и блеск \mathbf{I}_1 , а для второй обозначим \mathbf{m}_2 \mathbf{I}_2 . Тогда, как установил в 1850г английский астроном $\mathbf{H}.\mathbf{P}.$ Погсон $\mathbf{I}_1/\mathbf{I}_2=2,512^m2^{-m}1$ Блеск звезд и звездная величина бывает разная, даже отрицательная. Так самая яркая звезда неба Сириус имеет $m=-1,46^m$, Солнце $m_0=-26,58^m$.

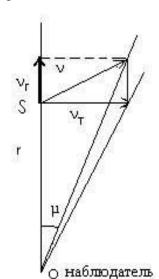
Но видимая звездная величина ничего не говорит о светимости звезды, так как они находятся на разном расстоянии от нас. Для характеристики светимости (мощности излучения) применяют понятие абсолютной звездной величины (\mathbf{M}) -видимой звездной величины (\mathbf{M}) -видимой звездной величины звезды с расстояния в 10 пк. С 10 пк Солнце выглядело бы как звезда 4,8^m. Если звезда имеет видимую звездную величину \mathbf{m} , а абсолютную \mathbf{M} , то из формулы Погсона получим $\mathbf{I/I_0=2,512^{M-m}}$. Поскольку освещенность обратно пропорциональна квадрату расстояния, то из $\mathbf{I/I_0=r_0^2/r^2}$ или $\mathbf{I/I_0=10^2/r^2}$ получим $\mathbf{10^2/r^2=2,512^{M-m}}$, откуда логарифмируя получим $\mathbf{M=m+5-5}$ lgr.

Пространственная скорость звезд.

В 720г И. Синь (Китай) впервые высказывает догадку о перемещении звезд. Дж. Бруно также утверждал, что звезды движутся.

В **1718г** Э. Галлей (Англия) *открывает собственное движение звезд*, исследуя и сравнивая каталоги Гиппарха (125г до НЭ) и Дж. Флемстида (1720г) установил, что за 1900 лет некоторые звезды переместились почти на 1^0 (например, Процион - α М. Пса).

К концу 18 века измерено собственное движение 13 звезд, а **В. Гершель** в 1783г открыл, что Солнце также движется в пространстве.



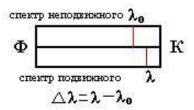
Пусть μ - угол, на который сместилась звезда за год (собственное движение - "/ $\mathbf{год}$).

Из рисунка по теореме Пифагора $\mathbf{v} = \sqrt{(\mathbf{v_r}^2 + \mathbf{v_\tau}^2)}$, где $\mathbf{v_r}$ - лучевая скорость (по лучу зрения), а $\mathbf{v_\tau}$ - тангенциальная скорость (\perp лучу зрения).

Так как $\mathbf{r} = a/\pi$, то с учетом смещения $\mu \to \mathbf{r} \cdot \mu = a \cdot \mu/\pi$; но $\mathbf{r} \cdot \mu$ 1год= \mathbf{v} , тогда подставляя числовые данные получим *тангенциальную* скорость $\mathbf{v}_{\tau} = 4.74 \cdot \mu/\pi$ (форм. 43)

Лучевую скорость $\mathbf{v_r}$ определяют по эффекту **X.** Доплера (Австрия), установившего в 1842г, что длина волны источника изменяется в зависимости от направления движения. $\mathbf{v_r} = \Delta \lambda \cdot \mathbf{c}/\lambda_0$.

Приближение источника - смещается к Фиолетовому (знак "-"). ∨даление источника - смещается к Красному (знак "+").

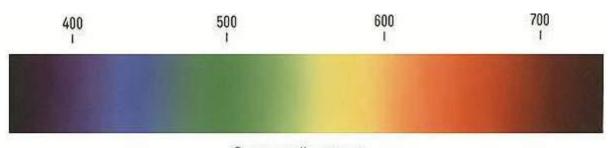


Первым измерил лучевые скорости нескольких ярких звезд в 1868г **У. Хеггинс** (Англия).

Самая быстро перемещающаяся по небу звезда **ß Змееносца** (<u>летящая Барнарда</u>, открыта в 1916г **Э. Барнард** (США)), **m**=9,57^m , **r**=1,828 пк , μ =10,31["] , красный карлик. Ее лучевая скорость=106,88км/с, пространственная (под углом 38°) = 142км/с. После измерения собственных движений > 50000 звезд, выяснилось, что самая быстрая звезда неба в созвездии Голубя (μ Col) имеет пространственную скорость=583км/с.

4. Физическая природа звезд

1. Спектры звезд



Сплошной спектр

Исаак Ньютон (1643-1727) в 1665г разложил свет в спектр и объяснил его природу. **Уильям Волластон** в 1802г наблюдал темные линии в солнечном спектре, а в 1814г их независимо обнаружил и подробно описал **Йозеф фон ФРАУНГОФЕР** (1787-1826, Германия) (они называются линиями Фраунгофера) 754 линии в солнечном спектре. В 1814г он создал прибор для наблюдения спектров - спектроскоп.

В 1959г Г. КИРХГОФ, работая вместе с Р. БУНЗЕН с 1854г, открыли спектральный анализ, назвав спектр непрерывным и сформулировали законы спектрального анализа, что основой астрофизики: послужило возникновения 1. Нагретое твердое тело дает непрерывный спектр. 2. Раскаленный газ дает эмиссионный спектр. 3. Газ, помещенный перед более горячим источником, дает темные линии поглощения. У. ХЕГГИНС первым применив спектрограф начал спектроскопию звезд. В 1863г показал, что спектры Солнца и звезд имеют много общего и что их наблюдаемое излучение испускается горячим веществом и проходит через вышележащие слои более холодных поглощающих газов.

Спектры звезд — это их паспорт с описанием всех звездных закономерностей. По спектру звезды можно узнать ее светимость, расстояние до звезды, температуру, размер, химический состав ее атмосферы, скорость вращения вокруг оси, особенности движения вокруг общего центра тяжести.

2. Цвет звезд

ЦВЕТ - свойство света вызывать определенное зрительное ощущение в соответствии со спектральным составом отражаемого или испускаемого излучения. Свет разных длин волн λ возбуждает разные цветовые ощущения:

от 380 до 470 нм имеют фиолетовый и синий

от 560 до 590 нм — желто-оранжевый,

от 590 до 760 нм — красный.

цвет,

от 470 до 500 нм — сине-зеленый,

от 500 до 560 нм — зеленый,

Однако цвет сложного излучения не определяется однозначно его спектральным составом.

Глаз чувствителен к длине волны, несущей максимальную энергию $\lambda_{\text{маx}}$ =**b**/**T** (закон Вина, 1896г).

В начале 20-го столетия (1903—1907гг) Эйнар Герцшпрунг (1873-1967, Дания) первым определяет цвета сотен ярких звезд.

3. Температура звезд

Непосредственно связана с цветом и спектральной классификацией. Первое измерение температуры звезд произведено в 1909г германским астрономом **Ю. Шейнер**. Температура определяется по спектрам с помощью закона Вина [λ max'T=b, где b=0,2897* 10^7 Å·K постоянная Вина]. Температура видимой поверхности большинства звезд составляет от 2500 K до 50000 K. Хотя, например, недавно открытая звезда **HD** 93129A в созвездии Кормы имеет температуру поверхности 220000 K! Самые холодные - Гранатовая звезда (m Цефея) и **Мира** (m Кита) имеют температуру 2300K, а m **Возничего** m - 1600 m .

4. Спектральная классификация

В 1862г **Анжело Секки** (1818-1878, Италия) дает первую спектральную классическую звезд по цвету, указав 4 типа: **Белые**, **Желтоватые**, **Красные**, **Очень красные**

Гарвардская спектральная классификация впервые была представлена в *Каталоге* звездных спектров Генри Дрэпера (1884г), подготовленного под руководством Э. Пикеринга. Буквенное обозначение спектров от горячих к холодным звездам выглядит так: О В А F G K М. Между каждыми двумя классами введены подклассы, обозначенные цифрами от 0 до 9. К 1924г классификация окончательно была установлена Энной Кэннон.

O5=40000 K	B0=250 00K		A0=11000K	F0=7600K		G0=6000	K0=5120K	M0=3 600K
голубой	белый		желтый		оранжевый	крас- ный		
O	 В		A	 F		G	 K	 M
cp.30000K	cp.15000 K		cp.8500K	ср.6600К		ср.5500К	ср.4100К	cp.2800 K

Порядок спектров можно запомнить по терминологии: = *Один бритый англичанин финики жевал как морковь*= Солнце – G2V (V – это классификация по светимости - т.е. последовательности). Эта цифра добавлена с 1953

5. Химический состав звезд

года.

