

ЧАСТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«СТАВРОПОЛЬСКИЙ МНОГОПРОФИЛЬНЫЙ КОЛЛЕДЖ»

**Методические указания**

к практическим занятиям

по дисциплине «Астрономия»

для обучающихся по специальности

09.02.07 Информационные системы и программирование

Ставрополь, 2022 г.

## Содержание

|                                                                                                    |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВВЕДЕНИЕ .....                                                                                     | 3  |
| Практическое занятие 1. Астрономия, ее значение и связь с другими науками .....                    | 4  |
| Практическое занятие 2. Практические основы астрономии .....                                       | 11 |
| Практическое занятие 3. Строение Солнечной системы(Строение мира) .....                            | 16 |
| Практическое занятие 4. Строение Солнечной системы (Законы движения планет Солнечной системы)..... | 19 |
| Практическое занятие 5. Строение Солнечной системы (Искусственные спутники земли).....             | 23 |
| Практическое занятие 6. Природа тел Солнечной системы .....                                        | 29 |
| Практическое занятие 7. Солнце и звезды .....                                                      | 30 |
| Практическое занятие 8,9 . Строение и эволюция Вселенной. Часть 1, 2.....                          | 40 |
| Практическое занятие 10, 11. Жизнь и разум во Вселенной. Часть 1,2.....                            | 52 |
| Список используемых источников.....                                                                | 57 |

## Введение

Освоение содержания учебной дисциплины «Астрономия» обеспечивает достижение обучающимися следующих результатов:

### **личностных:**

- сформированность научного мировоззрения, соответствующего современному уровню развития астрономической науки;
- устойчивый интерес к истории и достижениям в области астрономии;
- умение анализировать последствия освоения космического пространства для жизни и деятельности человека;

### **метапредметных:**

- умение использовать при выполнении практических заданий по астрономии такие мыслительные операции, как постановка задачи, формулирование гипотез, анализ и синтез, сравнение, обобщение, систематизация, выявление причинно-следственных связей, поиск аналогов, формулирование выводов для изучения различных сторон астрономических явлений, процессов, с которыми возникает необходимость сталкиваться в профессиональной сфере;
- владение навыками познавательной деятельности, навыками разрешения проблем, возникающих при выполнении практических заданий по астрономии;
- умение использовать различные источники по астрономии для получения достоверной научной информации, умение оценить ее достоверность;
- владение языковыми средствами: умение ясно, логично и точно излагать свою точку зрения по различным вопросам астрономии, использовать языковые средства, адекватные обсуждаемой проблеме астрономического характера, включая составление текста и презентации материалов с использованием информационных и коммуникационных технологий;

### **предметных:**

- сформированность представлений о строении Солнечной системы, эволюции звезд и Вселенной, пространственно-временных масштабах Вселенной;
- понимание сущности наблюдаемых во Вселенной явлений;
- владение основополагающими астрономическими понятиями, теориями, законами и закономерностями, уверенное пользование астрономической терминологией и символикой;
- сформированность представлений о значении астрономии в практической деятельности человека и дальнейшем научно-техническом развитии;
- осознание роли отечественной науки в освоении и использовании космического пространства и развитии международного сотрудничества в этой области.

## ПЛАНИРУЕМЫЕ ЛИЧНОСТНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ В ХОДЕ РЕАЛИЗАЦИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

ЛР.01 Осознающий себя гражданином и защитником великой страны.

ЛР.02 Проявляющий активную гражданскую позицию, демонстрирующий приверженность принципам честности, порядочности, открытости, экономически активный и участвующий в студенческом и территориальном самоуправлении, в том числе на условиях добровольчества, продуктивно взаимодействующий и участвующий в деятельности общественных организаций.

ЛР.04 Проявляющий и демонстрирующий уважение к людям труда, осознающий ценность собственного труда. Стремящийся к формированию в сетевой среде лично и профессионально конструктивного «цифрового следа».

ЛР.07 Осознающий приоритетную ценность личности человека; уважающий собственную и чужую уникальность в различных ситуациях, во всех формах и видах деятельности.

ЛР.09 Соблюдающий и пропагандирующий правила здорового и безопасного образа жизни, спорта; предупреждающий либо преодолевающий зависимости от алкоголя, табака, психоактивных веществ, азартных игр и т.д. Сохраняющий психологическую устойчивость в

ситуативно сложных или стремительно меняющихся ситуациях.

ЛР.13 Демонстрирующий готовность и способность вести диалог с другими людьми, достигать в нем взаимопонимания, находить общие цели и сотрудничать для их достижения в профессиональной деятельности.

ЛР.14 Проявляющий сознательное отношение к непрерывному образованию как условию успешной профессиональной и общественной деятельности.

Рассмотрено на заседании методического объединения общеобразовательного цикла, протокол № 5 от «25» мая 2022 г.

Рекомендовано к использованию в учебном процессе Методическим советом СмК, протокол № 6 от «26» мая 2022 г.

## Практическое занятие 1

### Астрономия, ее значение и связь с другими науками

#### Теоретическая часть

Астрономия [греч. *astron* - звезда, *nomos* -закон] – наука о Вселенной (о природе)= наука о строении, происхождении и развитии небесных тел и их систем, муза - Урания. Системы: - все тела во Вселенной образуют системы различной сложности.



**Космические процессы:**

- Возникновение Вселенной;
- возникновение Метагалактики
- эволюция Вселенной,
- эволюция материи,
- возникновение и развитие жизни и разума во Вселенной.
- возникновение космических объектов и их систем;
- существование космических объектов и их систем;
- эволюция космических объектов и их систем

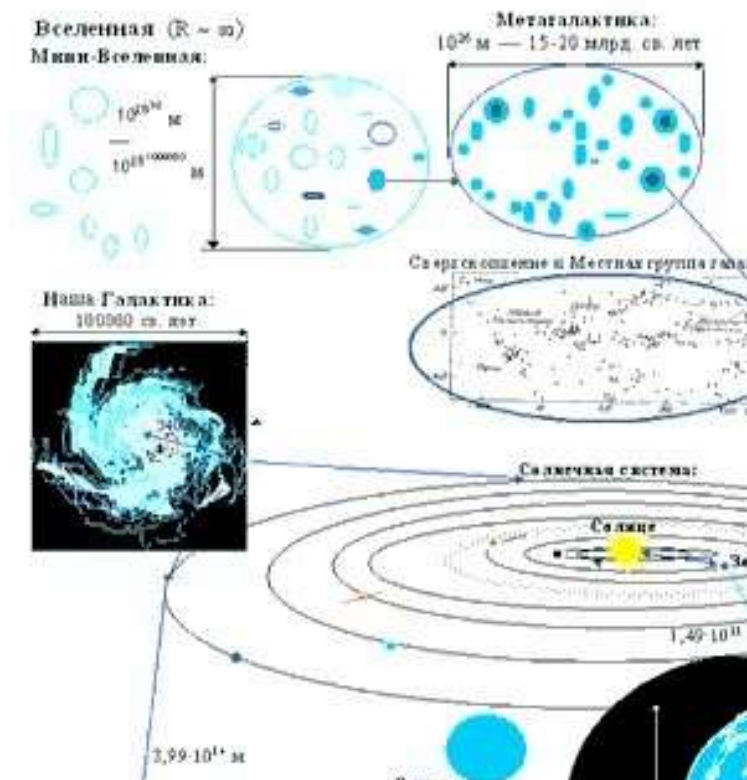


Рис.1 Сравнительные размеры космических объектов

1. Солнечная система
2. Видимые на небе звезды, в том числе Млечный путь – это часть Галактики (наша галактика Млечный Путь)
3. Галактики объединяются в своего рода скопления (системы)

Все тела находятся в непрерывном движении, изменении, развитии. Планеты, звезды, галактики имеют свою историю, нередко исчисляемую млрд. лет.

На схеме отражена системность и расстояния:

1 астрономическая единица = 149, 6 млн.км (среднее расстояние от Земли до Солнца).

1пк (парсек) = 206265 а.е. = 3, 26 св. лет

1 световой год (св. год) - это расстояние, которое луч света со скоростью почти 300 000 км/с пролетает за 1 год. 1 световой год равен 9,46 миллионам миллионов километров!

История астрономии – одна из самых увлекательных и древнейших наук (можно показать отрывок из фильма Астрономия (ч.1, фр. 2 Самая древняя наука). Потребность в астрономических знаниях диктовалась жизненной необходимостью:

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

*Этапы развития астрономии*

I-й Античный мир (до н. э)

II-ой Дотелескопический (наша эра до 1610г)

III-ий Телескопический (1610-1814гг)

IV-ый Спектроскопия (1814-1900гг)

V-ый Современный (1900 - наст.время)

Связь с другими предметами

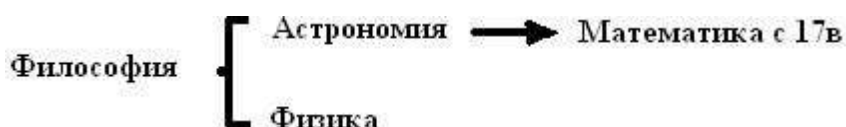




Рис.2. 1 – гелиобиология, 2 – ксенобиология, 3 - космическая биология и медицина, 4 - математическая география, 5 – космохимия, А - сферическая астрономия, Б – астрометрия, В - небесная механика, Г – астрофизика, Д – космология, Е – космогония, Ж - космофизика

Таблица 1. Основные разделы астрономии:

| Классическая астрономия | объединяет ряд разделов астрономии, основы которых были разработаны до начала XX века: |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|-------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                         | Астрометрия:                                                                           | Сферическая астрономия                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | изучает положение, видимое и собственное движение космических тел и решает задачи, связанные с определением положений светил на небесной сфере, составлением звездных каталогов и карт, теоретическим основам счета времени.                                      |
|                         |                                                                                        | Фундаментальная астрометрия                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | ведет работу по определению фундаментальных астрономических постоянных и теоретическому обоснованию составления фундаментальных астрономических каталогов.                                                                                                        |
|                         |                                                                                        | Практическая астрономия                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | занимается определением времени и географических координат, обеспечивает Службу Времени, вычисление и составление календарей, географических и топографических карт; астрономические методы ориентации широко применяются в мореплавании, авиации и космонавтике. |
|                         | Небесная механика                                                                      | исследует движение космических тел под действием сил тяготения (в пространстве и времени). Опираясь на данные астрометрии, законы классической механики и математические методы исследования, небесная механика определяет траектории и характеристики движения космических тел и их систем, служит теоретической основой космонавтики.                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Современная астрономия  | Астрофизика                                                                            | изучает основные физические характеристики и свойства космических объектов (движение, строение, состав и т.д.), космических процессов и космических явлений, подразделяясь на многочисленные разделы: теоретическая астрофизика; практическая астрофизика; физика планет и их спутников (планетология и планетографии); физика Солнца; физика звезд; внегалактическая астрофизика и т. д. |                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|                         | Космогония                                                                             | изучает происхождение и развитие космических объектов и их систем (в частности Солнечной системы).                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                   |

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

Наблюдения в астрономии - основной источник информации. Они имеют особенности:

- длительные промежутки времени и одновременное наблюдение родственных объектов (пример-эволюция звезд)
- необходимость указания положения небесных тел в пространстве (координаты)

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

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

#### 1. Оптические телескопы

Рефрактор - используется преломление света в линзе (преломляющий), первый в 1609г Г. Галилей

Рефлектор - используется вогнутое зеркало (отражающий), фокусирующее лучи, первый в 1668г изобрел И. Ньютон.

Зеркально – линзовый (камера Шмидта) - комбинация обоих видов, первый построил в 1930г Б. ШМИДТ.

- |                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| наз<br>начение | <ul style="list-style-type: none"> <li>• непосредственные наблюдения</li> <li>• фотографировать (астрограф)</li> <li>• фотоэлектрические – датчик, колебание энергии, излучений</li> <li>• спектральные – дают сведения о температуре, химическом составе, магнитных полях, движений небесных тел.</li> </ul> |
|----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

В астрономии расстояние между небесными телами измеряют углом → угловое расстояние: градусы – 5°, 2, минуты – 13', 4, секунды – 21", 3

Обычным глазом мы видим рядом 2 звезды (разрешающая способность), если угловое расстояние не менее 1-2'. Угол, под которым мы видим диаметр Солнца и Луны ~ 0,5 ° = 30'.

- Разрешающая способность  $\alpha = 14''/D$  [ $D$  – диаметр объектива телескопа в см.] или  $\alpha = 206265 \cdot \lambda / D$  [где  $\lambda$  - длина световой волны, а  $D$  – диаметр объектива телескопа]

- Светосила  $E \sim S$  (или  $D^2$ ) объектива.  $E = (D/d_{\text{хр}})^2$ , где  $d_{\text{хр}}$  - диаметр зрачка человека в обычных условиях 5мм.

- Увеличение = Фокусное расстояние объектива / Фокусное расстояние окуляра.  $W = F/f = \beta/\alpha$ .

При сильном увеличении  $>500$  <sup>x</sup> видно колебания воздуха, поэтому телескоп необходимо располагать как можно выше в горах и где небо часто безоблачно, а еще лучше за пределами атмосферы ( в космосе).

Задача. (Для 6м телескопа– рефлектора в Специальной астрофизической обсерватории (на северном Кавказе) определить разрешающую способность, светосилу и увеличение, если используется окуляр с фокусным расстоянием 5см ( $F=24$ м). [Оценка по скорости и правильности решения]

2. Радиотелескопы - *преимущества*: в любую погоду и время суток можно вести наблюдение объектов, недоступные для оптических. Представляют собой чашу (подобие локатора). Радиоастрономия получило развитие с 50-х годов 20-го столетия.

*Значения в народном хозяйстве:*

- Ориентирование по звездам для определения сторон горизонта

- Навигация (мореходство, авиация, космонавтика) - искусство прокладывать путь по звездам
- Исследование Вселенной с целью понять прошлое и спрогнозировать будущее
- Космонавтика:
- Исследование Земли с целью сохранения ее уникальной природы
- Получение материалов, которые невозможно получить в земных условиях
- Прогноз погоды и предсказание стихийных бедствий
- Спасение терпящих бедствие судов
- Исследования других планет для прогнозирования развития Земли.

#### Определение расстояний и размеров светил



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 расстоянии от Земли.

В 1728г Дж. Брайль (Англия), производя измерения координат  $\gamma$  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  $\square\square$  вывод тот же,  $\square$  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).

#### Определение расстояния до звезд

1 способ (параллактический) = БАЗИС=1 а.е (т.е. радиус земной орбиты)

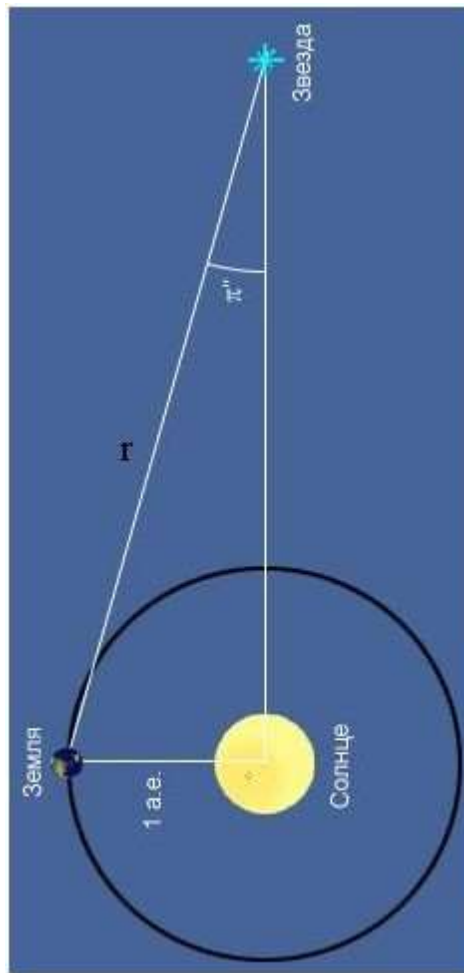
Годичным параллаксом звезды называется угол, под которым со звезды можно было бы видеть большую полуось земной орбиты, перпендикулярную направлению на звезду.

Из  $\Delta$  видно, что  $r = a / \sin \pi$

Так как для звезд угол  $\pi$  очень мал ( $< 1''$ ), то переходим к радианной мере (стр49)

1 рад = 206265", тогда  $r = 206265'' a / \pi = 206265'' / \pi$  а.е.

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



Из формулы видно, что  $1 \text{ пк} = 206265 \text{ а.е.} = 206265 \cdot 149,6 \cdot 10^6 \text{ км} = 3,08 \cdot 10^{13} \text{ км}$   
 $1 \text{ св.г.} = 3 \cdot 10^5 \text{ км/с} \cdot 365,25 \cdot 24 \cdot 3600 \text{ с} = 9,46 \cdot 10^{12} \text{ км}$   
 $1 \text{ пк} = 3,08 \cdot 10^{13} \text{ км} / 9,46 \cdot 10^{12} \text{ км} = 3,26 \text{ св.лет}$

$1 \text{ кпк (килопарсек)} = 10^3 \text{ пк}$      $1 \text{ Мпк (мегапарсек)} = 10^6 \text{ пк}$

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, ЕКА). 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  $0,001''$ ).

Задача: Определите расстояние до Веги (α Лиры), найденное В.Я. Струве, в парсеках и световых годах

II Способ (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  $1^m$ , еле заметные -  $6^m$ , 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  $1^m$  оказались в 100 раз ярче  $6^m$ .

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

Возьмем две произвольные звезды. Для 1-й звезды обозначим звездную величину  $m_1$  и блеск  $I_1$ , а для второй обозначим  $m_2, I_2$ . Тогда, как установил в 1850г английский астроном

Н.Р. Погсон  $I_1/I_2 = 2,512^{m_2 - m_1}$  Блеск звезд и звездная величина бывает разная, даже отрицательная. Так самая яркая звезда неба Сириус имеет  $m = -1,46^m$ , Солнце  $m_{\odot} = -26,58^m$ .