Определяется по спектру (интенсивности фраунгоферовых линий в спектре). Разнообразие спектров звезд объясняется прежде всего их разной температурой, кроме того вид спектра зависит от давления и плотности фотосферы, наличием магнитного поля, особенностями химического состава. Звезды состоят в основном из водорода и гелия (95-98% массы) и других ионизированных атомов, а у холодных в атмосфере присутствуют нейтральные атомы и даже молекулы.

6. Светимость звезд

Звезды излучают энергию во всем диапазоне длин волн, а светимость **L=\sigma Т**⁴**4\piR**²-общая мощность излучения звезды. L $_{\odot}$ = 3,876*10²⁶BT/c. В 1857г **Норман Погсон** в Окс-

формулу $L/L_{\odot}=2,512^{M}\odot^{-M}$, откуда логарифмируя получим lgL=0,4 (M_{\odot} -M). Светимость звезд в большинстве $1,3\cdot 10^{-5}L_{\odot} < L < 5\cdot 10^{5}L_{\odot}$. Большую светимость имеют звезды-гиганты, звезды малой светимости - звезды-карлики. Наибольшей светимостью обладает голубой сверхгигант - звезда Пистолет в созвездии Стрельца - $10000000 L_{\odot}!$ Светимость красного карлика Проксимы Центавра около $0,000055 L_{\odot}$.

- 7. *Размеры звезд -* существует несколько способов их определения:
- 1) Непосредственное измерение углового диаметра звезды (для ярких $\ge 2,5^{\rm m}$, близких звезд, > 50 измерено) с помощью интерферометра Майкельсона. Впервые измерен угловой диаметр α Ориона- Бетельгейзе 3декабря 1920r = **Альберт Майкельсон** и **Франсис Пиз**.
 - 2) Через светимость звезды $L=4\pi R^2 \sigma T^4$ в сравнении с Солнцем.
- **3**) По наблюдениям затмения звезды Луной определяют угловой размер, зная расстояние до звезды.

По своим размерам, звезды делятся (название: карлики, гиганты и сверхгиганты ввел **Генри Рессел** в 1913г, а открыл их в 1905г **Эйнар Герцшпрунг**, введя название "белый карлик"), введены с 1953 года на:

•	Сверхгиганты (I)
•	Яркие гиганты (II)
•	Гиганты (III)
•	Субгиганты (IV)
•	Карлики главной последовательности (V)
•	Субкарлики (VI)
-	Белые карлики (VII)

Размеры звезд колеблются в очень широких пределах от 10^4 м до 10^{12} м. Гранатовая звезда т Цефея имеет диаметр 1,6 млрд. км; красный сверхгигант е Возничего А имеет размеры в 2700R $_{\odot}$ - 5,7 млрд. км! Звезды Лейтена и Вольф-475 меньше Земли, а нейтронные звезды имеют размеры 10 - 15 км.

8. *Масса звезд* - одна из важнейших характеристик звезд, указывающая на ее эволюцию, т.е. определяет жизненный путь звезды.

$$\frac{T_1^2 \cdot (M_1 + m_1)}{T_2^2 \cdot (M_2 + m_2)} = \frac{a_1^3}{a_2^3}$$

Способы определения:

- 1. Зависимость масса-светимость, установленная астрофизиком **А.С.** Эддингтон (1882-1942, Англия). $L \approx m^{3,9}$
- 2. Использование 3 уточненного закона Кеплера, если звез-

ды физически двойные.

Теоретически масса звезд $0.005 M_{\odot}$ (предел Кумара $0.08 M_{\odot}$)< $M<150 M_{\odot}$, причем маломассивных звезд существенно больше, чем тяжеловесных, как по количеству, так и по общей доле заключенного в них вещества ($M_{\odot}=1.9891\times10^{30}$ кг (333434 масс Земли) $\approx 2\cdot10^{30}$ кг).

Самые легкие звезды с точно измеренной массой находятся в двойных системах. В системе Ross 614 компоненты имеют массы 0,11 и 0,07 M_{\odot} . В системе Wolf 424 массы компонентов составляют 0,059 и 0,051 M_{\odot} . А у звезды LHS 1047 менее массивный компаньон весит всего 0,055 M_{\odot} .

Обнаружены "коричневые карлики" с массами 0,04 - 0,02 М_⊙.

9. Плотность звезд - находится $\rho = M/V = M/(4/3\pi R^3)$

Хотя массы звезд имеют меньший разброс, чем размеры, но плотности их сильно различаются. Чем больше размер звезды, тем меньше плотность. Самая маленькая плот-

ность у сверхгигантов: Антарес (α Скорпиона) ρ =6,4*10⁻⁵кг/м³, Бетельгейзе (α Ориона) ρ =3,9*10⁻⁵кг/м³. Очень большие плотности имеют белые карлики: Сириус В ρ =1,78*10⁸кг/м³. Но еще больше средняя плотность нейтронных звезд. Средние плотности звезд изменяются в интервале от 10⁻⁶ г/см³ до 10¹⁴ г/см³ - в 10²⁰ раз!

Связь между физическими характеристиками звезд.

В 1905г Эйнар Герцшпрунг установил зависимость светимости звезд с их спектральными классами, сопоставляя данные наблюдений. В 1913г Генри Рессел также независимо установил данную зависимость и представил ее графически. Зависимость "спектрсветимость" получила название диаграммы Герцшпрунга-Рессела. Диаграмма показывает зависимость между абсолютной звёздной величиной, светимостью, спектральным классом и температурой поверхности звезды.

Уточнена и дополнена другими учеными.

- 1. Подавляющее большинство звезд принадлежит главной последовательности.
- 2. Чем горячей звезды, тем большую светимость имеют.
- 3. Группы звезд делятся по размерам.
- 4. Звезды данного спектрального класса не могут иметь произвольной светимости (и наоборот).
- 5. По диаграмме исследуют эволюцию.
- 6. Большинство звезд карлики.

Любая звезда известного спектрального класса и светимости может быть отображена на диаграмме Γ - P отдельной точкой. Особый смысл диаграмма приобретает в том случае, когда она строится для группы связанных между собой звезд, например, звездного скопления. Для любой такой совокупности звезд точки распределяются неслучайным образом: большинство их оказывается в полосе, идущей по диагонали от верхнего левого края вниз направо (так называемой главной последовательности). Это связано с тем, что основным фактором, определяющим спектральный класс звезды и ее светимость, является ее масса. Главная последовательность - это, по существу, последовательность масс.

Главная последовательность (около 90% звезд):

- это последовательность звезд разной массы. Самые большие (голубые гиганты) расположены в верхней части, а самые маленькие звезды карлики в нижней части главной последовательности
- это нормальные звезды похожие на Солнце в которых водород сгорает в термоядерной реакции.

Красные гиганты и сверхгиганты располагаются над главной последовательностью справа, белые карлики — под ней слева, поэтому начало левой части главной последовательности представлена голубыми звёздами с массами $\sim \! 50$ солнечных, конец правой — красными карликами с массами $\sim \! 0.08$ солнечных.

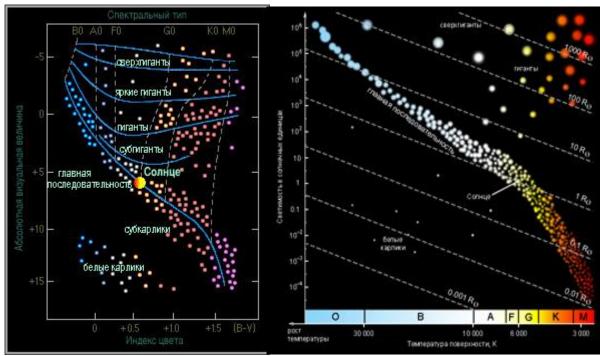
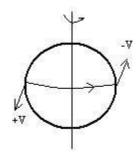


Диаграмма Γ - P для звездного скопления показывает, сколько звезд находится на каждой стадии эволюции. Вместе с теоретическими представлениями об увеличении скорости эволюции с ростом звездной массы, это позволяет определять возраст скоплений. Если по вертикальной оси откладывать для скопления видимую, а не абсолютную звездную величину, то появляется возможность оценить расстояние до этого скопления.

Диаграммы Γ - P полезны также для отображения последовательности изменений цвета и светимости отдельной звезды в ходе эволюции - до попадания на главную последовательность, при нахождении на ней и после ухода с нее. В итоге появляется эволюционный трек звезды.

В 1911—24гг астрономы Холм, Рассел, Герцшпрунг и Эддингтон установили, что для звезд главной последовательности существует связь между светимостью L и массой M, и построили диаграмму масса—светимость. Приближенно зависимость "масса-светимость" выражается отношением $L \approx m^{3,9}$.

Вращение звезд



Солнце с $T=25\div30$ сут/оборот, видно по пятнам, при Vэкв=2 км/с. Все звезды вращаются. Чем горячее звезда – тем быстрее скорость вращения. Определить скорость можно, используя эффект Доплера $\upsilon = \Delta \lambda c/\lambda_0$.

Самая быстрая α Персея m=4,06°, $3R_{\odot},~65L_{\odot}$, B1, V=500 км/с.

5. Двойные звезды

1. ДВОЙНЫЕ ЗВЕЗДЫ - две звезды, обращающиеся по эллиптическим орбитам вокруг общего центра масс под действием сил тяготения. Приблизительно половина всех звезд на самом деле - двойные или кратные (несколько, не менее 3-х звезд) системы, хотя многие из них расположены так близко, что компоненты по отдельности наблюдать невозможно.

Существуют оптически двойные - рядом проецируются на воображаемую сферу, но физически не связаны. Так в древности у легионеров А.Македонского проверяли зрение по Дзета (ζ) Большой Медведицы (Мицар –конь, предпоследняя в ручке ковша) оптически двойной звезды в 12' от нее 80 UMa (Алькор - всадник,). Может они физически и связаны, но если период обращения более 1000 лет, то определить двойственность очень трудно.

Обнаружена *первая двойная звезда*, увиденная в телескоп, гамма Овна (γ Овен) – физически двойная звезда, оба компонента бело-голубые звезды с Т≈11000К, находящиеся на угловом расстоянии 8". На всякий случай даже для Солнца придуман (но не обнаружен) гипотетический спутник-звезда Немезида.

Изучение двойных звезд началось в середине 17в, когда **Г. Галилей** открыл несколько звезд и предложил метод определения относительного параллакса яркой главной звезды по отношению к более слабой и поэтому, вероятно, более далёкой. К середине 18в было обнаружено всего около 20 двойных звезд; тогда же начались и первые измерения позиционного угла и расстояния между компонентами. К 1803 году **У. Гершель** опубликовал списки нескольких сотен двойных звезд и отметил среди них 50, у которых обнаружилось смещение компонентов. Планомерные наблюдения двойных звезд организовал русский астроном **В. Я. Струве** на обсерватории в Тарту, открыв 3134 звездные пары. Результаты его наблюдений опубликованы в трех каталогах.

В конце XIX века инициативу в исследованиях двойных звезд перехватили американские астрономы, использовавшие в своих наблюдениях новейшие рефракторы. Они собрали и систематизировали в "Общем каталоге 13665 звезд" Ш.У. Бернхема (1906 год), охватывающем все известные к тому времени наблюдения двойных звезд в зоне склонений от -30° до Северного полюса.

На сегодняшний день одним из самых полных сборников является Вашингтонский каталог визуально-двойных звезд (WDS - Washington Double Star) 1996 года с данными о 78100 двойных, наблюденных до 1995 года. В окрестностях Солнца (d<20 пк) находится более 3000 звезд, среди них около половины – двойные звезды всех типов, включая тесные спектральные и широкие визуальные.

Типы двойных (физически двойных) звезд:

1. <u>Визуально-двойные</u> звезды, двойственность которых может быть видна в телескоп. К середине 20в известно около 60 000 визуально-двойных звёзд.

Чем дальше звезды друг от друга, тем медленнее движутся. Пары, в которых угловое расстояние достаточно велико для того, чтобы звезды можно было разрешить при наблюдении в телескоп, часто имеют период обращения 50 -100 лет.

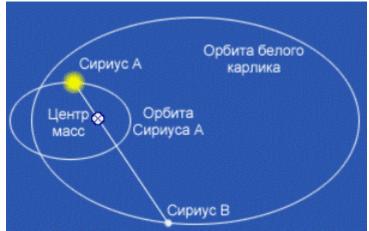
Например:

СИРИУС (а Большого Пса) - самая яркая звезда, видимая у нас на небе. Это тройная звезда в 8,56св. годах от нас. Системы из более чем двух звезд называют кратными.

Сириус A -главная звезда в расцвете сил, M_A =2,14 M_{\odot} , R_A =1,7 R_{\odot} , T=10400K, L=23,55 L_{\odot} , ρ_A =0,36 Γ /с M_{\odot} 3.

Сириус В (Щенок) -белый карлик, открыт в 1862г А.Кларк (США) $M_B=M_\odot$, $R_B=0.02R_\odot$, $L=0.002L_\odot$, $\rho_B=180$ г/см³. Период обращения 49,9 лет с удалением от Сириуса А от 8а.е до 32а.е. На фото справа маленькая светлая точка.

Сириус С -красно-коричневый карлик, открыт в 1995г M_C =0,05 M_\odot , T=2000K, период обращения 6,3 года с максимальным удалением от Сириуса A до 8a.e.



2. Спектрально- овойные - выявляемые по периодическим колебаниям или раздвоению спектральных линий. Их периоды обычно составляют от нескольких дней до нескольких недель. Иногда компоненты двойных систем расположены так близко, что гравитация искажает сферическую форму звезд. Они могут обмениваться веществом и могут быть окружены общей газовой оболочкой. Когда потоки вещества устремляются к компактной вращающейся звезде двойной системы, может образоваться аккреционный диск. Освободившаяся энергия излучается в рентгеновском диапазоне.

Первую Мицар (ζ Б.Медведицы), находящуюся в 78,2 св. г от нас, открыл Э.Пикеринг (1889г, США) - Мицар А и Мицар В, а в 1964г выяснилось, что каждая звезда спектральнодвойная. Сейчас известно в нашей Галактике свыше 4000 звёзд этого класса. Определённые периоды спектрально-двойных звёзд заключены в пределах от 0.1084 сут. (гамма *Малой Медведицы*) до 59.8 лет (визуально двойная кси *Большой Медведицы*). Подавляющее большинство спектрально-двойных звёзд имеет периоды порядка нескольких суток.

3. Затменно-двойные - звезды, изменяющие свой блеск вследствие затмения одного компонента двойной звезды. Это происходит, если орбиты двойной системы сориентированы в пространстве так, что при наблюдении с Земли одна звезда проходит перед другой. Такая система имеет переменную яркость, так как одна звезда периодически заслоняет свет другой. Сейчас известно более 5000 таких звезд. Самая известная и первая открытая в 1669г итальянцем Г. Монтанари Алголь (β Персея, арабское "эль гуль" - дьявол). Алголь А - белоголубая, M_A =5 M_{\odot} , R_A =3 R_{\odot} . Алголь В - тускло-желтая, M_B = M_{\odot} , R_B =3,2 R_{\odot} . Видимая яркость системы меняется от 2,1 $^{\rm m}$ до 3,4 $^{\rm m}$ с периодом 12,914 дня=12дн20час48мин53с.

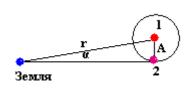
Рекорцменом среди таких звезд является ϵ Возничего в $2700R_{\odot}$. При периоде обращения спутника вокруг главной звезды за 27 лет, его затмение длится два года, что говорит об огромном размере главной звезды.

4. *Астрометрически двойные* – выявляются по отклонению в движении (колебаниям) главной звезды, вызванное орбитальным движением более слабого спутника. Если одна звезда намного слабее другой (невидимый спутник), ее присутствие можно обнаружить только по видимому движению более яркого компаньона. Этот способ, как и исследование спектральных смещений, позволяет определить наличие планетных систем у звезд (открыты у более 180 звезд).

Некоторые звёздные системы:

- Сириус (три звезды);
- α Центавра (три звезды);
- 4 Центавра (4 звезды);
- Мицар (пять звёзд);
- Кастор (шесть звёзд);
- у Скорпиона (семь звёзд);
- Лебедь Х-1 (одна звезда и одна чёрная дыра);

Определение масс звезд в двойных системах.



Хотя двойных звезд много, но надежно определены их орбиты примерно только для сотни. Используя третий (уточненный) закон Кеплера получим

$$\frac{T^2\cdot (M_1+M_2)}{T_{\oplus}^2\cdot (M_{\Diamond}+m_{\oplus})}=\frac{A^3}{a^3}$$

Из рисунка $A=a"r=a"/\pi"$

и учитывая, что T=1 и a=1, а массой Земли можно пренебречь, получим $M_1+M_2=A^3:T^2$. Или, учитывая соотношение из рисунка, получим $M_1+M_2=a^3/\pi^3T^2$. Чтобы определить массу каждой звезды, надо определить расстояние до каждой звезды от центра масс ($A=A_1+A_2$) и тогда получим второе уравнение $M_1:M_2=A_2:A_1$. Решая систему двух уравнений, можно определить массу каждой звезды.