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 ( $M$ ) - *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  $m$ , а абсолютную  $M$ , то из формулы Погсона получим  $I/I_0 = 2,512^{M-m}$ . Поскольку освещенность обратно пропорциональна квадрату расстояния, то из  $I/I_0 = r_0^2/r^2$  или  $I/I_0 = 10^2/r^2$  получим  $10^2/r^2 = 2,512^{M-m}$ , откуда логарифмируя получим  $M = m + 5 - 5 \lg r$ .

### Пример решения задач

1. На каком расстоянии от Земли находится Сатурн, когда его горизонтальный параллакс равен  $0,9''$ ?

Дано:  
 $0,9''$   
 секунд:  $\rho' \quad \frac{R_{\oplus}}{2} = 0,6265 \cdot$

Решение:  
 Запишите формулу суточного параллакса в угловых

$R = 6371 \text{ км}$  Преобразуйте формулу:  $r = \frac{R_{\oplus}}{\rho'} \cdot 206265$   
 $= \frac{6371}{0,9} \cdot 206265 \approx 1,46 \cdot 10^9 \text{ км}$

Найти:  $r$  - ? Рассчитайте расстояние:

Переведите расстояние в а.е.:  $= \frac{1,46 \cdot 10^9}{150 \cdot 10^6} \approx 9,7 \text{ а.е.}$

Ответ: расстояние до Сатурна  $9,7 \text{ а.е.}$

2.

Чему равен угловой диаметр Солнца, видимый с Венеры?

Дано:  
 $0,72 \cdot 150 \cdot 10^6 \quad 108 \cdot 10^6 \text{ км}$

Решение:

Переведите расстояние Венеры от Солнца в км:

$D = 1392000 \text{ км}$  Запишите формулу углового радиуса светила:  $\alpha' = \frac{R}{r} \cdot 206265$   
 Угловой диаметр в 2 раза больше углового радиуса:  
 $= 2\alpha' = \frac{D}{r} \cdot 206265$

Найти:  $2\alpha'$  -?

Рассчитайте угловой диаметр:  $2\alpha' = \frac{1392000}{108 \cdot 10^6} \cdot 206265 \approx 2659'$

Переведите угловой диаметр в угловые минуты и градусы:  
 $2659' = \frac{2659}{60} \approx 44' = \frac{44}{60} \approx 0,7^\circ$

Ответ: угловой диаметр Солнца, видимый с Венеры,  $0,7^\circ$ .

### Вопросы к практическому занятию:

1. Какие сведения астрономические вы изучали в курсах других предметов? (природоведение, физики, истории и т.д.)
2. В чем специфика астрономии по сравнению с другими науками о природе?
3. Какие типы небесных тел вам известны?
4. Планеты. Сколько, как называются, порядок расположения, самая большая и т.д.
5. Какое значение в народном хозяйстве имеет сегодня астрономия?
6. Определите основные характеристики телескопа Г. Галилея.

7. В чем преимущества и недостатки оптической системы рефрактора Галилея по сравнению с оптической схемой рефрактора Кеплера?
  8. Определите основные характеристики БТА. Во сколько раз БТА мощнее МШР?
  9. В чем преимущества телескопов, установленных на борту космических аппаратов?
  10. Какими условиями должно удовлетворять место для строительства астрономической обсерватории?
  11. Чему равен суточный параллакс Юпитера в противостоянии?
  12. Чему равен угловой диаметр Солнца, видимый с Марса?
  13. Во сколько раз световой год больше астрономической единицы? Что такое парсек, световой год? Соотношение между ними.
  14. 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.
  15. Основные способы определения расстояний до звезд и их математическое выражение.
  16. Что такое абсолютная звездная величина?
- Задачи:**
1. Годи́чный паралла́кс 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  $45^\circ$  со скоростью 31 км/с].
  2. Экваториальные координаты яркой звезды  $\alpha = 18^\circ 35'$ ,  $\beta = 38^\circ 44'$ . Какая это звезда? Вычислите расстояние до нее, если известно, что видимая и абсолютная звездные величины ее соответственно равны  $m = 0,1^m$  и  $M = 0,5^m$ .

## Практическое занятие 2. Основы практической астрономии

### Теоретическая часть

Чтобы найти Полярную звезду, нужно через звезды Большой Медведицы (первые 2 звезды "ковша") мысленно провести прямую линию и отсчитать по ней 5 расстояний между этими звездами. В этом месте рядом с прямой мы увидим звезду, почти одинаковую по яркости со звездами "ковша" — это и есть Полярная звезда.

Обзор звездного неба на 15 сентября, 21 час. Летний (летне-осенний) треугольник = звезда Вега (а Лиры, 25,3 св. лет), звезда Денеб (а Лебедя, 3230 св. лет), звезда Альтаир (а Орла, 16,8 св. лет).



Рис.1. Фото околополярной области неба: 1) Звезда – светлый след, за сутки круг.  
2) Центр – близок к Полярной звезде. Наблюдаемое суточное вращение небесной сферы (с востока на запад) – кажущееся явление, отражающее действительное вращение земного шара вокруг своей оси (с запада на восток)

В действительности звезды движутся в пространстве и расстояние до них различно. Ведь если например оценить на глаз расстояние до деревьев за окном. Какое из них ближе к нам? Насколько? А теперь мысленно будем удалять эти два дерева. До 500 м человек уверенно определяет различия в расстояниях до предметов, а максимум до 2 км. А на больших расстояниях человек неосознанно пользуется другими критериями – сравнивает видимые угловые размеры, опирается на перспективу видимой картины. Следовательно, если деревья находятся в открытой местности, где больше ничего нет, то, начиная с некоторого расстояния, мы перестанем различать, какое дерево ближе (дальше) и тем более не сможем оценить расстояние между ними. Нам будет казаться с определенного момента, что деревья одинаково удалены от нас. А на небе, когда расстояние от Земли до Луны составляет 384 400 км, до Солнца – около 150 млн. км, а до самой близкой звезды,  $\alpha$  Центавра, – в 275 400 раз больше, чем до Солнца. Поэтому и на небе нам кажется что все светила находятся на одинаковом расстоянии. Человеческие глаза в лучшем случае могут различать расстояния лишь в пределах 2км.

Геометрическое место точек, равноудаленных от точки, являющейся центром, называется сферой. Нам кажется, что все небесные светила расположены на внутренней поверхности огромной сферы. Это впечатление усиливается ещё тем, что собственное движение звезд в силу их удаленности незаметно и суточное движение звезд происходит синхронно. Поэтому возникает кажущаяся целостность видимого суточного вращения небесной сферы.

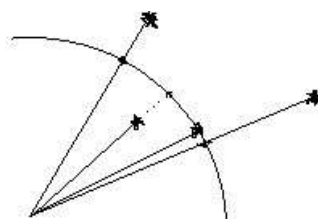


Рис.2.

Для решения многих практических задач расстояния до небесных тел не играют роли, важно лишь их видимое расположение на небе. Угловые измерения не зависят от радиуса 12

сферы. Поэтому, хотя в природе небесной сферы и не существует, но астрономы для изучения видимого расположения светил и явлений, которые можно наблюдать на небе в течении суток или многих месяцев, применяют понятие Небесная сфера – воображаемой сферы произвольного радиуса (сколь угодно большого), в центре которой находится глаз наблюдателя. На такую сферу и проецируются звезды, Солнце, Луна, планеты и т.д, отвлекаясь от действительных расстояний до светил и рассматривая лишь угловые расстояния между ними.

Первое упоминание о “хрустальных сферах” у Платона (427-348, Др. Греция). Первое изготовление небесной сферы встретили у Архимеда (287-212, Др. Греция), описано в работе “Об изготовлении небесной сферы”. Самый древний небесный глобус “Глобус Фарнезе” 3 в. до н. э. из мрамора хранится в Неаполе.

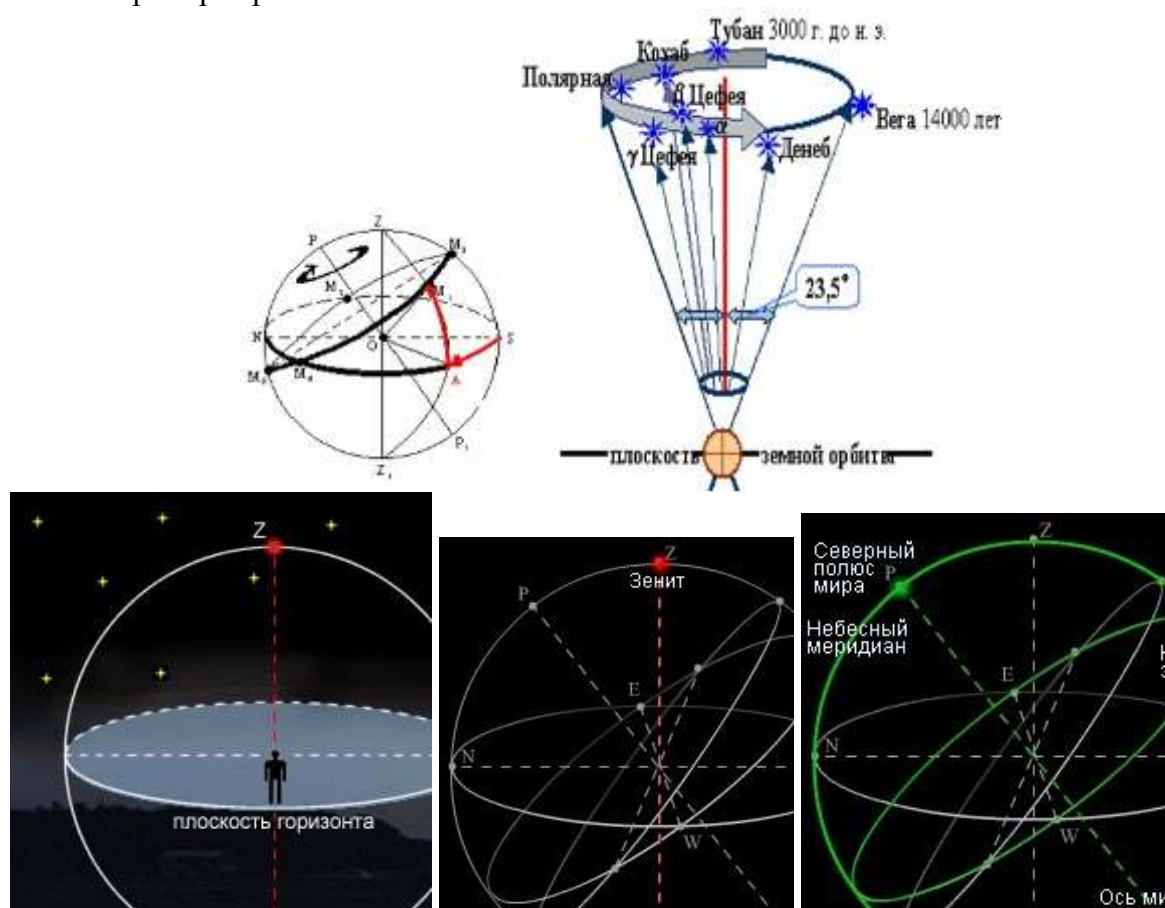


Рис.3. Небесная сфера и горизонтальная система координат

Координаты светила.  $PP_1$  – Ось мира = ось видимого вращения небесной сферы (параллельна оси вращения Земли).  $P$  и  $P_1$  – Полюса мира (северный и южный).  $ZZ_1$  отвесная (вертикальная) линия,  $Z$  – зенит,  $Z_1$  – надир = точки пересечения отвесной линии с небесной сферой.

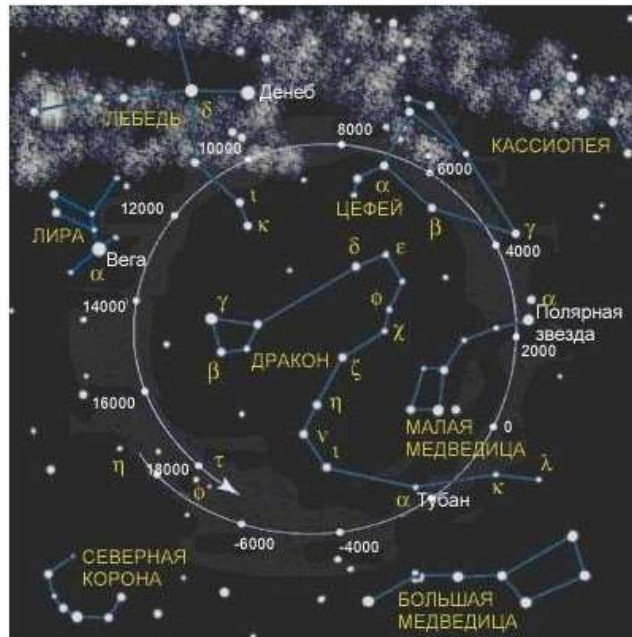
Истинный горизонт – плоскость перпендикулярная отвесной линии  $ZZ_1$  и проходящая через центр  $O$  (глаз наблюдателя).

Небесный меридиан – большой круг небесной сферы, проходящий через зенит  $Z$ , полюс мира  $P$ , южный полюс мира  $P'$ , надир  $Z'$

$NS$  – полуденная линия.  $N$  – точка севера,  $S$  – точка юга.

Вертикал (круг высоты) – полукруг небесной сферы  $ZOM$ .

Небесный экватор – линия окружности, полученная от пересечения небесной сферы с плоскостью проходящая через центр небесной сферы перпендикулярно к оси мира.



Это явление было открыто еще в 125 г. до н. э. греческим астрономом Гиппархом и названо прецессией. Один оборот земная ось совершает за 25 735 лет – этот период называется платоническим годом. Сейчас вблизи Р – северного полюса мира находится Полярная звезда –  $\alpha$  М. Медведицы. Дальше титул Полярной поочередно присваивался  $\pi$ ,  $\eta$  и  $\tau$  Геркулеса, звездам Тубан и Кохаб. Римляне вовсе не имели Полярной звезды, а Кохаб и Киносуру ( $\alpha$  Малой Медведицы) называли Стражами.

На начало нашего летоисчисления – полюс мира был вблизи  $\alpha$  Дракона – 2000 лет назад, а  $\alpha$  Малой Медведицы стала полярной звездой в 1100 году. В 2100 г полюс мира будет всего в 28' от Полярной звезды – сейчас в 44'. В 3200г полярным станет созвездие Цефей. В 14000 г – полярной будет Вега ( $\alpha$  Лиры).

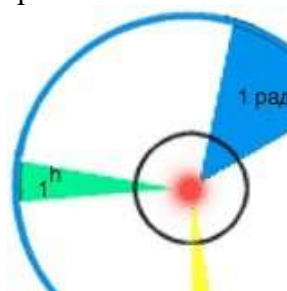
Горизонтальная система координат

$h$  – высота – угловое расстояние светила от горизонта ( $\square$  MOA, измеряется в градусах, минутах, секундах; от  $0^\circ$  до  $90^\circ$ )

$A$  – азимут – угловое расстояние вертикала светила от точки юга ( $\square$  SOA) в направлении суточного движения светила, т.е. по часовой стрелке; измеряется в градусах, минутах и секундах от  $0^\circ$  до  $360^\circ$ ).

Горизонтальные координаты светила в течение суток меняется.

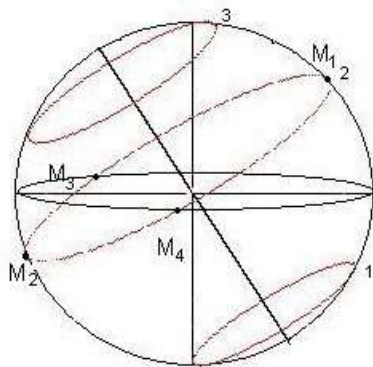
$A'$  Равноценная высоте  $\rightarrow$  зенитное расстояние  $Z=90^\circ - h$  [форм 1]



Измерения могут производиться (и это принято в астрономии для ряда координат) как в градусной, так и в часовой мере.

$$360^\circ : 24^h = 15^\circ$$

Кульминация – явление пересечения светилом небесного меридиана.



Светило М в течение суток описывает суточную параллель – малый круг небесной сферы, плоскость которого  $\perp$  оси мира и проходит через глаз наблюдателя.

М<sub>3</sub> – точка восхода, М<sub>4</sub> – точка захода, М<sub>1</sub> - верхняя кульминация ( $h_{\max}$ ;  $A = 0^\circ$ ), М<sub>2</sub> – нижняя кульминация ( $h_{\min}$ ;  $A = 180^\circ$ )

По суточному движению светила делятся на:

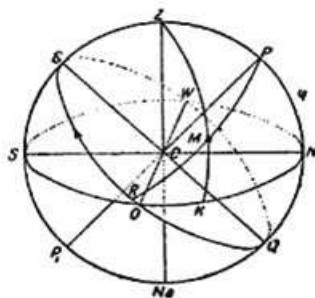
1 - невосходящие 2 - (восходяще - заходящие) восходящие и заходящие 3 - незаходящие. К каким относится Солнце, Луна?