Исследование масс двойных звезд показало, что они заключены в пределах от 0,3 до 60 масс Солнца. При этом большинство звезд имеют массы от 0,3 до 3 масс Солнца.

Переменные звезды.

1. *Переменные звезды* - звезды, блеск которых изменяется. Первая переменная открыта в 1596г Давидом Фабрициус (Германия) - *о* Кита (Мира Кита или Удивительная Кита).

Изменение блеска, происходящее по разным причинам, может происходить строго периодически (правильные), с нарушением периодичности (полуправильные) и хаотически (неправильные). Так к строго периодическим (правильным) относятся уже изученные заменно-переменные звезды. Но существуют различные типы физически переменных звезд, изменение блеска которых связано с происходящими на них физическими процессами. Принятые способы обозначения переменных звезд восходят, главным образом, к обозначениям Ф.В.А. Аргеландера, который использовал для девяти самых ярких переменных в каждом созвездии буквы от R до Z в соединении с названием созвездия. Для последующих переменных стали использовать пары букв, от RR до RZ, от SS до SZ и так далее, вплоть до ZZ (буква J опускается). Затем используются пары букв от AA до AZ, от BB до BZ и так далее, что доводит число доступных обозначений до 334. Однако во многих созвездиях число открытых переменных намного превысило предельное значение 334, так что эти звезды стали обозначать просто как V335, V336, и так далее.

- **2.** Физически переменные звезды на короткопериодические (период изменения блеска от 1 до 90 суток) и долгопериодические (период изменения блеска от 90 до 739 суток).
- 1) Цефеиды весьма распространенные, вид строго периодических (правильных) физически переменных звезд с изменением блеска до $1,5^{\rm m}$. Название получили от классической звезды δ Цефея с T=5дней 8 часов 37 минут. Поскольку это яркие желтые гиганты, обладающие колоссальной светимостью, поэтому их называют "маяки Вселенной".

В 1912г Хенриетта Ливитт (США) устанавливает зависимость "период-светимость" для цефеид. Сейчас по ним можно определять расстояние до 20 Мпк, вычислив абсолютную звездную величину для короткопериодических $\mathbf{M} \approx -1,67-2,54$ lg p, для долгопериодических $\mathbf{M} \approx 0,2$ (2-lg p) и применив формулу lg D =0,2 (m-M)+1. По формуле lg L = 2,47+1,15 lg p можно определить светимость цефеиды в сравнении со светимостью Солнца.

2). Другие периодические (правильные). Вот некоторые:

- а) Мириды красные гиганты, $T=90\div730$ суток. Прототип o Кита (Мира Кита или Удивительная Кита). Мира гигант класса М ($R=390R_{\odot}$, $M=10M_{\odot}$), яркость которой изменяется от 2^m до $10,1^m$ с периодом 331,6 дней.
- **б)** Лириды гигантские белые и желтые звезды класса A и F с T=0,2÷ 1,2 суток и изменением яркости от $0,2^m$ до $2,0^m$ (прототип RR Лиры, существует три подтипа Лирид)старые звезды с пониженным содержанием тяжелых элементов.

и другие

- **2.***Полуправильные* на определенный период накладываются более мелкие колебания.
- а) Типа δ Щита, класс F с изменением блеска на $0.25^{\rm m}$, T=3÷ 14,6 часа. Интересна ν Эридана, T=4 $^{\rm H}$ $10^{\rm M}$ накладывается на $T_{\rm max}$ = 5,25 дня. Прототип мало амплитудных ζ Близненов.
- б) Типа RV Тельца с T= 30÷ 150 дней, или DF Лебедя с T=49,808 дня. И другие типы правильных, полуправильных и неправильных.
- **4. Вспыхивающие звезды** (*новая*) звезда, яркость которой внезапно увеличивается примерно на десять звездных величин (обычно от 2^m до 8^m), а затем постепенно (в течение нескольких месяцев) падает. Новые представляют собой тесные двойные звезды, один из компонентов которых белый карлик. В любой галактике, как правило, в год возникает несколько десятков новых в двойных системах. Считается, что четверть всех звезд вспыхивает. Зависимость между силой взрыва и длительностью периода установили П.П.Перенаго и Б.В.Кукаркин.

Вот некоторые:

- А) тип UV Кита (открыл В.Люйтер (1948г, США), вспыхивает вследствие мощных магнитных изменений. За ≈ 30 час светимость изменяется в 100 раз. Известно > 100 звезд. Вспышки не регулярны, кратковременны.
- Б) Тип U Близнецов (короткопериодические двойные системы- обычно обычная звезда и белый карлик, открыта 15.12.1855г Джоном Хайд (Англия)) вспышки через 3-4 месяца, с изменяем светимости → 100 раз − карликовые новые.
- В) Тип R Северной Короны сверхгиганты, вспышки подъем вещества из недр звезды на поверхность (выброс).
- **5.Взрывающиеся звезды** (*сверхновые*)- катастрофический взрыв звезды, в ходе которого выделяется так много энергии, что по яркости она может превзойти всю галактику с ее миллиардами звезд. Кроме того, в десять раз больше энергии выделяется в виде кинетической энергии выброшенного взрывом вещества и еще в сто раз больше в виде энергии нейтрино. Взрыв сверхновой происходит, когда старая массивная звезда (более 8 масс Солнца) истощает запас ядерного топлива. В этих условиях ядро становится неустойчивым и коллапсирует (меньше чем за секунду). Оставшееся ядро представляет собой *нейтронную звезду (пульсар*) с массой, не превосходящей трех солнечных и размером в 20-30 км. Магнитное поле под действием мощной ударной волны усиливается, и скорость вращения остатка возрастает. Первый ПУЛЬСАР (нейтронная звезда) открыт в созвездии Лисичка в 1967 году Энтони Хьюиш (Англия). Сейчас известно >600 пульсаров. При более значимых массах взрыв сверхновой приводит к образованию черной дыры.

Сверхновая - очень редкое событие: за последнюю тысячу лет в Галактике визуально наблюдалось только пять сверхновых, а по подсчетам взрывается одна в среднем в 30 лет, но в большинстве скрыты затеняющей пылью. Первую сверхновую упоминает Гиппарх (134г до НЭ), вспыхнувшую в нашей Галактике.

Задача 4. Фотографические абсолютные звездные величины М цефеид с периодом свыше 40 дней достигают -7 звездной величины. Определить расстояние до ближайшей галактики, если такая цефеида наблюдается как звезда с видимой звездной величиной +18.

Решение: $M = m + 5 - 5 \lg R$.

Ответ. R = 1 Мпк.

Задача 5. В 1987 году в Большом Магеллановом облаке вспыхнула сверхновая звезда, которая в максимуме имела видимую звездную величину $m=\pm 3$. Определить абсолютную звездную величину сверхновой, если расстояние до БМО R=52 кпк. Сравнить с типичными абсолютными звездными величинами сверхновых.

Решение: Абсолютная звездная величина $M = m + 5 - 5 \lg R$,

 $M = m + 5 - 5 \lg 52000 = -15,6.$

Абсолютная звездная величина сверхновой звезды 1987 года в БМО была $-15,6^{\rm m}$. Типичные абсолютные звездные величины при вспышках сверхновых - $17^{\rm m}$ - $19^{\rm m}$, поэтому вспышка 1987 года была «слабой».

Контрольные вопросы и задания

- 1.Из каких слоев состоит солнечная атмосфера?
- 2. Наблюдаемые явления в солнечной атмосфере?
- 3 Откуда Солнце черпает неиссякаемый источник энергии?
- 4. Что такое протон-протонный цикл?
- 5. Как вычислить излучаемую Солнцем энергию, дефект массы?
- 6. Что представляет собой внутреннее строение Солнца?
- 7. Как происходит перенос энергии из недр на поверхность?
- 8. Во сколько раз световой год больше астрономической единицы?
- 9. Как вы думаете, почему на протяжении нескольких тысячелетий вид созвездий практически не меняется? (Вид созвездий почти не меняется (изменение ощутимо за десятки тысяч лет), так как расстояния до звезд велики по сравнению с перемещениями их в пространстве.
- 10. Основные способы определения расстояний до звезд и их математическое выражение.
- 11. Что такое абсолютная звездная величина?
- 12. В чем заключается эффект Доплера?
 - 1. Задача: На сколько худеет Солнце за 1 минуту?
- **2. Задача:** Какая энергия поступает в оз. Песчаное, имеющее площадь 1,2 кв. км, в течение 1 минуты в ясную погоду, если высота Солнца над горизонтом 45°, а через атмосферу проходит 80% солнечной энергии? Когда Солнце на этой высоте?
- **3.** Задача: Сравните количество энергии, которое выделяется при вспышке, с количеством энергии, выделяющимся при взрыве мегатонной бомбы (4^{10} Дж) .
- **4.** Задача: Годичный параллакс самой близкой звезды из созвездия Центавра (Альфа Центавра) = 0,76". Каково расстояние до нее в парсеках, световых годах, километрах? [параллакс найден в 1839г **Т. Гендерсон** обсер. мыс Доброй Надежды, тройная звезда, вся система летит к нам под углом 45° со скоростью 31 км/с].
- **5.** Задача: Экваториальные координаты яркой звезды $\alpha = 18^{4}35^{m}$, $\beta = 38^{\circ}44'$. Какая это звезда? Вычислите расстояние до нее, если известно, что видимая и абсолютная звездные величины ее соответственно равны $m = 0,1^{m}$ и $M = 0,5^{m}$.
- **6.** Задача: Период обращения двойной звезды 100 лет. Большая полуось видимой орбиты 2", параллакс звезды 0,05". Звезды отстоят от центра масс на расстоянии, относящихся как 1:4. Определит сумму масс и массу каждой звезды

Тема 5. Строение и эволюция Вселенной.

Галактика - это гигантская звёздная система, состоящая приблизительно из 200 млрд. звёзд (в их число входит и наше Солнце). В ней также содержится значит количество газа и пыли; Галактика пронизана магнитными полями, заполнена частицами высоких энергий – космическими лучами.

1. Наша Галактика

Галактику Млечный Путь относят к классу спиральных систем; ее населяют по разным оценкам от 200 млрд. звезд до триллиона, а также многочисленные газопылевые облака. Большая часть звезд и практически все межзвездное вещество сосредоточены в диске диаметром около 120000 световых лет и толщиной около 1000 световых лет. В центре диска расположено шарообразное уплотнение диаметром около 30 тыс. световых лет; астрономы называют его английским по происхождению словом «балдж».



Большая часть вещества сконцентрирована в тонком слое толщиной около 2000 световых лет, ближе к его внешним краям. Звезды распределены в немного более толстом диске. Радиус центрального балджа равен приблизительно 15000 световых лет.

Если бы человеку посчастливилось взглянуть на галактический диск сверху, то он увидел бы несколько гигантских закрученных спиральных ветвей, или рукавов, отходящих от балджа.

Изучение динамики звезд и межзвездного вещества показывает, что наблюдаемое светящееся вещество составляет до 10% общей массы Галактики. Остальное - так называемое темное вещество, еще не идентифицированное. В рукавах сконцентрированы области звездообразования и ионизированного водорода. В пространстве между рукавами средняя плотность вещества в два или три раза ниже, чем внутри рукавов. Солнце расположено внутри диска на расстоянии около 28000 световых лет от центра Галактики, вблизи внутреннего края одного из спиральных рукавов (между рукавами Стрельца и Персея).

Без преувеличения можно утверждать, что самая загадочная область Галактики - это ядро. Самое внутреннее ядро (размером около 100 световых лет), расположенное в направлении созвездия Стрельца, скрыто от прямого оптического наблюдения плотной непрозрачной пылью. Однако наблюдения в инфракрасном и радио - диапазонах, а также в гамма- и рентгеновских лучах позволяют сделать вывод, что ядро содержит плотно упакованную сферу звезд красных гигантов, отдельные плотные газовые конденсации. Определив скорости звезд в этом центральном скоплении Галактики, астрономы установили, что их

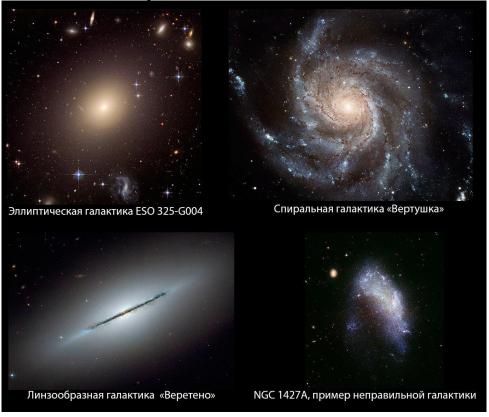
движение вызывается чрезвычайно массивным телом очень небольших размеров. Такими свойствами обладают только черные дыры. По поводу вероятной массы черной дыры не существует единого мнения: некоторые астрономы предполагают, что она может составлять всего 100 солнечных масс, а другие считают, что она достигает миллиона солнечных масс. ЕЕ притяжение «стягивает» газ из окрестностей ядра, и он закручивается вокруг черной дыры в виде диска, словно в гигантском космическом водовороте.

Диск нашей звездной системы довольно быстро вращается вокруг ее ядра, но не как единое целое - внутренние области совершают оборот быстрее, чем внешние. Солнце облетает вокруг центра галактики за 220 млн. лет (Галактический год) двигаясь со скоростью порядка 250 км/с.

Вокруг Галактики расположена разрежённая область - гало, почти сферической формы с центром в ядре, радиус которой не менее 50000 световых лет. Гало содержит шаровые скопления и самые старые звезды Галактики. По сравнению с диском и центральным балджем, в гало имеется очень мало светящегося вещества, хотя изучение гравитационного поля показывает, что невидимая компонента массы Галактики, вероятно, распределена в сфере вокруг Галактики, а не сконцентрирована в диске. Предполагается, что это темное вещество распространено в пространстве на расстояниях до 300 000 световых лет, заполняя область, которую иногда называют галактической короной. Эта область выходит далеко за пределы гало, определенные видимыми объектами.

Другие галактики

Еще в 19 в астрономы полагали, что Вселенная состоит из звезд. Смелые догадки некоторых мыслителей о том, что светила в бесконечной Вселенной могут быть сгруппированы в гигантские звездные системы, большинством ученых принимались скептически. Только в первой половине XX века благодаря развитию техники астрономы смогли увидеть, что туманные пятна, видимые на небосводе это огромные ьскопления светил, которые расположены далеко за пределами нашей Галактики. Огромные звездные системы разделены в пространстве колоссальными расстояниями, которые даже свет, распространяющийся со скоростью 300 тыс. км/с, преодолевает многие миллионы лет.



Мир галактик необъятен. Много лет американский ученый Эдвин Хаббл изучал галактики и классифицировал их по внешнему виду. Он выделил три вида: спиральные, эллиптические и неправильные галактики.

Спиральные галактики - самый многочисленный тип галактик. К нему относятся наша Галактика и гигантская туманность Андромеды, удаленная от нас примерно на 2 млн. св. лет. Подобные звездные системы состоят как бы из двух частей - центральной сферы и диска. Если посмотреть на нее «Сверху», то можно заметить, что из сферы выходят несколько спиралей. Самые яркие и массивные звезды галактики находятся в спиральных рукавах; а между ними и слабые и маломассивные желтые и красные звезды.

У галактик, как и у звезд и планет, есть спутники. Например, у галактики Водоворот имеет на конце одной из ветвей небольшую галактику - спутник, который обращается относительно центра материнской галактики.

<u>Эллиптические галактики</u> имеют вид шара, а иногда напоминают лимон. Их яркость плавно уменьшается от центра к краям. (Они составляют примерно 25% от всех галактик).

По размерам эти галактики очень разнообразны - среди них встречаются и гиганты, и карлики. Большинство эллиптических галактик практически не имеет в своем составе межзвездного газа. Население этих галактик - старые звезды, подобные Солнцу или менее массивные. Цвет у эллиптических галактик красный.

Для <u>Неправильных галактик</u> характерна неправильная, «размытая» клочковатая структура и отсутствие четко выраженного центрального ядра. Неправильные галактики, не обнаруживая интересных закономерностей в своем строении, имеют, как правило, небольшие массу и размер. В таких звездных системах содержится много газа - до 50% общей массы. (К этому классу принадлежит примерно 5 % галактик).

Метагалактика

За пределами нашей Галактики астрономы обнаружили миллионы других грандиозных систем, похожих на нашу или отличных от нее. Ученые пришли к выводу, что звезды во Вселенной распределены неравномерно, а образуют скопления, которые могут включать даже тысячи звездных систем.

Астрономы считают, что все видимые в настоящее время галактики составляют часть Метагалактики - так принято называть всю наблюдаемую область Вселенной. Возможно, и сама Метагалактика, в свою очередь, -лишь составляющая еще более огромной системы и таких образований во Вселенной бесчисленное множество...