### Вопросы к практическому занятию:

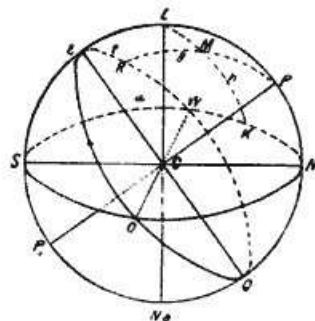
1. Что является центром небесной сферы?
2. Каков радиус небесной сферы?
3. Чем отличаются небесные сферы двух соседей по парте?
4. Каков период вращения небесной сферы?
5. В каком направлении происходит видимое (кажущееся) вращение небесной сферы?
6. Что можно сказать о взаимном расположении оси вращения небесной сферы и земной оси?
7. Все ли точки небесной сферы участвуют в видимом вращении небесной сферы?
8. В каком месте шара находится южный и северный полюсы мира?
9. Где на шаре следует нарисовать Полярную звезду?
10. Укажите геометрическое место точек, которые во время вращения не изменяют своего местоположения.
11. В каком направлении происходит видимое вращение небесной сферы, если наблюдать с северного полюса (с южного полюса)?
12. Что такое небесная сфера
13. Какие линии и точки небесной сферы вы знаете?
14. Какие наблюдения доказывают суточное вращение небесной сферы (служит ли это доказательством вращения Земли вокруг оси).
15. Можно ли, используя горизонтальную систему координат, создать карты звездного неба?
16. Что такое кульминация? Исходя из кульминации дайте понятие незаходящим, не восходящим, - восходяще-заходящим светилам.

### Задачи:

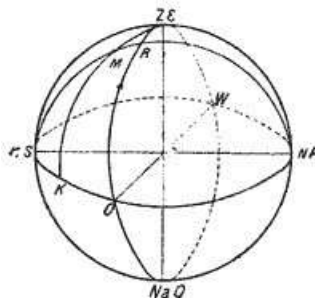
1. В месте, широта которого  $\varphi = +45^\circ$  (с. ш.), наблюдалась звезда, у которой был азимут в  $A = 120^\circ$ , а высота  $h = 30^\circ$ ; найти ее часовой угол  $\alpha$  и склонение  $\delta$ .



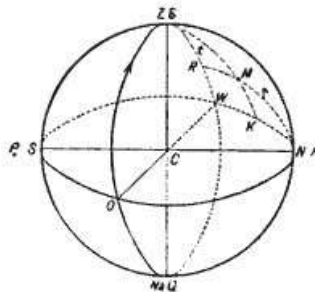
2. В месте, широта которого  $+35^\circ$  (с. ш.), наблюдалось светило, у которого часовой угол  $\alpha = 30^\circ$ , а склонение было  $\delta = +40^\circ$ ; найти высоту  $h$  и азимут  $A$  этого светила.



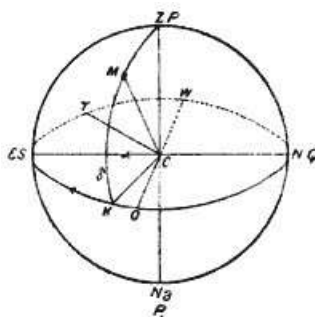
3. В месте, лежащем на земном экваторе (широта  $\varphi = 0^\circ$ ), наблюдали звезду, у которой азимут  $A = 40^\circ$ , а зенитное расстояние  $z = 20^\circ$ . Найти часовой угол  $\alpha$  и склонение  $\delta$  этой звезды.



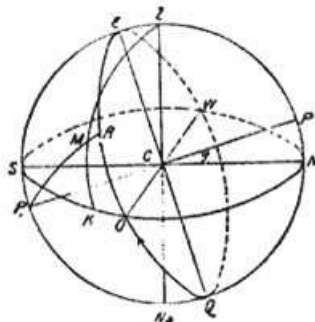
4. Найти для мест, лежащих на земном экваторе, высоту и азимут светила, у которого наблюдался часовой угол  $\alpha = 4h$  (часам) и полярное расстояние его было от северного полюса мира  $p = 50^\circ$ .



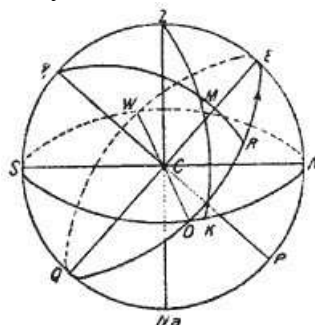
5. Наблюдатель находится на северном полюсе Земли ( $\varphi = +90^\circ$ ). Положение точки весеннего равноденствия  $\gamma$  известно (рисунок); у светила прямое восхождение  $\alpha = 120^\circ$ , а склонение  $\delta = +60^\circ$ . Найти высоту и азимут светила.



6. В месте, широта которого равна  $+20^\circ$  (с. ш.), у светила наблюдался часовой угол  $\alpha = 310^\circ$ , а склонение  $\delta = -5^\circ$ . Найти высоту и азимут светила.

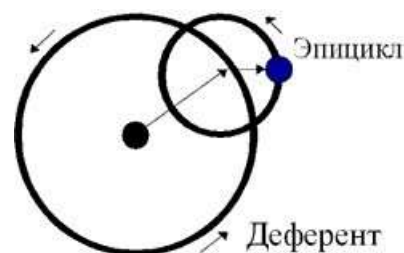


7. В месте, широта которого равна  $-45^\circ$  (ю. ш.), наблюдалась звезда на высоте  $45^\circ$  и в азимуте  $100^\circ$  восточном. Найти часовой угол и склонение этой звезды.



### Практическое занятие 3 Строение Солнечной системы (Строение мира)

**Теоретическая часть**  
Геоцентрическая система строения мира (от Аристотеля до Птолемея).



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 (Гезя – Земля).

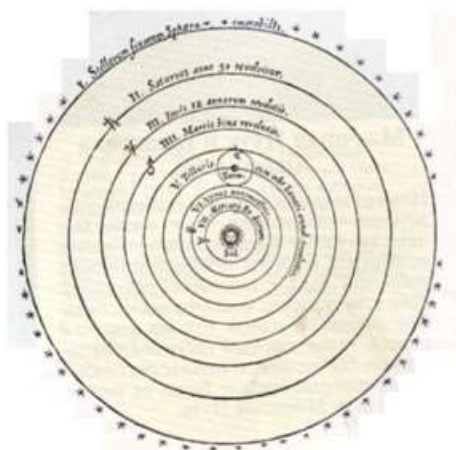
С развитием астрономии и получении более точных знаний о движении планет, система была доработана Гиппархом и окончательно кинематически разработана к 150г НЭ александрийским астрономом Клавдием Птолемеем (87-165) в сочинении, состоящем из 13 книг “Великое математическое построение астрономии” (Альмагест). 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 современной 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) 2) планеты вращаются по строго круговым орбитам;
- 3) 3) движение планет равномерно.

Гелиоцентрическая система строения мира (Коперника)

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 планеты 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 Галилея – 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 публикует закон всемирного тяготения.

В трудах М.В. Ломоносов не только высмеивает идеи геоцентризма в стихах, но и открывшего атмосферу на Венере.

#### Вопросы и задания к практическому занятию:

1. Через какие промежутки времени встречаются на циферблате минутная и часовая стрелки?
2. Нарисуйте, как будут располагаться на своих орбитах планеты: Венера – в нижнем соединении, Марс – в противостоянии, Сатурн – западная квадратура, Меркурий – восточная элонгация.
3. Оцените примерно сколько времени может наблюдаться и когда (утром или вечером) Венера, если она удалена к востоку от Солнца на  $45^\circ$ .

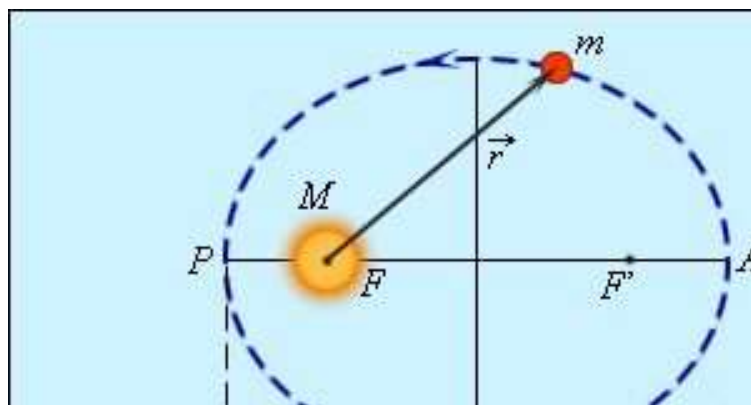
#### Практическое занятие 4

##### Строение Солнечной системы (Законы движения планет Солнечной системы)

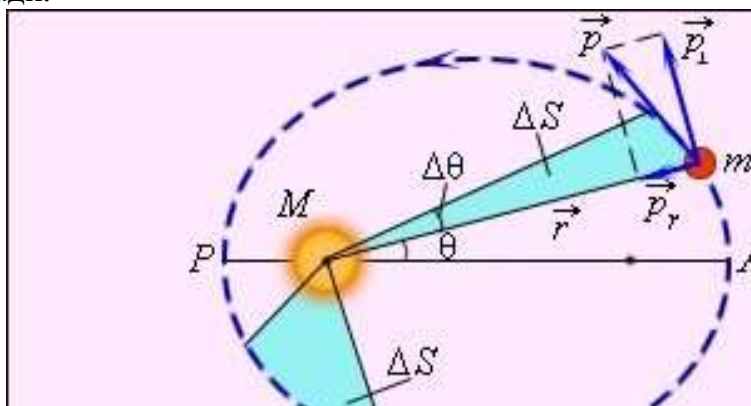
##### Теоретическая часть

Движение планет вокруг Солнца описывается законами Кеплера, которые были сформулированы Иоганном Кеплером так:

1. Все планеты движутся по эллипсам, в одном из фокусов которых (общем для всех планет) находится Солнце.



2. Радиус-вектор планеты в равные промежутки времени описывает равновеликие площади.



3. Квадраты сидерических периодов обращений планет вокруг Солнца пропорциональны кубам больших полуосей их эллиптических орбит

$$\frac{T^2}{a^3} = \text{const} \text{ или } \frac{T_1^2}{a_1^3} = \frac{T_2^2}{a_2^3}$$

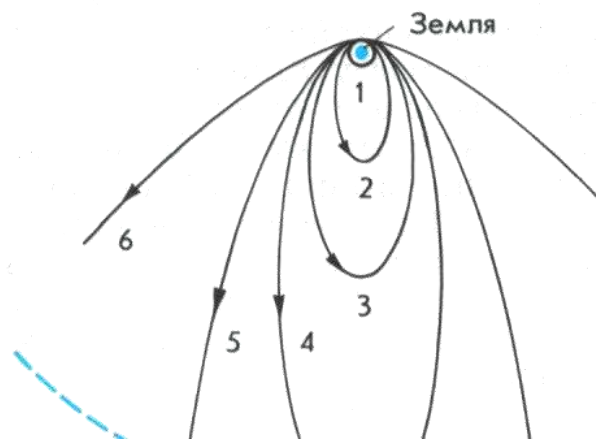
где  $T_1$ ,  $T_2$  — сидерические периоды обращений планет,  $a_1$ ,  $a_2$  — большие полуоси их орбит.

Если большие полуоси орбит выразить в единицах среднего расстояния от Земли до Солнца (в а.е.), а периоды обращений в годах, то для Земли  $a = 1$ ,  $T = 1$ , и период обращения любой планеты вокруг Солнца равен:

$$T = \sqrt{a^3}.$$

Благодаря работам И. Ньютона получены обобщенные законы Кеплера, которые в настоящее время имеют вид:

Под действием силы притяжения одно небесное тело движется в поле тяготения другого небесного тела по одному из конических сечений — кругу, эллипсу, параболе или гиперболе.



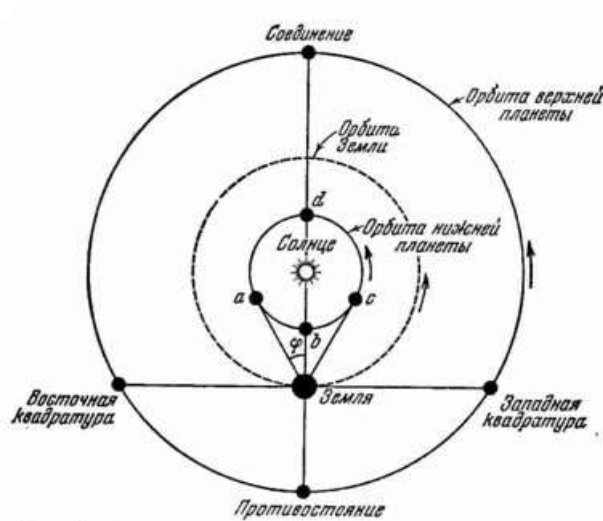
Эта формулировка подходит для описания движения всех небесных тел: спутников, комет, двойных звезд и др.

Площадь, описанная радиусом вектором за единицу времени есть величина постоянная.

Для определения масс небесных тел важное значение имеет обобщение Ньютоном т р е т ь е г о закона Кеплера на любые системы обращающихся тел. Если, в частности, массивным (центральным) телом является Солнце, то для него и двух движущихся вокруг него планет третий закон Кеплера будет иметь вид:

$$\frac{T_1^2(M_0 + m_1)}{T_2^2(M_0 + m_2)} = \frac{a_1^3}{a_2^3},$$

где  $M$  и  $m$  — массы центрального тела и спутника, индексы 1 и 2 относятся к различным парам “тело-спутник”.



При своём движении по орбитам планеты могут занимать различные положения относительно Солнца и Земли. Эти положения на- зываются конфигурации.

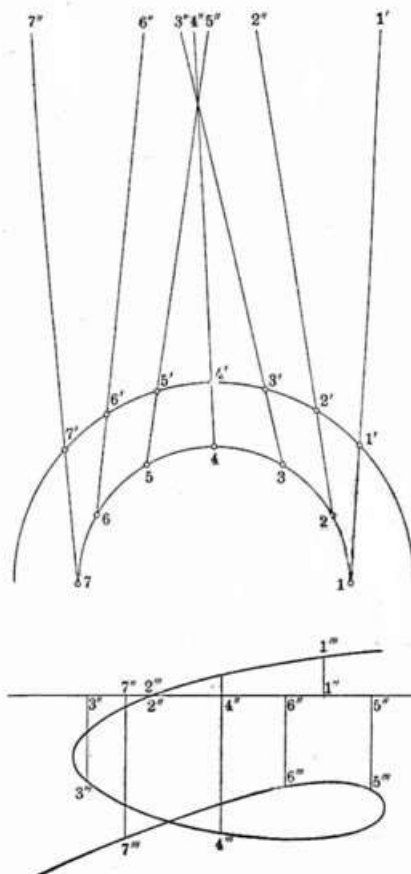
Конфигурации различаются для нижних и для верхних планет. Нижними являются планеты, находящиеся бли- же к Солнцу, чем Земля, верхними - те, которые дальше.

Для нижних планет выделяют конфигурации: нижнее и верхнее соединение с Солнцем, наибольшая западная и восточная элон- гации. Слово элонгация озаачает удаление. Смысл двух элонгаций заключается в том, что если мы будем наблюдать нижние планеты с Земли, то они будут находиться на самом боль- шом угловом расстоянии от Солнца. Когда планета находится в соединении, то она с Земли не наблюдается, так как максимально сближается с Солнцем и те- ряется в его лучах.

Конфигурации для верхних планет несколько иные. Верхние планеты имеют соединение, противостояние (оппозицию), западную и восточную квадратуру. Смысл этих

конфигураций можно понять аналогично, как и для нижних планет. Соединение означает соединение с Солнцем при наблюдении планеты с Земли. Значит, во время нахождения планеты в этой конфигурации, она наблюдаться не может, так как теряется в солнечных лучах. В противостоянии, наоборот, планета будет видна лучше всего, так как противостоит Солнцу, а значит наблюдается на обратной стороне неба. В это время планета ближе всего подходит к Земле и видна почти всю ночь. Нижняя планета находится ближе всего к Земле в момент нижнего соединения и дальше всего в момент верхнего. Верхняя планета приближается в момент противостояния и удаляется в момент соединения.

Прямые и попятные движения планет объясняются различием орбитальных линейных скоростей планеты и Земли, а также различными радиусами орбит



планет, и могут быть поняты из рисунка. В нижней части изображена траектория движения планеты на небе, показывающая, как планета делает петлю, а в верхней части видно, что эта петлю кажущаяся, обусловленная тем, что Земля планету догоняет и перегоняет, или же наоборот, планета догоняет и перегоняет Землю.

В движении планет вокруг Солнца выделяют синодический и сидерический периоды обращения. Синодический период обращения (S) планеты — промежуток времени между её двумя последовательными одноименными конфигурациями. Сидерический или звёздный период обращения (T) — промежуток времени, в течение которого планета совершает один полный оборот вокруг Солнца по своей орбите.

Сидерический период обращения Земли называется звёздным годом ( $T_{\text{з}}$ ). Угловое перемещение по орбите за сутки у планеты  $360/T$ , а у Земли  $360/T_{\text{з}}$ . Разность суточных угловых перемещений планеты и Земли есть видимое смещение планеты за сутки, т.е.  $360/S$ .

Получаем для нижних планет

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{T} - ;$$

Для верхних планет

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{T_{\oplus}} - \frac{1}{T}$$

Это уравнения синодического движения.

Непосредственно из наблюдений могут быть определены только синодические периоды обращений планет  $S$  и сидерический период обращения Земли. Сидерические же периоды обращений планет вычисляются по уравнению синодического движения.

Продолжительность сидерического периода Земли, или звёздного года равна 365,256 средних солнечных суток.

Взаимное расположение планет легко устанавливается по их гелиоцентрическим эклиптическим координатам, значения которых на различные дни года публикуются в астрономических календарях-ежегодниках, в таблице под названием “Гелиоцентрические долготы планет”.

Центром этой системы координат является центр Солнца, а основным кругом — эклиптика, полюсы которой  $\Pi$  и  $\Pi_{\perp}$  отстоят от нее на  $90^{\circ}$ .

Большие круги, проведенные через полюсы эклиптики, называются кругами эклиптических широт, и по ним отсчитывается от эклиптики гелиоцентрическая широта  $b$ , которая считается положительной в северном эклиптическом полушарии и отрицательной — в южном эклиптическом полушарии небесной сферы.