Звездные скопления - группы звезд связанных силой тяготения. В будущем скопление стареет и разрушается под действием внутренних и внешних сил (рассеянное разрушается быстрее). Открыл скопления В. Гершель (1738-1822, Англия) с 1775г по 1790г (более 250 и составил три каталога).

Рассеянное - содержат от нескольких сотен до нескольких тысяч звезд (от 10 до сотни масс Солнца), распределенных в области размером в несколько световых лет (от 1,5 до 20пк). Члены такого скопления находятся на значительно большем удалении друг от друга, чем в шаровых скоплениях. (в среднем 1зв/пк, в центре до 80зв/пк). Известно около 1200 рассеянных скоплений.

Эти скопления относительно молоды (звезды 1 типа, богатые металлами), обычно содержат много горячих и очень ярких звезд, имеют возраст максимум до 3 млрд. лет. Они расположены в диске Г алактики и поэтому на небе лежат в пределах Млечного Пути. Они движутся почти по круговым орбитам со скоростью 150-200 км/с. Среди общеизвестных рассеянных скоплений выделяются Плеяды, Гиады и "Шкатулка драгоценностей".

Шаровое -Плотное скопление сотен тысяч или даже миллионов звезд (в основном красные гиганты и субгиганты), форма которого близка к сферической. Самое яркое шаровое скопление в небе - Омега Центавра (ю Сеп) диаметром 620 световых лет. Это одно из самых старых известных шаровых скоплений, возраст которого, как полагают, достигает 13 млрд. лет. Некоторые самые старые звезды нашей Галактики также содержатся в шаровых скоплениях. Шаровые скопления распределены внутри сферического гало вокруг Галакти-

ки и движутся по очень вытянутым эллиптическим орбитам вокруг центра Галактики со скоростями более 50 км/с. Известно более 150 таких скоплений.

Звезды в шаровых скоплениях имеют низкое содержание элементов тяжелее гелия. Это согласуется с предположением о том, что они сформировались из первоначального вещества Галактики до того, как межзвездная среда обогатилась элементами, образующимися только внутри звезд.

Между звездами и межзвездной средой происходит непрерывное взаимодействие, которое приводит к возникновению целого ряда разнообразных компонентов: темных облаков газа и пыли, областей ионизированного водорода и нейтрального водорода, молекулярных облаков, глобул, а также очень горячего разреженного газа и высокоэнергичных частиц космических лучей.

Туманности - облако межзвездного газа и пыли. Этот термин раньше использовался для объектов, о которых теперь известно, что они представляют собой галактики. Например, большую "туманность Андромеды" теперь правильнее называть галактикой Андромеды. Плотность в туманностях очень мала и составляет порядка 10^{-18} - 10^{-20} кг/м 3 .

Эмиссионная туманность светится в присутствии ультрафиолетового излучения; отражающая туманность отражает свет звезд. Поглощающая туманность (темные) представляет собой темное образование и обычно видна лишь силуэтом на фоне светящейся туманности или на ярком звездном фоне. Среди других объектов, состоящих из светящегося газа и также называемых туманностями, выделяются планетарные туманности и остатки сверхновых.

Межзвездная пыль - маленькие частицы в межзвездной среде. Частицы межзвездной пыли (размером 0,005 - 1 мкм) в межзвездной среде обычно смешаны с газом. Составляя меньше 1% массы межзвездной среды, пыль поглощает гораздо больше света и генерирует гораздо больше инфракрасного излучения, чем газ. Свет звезд, рассеиваемый частицами пыли, создает отражающую туманность.

Большая часть пыли, как полагают, порождается при оттоке вещества от холодных красных гигантов. По мере того, как с увеличением расстояния от звезды газ охлаждается, происходит конденсация твердых веществ. Обнаруженное у таких звезд инфракрасное излучение показывает, что они и в самом деле окружены оболочками пыли. Вещество может конденсироваться в зерна также внутри молекулярных облаков.

Происхождение и эволюция звезд.

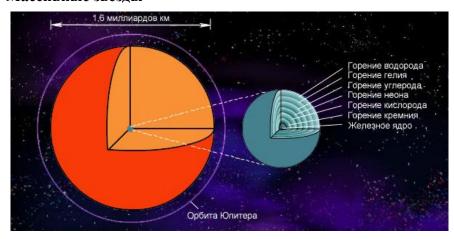
Космогония - раздел астрономии, занимающийся проблемами происхождения и эволюции небесных тел. Космология развивается исходя из гипотез, подтверждаемых наблюдаемыми фактами и позволяющие предсказать новые открытия.

Эволюция - изменения, происходящие в течение жизни звезды, включая ее рождение в межзвездной среде, истощение годного к использованию ядерного топлива и конечную стадию угасания.

Горение водорода в ядре продолжается до тех пор, пока не истощатся запасы топлива. В течение этой фазы звезда находится на главной последовательности диаграммы Герцшпрунга-Рессела. Здесь масштабы времени резко уменьшаются с увеличением массы. Для Солнца время жизни на главной последовательности составляет 10 млрд. лет (около половины которого уже прошло). Когда при исчерпании всего топлива горение водорода в ядре прекращается, в структуре звезды происходят фундаментальные изменения, связанные с потерей источника энергии. Звезда уходит с главной последовательности в область красных гигантов. Рост температуры и плотности в звёздном ядре ведёт к условиям, в которых может (в зависимости от массы) активироваться новый источник термоядерной энергии: выгорание гелия (*тройная геливая реакция* или *тройной альфа-процесс*), характерный для красных гигантов и сверхгигантов. При температурах порядка 108 К кинетическая энергия ядер гелия становится достаточно высокой для преодоления кулоновского барьера: два ядра гелия (альфа-частицы) могут сливаться с образованием нестабильного изотопа бериллия Ве8: Не4 + Не4 = Ве8. Большая часть Ве8 снова распадается на две альфа-частицы, но при

столкновении Be^8 с высокоэнергетической альфа-частицей может образоваться стабильное ядро углерода C^{12} : $Be^8 + He^4 = C^{12} + 7,3$ МэВ.

Массивные звезды



По современным представлениям в звездах главной последовательности **с массой больше 10** M_{\odot} термоядерные реакции проходят в невырожденных условиях вплоть до образования самых устойчивых элементов железного пика. Масса эволюционирующего ядра слабо зависит от полной массы звезды и составляет 2–2,5 M_{\odot} .

Стадия	Температура в центре, К	Плотность в центре, кг/м 3	Продолжительность
Горение водорода	4•10 7	5•10 ³	7•10 ⁶ лет
Горение гелия	2•10 8	7•10 ⁵	5•10 ⁵ лет
Горение углерода	6•10 ⁸	2•10 8	600 лет
Горение неона	1,2•10 9	4•10 ⁹	1 год
Горение кислорода	1,5•10 9	10 10	6 месяцев
Горение кремния	2,7•10 9	3•10 ¹⁰	1 день
Коллапс ядра	5,4•10 9	3•10 ¹²	0,2 секунды
Взрыв ядра	2,3•10 10	4•10 ¹⁷	Миллисекунды
Расширение	Около 10 ⁹	Меняется	10 секунд

Сброс оболочки звезды объясняют взаимодействием нейтрино с веществом. Распад ядер требует значительных затрат энергии, т.к. представляет собой как бы всю цепочку термоядерных реакций синтеза водорода в железо, но идущую в обратном порядке, не с выделением, а с поглощением энергии. Вещество теряет упругость, ядро сжимается, температура возрастает, но все же не так быстро, чтобы приостановить сжатие. Большая часть выделяемой при сжатии энергии уносится нейтрино. Таким образом, в результате нейтронизации вещества и диссоциации ядер происходит как бы взрыв звезды внутрь – имплозия. Вещество центральной области звезды падает к центру со скоростью свободного падения. Образующаяся при этом гидродинамическая волна разрежения втягивает последовательно в режим падения все более удаленные от центра слои звезды.

Начавшийся коллапс может остановиться упругостью вещества, достигшего ядерной плотности и состоящего в основном из вырожденных нейтронов (нейтронная жидкость). При этом образуется нейтронная звезда. Оболочка звезды приобретает огромный импульс (скорее всего, передающийся нейтрино) и сбрасывается в межзвездное пространство со

скоростью 10 000 км/с. Такие остатки вспышек сверхновых при расширении взаимодействуют с межзвездной средой и заметно светятся.

Вспышки сверхновых типа Ia, по-видимому, вызваны коллапсом белого карлика, входящего в состав двойной звездной системы, при достижении им массы, близкой к пределу Чандрасекара, в процессе перетекания вещества с расширившейся в ходе эволюции соседней звезды. В таблице приведены этапы эволюции звезды массой 25 M_{\odot} .

Протозвезда. Звезды образуются в результате гравитационной неустойчивости в холодных и плотных молекулярных облаках (если его масса не менее 2000 масс Солнца. T=10K). Поэтому звезды всегда рождаются группами (скоплениями, комплексами). Гигантские молекулярные облака с массами, большими $10^5 \, M_\odot$ (их известно более 6 000), содержат 90 % всего молекулярного газа Галактики. Именно с ними связаны области звездообразования. Если бы гигантские молекулярные облака в Галактике свободно сжимались из-за гравитационной неустойчивости, то за 50 миллионов лет из них образовались бы звезды. Сжатию способствуют ударные волны при расширении остатков вспышек сверхновых, спиральные волны плотности и звездный ветер от горячих OB-звезд. Температура вещества при переходе от молекулярных облаков через фрагментацию облака (появление глоб) к звездам возрастает в миллионы раз, а плотность — в 10^{20} раз, увеличивается скорость вращения.

Стадия развития звезды, характеризующаяся сжатием и не имеющая еще термоядерных источников энергии, называется протозвездой (греч. протос «первый»). Эволюцию протозвезды массой $1\ M_{\odot}$ можно разделить на три стадии:

Характеристика	Фаза 1 Формирование	Фаза 2 Быстрое сжатие	Фаза 3 Медленное сжатие		
Размер	10 ¹⁸ –10 ¹⁵ м (1000– 1 а.е)	$10^{15}10^{10}\text{м}$ (1 а.е. – десятки R_{\odot})	10 ¹⁰ −10 ⁹ м (10−1 R _☉)		
Плотность, кг/м 3	$10^{-19} - 10^{-16}$	$10-16^{-1}$	$1-10^3$		
Температура в центре, К	10	$10-10^6$	$10^6 - 10^7$		
Длительность, лет	10 ⁷	10 ⁵	5•10 ⁷		
Наблюдение	Радиодиапазон	Инфракрасный диапа- зон	Оптический диапазон		
Характеристика	Начало гравитаци- онной неустойчи- вости	Быстрое сжатие, практически свободное падение вещества к центру облака	Протозвезда становится непрозрачной для собственного теплового излучения; температура и давление растут, сжатие замедляется		

По достижению температуры в несколько миллионов градусов в центре начинаются термоядерные реакции. Минимальная масса, которая необходима для этого, составляет около одной двенадцатой массы Солнца. Если вещества меньше, то реакции нуклеосинтеза никогда не начнутся. Объекты, массы которых лежат в промежутке $0.01–0.08~\mathrm{M}_{\odot}$, называются коричневыми карликами.

В 60-е годы XX века Ч. Хаяши и Т. Накано впервые подробно рассмотрели динамику сжатия протозвезды. Они показали, что в процессе сжатия температура фотосферы молодой звезды возрастает до 3 000 К, светимость звезды — до 300 L_{\square} . Заключительные стадии фор-

мирования звезды могут быть весьма бурными. Помимо так называемого протозвездного ветра многие звезды выбрасывают с огромной скоростью в пространство гигантские струи горячего вещества – джеты.

Звезда. Ядро втягивает все, или почти все вещество, сжимается и когда температура внутри превысит 10 млн. К, начинается процесс выгорания водорода (термоядерная реакция). Для звезд с **М**⊚ от самого начала прошло 60 млн. лет, а для звезд с **10М**⊚ прошло 300000 лет. При массе ядра не превосходящей 0,08 массы Солнца, температуры такой не достигнет, возникнет коричневый карлик, который не попадает на главную последовательность, постепенно погаснет и в конце рассеется.

Звезда на главной последовательности. Находится пока внутри происходит термоядерная реакция выгорания водорода в ядре, что зависит от массы. Время жизни самое долгое в эволюции. Для звезд разной массы: $\mathbf{M=0,8M}_{\odot}$ $\boldsymbol{\tau}=20$ млрд. лет, $\mathbf{M=M}_{\odot}$ $\boldsymbol{\tau}=10$ млрд.лет, $\mathbf{M=1,5M}_{\odot}$ $\boldsymbol{\tau}=1,5$ млрд.лет, $\mathbf{M=2,0M}_{\odot}$ $\boldsymbol{\tau}=0,8$ млрд.лет.

После того как звезда израсходует содержащийся в центральной части водород, гелиевое ядро начнет сжиматься, его температура повысится настолько, что начнутся реакции с большим энерговыделением (при температуре 2•10⁷ К начинается горение гелия - составляет по времени десятую часть горения Н). В прилегающем к ядру слое, как правило, остается водород, возобновляются протон-протонные реакции, давление в оболочке существенно повышается, и внешние слои звезды резко увеличиваются в размерах. На диаграмме Герцшпрунга − Рассела звезда начинает смещаться вправо − в область красных гигантов, увеличиваясь примерно в размере в 50 раз. Звезды скромных размеров, включая и Солнце, в конце жизни, после стадии красного гиганта сжимаются, сбрасывают оболочку (до 30% массы - образуется планетарная туманность), превращаясь в белые карлики, имеющие массу, не превышающую 1,2 М_☉, радиус в 100 раз меньше солнечного, и, следовательно, плотность в миллион раз больше солнечной. Белый карлик продолжает слабо светиться еще очень долго, пока его тепло не израсходуется полностью, и он превратится в мертвого черного карлика.

Завершающие стадии эволюции красных гигантов

Macca	Ядерные реакции	Процессы в ходе эволюции	Остаток
0,08— 2,5	Водород- ный слоевой источник	Образуется вырожденное гелиевое ядро с массой около 0,5 солнечных, оболочка рассеивается	Не-белый кар- лик с массой до 1,2М _☉
2,5—8	Двойной слоевой источник	 Образуется вырожденное СО- ядро с массой до 1,2 солнечных, на стадии асимптотической вет- ви гигантов происходит сброс оболочки с образованием плане- тарной туманности, наблюдаю- щейся ~10⁴ лет В некоторых случаях углеродная детонация ядра, наблюдающаяся как вспышка сверхновой типа I 	 СО-белый карлик массой 0,6—0,7М₀, Планетарная туманность Звезда полностью рассеивается при вспышке
8—12	1	«Горение» углерода останавлива- ется из-за вырождения О-Ne-Mg ядра, оболочка рассеивается	
12—30	Вырождение в ядре не	Ядро с массой 1,5—2 солнечных коллапсирует в нейтронную звезду,	-

	нуклеосинтез идёт вплоть до образования элементов же-	коллапс наблюдается как вспышка сверхновой типа II (при наличии протяжённой водородной оболочки) или Ib/с (коллапс ядра звезды Вольфа — Райе), сброшенная оболочка в течение ~10 ⁴ лет наблюдается как остаток сверхновой	(предел Оппенгеймера-Волкова 2—3М₀)
> 30	Процессы неясны	Процессы неясны	Чёрная дыра с массой от $3M_{\odot}$ до $10M_{\odot}$?

Происхождение планет

Гипотезы об образовании нашей Солнечной системы можно разбить на две группы: **катастрофические** и **эволюционные**.

Первые гипотезы появились задолго до того, как стали известны многие важные закономерности Солнечной системы.

- 1. Гипотеза **Канта** первая универсальная естественно-философская концепция, разработанная в 1747-1755гг. В его гипотезе небесные тела произошли из гигантского холодного пылевого облака под действием тяготения. В центре облака образовалось Солнце, а на периферии планеты. Таким образом, изначально высказывалась мысль, что Солнце и планеты возникли *одновременно*.
- 2. Гипотеза **Лапласа** в 1796г выдвинул гипотезу о происхождении Солнечной системы из единой раскаленной вращающейся газовой туманности, не зная теории **И. Канта**. Планеты зарождались на границе туманности путем конденсации охлажденных паров в плоскости экватора и от охлаждения туманности постепенно сжималась, вращаясь все быстрее и когда центробежная сила становится равной силе тяготения, образуются многочисленные кольца, которые, уплотняясь, делясь на новые кольца, создали сперва газовые планеты, а центральный сгусток превратился в Солнце. Газовые планеты, остывали и сжимались, образуют вокруг кольца, из которых затем возникли спутнике планет (кольцо Сатурна считал верностью своих рассуждений). В теории одновременно происходит формирование всех тел Солнечной системы: Солнца, планет, спутников. Приводит 5 фактов (явно недостаточно) особенностей Солнечной системы, исходя из закона тяготения. Это первая, разработанная в математической форме, теория и существовала почти 150 лет, вплоть до теории **О. Ю. Шмидта**.