### Примеры решения задач

**Задача 1.** Как часто повторяются противостояния Марса, сидерический период  $S$  которого 1,9 года?

**Решение:**

Очевидно, нужно найти синодический период этой (верхней) планеты. Для этого воспользуемся формулой:

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{T_{\oplus}} -$$

где  $T_{\oplus}$  — сидерический период Земли,  $T$  — сидерический период Марса.

$$\text{Тогда } S = \frac{T_{\oplus} T}{T - T_{\oplus}} = \frac{1,9}{1} \approx 2,1$$

**Ответ:**  $S = 2,1$  года.

### Вопросы и задачи к практическому занятию:

1. В чем отличие геоцентрической от гелиоцентрической системы строения мира?
2. Каких видных ученых-астрономов вы помните?
3. Сформулировать законы Кеплера.
4. Перечислите конфигурации планет.
5. Записать уравнения синодического движения.
6. **Задача.** Вычислите массу Юпитера, зная, что один из его спутников (Ио) обращается вокруг планеты с периодом 1,77 сут. на расстоянии 422 000 км. (Сравните движение Ио вокруг Юпитера с движением Луны вокруг Земли. Период обращения Луны вокруг Земли 27,32 сут., среднее расстояние от Земли составляет 384 000 км).
7. **Задача.** Через какой промежуток времени повторяются моменты максимальной удаленности Венеры от Земли, если ее звездный период равен 224,70 сут?

## Практическое занятие 5

### Строение Солнечной системы (Искусственные спутники земли)

#### Теоретическая часть

Искусственные спутники Земли – космические летательные аппараты, выведенные на околоземные орбиты. Они предназначены для решения различных научных и прикладных задач.

Человечество всегда стремилось к звёздам, они манили к себе как магнит и ни что не могло удержать человека на Земле. Смотря трансляцию футбольного матча по телевизору, у меня часто появляется вопрос: как человеку удаётся передавать события, происходящие за пределами нашего материка. В Югославии идёт война. НАТОвские войска способны поражать цели на огромном расстоянии. Как же им это удаётся? Какую технику они используют? Когда я смотрю фантастику, я задумываюсь о том, сможет ли человек осуществить свои фантазии: летать с огромными скоростями на манёвренных космических объектах, встретиться с внеземными цивилизациями. Задумываясь о своём будущем, мне бы хотелось, чтобы наше государство не прекращало тенденции к развитию космической деятельности, чтобы наша страна не сдавала лидирующей позиции в области космических научных исследований. Ведь мы первыми смогли запустить искусственный спутник Земли, первым полетел в космос гражданин нашей страны, мы единственные смогли установить космическую станцию на околоземной орбите.

Целью своей работы я поставил – ознакомиться с физическими основами полёта космических объектов. Только после этого можно найти ответы на поставленные мной вопросы. Из моего реферата вы узнаете о физических основах устройства ракеты, о движении искусственных спутников и посадке космических кораблей, так же вы сможете узнать перспективы ракетной техники.

#### Физические основы устройства ракеты.

Принцип реактивного движения, открытый Исааком Ньютоном в 1686 году, коротко можно сформулировать так: действие равно и противоположно по направлению противодействию. Но применение этого универсального принципа к решению сложнейшей и увлекательнейшей задачи о полётах на космических кораблях в мировые глубины было блестяще осуществлено нашим гениальным соотечественником К. Э. Циолковским. Именно Циолковский дал полное решение проблемы межпланетных перелётов на основе использования ракеты в качестве средства полёта.

Ракетой, согласно К. Э. Циолковскому, называется всякий реактивный прибор, который движется в направлении, противоположном направлению струи, образовавшейся в результате сгорания топлива в специальной камере.

Основными частями космической ракеты являются: корпус, двигатели, топливные баки с вспомогательными приборами, система управления, стабилизаторы, кабина.

В обычной одноступенчатой ракете энергия рабочего тела расходуется не вполне рационально – для разгона не только самой ракеты, но и освободившихся от топлива баков, которые уже сделали своё дело и являются лишним грузом. Наиболее выгодна, конечно, самоочищающаяся ракета, в которой непрерывно сгорает не топливо, но и свободные от топлива части баков. Сейчас конструирование таких непрерывных ракет трудно осуществлять по техническим причинам, однако можно сказать, что созданные по идее Циолковского многоступенчатые ракеты – это известное приближение к непрерывным ракетам: они состоят из нескольких ракетных ступеней, которые по мере расхода топлива автоматически или по команде с Земли отделяются от ракеты, освобождая её от бесполезного груза.

В современных ракетах реактивные двигатели работают как на твёрдом, так и на жидком химическом топливе. Основную роль в космических ракетах играют жидкие топлива. С их помощью человек вступил в борьбу с силой земного притяжения и победил. Но сейчас ведутся поиски новых видов твёрдого топлива, которое обладает рядом преимуществ перед жидким. Ракеты на твёрдом топливе могут заправляться задолго до запуска и длительное время находиться на стартовых площадках, готовые в любую минуту взмыть вверх. За рубежом в

настоящее время часто применяются комбинированные ракеты, у которых часть ступени работает на жидком топливе, а часть на твёрдом.

Основной характеристикой реактивных двигателей является сила тяги. В соответствии с третьим законом механики при истечении газов появляется ответная сила, толкающая ракету в противоположном направлении. Эта сила и называется силой тяги двигателей. В технике обычно оперируют с удельной тягой, т.е. с тягой, развиваемой двигателем при сгорании 1 кг. топлива в 1 сек. Сила тяги ракетных двигателей вычисляется по формуле:  $P = c m_{\text{сек}} + S(p_c - p_h)$ , где  $m_{\text{сек}}$  – масса сгораемого топлива, выбрасываемого ежесекундно, т.е. секунднй расход топлива,  $c$  – скорость истечения газов,  $p_h$  – атмосферное давление на высоте  $h$  над уровне моря,  $S$  – площадь сечения на срезе сопла.

Из формулы видно, что увеличение силы тяги ракетных двигателей теоретически можно получить различным образом. Например, можно добиться увеличения скорости истечения газов или площади выходного сечения. Однако на практике увеличение тяги представляет собой сложнейшую задачу. Так, например, увеличение площади приводит к увеличению силы сопротивления воздуха и, следовательно, к торможению. Скорость истечения газов также не может увеличена беспредельно. Поэтому выбирают оптимальное, т.е. наиболее выгодное и целесообразное решение с учётом многих факторов. Это решение получается в результате многочисленных экспериментов в различных атмосферных и климатических условиях.

Одним из главнейших условий для осуществления межпланетных перелётов при помощи космических ракет является выбор топлива. Под ракетным топливом понимают совокупность горючего и окислителя (так как полёт ракеты может происходить и в безвоздушном пространстве, то окислитель должен быть на борту ракеты). В качестве горючего применяют жидкие углеводородные соединения: керосин, спирт, газойль, соединение азота с водородом – гидразин и т.п. В качестве окислителя используют, например, жидкий кислород, перекись водорода, азотную кислоту.

Чтобы получить более полное представление об эффективности различных горючих и окислителей, приведём таблицу вычисленных Зенгером максимальных теоретических скоростей истечения газов.

| Горючее         | Максимальные теоретические скорости истечения, м/сек |                 |           |     |     |
|-----------------|------------------------------------------------------|-----------------|-----------|-----|-----|
|                 | Окислители                                           |                 |           |     |     |
|                 | Перекись водорода                                    | Азотная кислота | Ки слород | зон | тор |
| Водород         | 4630                                                 | 4570            | 5640      | 095 | 500 |
| Октан           | 4190                                                 | 3810            | 4610      | 090 | 920 |
| Углерод         | 3860                                                 | 3540            | 4320      | 790 | 975 |
| Этиловый спирт  | 3980                                                 | 3700            | 4400      | 840 | 750 |
| Метиловый спирт | 3900                                                 | 3640            | 4245      | 640 | 650 |
| Анилин          | 3980                                                 | 3710            | 4470      | 765 | 570 |
| Виниловый спирт | 3990                                                 | 3740            | 4445      | 890 | 520 |
| Гидразингидрат  | 3960                                                 | 3760            | 4280      | 610 | 610 |

Однако максимальную скорость истечения газов (7310 м/сек) даёт реакция чистого озона с чистым бериллием. Но, конечно, в реальных условиях ни одну из приведённых теоретических скоростей истечения достигнуть не удаётся из-за влияния многих побочных факторов, таких,

как неполная реакция в камере сгорания, потери тепловой энергии, невозможность достижения теоретического коэффициента расширения газов и др.

Ценность ракетных топлив обуславливается не только скоростью истечения газов, но и взрывной безопасностью, удельным весом, стоимостью и ядовитостью. Из приведённой таблицы видно, что одним из наиболее эффективных окислителей является фтор, широко распространенный в природе. Но он обладает и недостатками. Трудность применения фтора связана с его ядовитостью и коррозионной активностью. Ядовитость фтора не будет играть роли, если его использовать окислителем во второй и последующих ступенях ракеты. В этом случае атмосфера вблизи стартовой площадки не будет отравляться. Но фтор кипит при температуре – 180 градусов, поэтому для его хранения приходится использовать двустенные сосуды. Заправка в ракеты фтора должна производиться перед самым стартом.

Даже из немногих приведённых примеров видно, насколько сложен выбор горючего и окислителей.

### Три космические скорости.

В первое время после запуска искусственного спутника Земли часто можно было слышать вопрос: "Почему спутник после выключения двигателей продолжает обращаться вокруг Земли, не падая на Землю?". Так ли это? В действительности спутник "падает" – он притягивается к Земле под действием силы тяжести. Если бы не было притяжения, то спутник улетел бы по инерции от Земли в направлении приобретённой им скорости. Земной наблюдатель воспринял бы такое движение спутника как движение вверх. Как известно из курса физики, для движения по кругу радиуса  $R$  тело должно обладать центростремительным ускорением  $a=V^2/R$ , где  $a$  – ускорение,  $V$  – скорость. Поскольку в данном случае роль центростремительного ускорения играет ускорение силы тяжести, то можно написать:

$$g=V^2/R.$$

Отсюда нетрудно определить скорость  $V_{кр}$ , необходимую для кругового движения на расстоянии  $R$  от центра Земли:

$$V_{кр}^2=gR.$$

В приближённых расчётах принимается, что ускорение силы тяжести постоянно и равно  $9,81 \text{ м/сек}^2$ . Эта формула справедлива и в более общем случае, только ускорение силы тяжести следует считать переменной величиной. Таким образом, мы нашли скорость кругового движения. Какова же та начальная скорость, которую нужно сообщить телу, чтобы оно двигалось вокруг Земли по окружности? Нам уже известно, что чем большую скорость сообщить телу, тем на большее расстояние оно улетит. Траектории полёта будут эллипсами (мы пренебрегаем влиянием сопротивления земной атмосферы и рассматриваем полёт тела в пустоте). При некоторой достаточно большой скорости тело не успеет упасть на Землю и, сделав полный оборот вокруг Земли, возвратится в начальную точку, чтобы вновь начать движение по окружности. Скорость спутника, движущегося по круговой орбите вблизи земной поверхности, называется круговой или первой космической скоростью и представляет собой ту скорость, которую нужно сообщить телу, чтобы оно стало спутником Земли. Первая космическая скорость у поверхности Земли может быть вычислена по приведенной выше формуле для скорости кругового движения, если подставить вместо  $R$  величину радиуса Земли (6400 км), а вместо  $g$  – ускорение свободного падения тела, равное  $9,81 \text{ м/сек}^2$ . В результате найдём, что первая космическая скорость равна  $V_{кр}=7,9 \text{ км/сек}$ .

Познакомимся теперь со второй космической или параболической скоростью, под которой понимают скорость, необходимую для того, чтобы тело преодолело земное тяготение. Если тело достигнет второй космической скорости, то оно может удалиться от Земли на любое сколь угодно большое расстояние (предполагается, что на тело не будут действовать никакие другие силы, кроме сил земного тяготения).

Проще всего для получения величины второй космической скорости воспользоваться законом сохранения энергии. Совершенно очевидно, что после выключения двигателей сумма кинетической и потенциальной энергии ракеты должна оставаться постоянной. Пусть в момент выключения двигателей ракета находилась на расстоянии  $R$  от центра Земли и имела

начальную скорость  $V$  (для простоты рассмотрим вертикальный полёт ракеты). Тогда по мере удаления ракеты от Земли скорость её будет уменьшаться. На некотором расстоянии  $r_{\max}$  ракета остановится, так как её скорость обратится в ноль, и начнёт свободно падать на Землю. Если в начальный момент ракета обладала наибольшей кинетической энергией  $mV^2/2$ , а потенциальная энергия была равна нулю, то в наивысшей точке, где скорость равна нулю, кинетическая энергия обращается в ноль, переходя целиком в потенциальную. Согласно закону сохранения энергии, находим:

$$mV^2/2 = fmM(1/R - 1/r_{\max}) \quad \text{или} \quad V^2 = 2fM((1/R) - (1/r_{\max})).$$

полагая  $r_{\max}$  бесконечно, найдём значение второй космической скорости:

$$V_{\text{пар}} = 2fM/R = 2fM/R = 2 V_{\text{кр}}.$$

Оказывается, она превышает первую космическую скорость в  $\sqrt{2}$  раз. Если вспомнить, что ускорение свободного падения  $g = fM/R^2$ , то приходим к формуле  $V_{\text{пар}} = 2gR$ . Чтобы определить вторую космическую скорость у поверхности Земли, следует в эту формулу подставить  $R = 6400 \text{ км}$ , в результате чего получим:  $V_{\text{кр}} \gg 11,19 \text{ км/сек}$

По приведённым формулам можно вычислить параболическую скорость на любом расстоянии от Земли, а также определить её значение для других тел солнечной системы.

Выведенный выше интеграл энергии позволяет решить многие задачи космонавтики, например, позволяет производить простые приближённые расчёты движения спутников планеты, космических ракет и больших планет. Выведенная формула параболической скорости может быть использована и в приближённых расчётах межзвёздного полёта. Чтобы осуществить полёт к звёздам, необходимо преодолеть солнечное притяжение, т.е. Звездолёту должна быть сообщена скорость, при которой он будет двигаться относительно Солнца по параболической или гиперболической орбите. Назовём наименьшую начальную скорость третьей космической скоростью. Подставляя в формулу параболической скорости вместо  $M$  значение массы Солнца, а вместо  $R$  – среднее расстояние от Земли до Солнца, найдём, что звездолёту, стартующему с земной орбиты, должна быть сообщена скорость около  $42,2 \text{ км/сек}$ . Итак, если телу сообщить гелиоцентрическую скорость в  $42,2 \text{ км/сек}$ , то оно навсегда покинет солнечную систему, описав относительно Солнца параболическую орбиту. Выясним, какой должна быть величина скорости относительно Земли, чтобы обеспечить удаление тела не только от Земли, но и от Солнца? Иногда рассуждают так: поскольку средняя скорость Земли относительно Солнца равна  $29,8 \text{ км/сек}$ , то необходимо сообщить космическому кораблю скорость, равную  $42,2 \text{ км/сек} - 29,8 \text{ км/сек}$ , т.е.  $12,4 \text{ км/сек}$ . Это неверно, так как в этом случае не учитывается движение Земли по орбите во время удаления космического корабля и притяжение со стороны Земли, пока корабль находится в сфере её действия. Поэтому третья космическая скорость относительно Земли больше  $12,4 \text{ км/сек}$  и равна  $16,7 \text{ км/сек}$ .

#### Движение искусственных спутников Земли

Движение искусственных спутников Земли не описывается законами Кеплера, что обусловливается двумя причинами:

1) Земля не является точно шаром с однородным распределением плотности по объёму. Поэтому её поле тяготения не эквивалентно полю тяготения точечной массы, расположенной в геометрическом центре Земли;

2) Земная атмосфера оказывает тормозящее действие на движение искусственных спутников, вследствие чего их орбита меняет свою форму и размеры и в конечном результате спутники падают на Землю.

По отклонению движения спутников от кеплеровского можно вывести заключение о форме Земли, распределении плотности по её объёму, строении земной атмосферы. Поэтому именно изучение движения искусственных спутников позволило получить наиболее полные данные по этим вопросам.

Если бы Земля была однородным шаром и не существовало бы атмосферы, то спутник двигался бы по орбите, плоскость сохраняет неизменную ориентацию в пространстве относительно системы неподвижных звёзд. Элементы орбиты в этом случае определяются законами Кеплера. Так как Земля вращается, то при каждом следующем обороте спутник

движется над разными точками земной поверхности. Зная трассу спутника за один какой-либо оборот, нетрудно предсказать его положение во все последующие моменты времени. Для этого необходимо учесть, что Земля вращается с запада на восток с угловой скоростью примерно 15 градусов в час. Поэтому на последующем обороте спутник пересекает ту же широту западнее на столько градусов, на сколько Земля повернётся на восток за период вращения спутника.

Из-за сопротивления земной атмосферы спутники не могут длительно двигаться на высотах ниже 160 км. Минимальный период обращения на такой высоте по круговой орбите равен примерно 88 мин, то есть приблизительно 1,5 ч. за это время Земля поворачивается на 22,5 градуса. На широте 50 градусов этому углу соответствует расстояние в 1400 км. Следовательно, можно сказать, что спутник, период обращения которого 1,5 часа, на широте 50 градусов будет наблюдаться при каждом последующем обороте примерно на 1400 км западнее, чем на предыдущем.

Однако такой расчёт даёт достаточную точность предсказаний лишь для нескольких оборотов спутника. Если речь идёт о значительном промежутке времени, то надо принять во внимание отличие звёздных суток от 24 часов. Поскольку один оборот вокруг Солнца совершается Землёй за 365 суток, то за одни сутки Земля вокруг Солнца описывает угол примерно в 1 градус (точнее, 0,99) в том же направлении, в каком вращается вокруг своей оси. Поэтому за 24 часа Земля поворачивается относительно неподвижных звёзд не на 360 градусов, а на 361 и, следовательно, совершает один оборот не за 24 часа, а за 23 часа 56 минут. Поэтому трасса спутника по широте смещается на запад не на 15 градусов в час, а на 15,041 градусов.

Круговая орбита спутника в экваториальной плоскости, двигаясь по которой он находится всё время над одной и той же точкой экватора, называется геостационарной. Почти половина земной поверхности может быть связана со спутником на синхронной орбите прямолинейно распространяющимися сигналами высоких частот или световыми сигналами. Поэтому спутники на синхронных орбитах имеют большое значение для системы связи.

### **Вопросы и задания к практическому занятию:**

1. Могут ли космические аппараты двигаться по прямолинейным траекториям?
2. Какую скорость должен иметь космический корабль, движущийся по круговой орбите вокруг Земли?
3. Нижний предел высот искусственных спутников Земли около 200 км, а искусственные спутники Луны летали на высоте всего около 15 км. Почему так резко отличались высоты ИСЗ и ИСЛ?
4. Искусственный спутник Земли движется по круговой орбите. Как изменится орбита ИСЗ, если скорость увеличить на небольшую величину? уменьшить?
5. Почему все искусственные спутники Земли, кроме стационарных, имеют эллиптические орбиты, а не круговые?
6. Может ли искусственный спутник иметь такую орбиту, чтобы его трасса проходила бы только через Европу и Африку?
7. Как с космического корабля, движущегося по круговой орбите, отправить на Землю какое-либо тело?
8. После отделения спутника от последней ступени ракеты-носителя, последняя движется вначале за спутником, а затем обгоняет его? Почему?
9. Какими параметрами орбит отличаются друг от друга экваториальные, полярные, синхронные, суточные, стационарные искусственные спутники Земли?
10. У искусственного спутника Земли горизонтальные координаты остаются неизменными. Какой вывод можно сделать о вращении Земли, наклонении, эксцентриситете и большой полуоси орбиты спутника?
11. Показывают ли фазы искусственные спутники Земли?
12. Почему большинство искусственных спутников бывают видны на небе в вечерние часы после захода Солнца и предутренние, перед восходом Солнца?

13. Какое естественное небесное тело движется под действием той же силы, что и искусственные спутники Земли?
14. Какие естественные небесные тела движутся под действием той же силы, что и автоматические межпланетные станции?
15. Выполняется ли закон сохранения механической энергии для спутника, движущегося по эллиптической орбите? Какие превращения энергии происходят при переходе спутника из апогея в перигей?
16. Зачем нужны надувные спутники?
18. Как заряжены искусственные спутники?

## Практическое занятие 6

### Природа тел Солнечной системы

#### Теоретическая часть

Планеты земной группы.

Меркурий. Небольшые размеры и масса: самый маленький - Меркурий.

Венера. Большая плотность  $\rho \approx 4 \text{ г/см}^3$  [ $\rho^{\text{max}}=5,52$ ;  $\rho^{\text{min}}=3,9$ ]. Медленное осевое вращение (смена суток).  $\text{min}$  у Земли  $= 23^{\circ}56'4''$ ;  $\text{max}$  у Венеры 243,1 дня. Венера вращается в обратном направлении относительно других планет.

Земля. самая большая – Земля.

Марс. Твердая поверхность.

1. Углы наклона осей к плоскости орбиты (смена времен года).
2. Земля-Марс=почти одинаковы, но каждое время года на Марсе почти в 2 раза  $\square$ .
3. Меркурий-Венера- почти  $\square$ .
3. Сильное отличие в атмосфере.
4. Мало спутников: Меркурий и Венера - нет, Земля-1=Луна, Марс-2= Фобос и Деймос.

Планеты-гиганты: Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун \_\_\_\_\_

1. Большой размер и масса ( $\text{max}$  – Юпитер,  $\text{min}$  – Нептун, Уран).
2. Малая плотность ( $\approx \text{H}_2\text{O}$ ) [ $\text{max}$  – Нептун,  $\text{min}$  - Сатурн].
3. Быстрое вращение вокруг оси (10-15 часов)(экваториальные зоны вращаются быстрее полярных  $\square$  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  $\square$  имеются мощные радиационные пояса.
9. Плотная  $\text{He-H}$  атмосфера.

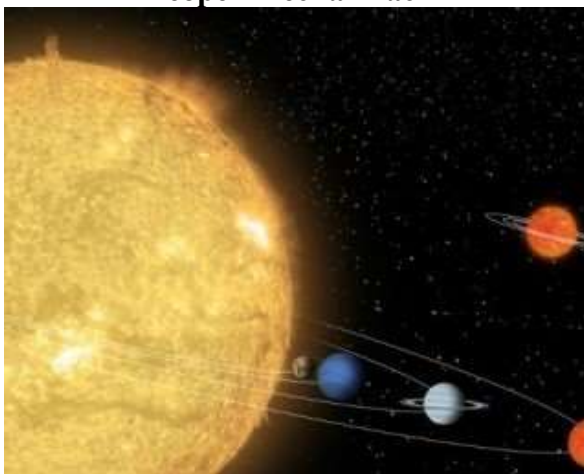
#### Вопросы и задания к практическому занятию

1. Чему равен угловой диаметр Солнца, видимый с Плутона?
2. Найти ускорение свободного падения на Марсе, если его радиус 3400км а средняя плотность  $3,9 \text{ г/см}^3$ .
3. Какой энергией обладает метеорит массой 50кг влетевший в атмосферу Земли со скоростью 54 км/с в момент падения на Землю, если коэффициент сопротивления атмосферы составляет 0,78 а потеря по массе 0,25.
4. Зависит ли смена времен года от расстояния Земли от Солнца (в перигелии Земля бывает около 3 января, а в афелии – 5 июля)?
5. Вычислите сжатие Земли, если известно, что ее полярный радиус (b) равен 6356860 м, а экваториальный (a) – 6378160 км.
6. Что общего у всех планет? В чем сходство и в чем отличие планет земной группы от планет-гигантов?
7. Какие планеты были известны в древности?

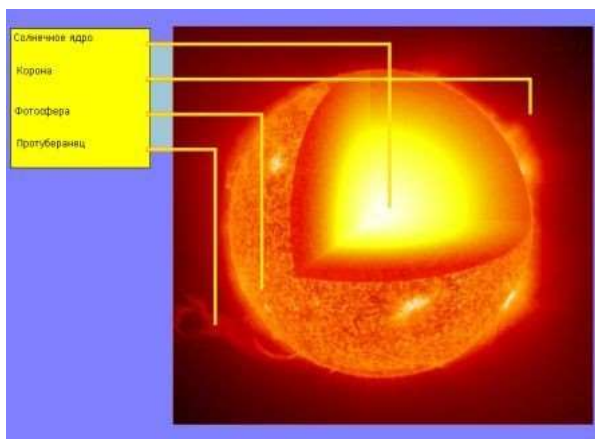
8. Открытие какой планеты произошло через две сотни лет после ее первого наблюдения?
9. Какая планета, бывает самой яркой на небе?
10. Существует ли планета, находящаяся к Солнцу ближе, чем Меркурий?
11. Обнаружены ли планеты между орбитами Земли и Марса? внутри орбиты Земли?
12. Какая планета наиболее удалена от Солнца?
13. Какие большие планеты имеют самые вытянутые орбиты? Орбита какой планеты ближе всего к окружности?
14. Возможны ли столкновения планет между собой?
15. Почему все звезды и галактики в небе любой планеты описывают эллипсы с одинаковой для данной планеты большой полуосью

## Практическое занятие 7 Солнце и звезды

### Теоретическая часть



Температура видимой поверхности Солнца – фотосферы – ок. 5800 К. Плотность газа в фотосфере в тысячи раз меньше плотности воздуха у поверхности Земли. Внутри Солнца температура, плотность и давление увеличиваются с глубиной, достигая в центре соответственно 16 млн. К, 160 г/см<sup>3</sup> и 3,541011 бар (давление воздуха в комнате ок. 1 бар). Под влиянием высокой температуры в ядре Солнца водород превращается в гелий с выделением большого количества тепла; это удерживает Солнце от сжатия под действием собственной силой тяжести. Выделяющаяся в ядре энергия покидает Солнце в основном в виде излучения фотосферы с мощностью 3,8641026 Вт. С такой интенсивностью Солнце излучает уже 4,6 млрд. лет, переработав за это время 4% своего водорода в гелий; при этом 0,03% массы Солнца превратилось в энергию. Модели эволюции звезд указывают, что Солнце сейчас находится в середине своей жизни.



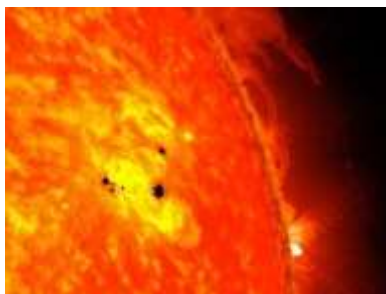
Чтобы определить содержание различных химических элементов на Солнце, астрономы изучают линии поглощения и излучения в спектре солнечного света. Линии поглощения – это

темные промежутки в спектре, указывающие на отсутствие в нем фотонов данной частоты, поглощенных определенным химическим элементом. Линии излучения, или эмиссионные линии, – это более яркие участки спектра, указывающие на избыток фотонов, излучаемых каким-либо химическим элементом. Частота (длина волны) спектральной линии указывает, какой атом или молекула ответственны за ее возникновение; контраст линии свидетельствует о количестве излучающего или поглощающего свет вещества; ширина линии позволяет судить о его температуре и давлении.

Изучение тонкой (500 км) фотосферы Солнца позволяет оценить химический состав его недр, поскольку наружные области Солнца хорошо перемешаны конвекцией, спектры Солнца имеют высокое качество, а ответственные за них физические процессы вполне понятны. Однако нужно отметить, что до сих пор идентифицирована лишь половина линий в солнечном спектре.

В составе Солнца преобладает водород. На втором месте – гелий, название которого («гелиос» по-гречески «Солнце») напоминает, что он был открыт спектроскопически на Солнце раньше (1899), чем на Земле. Поскольку гелий – инертный газ, он крайне неохотно вступает в реакции с другими атомами и также неохотно проявляет себя в оптическом спектре Солнца – всего одной линией, хотя многие менее обильные элементы представлены в спектре Солнца многочисленными линиями. Вот состав «солнечного» вещества: на 1 млн. атомов водорода приходится 98 000 атомов гелия, 851 кислорода, 398 углерода, 123 неона, 100 азота, 47 железа, 38 магния, 35 кремния, 16 серы, 4 аргона, 3 алюминия, по 2 атома никеля, натрия и кальция, а также чуть-чуть всех прочих элементов. Таким образом, по массе Солнце примерно на 71% состоит из водорода и на 28% из гелия; на долю остальных элементов приходится чуть более 1%. С точки зрения планетологии примечательно, что некоторые объекты Солнечной системы имеют практически такой же состав, как Солнце.

Подобно тому, как погодные явления изменяют внешний вид планетных атмосфер, вид солнечной поверхности тоже меняется с характерным временем от часов до десятилетий. Однако имеется важное различие между атмосферами планет и Солнца, которое состоит в том, что движение газов на Солнце контролирует его мощное магнитное поле. Солнечные пятна – это те области поверхности светила, где вертикальное магнитное поле настолько велико (200–3000 Гс), что препятствует горизонтальному движению газа и тем самым подавляет конвекцию. В результате температура в этой области опускается примерно на 1000 К, и возникает темная центральная часть пятна – «тень», окруженная более горячей переходной областью – «полутенью». Размер типичного солнечного пятна чуть больше диаметра Земли; существует такое пятно несколько недель. Количество пятен на Солнце то увеличивается, то уменьшается с продолжительностью цикла от 7 до 17 лет, в среднем 11,1 года. Обычно чем больше пятен появляется в цикле, тем короче сам цикл. Направление магнитной полярности пятен меняется на противоположное от цикла к циклу, поэтому истинный цикл пятнообразовательной активности Солнца составляет 22,2 года. В начале каждого цикла первые пятна появляются на высоких широтах, ок. 40°, и постепенно зона их рождения смещается к экватору до широты ок. 5°.



Колебания активности Солнца почти не отражаются на полной мощности его излучения (если бы она изменилась всего на 1%, это привело бы к серьезным переменам климата на Земле). Было немало попыток найти связь между циклами солнечных пятен и климатом Земли. Самое замечательное в этом смысле событие – «минимум Маундера»: с 1645 в течение 70 лет на Солнце почти не было пятен, и в это же время Земля пережила Малый ледниковый период.

До сих пор не ясно, был ли этот удивительный факт простым совпадением или он указывает на причинную связь.

В Солнечной системе 5 огромных вращающихся водородо-гелиевых шаров: Солнце, Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун. В недрах этих гигантских небесных тел, недоступных для прямого исследования, сосредоточено почти всё вещество Солнечной системы. Земные недра также недоступны для нас, но, измеряя время распространения сейсмических волн (длинноволновых звуковых колебаний), возбуждаемых в теле планеты землетрясениями, сейсмологи составили детальную карту земных недр: узнали размеры и плотности ядра Земли и ее мантии, а также методом сейсмической томографии получили трехмерные изображения перемещающихся плит ее коры. Подобные методы можно применить и к Солнцу, поскольку на его поверхности существуют волны с периодом ок. 5 мин, вызванные множеством сейсмических колебаний, распространяющихся в его недрах. Эти процессы изучает гелиосейсмология. В отличие от землетрясений, которые рождают короткие всплески волн, энергичная конвекция в недрах Солнца создает постоянный сейсмический шум. Гелиосейсмологи обнаружили, что под конвективной зоной, занимающей внешние 14% радиуса Солнца, вещество вращается синхронно с периодом 27 сут (о вращении солнечного ядра пока ничего не известно). Выше, в самой конвективной зоне вращение происходит синхронно только вдоль конусов равной широты и чем дальше от экватора, тем медленнее: экваториальные области вращаются с периодом 25 сут (опережают среднее вращение Солнца), а полярные – с периодом 36 сут (отстают от среднего вращения). Недавние попытки применить методы сейсмологии к газовым планетам-гигантам не принесли результатов, поскольку приборы пока не в состоянии зафиксировать возникающие колебания.

Над фотосферой Солнца располагается тонкий горячий слой атмосферы, который можно увидеть только в редкие моменты солнечных затмений. Это хромосфера толщиной в несколько тысяч километров, названная так за свой красный цвет, обязанный линии излучения водорода H $\alpha$ . Температура почти удваивается от фотосферы до верхних слоев хромосферы, из которых по не совсем понятной причине покидающая Солнце энергия выделяется в виде тепла. Над хромосферой газ нагрет до 1 млн. К. Эта область, названная короной, простирается примерно на 1 радиус Солнца. Плотность газа в короне очень низка, но температура настолько велика, что корона является мощным источником рентгеновских лучей.



Иногда в атмосфере Солнца возникают гигантские образования – эруптивные протуберанцы. Они похожи на арки, вздымающиеся из фотосферы на высоту до половины солнечного радиуса. Наблюдения ясно указывают, что форма протуберанцев определяется силовыми линиями магнитного поля. Еще одно интересное и чрезвычайно активное явление – это солнечные вспышки, мощные выбросы энергии и частиц продолжительностью до двух часов. Порожденный такой солнечной вспышкой поток фотонов достигает Земли со скоростью света за 8 мин, а поток электронов и протонов – за несколько суток. Солнечные вспышки происходят в местах резкого изменения направления магнитного поля, вызванного движением вещества в солнечных пятнах. Максимум вспышечной активности Солнца обычно наступает за год до максимума пятнообразовательного цикла. Такая предсказуемость очень важна, ибо шквал заряженных частиц, рожденных мощной солнечной вспышкой, может повредить даже

наземные средства связи и энергетические сети, не говоря уже о космонавтах и космической технике.



Из плазменной короны Солнца происходит постоянный отток заряженных частиц, называемый солнечным ветром. О его существовании догадывались еще до начала космических полетов, поскольку заметно было, как что-то «сдувает» кометные хвосты. В солнечном ветре выделяют три составляющие: высокоскоростной поток (более 600 км/с), низкоскоростной поток и нестационарные потоки от солнечных вспышек. Рентгеновские изображения Солнца показали, что в короне регулярно образуются огромные «дыры» – области пониженной плотности. Эти корональные дыры служат главным источником высокоскоростного солнечного ветра. В районе орбиты Земли типичная скорость солнечного ветра около 500 км/с, а плотность – около 10 частиц (электронов и протонов) в 1 см<sup>3</sup>. Поток солнечного ветра взаимодействует с магнитосферами планет и хвостами комет, заметно влияя на их форму и происходящие в них процессы.

Под напором солнечного ветра в межзвездной среде вокруг Солнца образовалась гигантская каверна – гелиосфера. На ее границе – гелиопаузе – должна существовать ударная волна, в которой солнечный ветер и межзвездный газ сталкиваются и уплотняются, оказывая друг на друга равное давление. Четыре космических зонда приближаются сейчас к гелиопаузе: «Пионер-10 и -11», «Вояджер-1 и -2». Ни один из них не встретил ее на расстоянии 75 а.е. от Солнца. Это весьма драматическая гонка со временем: «Пионер-10» прекратил работу в 1998, а остальные пытаются достичь гелиопаузы раньше, чем иссякнет запас энергии в их батареях. Судя по расчетам, «Вояджер-1» летит как раз в том направлении, откуда дует межзвездный ветер, и поэтому первым достигнет гелиопаузы.

#### Образование и эволюция звезд

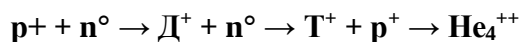
Звезды – наиболее распространенные объекты во Вселенной. Более 98% массы наблюдаемого космического вещества сосредоточено в них. Эволюция звезд – важный момент в процессе эволюции Вселенной.