Гипотеза Канта-Лапласа не могла объяснить, почему в солнечной системе более 98% момента количества движения принадлежит планетам. Подробно эту проблему изучил английский астрофизик **Хойл**. Он указал на возможность передачи момента количества движения от "протосолнца" к окружающей среде с помощью магнитного поля.

3. Одной из самых распространенных катастрофических гипотез была гипотеза Джинса. Согласно этой гипотезе вблизи Солнца прошла звезда, которая своим притяжением вырвала с поверхности Солнца струю газа, из которой образовались планеты. Главный недостаток этой гипотезы состоит в том, что вероятность того, что звезда окажется на близком расстоянии от Солнца очень мала. Кроме того, в сороковых-пятидесятых годах, когда обсуждалась эта гипотеза, считалось не требующим доказательства существование множественности миров, а, следовательно, вероятность образования планетной системы не должна быть малой. Советский астроном Николай Николаевич Парийский своими расчетами убедительно показал ничтожно малую вероятность образования планетной системы, а, следовательно, и жизни на других планетах, что противоречило господствующим в те времена взглядам философов. Представление об исключительности солнечной планетной системы

приводила, якобы, к идеалистической концепции антропоцентризма, с чем ученый-материалист не может согласиться.

- **4.** Еще одна современная катастрофическая гипотеза. В начальный момент существовали Солнце, протопланетная туманность и звезда, которая в момент прохождения около Солнца взорвалась и превратилась в сверхновую. В формировании планет из этого протопланетного облака сыграли определяющую роль ударные волны. Сильную поддержку эта гипотеза получила, как пишет Л.В. Ксанфомалити в книге "Парад планет", в результате анализа химического состава большого метеорита Альенде. В нем оказалось аномально много кальция, бария и неодима.
- 5. Еще интереснее катастрофическая гипотеза российского астрофизика профессора Санкт-Петербургского университета Кирилла Павловича Бутусова, предсказавшего начале 70-х наличие планет за Нептуном. Американцы, наблюдая кометы с долгими периодами обращения вокруг Солнца, пришли к выводу о наличии на большом расстоянии от нашего светила некоего массивного тела, «коричневого карлика» и назвали его Люцифер. Эту предполагаемую вторую звезду Солнечной системы Бутусов назвал Раджа-Солнцем с массой около 2% солнечной. Сведения о ней хранят тибетские легенды. Ламы считают ее металлической планетой, тем самым подчеркивая ее огромную массу при сравнительно небольших размерах. Она движется по очень вытянутой орбите и появляется в наших краях раз в 36 тысяч лет. Бутусов предполагает, что Царь-Солнце когда-то опережало в своем развитии Солнце и было главной звездой двойной системы. Потом, следуя естественным процессам, прошло фазу красного гиганта, взорвалось и превратилось в конце концов в белого, а затем коричневого карлика. Планетная система включала в себя Юпитер, Нептун, Землю и Меркурий. Возможно, на них имелась жизнь, опережавшая современную на пару сотен миллионов лет (иначе как объяснить наличие следов человека рядом со следами динозавров?). Остальные планеты принадлежали Солнцу. Сильно потеряв в массе, Раджа-Солнце передало свою «свиту» нынешнему Солнцу. Во время всех этих космических пертурбаций Земля перехватила Луну у Марса. Многие легенды гласят, что раньше у нашей планеты спутника не было. Возможно, возле Раджи-Солнца до сих пор сохранились несколько планет с несоизмеримо более высокой цивилизацией, чем наша. И они оттуда инспектируют Землю. Но против Раджи-Солнца говорит тот факт, что Бутусов ожидал его появления к 2000 году, но оно так и не появилось.

5. Общепризнанная нынешняя теория - теория Шмидта.

- 1. Глоба, в которой возникает протозвезда (в частности наше Солнце), сжимается, увеличивая скорость вращения. В ходе более быстрого сжатия протозвезды, она образует диск из вещества, окружающего будущую звезду. Часть в первую очередь близлежащего вещества диска падает на образующуюся звезду под действием силы тяготения. Газ и пыль, оставшаяся в диске и обладающая избыточным моментом вращения, постепенно охлаждается. Вокруг протозвезды формируется газопылевой протопланетный диск.
- 2. Охлажденное вещество в диске становясь более плоским, уплотняясь, начинает собираться в небольшие сгустки планетезимали, образуя рой миллиардов сгустков размером около километра, которые при своем движении сталкивались, разрушаясь и объединяясь. Наиболее крупные сохранились образуя планетные ядра, а с их ростом увеличивающаяся сила тяготения способствовала поглощению близко расположенных планетезималей и притяжению окружающего газа и пыли. Таким образом через 50 млн. лет образовались гигантские газовые планеты. В центральной части диска происходило дальнейшее развитие протозвезды сжимается и разогреваться.
- 3. Через 100 млн. лет протозвезда превращается в звезду. Возникшее излучение нагревает облако до 400К, образуется зона испарения и начинается выталкивание водорода и гелия на более удаленное расстояние, оставляя вблизи более тяжелые элементы и имеющиеся крупные планетезимали (будущие планеты земной группы). В процессе гравитационной дифференциации вещества (разделения на тяжелые и легкие) образуется ядро планеты и ее мантия.

- **4**. В наружной, более удаленной от Солнца части Солнечной системы на 5 а.е. образуется зона намерзания с температурой примерно 50К и здесь образовались большие планетные ядра, которые оказались способными удержать некоторое количество газа в виде первичного облака. В нем в дальнейшем сформировалось большое число спутников, а из остатков кольца.
- **5.** Луна и спутники Марса (как и некоторые спутники планет гигантов) бывшие планетезимали (позже астероиды) удержанные (захваченные) силами гравитации пл

Планеты у других звезд.

Мысли о существовании других миров высказывались еще древнегреческими философами: Ливкипп, Демокрит, Эпикур. Также мысль о существовании у звезд других планет высказал в 1584г Джордано Бруно (1548-17.02.1600, Италия). По состоянию на 24.04.2007 года открыто 219 внесолнечных планет в 189 планетных системах, 21 многочисленная планетная система. Первая экзопланета открыта в 1995 году у звезды 51 Pegasi, находящейся в 14,7 пк от нас астрономами Женевской обсерватории Мишель МАЙОР (М.Маyor) и Дидье КВЕЛОЦ (D.Queloz). Профессор астрономии Калифорнийского университета в Беркли Джеффри Марси (Geoffrey Marcy) и астроном Пол Батлер (Paul Butler) из Университета Карнеги объявили 13 июня 2002г об открытии планеты класса Юпитера, которая обращается вокруг своей звезды на расстоянии приблизительно равном тому, на котором наш Юпитер облетает Солнце. Звезда 55 Cancri удалена от Земли на расстоянии 41 светового года и относится к типу солнцеподобных звезд. Открытая планета удалена от звезды на. 5,5 астрономических единицы (Юпитер на 5,2 астрономические единицы). Период ее обращения составляет 13 лет (для Юпитера - 11,86 лет). Масса - от 3,5 до 5 масс Юпитера. Так впервые за 15 лет наблюдений международной команде "охотников за планетами у других звезд" удалось обнаружить планетарную систему, напоминающую нашу. Сейчас известно таких систем семь.

С помощью орбитального телескопа Hubble студент Университета Пенсильвании Джон Дебес (John Debes), работавший над проектом по поиску звезд в других системах, в начале мая 2004г впервые в истории сфотографировал планету в другой системе. Планета, которая по размеру в пять-десять раз больше Юпитера, вращается вокруг звезды, расположенной на расстоянии примерно 100 световых лет от Земли. Также в начале 2004 году телескопу VLT (Чили) впервые удалось получить фотографию спутника у звезды 2М 1207 (красный карлик). Вскоре это открытие подтвердили и наблюдения на инфракрасной камере Хаббла. Его массу оценивают в 5 масс Юпитера, а радиус орбиты в 55 а.е.

Контрольные вопросы и задания

- 1. Что такое Галактика?
- 2. Кто классифицировал галактики?
- 3. Назовите виды галактик?
- 4. Какие галактики называются спиральными?
- 5. Какие галактики называются эллиптическими?
- 6. Какие галактики называются неправильными?
- 7. Откуда произошло название Млечный путь?
- 8. К какому виду галактик относится наша Галактика?
- 9. Дайте характеристику Галактики?
- 10. Какие бывают звездные скопления?
- 11. Что представляют собой туманности?

Зак. №	Тираж экз.	
	рафия г. Подольск	