Фаза звездообразования – современный этап эволюции Вселенной. Согласно теории Большого Взрыва, первые звезды начали образовываться спустя 100 млн. лет с момента возникновения Вселенной. Вначале сформировались крупные газовые уплотнения, названные «первичными блинами», которые эволюционировали в протогалактики, а затем – в современные галактики.

Звезды образуются в результате гравитационной конденсации разреженных водородно-гелиевых газовых облаков в протогалактиках. Фрагментация протогалактических облаков, согласно современной теории, может происходить, если их размеры превышают критический уровень в 150 тыс. световых лет. Это так называемый критический радиус протогалактики. Протогалактическое облако распадется на сгустки вещества, имеющие звездные массы, скорее всего, формировались массивные уплотнения, которые затем распадались на все более мелкие фрагменты, пока не возникли сгустки звездных масс. Это так называемая теория каскадной фрагментации, выдвинутая в 1953 году Ф. Хойлом и М. Рисом. Фрагментация заканчивается, когда фрагмент становится непрозрачным. В нем потери энергии компенсируются энергией, образующейся вследствие уплотнения и разогрева вещества, находящегося внутри фрагментов. На последнем этапе, сжатие фрагмента происходит уже без последующего дробления. Образуется протозвезда. Протозвезды имеют массу от 0,1 массы до десятков масс Солнца.

Малые и крупные звезды начинают существование как сжимающиеся, но не дробящиеся далее сгущения, температура которых постепенно возрастает из-за того, что вещество внутри них уплотняется. Центральная область становится со временем все более плотной, более горячей. Затем в них начинают идти ядерные реакции. Эти реакции приводят к синтезу ядер гелия и выделению при этом огромных количеств энергии.

Пример такой реакции:



Выделившаяся при этом энергия повышает давление в центре протозвезды настолько, что оно уравнивает гравитацию. Сжатие прекращается, и протозвезда превращается в звезду. Эта фаза звездообразования занимает от нескольких миллионов лет для массивных звезд, до сотен миллионов лет для звезд, менее массивных, чем Солнце. В результате этого процесса в дозвездном облаке формируются звезды первого поколения.

Недавно исследователям удалось обнаружить звезду, возраст которой составляет около 12 млрд. лет, что всего на миллиард лет меньше расчетного возраста Вселенной. При этом химический состав звезды чрезвычайно близок по составу к веществу, образовавшемуся в результате Большого взрыва, породившего Вселенную.

Звезда практически не содержит тяжелых ядер – так астрономы обычно называют все элементы тяжелее водорода и гелия. Согласно теории Большого взрыва, первичная материя Вселенной практически полностью состояла из водорода, гелия и небольшой примеси лития, а более тяжелые элементы образовались вследствие термоядерных реакций в протозвездах.

Звезды первого поколения, имевшие массу от 10 до 50 солнечных, очень быстро эволюционировали. Все термоядерные процессы в них идут более интенсивно, чем в легких звездах. После сгорания водорода путем превращения его в гелий, начался процесс формирования в них тяжелых элементов, вплоть до железа. Затем они взрывались, выбрасывая в окружающую среду образовавшиеся в ней как в процессе эволюции, так и в ходе взрыва тяжелые элементы. Звезды создали весь спектр химических элементов, представленный в таблице Менделеева.

2. Согласно современным представлениям, образование ядер химических элементов от углерода до группы железа протекает в звездах первого поколения типа красных гигантов. Эти звезды обладают массой, во много раз превышающей массу Солнца. В их центрах температура достигает нескольких сотен миллионов градусов. Это оказывается достаточным для протекания реакций углеродного цикла – слияния ядер гелия в углерод. Ядро углерода, в свою очередь, может присоединить еще одно ядро гелия и образовать ядро кислорода, неона и т.д., вплоть до кремния. Выгорающее ядро красного гиганта сжимается, и температура в нем поднимается до 3–10 миллиардов градусов. В таких условиях реакции объединения продолжаются вплоть до образования ядер железа. Помимо процессов углеродного горения, могут проходить процессы кислородного, неоновоего и кремниевого горения, то есть термоядерные реакции с участием названных ядер.

Ядро железа – самое устойчивое во всей последовательности химических элементов. Здесь проходит граница, выше которой образование ядер перестает быть источником выделяющейся энергии (как это было в предыдущих реакциях), и протекание реакций с образованием еще более тяжелых ядер требует энергетических затрат.

Синтез атомных ядер, расположенных в таблице Менделеева за группой железа, должен обеспечиваться другим механизмом. Такие нуклиды образуются в рамках трех различных процессов: **s**-, **r**-, и **p** – процессы.

**S** – процесс. Разработана теория образования в недрах красных гигантов элементов от железа до висмута – в процессах медленного захвата нейтронов.

**R** – процесс. Тяжелые и сверхтяжелые элементы, находящиеся в таблице Менделеева за висмутом, образуются в процессе, в ходе которого ядро должно быстро последовательно захватить много нейтронов, прежде, чем произойдет его распад. В этом случае начальная концентрация нейтронов в звезде должна быть достаточно большой. Время задержки ядра до начала распада разные ученые оценивают от 0,1 до 30 секунд. Эти реакции в стационарной

звезде невозможны. Возможным условием протекания такого процесса являются последствия взрыва сверхновой. При этом распространяющаяся ударная волна инициирует интенсивное протекание ядерных реакций с выделением нейтронов. Однако, известные сейчас модели сверхновых не могут создать достаточного количества нейтронов, чтобы получить полную картину распространенности тяжелых ядер.

**P** – процесс. Представляет собой образование редких, богатых протонами ядер путем захвата протонов или позитронов, так как ни одним процессом нейтронного захвата эти ядра не могут быть созданы. К таким ядрам можно отнести в первую очередь изотопы олова с массой 111, 112 и 115. Однако физические модели протекания этого процесса в звездах остаются пока не до конца понятными.

Звезды следующих поколений, в том числе и Солнце, с самого начала содержат в своем составе и в составе окружающего их газопылевого облака все элементы, в т.ч. и тяжелые.

Основные свойства звезды определяются ее массой, светимостью и радиусом. Во Вселенной существует колоссальное количество звезд, которые отличаются большим разнообразием, однако среди них можно выделить группы, обладающие общими свойствами.

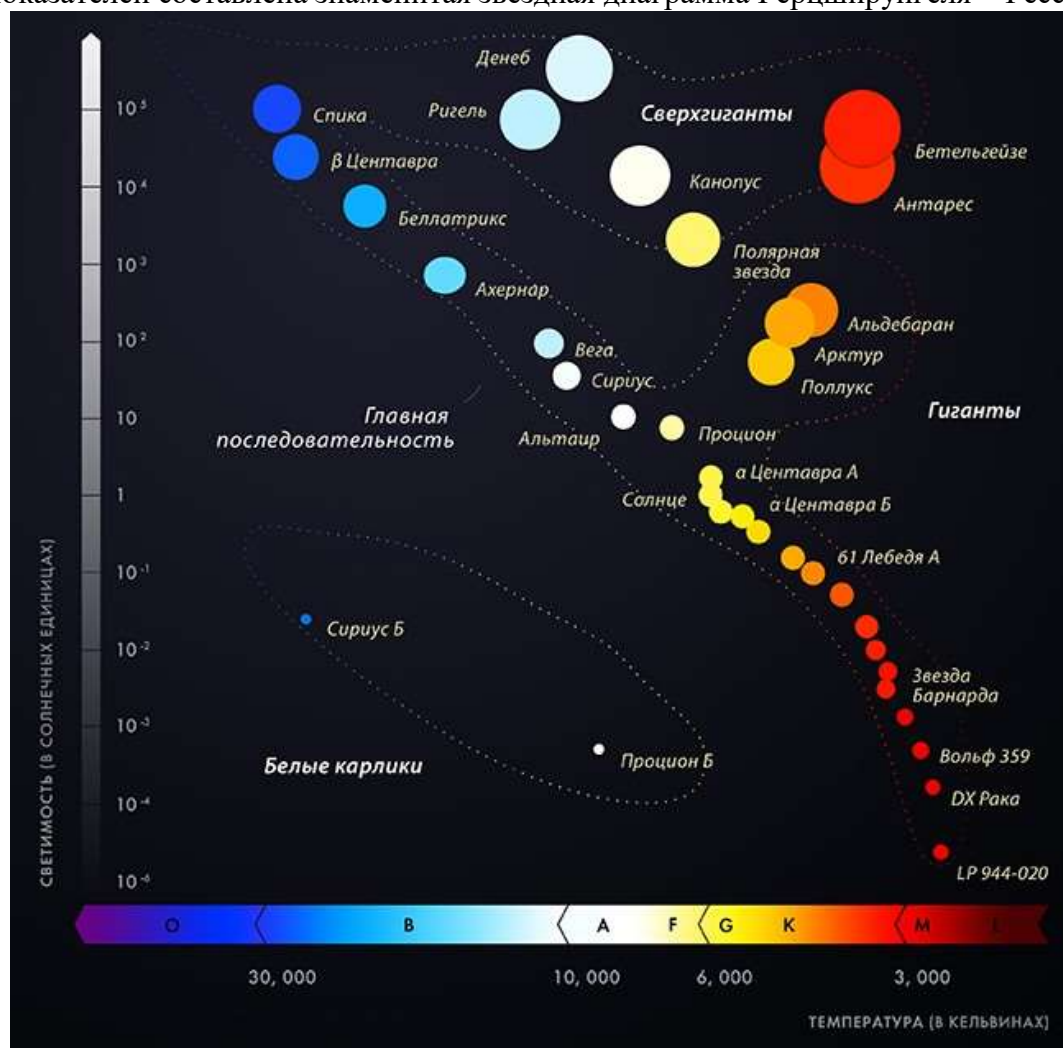
Классификация звезд основана на изучении особенностей их спектров, которые, в свою очередь, связаны с химическим составом. Классификация звезд, разработанная учеными Гарвардской обсерватории, сейчас является общепризнанной. Основные типы звезд обозначены буквами O, B, A, F, G, K, M.

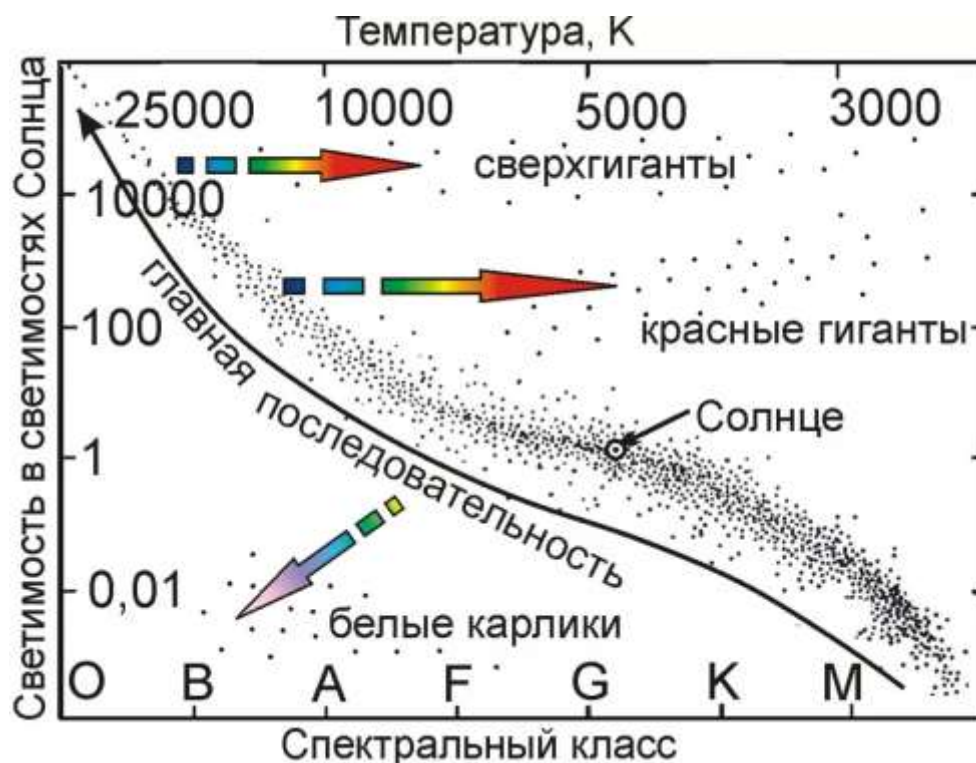
Классификация звездных спектров

| Класс    | Особенности спектров                                                                                                                                                          | Темп-ра, | К          | Типичные звезды                                             |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|------------|-------------------------------------------------------------|
| <b>O</b> | Линии H <sup>+</sup> , HeI, HeII многократно ионизованных Si, C, N, O (SiIV, CIV, CIII, NIII и др.)                                                                           |          | 40–28 тыс. | Кормы, Ориона, Персея, Цефея                                |
| <b>B</b> | Линии поглощения HeI, H <sup>+</sup> , усиливающиеся к классу A. Слабые линии H и K CaII                                                                                      |          | 28–10 тыс. | Ориона, Девы, Персея, Ориона                                |
| <b>A</b> | Линии H <sup>+</sup> интенсивны; линии H и K CaII, усиливающиеся к классу F; появляются слабые линии металлов (Fe, Mg)                                                        |          | 10–7 тыс.  | Большого Пса, Лиры, Близнецов                               |
| <b>F</b> | Линии H и K CaII и линии металлов, усиливающиеся к классу G. Линии H <sup>+</sup> ослабевают. Появляется линия CaI, а также полоса G, образуемая линиями Fe, Ca и Ti          |          | 7–6 тыс.   | Близнецов, Малого Пса (Процион), Персея, Кормы              |
| <b>G</b> | Линии H и K CaII интенсивны. Довольно интенсивны линия CaI и линии FeI и FeII. Многочисленны линии др. металлов. Интенсивна полоса G. Линии H <sup>+</sup> слабеют к классу K |          | 6–5 тыс.   | Солнце, Возничего, Южной Гидры                              |
| <b>K</b> | Линии H и K CaII достигают наибольшей интенсивности, интенсивны линия CaI, линии металлов и полоса G. С подкласса K5 становятся видимыми полосы поглощения TiO                |          | 5–3,5 тыс. | Волопаса (Арктур), Близнецов (Поллукс), Тельца (Альдебаран) |

|          |                                                                                                                                                                                                                |              |                                                   |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|---------------------------------------------------|
| <b>М</b> | Интенсивны полосы поглощения TiO и др. молекулярных соединений. Заметны линии металлов, H и K CaII, линия CaI, полоса G слабеет. У долгопериодических переменных типа o Кита имеются линии излучения H $\beta$ | 3,5–2,5 тыс. | Ориона (Бетельгейзе), Скорпиона (Антарес), o Кита |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|---------------------------------------------------|

Помимо этого звезды отличаются звездной величиной и светимостью. В зависимости от этих показателей составлена знаменитая звездная диаграмма Герцшпрунга – Рассела.





Положение звезды на этой диаграмме определяется ее физической природой и стадией эволюции. Звезды в нижней части диаграммы отличаются низкой светимостью и малыми размерами и называются карликами. В верхней части расположены красные гиганты и сверхгиганты. Они отличаются высокой светимостью.

В главной последовательности расположены звезды, начиная от самых горячих (в верхней части) до холодных (в нижней).

В верхней части главной последовательности расположены горячие звезды с массой больше солнечной. Температура и давление в их недрах выше, чем у поздних классов. Светимость также выше, поэтому они должны эволюционировать быстрее. Они должны быть молодыми. В нижней части — звезды, подобные Солнцу. Некоторые группы звезд не входят в главную последовательность и отличаются необычными свойствами. К ним относятся R — Субкарлики. Отличаются низким содержанием тяжелых элементов.

N — Красные гиганты. Имеют неоднородную структуру. Ядро, почти лишенное водорода, состоит из гелия. В ядре почти нет ядерных реакций. Во внешней оболочке есть водород, но нет соответствующей температуры. Ядро гиганта сжимается, достигая максимальной плотности. Он сбрасывает свою оболочку и становится белым карликом. Это старые умирающие звезды.

В процессе эволюции звезды проходят все стадии, обозначенные на главной последовательности.

Эволюция звезд зависит от их размеров и состава. Когда звезда сжигает весь водород, еще какое-то время идут процессы синтеза более тяжелых элементов. Однако эти процессы сопровождаются значительно меньшим выделением энергии. Если в центре звезды накапливается достаточное количество железа, термоядерные реакции прекращаются. При этом давление газа и излучения уже не могут компенсировать гравитационные процессы, и звезда сожмется под действием своего веса.

В зависимости от массы, финальная часть жизни звезды может идти по трем путям. Звезда может превратиться в белый карлик, нейтронную звезду или черную дыру. Еще в 1928 году индийский аспирант С. Чандрасекар вычислил, какой величины должна быть звезда, чтобы, израсходовав все топливо, могла противостоять действию собственных гравитационных сил. Он рассчитал, что если масса холодной звезды меньше солнечной, либо превышает ее не более, чем в 1,2 раза, такая звезда сможет противостоять собственной гравитации вследствие

квантово-механических эффектов – резкого повышения скорости движения электронов в ядрах атомов. Эта величина массы в 1.2 солнечной, называется в астрономии «предел Чандрасекара».

Что же происходит с такой звездой? Когда в процессе эволюции она исчерпает запасы водорода, то вступает в новую фазу эволюции. Ядерные реакции идут не в ядре, состоящем уже из гелия и более тяжелых элементов, а в тонком слое водорода вокруг этого ядра. Звезда разбухает, увеличившись в диаметре в 2–3 раза (фаза красного гиганта), снижает свою светимость, приобретает красный цвет и превращается в красный гигант. Затем сбросит свою газовую оболочку (так называемый взрыв новой), из которой формируется планетарная туманность. Далее, ее ядро будет медленно остывать, незначительно сокращаясь в размерах. Такая звезда эволюционирует в белый карлик. Белые карлики оказываются сверхплотными вырожденными звездами, исчерпавшими источники термоядерных реакций. Диаметр такой звезды несколько тысяч километров (близкий к диаметру Земли). Плотность в центре может достигать сотни тонн на кубический сантиметр. На небе открыто много белых карликов, самый известный из всех – Сириус Б. В более далекой перспективе эти звезды окончательно остынут, превратившись в коричневый карлик, а затем – в холодную железную звезду. На этом их эволюция закончится. Такая перспектива ожидает наше Солнце.

Судьба массивной звезды иная. Когда давление газа не может уравновесить силы гравитации, тогда звезда может неограниченно сжиматься – коллапсировать. Коллапс неизбежен, если звезда имеет массу в 1.5 – 2 массы Солнца. При сжатии газ в ядре звезды нагревается. Вначале этот процесс идет очень медленно. При определенной температуре становится возможным превращение протон – электронная пары в пару нейтрон – нейтрино. Нейтрино сразу же покидают звезду, унося энергию. Коллапс усиливается. В конечном итоге все протоны и электроны превратятся в нейтрон – нейтрино. При этом все ядро коллапсирует в пульсар или нейтронную звезду. При образовании пульсара энергия сжатия передается внешней оболочке, которая будет выброшена в пространство со скоростью в несколько тысяч км/сек. Образуется ударная волна, которая может привести к началу нового процесса звездообразования. Светимость такой звезды превысит первоначальную в миллиарды раз. Затем в течение недели или месяца звезда излучает больше света, чем целая галактика. Это так называемая сверхновая звезда, взрыв которой приводит к образованию туманности, в центре которой находится пульсар или нейтронная звезда – потомок взорвавшейся звезды.

Существует предположение, что из вещества, образовавшегося после взрывов сверхновых, формируются звезды и планетные системы следующих поколений.

Вспышки сверхновых известны издавна. Так в 1054 году о такой вспышке записано в китайских хрониках. Звезда была видна днем, уступая в светимости только Солнцу. Оболочка этой звезды видна на небе до сих пор. Это так называемая Крабовидная туманность, в центре которой в 1967 году была обнаружена нейтронная звезда. Последняя вспышка сверхновой зафиксирована Кеплером в 1604 году.

Внешние края нейтронной звезды состоят из тяжелых ядер железа и германия. Толщина такой коры – 1 км при общем радиусе нейтронной звезды в 10 км. Центральная часть диаметром около 1 км находится в твердом состоянии. Под корой давление так велико, что тяжелые ядра размазываются до нуклонов. Электроны вдавливаются в протоны, и образуется нейтронная жидкость. Плотность вещества такой звезды достигает 100 млн. тонн/см<sup>3</sup>. Излучает только участок поверхности, излучение идет в виде ярких пятен.

Вначале существование нейтронных звезд было предсказано теоретически. Однако в 1967 г. радиоастрономы Э. Хьюиш и Д. Белл обнаружили необычный небесный объект, который активно излучал в радиодиапазоне. Их назвали «пульсары»: они вращаются (иногда с частотой несколько раз в секунду) и испускают мощный луч радиоволн, который проходит через нашу линию зрения один раз за 1 оборот. Особенность этих звезд – в их колоссальных плотностях, сильных магнитных и гравитационных полях

При массах, в 2 и более раза больших солнечных давление вырожденных нейтронов не в состоянии противостоять гравитационным силам. Нейтронная звезда коллапсирует. При этом плотность вещества звезды приближается к бесконечности, радиус звезды стремится к нулю.

Когда радиус приближается к некоторому критическому значению, скорость вращения становится равной скорости света. Это значит, что свет от такой звезды уйти не может. По теории относительности, ничто не может двигаться быстрее скорости света. Следовательно, никакой объект не сможет выйти за пределы какой-то области пространства – времени. Эту область называли черной дырой. Границу черной дыры называют горизонтом событий. Эти теоретически предсказанные объекты, которые поглощают свет, притягивают к себе другие массы, но ничего не излучают. Разработкой теории черных дыр занимается английский астрофизик С. Хокинг.

Согласно теории С. Хокинга, внутри черной дыры должна быть сингулярность, в которой плотность и кривизна пространства-времени должны быть бесконечны. Эта сингулярность подобна некоей полупроницаемой мембране. Объекты могут упасть в черную дыру, но ничто не может оттуда выйти. Согласно расчетам С. Хокинга, наблюдатель, упавший в черную дыру имеет возможность вынырнуть из нее в другой области Вселенной, то есть оказаться в другой точке пространства – времени. Но, к сожалению, эта возможность сильно нестабильна. Любое локальное возмущение может привести к нарушению стабильности и исчезновению и гибели наблюдателя.

Очень интересны предсказанные свойства черных дыр. Они имеют идеальную округлую форму, а их свойства не зависят от свойств звезды-предшественницы. Они могут вращаться, а могут находиться в неподвижном состоянии. Более того, как оказалось, они могут излучать энергию и при этом медленно испаряться. Черные дыры оказывают гравитационное воздействие на расположенные недалеко от них космические объекты. На этом принципе основано обнаружение черных дыр. Такая дыра была недавно обнаружена в созвездии Лебедя. Теория Черных дыр в настоящее время активно разрабатывается.

Надо иметь в виду, что звезда с большой массой сжигает свое горючее во много раз быстрее, чем легкая. Например, скорость процессов в Сириусе, имеющем 2 массы Солнца, в 30 раз выше, чем у него. Появление во Вселенной всей гаммы химических элементов открыло новый этап в развитии вещества и в формировании ее структур. Так, в местах нахождения разнообразных химических элементов протекают процессы их объединения в молекулы, сложность которых может нарастать до очень высоких уровней.

Но самое интересное, с чем столкнулись наблюдатели, – это неожиданное присутствие в Космосе разнообразных органических молекул, вплоть до таких сложных, как молекулы аминокислот. В межзвездных облаках насчитали более 50 видов органических молекул. Вероятно, что синтез молекул, в т.ч. и органических, – распространенное явление в космосе. Правда, мы пока не можем назвать конкретные пути протекания такого синтеза.

Во Вселенной существуют очень интересные объекты, которые называются маяками Вселенной. Это звезды, характеризующиеся периодическим изменением блеска.

Строго периодически с периодом в несколько дней, блеск звезды сначала увеличивается, а потом ослабевает. Физические характеристики являются причиной периодического изменения их светимости. Это пульсирующие звезды. Они то увеличиваются в размере, то сжимаются. Движения их поверхности и создают колебания лучевой скорости. Цефеиды – неустойчивые звезды, у которых однажды случившийся толчок вызывает периодически повторяющиеся колебания. Периоды различных цефеид заключены в пределах от 1,5 до 45 суток. Все цефеиды – звезды гиганты большой светимости. Они являются мощными источниками радиоизлучения. По ним определяют расстояния до различных галактик. Именно поэтому цефеиды называют радиомаяками Вселенной.

Солнце – типичная звезда, входящая в главную последовательность звезд Герцшпрунга – Рассела. Это звезда второго или даже третьего поколения. По своей светимости она относится к спектральному классу G – желтым карликам. Наша звезда вращается вокруг своей оси не как твердое тело, то есть его различные слои вращаются с различной скоростью. Следовательно, в центре его находится жидкое ядро.

Химический состав Солнца определен по его спектрам. Самая сильная линия солнечного спектра принадлежит кальцию. После нее по интенсивности идут линии водорода, натрия,

магния, титана, железа. Остальные линии отождествляются примерно с 70 элементами периодической системы.

Преобладающим элементом является водород. По числу атомов его примерно в 10 раз больше, чем остальных элементов, и на его долю приходится 70% массы Солнца.

Температура слоев Солнца меняется с глубиной. Сейчас установлено, что средняя его температура составляет 5770° К. Вблизи видимой поверхности расположен слой с минимальной температурой – 4500°К. Вглубь Солнца температура существенно повышается и достигает 10 млн.°К. Известно, что при таких температурах ионизируются атомы большинства элементов. При температуре выше 10–15 тыс.°К ионизируется водород. Следовательно, солнечное вещество представляет собой плазму. Лишь в тонком слое вблизи видимого края, ионизация слабая, преобладает атомарный водород.

### **Вопросы к практическому занятию**

1. Что такое созвездие? Сколько созвездий на небе?
2. Совпадает ли число зодиакальных созвездий с числом созвездий, через которые проходит Солнце, двигаясь по эклиптике?
3. Какое созвездие состоит из двух участков, разделенных другим созвездием?
4. Где на звездном небе находятся летний и зимний треугольники?
5. В каком созвездии находится точка летнего солнцестояния? Почему эта точка обозначена знаком Рака?
6. Какая самая яркая звезда на небе и какая самая яркая звезда северной полушария?
7. Какая звезда ближайшая к Солнцу?
8. Какая звезда получила название «звезды-гостии»?
9. На небе есть «удивительная» или «дивная» звезда. Что это за звезда?
10. Где на небе находится «звезда дьявола»?
11. Название какой звезды образовано от имени планеты?
12. Всегда ли Полярная звезда будет полярной?
13. На какой планете и каких спутниках Солнце является полярной звездой? Как ориентирована эта планета в пространстве?
14. У какой звезды впервые обнаружено движение в пространстве?
15. Какая звезда имеет самое большое собственное движение?
16. Как по видимой траектории звезды-спутника вокруг главной звезды сделать заключение о наклонении плоскости орбиты спутника к картинной плоскости?

## **Практическое занятие 8, 9**

### **Строение и эволюция Вселенной. Часть 1,2**

#### **Теоретическая часть**

Галактика – это гигантская система, состоящая из миллиардов звезд и их скоплений, газа, пыли, магнитного поля и космических лучей.

Типы галактик: эллиптические, спиральные, неправильные.

Активные галактики – галактики, в которых наблюдается этап бурных эволюционных процессов, сопровождающихся образованием новых структур и повышением излучения во всех диапазонах.

Радиогалактики – галактики, мощность радиоизлучения которых становится того же порядка или больше, чем оптическое.

Квазар – ядро галактики с мощностью излучения в миллиарды раз больше солнечной светимости.

Красное смещение в спектрах галактик – явление, заключающееся в том, спектры света галактик смещены в сторону их красного конца.

Закон Хаббла: скорость удаления галактик прямо пропорциональна расстоянию между ними.

Наблюдая за звёздным небом, люди давно заметили светло — дымчатую полосу, пролегающую по всему небу. До нас дошло греческое название этой полосы из мифов — Млечный Путь. В своих догадках древнегреческий философ Демокрит считал, что Млечный Путь — это множество далёких звёзд.

Г. Галилей, наблюдая Млечный Путь впервые из астрономов в телескоп, установил, что действительно, Млечный Путь усеян огромным количеством маленьких звёздочек. Следующим астрономом, сделавшим значительный вклад в изучение Млечного Пути, стал

В. Гершель. Он установил, что Солнечная система находится в Млечном Пути.

В наблюдениях за звёздным небом астрономами были открыты многочисленные звёздные скопления и газопылевые облака. Дальнейший анализ этих звёздных скоплений показал, что большинство из них находятся за пределами нашей Галактики. На сегодняшний день число открытых таких же галактик, как Млечный Путь, исчисляется миллиардами.

Все галактики делятся на:

1. эллиптические;
2. спиральные
3. неправильные.

Эллиптические галактики представляют из себя звёздные скопления, образующие структуру, подобную шару или эллипсоиду. Из общего числа галактик к эллиптическим относятся примерно 25%. Яркость и плотность эллиптической галактики уменьшается от центра к периферии. Масса галактик этого вида может достигать  $10^{13}$  масс Солнца.

Примерно 70% галактик относятся к спиральным галактикам. Спиральные галактики представляют из себя плоскую вращающуюся структуру с ядром и ветвями. Разновидностью спиральной галактики является галактика с перемычкой в ядре, с концов которой начинаются ветви. Помимо множества звёзд в ветвях галактик этого вида содержится много газа и пыли, а также звёзд класса О и В. Наша Галактика и ближайшая к нам галактика Андромеды относятся также к спиральным галактикам. Масса спиральных галактик может составлять от  $10^{10}$  до  $10^{12}$  масс Солнца.

Небольшую группу (5% от общего числа) образуют неправильные галактики. У этих галактик нет ядра и выраженной структуры. К неправильным галактикам относятся ближайшие к Млечному Пути Большое Магелланово Облако и Малое Магелланово Облако.

Галактики, радиоизлучение которых превышает мощность видимого излучения, называются радиогалактиками.

Существует класс галактик, которые пребывают в активной фазе своей эволюции, сопровождающейся выбросами очень больших масс вещества из ядра. Такие галактики называются активными. Большой мощностью радиоизлучения отличаются квазары. Эти образования, подобные звездам, находятся в ядрах галактик. Имея размеры всего лишь в десятки раз больше размеров Солнечной системы, квазары излучают энергию (видимого излучения и всех других видов излучения) в  $10^{12}$  светимостей Солнца. Для выделения такой громадной энергии требуется источник. В ядрах галактик таким источником является реакция постепенного захвата массивной черной дырой ближайших звёзд.

В темную безлунную ночь в созвездии Андромеды можно различить невооруженным глазом слабое туманное пятнышко, называемое туманностью Андромеды. На фотографиях, полученных при помощи телескопа, оно оказывается большой звездной системой, имеющей спиральную структуру, во многом сходной с нашей Галактикой. На южном небе значительно заметнее две другие ближайшие к нам звездные системы — Большое и Малое Магеллановы Облака. При помощи телескопов сфотографировано очень много подобных объектов. Их называют *внегалактическими туманностями* или *галактиками*.

Обычно галактики обозначаются сокращенным названием каталога и номера, под которым они в нем зарегистрированы. Например, туманность Андромеды в каталоге Мессье стоит под № 31, а в «Новом общем каталоге» Дрейера — под № 224. Поэтому она обозначается М 31 или NGC 224.

Строение галактик изучают по их фотографиям. Несмотря на многообразие форм, основные элементы структуры галактик такие же, как и у нашей звездной системы. Большинство из них в центре имеет более яркое уплотнение — центральное сгущение, в то время как внешние части во многих случаях имеют спиральное строение, иногда едва заметное, а иногда и ярко выраженное. По внешнему виду галактики делятся на *эллиптические, спиральные, неправильные и пекулярные*.

Эллиптические галактики (Е) имеют форму эллипсоидов без резких границ. Яркость плавно увеличивается от периферии к центру, а внутренняя структура, как правило, отсутствует.

Спиральные галактики (S) - многочисленны. К ним принадлежит более половины наблюдаемых галактик. Типичными представителями являются наша Галактика и туманность Андромеды. В отличие от эллиптических галактик, в них наблюдается структура в виде характерных спиральных ветвей.

Различаются два типа спиралей. У одних, подобных нашей Галактике и обозначаемых SA или S, спиральные ветви выходят непосредственно из центрального уплотнения. У других они начинаются у концов продолговатого образования, в центре которого находится овальное уплотнение. Создается впечатление, что две спиральные ветви соединены перемычкой, почему такие галактики и называются *пересеченными спиральями*; они обозначаются символом SB

Спиральные галактики различаются степенью развитости своей спиральной структуры, что в классификации отмечается добавлением к символам S (или SA) и SB букв a, b, c. Например, обозначение Sa характеризует галактику с мало развитой или только намечающейся спиральной структурой. У систем Sb ветви уже хорошо заметны, как и у туманности Андромеды, а спирали Sc отличаются наличием клочковатых спиральных ветвей, отходящих от сравнительно небольшого центрального уплотнения. Как правило, чем сильнее развита спиральная структура, тем размеры центрального уплотнения оказываются меньшими.

Особенно хорошо спиральная структура может быть изучена, если плоскость, в которой расположена спираль, перпендикулярна лучу зрения. Когда же луч зрения лежит в этой плоскости, спиральная структура не видна, но хорошо заметно, что галактика является плоским образованием, напоминающим чечевицу с утолщением в центральной части. Вдоль средней линии такой чечевицы тянется полоса поглощающей свет материи, которая у спиралей, как и в нашей Галактике, сильно концентрируется к основной плоскости.

Спиральные ветви галактик являются областями преимущественного звездообразования. Об этом свидетельствует наличие в них молодых горячих звезд, на больших расстояниях вокруг себя ионизирующих водород.

Неправильные галактики (I). Примером галактик этого типа являются Магеллановы Облака, хотя в одном из них были обнаружены следы спиральной структуры. Неправильные галактики характеризуются отсутствием центральных уплотнений и симметричной структуры, а также низкой светимостью и относительно высоким содержанием нейтрального водорода,

Пекулярные галактики. Так называются галактики, которые обладают теми или иными особенностями, не позволяющими отнести их ни к одному из перечисленных выше классов.

#### Определение расстояний до галактик

Существует несколько способов определения расстояний до галактик. Легче всего это можно сделать, если в галактике наблюдаются хорошо изученные объекты, светимость которых мы знаем. Так, например, светимость цефеид известна по соотношению период — светимость. У новых звезд абсолютная звездная величина в максимуме около  $-8^m,5$ , а у шаровых скоплений в среднем  $-8^m$ . В этих случаях для определения расстояний достаточно найти видимую звездную величину такого объекта и вычислить модуль расстояния, не забывая при этом учитывать влияние межзвездного поглощения света.

О расстояниях до удаленных галактик, в которых перечисленные объекты не видны, судят по их видимым угловым размерам или по видимой звездной величине. Для этого необходимо знать размеры или светимости галактик данного типа.

Наконец, еще один способ основан на определении величины *красного смещения*. Это явление заключается в том, что все спектральные линии в спектрах далеких галактик оказываются смещенными к красному концу. Как мы увидим в последнем параграфе настоящей главы, это смещение линий нужно интерпретировать как увеличение средних расстояний между галактиками во Вселенной. В результате нам кажется, что галактики как бы убегают от нас. Из наблюдений следует, что скорость удаления галактик от нас  $V_r$ , увеличивается с расстоянием, так что между  $\lg$  соответствующая красному смещению  $V_r$  и видимой звездной величиной галактик одинаковой светимости обнаруживается линейная зависимость.

$$V_r = c \frac{\Delta\lambda}{\lambda} = H$$

В этой формуле расстояние  $r$  выражено в мегапарсеках, а число  $H$  — *постоянная Хаббла*, играющая важную роль в космологии. Наиболее надежное значение постоянной Хаббла, полученное в последнее время, составляет  $73 \text{ км/сек Мпк}$ . Если для галактики известно ее красное смещение, то по формуле легко определить расстояние до нее. Наиболее удаленные галактики находятся на расстояниях в несколько миллиардов парсек.

Эллиптические туманности в зависимости от степени видимого сжатия подразделены на восемь подтипов: от сферических систем E0 до чечевицеобразных E7 (цифра указывает степень сжатия).

Другой, самый распространенный тип галактик (их около 50%) отличается большим разнообразием структуры. Эти звездные системы имеют два или более клочковатых спиральных рукава, образующих плоский "диск. В центральной области галактик расположено сфероидальное вздутие (балдж), в котором находится ядро галактики. Такие галактики называют спиральными и обозначают символом S. Спиральные рукава, как правило, богаты яркими газовыми туманностями, окружающими горячие звезды-сверхгиганты, а также облаками темной газовой-пылевой материи. Примерно у половины спиральных галактик рукава начинаются сразу от ядра (это нормальные спиральные галактики), у остальных галактик через ядро проходит яркая перемычка (бар), идущая далеко за пределы ядра (пересеченные спиральные галактики). От концов перемычки и начинают закручиваться спиральные рукава.

И нормальные (S), и пересеченные (SB) спиральные галактики подразделяются еще на подтипы Sa, Sab, Sb, Sc, SBa и т. д. по относительным размерам ядра и диска (размеры ядра убывают от Sa к Sc). Некоторые из спиральных систем видны в профиль как толстое (в случае Sa) или тонкое веретено, обычно пересеченное полосой темного вещества, поглощающего свет.

Наша Галактика, как известно, также является спиральной, вероятнее всего типа Sb. По-видимому, спиральные галактики окружены сфероидальной звездной короной, в которой содержится значительная часть массы галактик.

Если проследить изменение форм эллиптических галактик от сферической до чечевицеобразной и форм спиральных галактик от Sa ко всё более сплюснутой системе Sc, то напрашивается вывод о существовании еще одного типа галактик, промежуточного между этими основными. На рис. 1 приведена одна из морфологических классификаций галактик - так называемый камертон Хаббла.

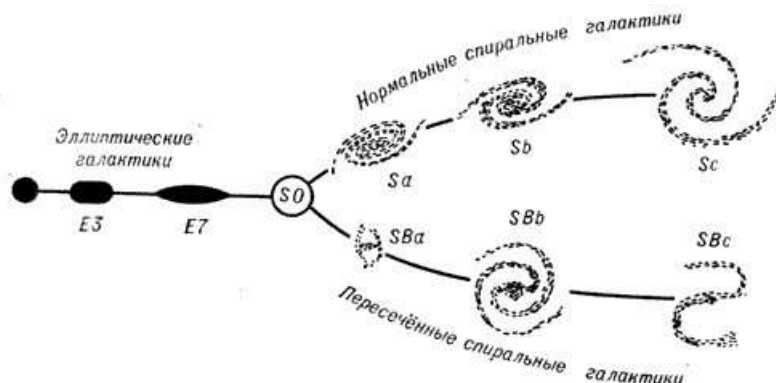


Рис. 1. Схема классификации галактик (по Э. Хаббл).

Гипотетический тип получил в этой схеме символ S0; он был сначала предсказан, а затем найден. В галактиках этого типа (их около 20% от общего числа встречающихся вблизи нашей Галактики), в отличие от эллиптических систем, яркость от центра к краю падает ступеньками. В такой системе различают ядро, "линзу" и слабый "ореол". Эти галактики называют линзообразными. В наружных частях линзы иногда видны зачатки спиральных рукавов, перемишки и наружное светлое кольцо. Сочетание этих деталей придаёт системам иногда совершенно необычный вид.

Остающиеся 5% галактик не удаётся отнести ни к одному из перечисленных типов, они образуют тип неправильных галактик (символ Ir). У таких галактик часто отсутствует симметрия формы. По меткому замечанию амер. астронома В. Бааде, этот тип явился "мусорной корзиной" для галактик, не поддающихся классификации. Действительно, в этом типе чисто условно объединено нескольких, разных по характеру классов галактик. Наиболее распространены неправильные галактики типа Магеллановых Облаков, названные так по имени ближайших к нам звёздных систем, видимых невооружённым глазом в южном полушарии. В сущности, эти звёздные системы - предельный случай спиральных галактик, когда они чрезвычайно плоски и в них совершенно отсутствует центральное ядро, хотя и есть следы спиральной структуры, свидетельствующей об осевом вращении систем. Другой класс неправильных галактик очень странен: по цвету и плавному изменению яркости к краям они сходны с эллиптическими, а по спектру - со спиральными системами. Однако в них нет типичных для спиральных систем звёзд-сверхгигантов и ярких газовых туманностей. Примером таких звёздных систем является M82 - неправильная галактика, в центральной части которой обнаружены облака газа, движущиеся со скоростями более тысячи км/с во все стороны. К неправильным галактикам относятся также пекулярные, каждая из которых имеет совершенно уникальную форму. Среди них в специальный класс выделены так называемые взаимодействующие галактики. Это обычно двойные галактики, между которыми наблюдаются перемишки, хвосты или мостики светлой и тёмной материи и т. д. Все эти особенности считают признаками взаимного влияния близко расположенных галактик.

Форма и структура галактик неразрывно связаны с их основными физическими характеристиками: размером, массой, светимостью. При равных расстояниях до галактик их видимые размеры, а также массы возрастают по мере перехода от менее ярких галактик к более ярким. Видимую яркость (блеск) галактик принято выражать в фотографических звёздных величинах, определяемых фотометрированием их изображения на снимках. Если галактика превосходит другую однотипную галактику по абсолютной звездной величине на единицу, то их диаметры соответственно будут различаться в полтора раза, а массы - в два (для спиральных) или в три раза (для эллиптических галактик).

Массы галактик принято выражать числом солнечных масс (масса Солнца  $m_{\odot}=1033$ ). Определить массу звёздной системы можно несколькими способами. Наиболее точный способ заключается в наблюдении скоростей вращения периферийных, промежуточных и центральных частей спиральных галактик. Спиральные галактики вращаются вокруг своей оси не как твёрдый однородный по массе диск, а дифференциально - по закону, который зависит от распределения массы.

По мощности излучения галактики можно подразделить на несколько классов светимости. Самый широкий диапазон светимостей наблюдается у эллиптических галактик. В центральных областях некоторых скоплений галактик обнаружены так называемые cD-галактики, являющиеся рекордными по светимости.

Большинство галактик входят в группировки, насчитывающие от нескольких ярких членов (группы галактик) и до сотен и тысяч членов (скопления галактик). Яркие одиночные галактики редки - их не более 10% от общего числа галактик.

Наиболее исследована Местная группа галактик, в которой самыми яркими и массивными является наша Галактика и туманность Андромеды. Каждая из них имеет по богатому семейству.

В Семейство нашей Галактики входят 14 карликовых эллиптических галактик, несколько внегалактических шаровых скоплений и неправильные галактики, среди которых крупнейшие - Магеллановы Облака.

Скопления галактик состоят, как правило, из эллиптических и линзообразных галактик, число спиральных галактик в них очень мало. Всего пока выявлено около 50 сверхскоплений, которые состоят из десятков отдельных крупных скоплений галактик, но наряду с ними существуют и просто скопления галактик, не входящие в коллективы более высокого ранга.

Наша галактическая система — рядовая звездная система. На небе в ясную безлунную ночь хорошо видна яркая белесоватая полоса — *Млечный Путь*.

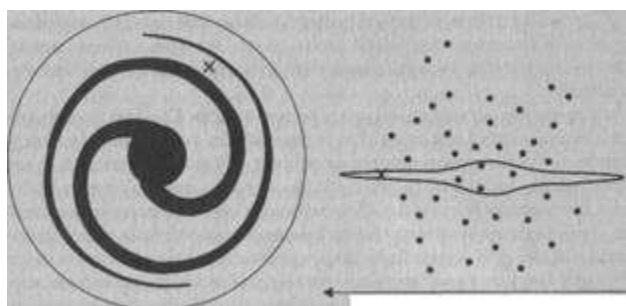
Галактика — это гигантская звездная система, состоящая почти из 200 млрд звезд, и Солнце — одна из них. Вообще галактики — огромные вращающиеся звездные системы. Они различаются и по внешнему виду, и по характеристикам. Помимо звезд, в галактики входит межзвездное вещество: газ, пыль, частицы космических лучей. Считают, что некоторые галактики по ряду свойств и по внешнему виду похожи на нашу Галактику, называемую Млечный Путь. Из их фотографий можно заключить, что это достаточно тонкий диск с утолщением в центре. В этом месте Галактика простирается на область с радиусом в 25 кпк и толщиной около 2 кпк, на расстоянии в 10 кпк от центра находится Солнечная система. Она движется вокруг центра Галактики почти по окружности со скоростью 240 км/с.

Орбита Солнца лежит в плоскости Галактики, один оборот длится 240 млн лет. Масса центральной части Галактики порядка  $3 \cdot 10^{41}$  кг. Предполагают, что большая масса сосредоточена на периферии Галактики, в области радиусом около 100 кпк. Многие звезды образуют группы — скопления. Эволюционные процессы связаны с такими характеристиками звезд, как возраст, химический состав, характеристики движений и пространственное расположение.

Возраст звезд находится в достаточно большом диапазоне значений: от сотен тысяч лет (возраст самых молодых звезд) до 15 млрд лет (возраст Вселенной). Есть звезды, образующиеся на наших глазах и находящиеся в протозвездной стадии.

Все звезды, по терминологии Бааде, предложенной в 1944 г., принято называть звездным населением. В плоскости Галактики расположены звезды молодые и среднего возраста население I, или диска (звезды Главной последовательности спектральных классов O и B самые молодые и горячие, G, K, M — карлики). Это рассеянные звездные скопления, горячие звезды — гиганты и сверхгиганты, сверхновые звезды, долгопериодические цефеиды, молекулярные облака, светлые и темные туманности. Возраст их порядка 10<sup>7</sup>-10<sup>8</sup> лет, они недавно образовались из межзвездного газа, поэтому находятся в плоскости вблизи него. Сейчас межзвездного газа по массе немного — около 5 % общей массы, и он сконцентрирован в спиральных рукавах. Наше Солнце находится посередине между двумя спиральными рукавами (см. рис. 2). Самые старые составляют население II, или гало (шаровые скопления, содержащие до 1 млн звезд; рассеянные скопления, содержащие лишь 100-1000 звезд; (субкарлики II переменные типа RR Лиры); к старым относятся красные карлики, красные гиганты и цефеиды. Их возраст порядка 10<sup>10</sup> лет.

Старые объекты находятся ближе к центру Галактики.



а

б



*Рис. 2.* Положение Солнечной системы в Галактике (отмечено крестиком): *а* — вид сверху; *б* — вид сбоку.

Промежуточную по возрасту группу занимают звезды, заполняющие диск Галактики толщиной около 1 кпк. Это новые звезды, планетарные туманности, яркие красные гиганты, расположенные в ядре Галактики.

Сравнительно молодые звезды верхней части Главной последовательности входят обычно в состав рассеянных скоплений. Непосредственному наблюдению доступны около 1 000 таких скоплений, и все они принадлежат диску. Кроме рассеянных скоплений, в Галактике более 100 шаровых скоплений. Они получили такое наименование потому, что в центре скопления блеск близко расположенных звезд сливается в яркий фон. Ближайшее шаровое скопление можно видеть в созвездии Центавра даже невооруженным глазом в виде размытого пятна. Шаровые скопления очень устойчивы, они образуют сферическую подсистему. В них много бело-голубых звезд и мало красных гигантов. Многие из шаровых скоплений являются источниками мощного рентгеновского излучения. Это объясняют аккрецией (падением) межзвездного газа на черные дыры, находящиеся, по мнению некоторых ученых, в центре шаровых скоплений.

#### Скопления галактик

Помимо одиночных галактик существуют скопления галактик. В частности, Млечный Путь, галактика Андромеды, Малое и Большое Магеллановы Облака образуют местную группу галактик, которые связаны тяготением и движутся вокруг единого центра масс. В настоящее время известны тысячи скоплений галактик, в которых содержатся тысячи галактик.

Анализ спектров света галактик показал, что все линии спектра смещены в сторону его красного конца, т.е. длина волны всех линий в составе спектра увеличивается. Из формулы эффекта Доплера следует, что это может быть обусловлено удалением источников света от точки наблюдения. Чем больше скорость, тем больше красное смещение и наоборот. Дальнейшие расчёты, сделанные Э.Хабблом показали, что наблюдаемая скорость удаления галактик прямо пропорциональна расстоянию до них. Этот факт можно сформулировать по-другому: галактики удаляются друг от друга с увеличивающейся скоростью.

Галактика – гигантская звездная система, содержащая от нескольких миллионов до сотен миллиардов звезд, межзвездный газ (70 % водорода, 30 % гелия) и межзвездную пыль. Галактики обозначаются номерами, под которыми их вносят в каталоги. Например: М31 (каталог Мерсье) или NGC 4486 (Новый общий каталог – New General Catalogue). Галактики видны в телескоп как туманности различной формы. (Невооруженным глазом видны только три близкие к нам галактики: Большое и Малое Магеллановы Облака в Южном полушарии и Туманность Андромеды –

в Северном.) По внешнему виду различают спиральные, эллиптические и неправильные галактики.

Квазары (сокращение, обозначающее «подобные звездам») – объекты неизвестной, загадочной природы. На небе они видны как звезды, но расположены на расстоянии порядка миллиардов парсек (1 парсек = 3,26 световых года) и удаляются от нас с огромными скоростями – около 1 млрд км/ч. Это объекты необычайно большой светимости: 1 квазар светит ярче, чем 100 галактик, состоящих из миллиардов звезд. Свет, который доходит до нас от квазаров, был излучен еще до рождения Солнечной системы. На сегодня физике не известен источник энергии, который мог бы поддерживать такое сверхмощное излучение.

Радиоастрономы открыли радиогалактики. Радиогалактики – это галактики, обладающие исключительно мощным радиоизлучением, превосходящим видимое излучение..

Звездные скопления – это группы звезд (тысячи звезд), удерживаемые силами тяготения. Различают рассеянные скопления (например, скопление Плеяды в созвездии Тельца) и шаровые скопления (например, скопление в созвездии Геркулеса). Шаровые скопления в основном расположены в сферической составляющей Галактики, рассеянные – вблизи плоскости

звездного диска. Шаровые скопления – старые (13–18 млрд лет), рассеянные – молодые (несколько миллиардов лет).

Туманности – видные в телескоп туманные пятна, которые состоят из газа и пыли. Туманности неправильной, клочковатой формы называют диффузными (туманность в созвездии Ориона), а имеющие правильную форму и напоминающие планеты, – планетарными (туманность в созвездии Лиры).

### Метагалактика и ее расширение

Галактики, подобно звездам, расположены в пространстве группами. Такие группы называют скоплениями галактик. Они имеют размеры порядка тысяч парсек и содержат тысячи галактик. Скопление, в которое входит наша Галактика, называется Местной группой (оно сравнительно небольшое по размерам и числу галактик).

Скопления галактик объединены в сверхскопления, которые включают десятки тысяч галактик и имеют размеры порядка миллиона парсек. Местная группа входит в сверхскопление Девы.

В сверхскоплениях галактики распределены неравномерно, а сосредоточены вблизи границ ячеек, внутри которых галактик почти нет. Для Метагалактики характерна ячеистая (пористая) структура (рис. 3).

В масштабах более 300 Мпк (крупномасштабная структура) вещество распространено равномерно.

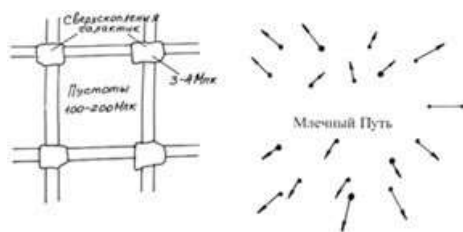


Рис.3

В 1929 г. американский астроном Э. Хаббл сделал великое открытие. Исследуя спектры галактик, он обнаружил, что все галактики удаляются от нас. В спектрах галактик описанное явление выражается смещением всех линий к красному концу, поэтому оно получило название «красного смещения».

Закон Хаббла можно записать в виде:  $v = Hr$ , где:  $v$  – скорость удаления галактики, км/с;  $H$  – постоянная Хаббла,  $H = 75$  км/с (Мпк);  $r$  – расстояние от нас до галактики, Мпк.

Смысл этого закона состоит в том, что расстояние между нашей и другими галактиками непрерывно увеличивается, причем чем дальше от нас расположена галактика, тем с большей скоростью она удаляется.

Метагалактика непрерывно расширяется. Это самое грандиозное из известных на сегодня явлений природы. Оно имеет свои особенности (рис. 3)

Во-первых, расширение происходит только на уровне скоплений и сверхскоплений галактик. Галактики удаляются друг от друга, но внутренние звезды удерживаются силами всемирного тяготения.

Во-вторых, не существует центра, от которого разбегаются галактики. Представление о том, что Земля находится в центре, – кажущееся. Наблюдатель в любом другом месте Метагалактики будет наблюдать то же явление. В-третьих, расширение происходит с замедлением, постоянная Хаббла уменьшается со временем. Это происходит из-за тормозящего действия гравитации.

Теория расширяющейся Вселенной приводит к выводу, что Вселенная нестационарна, она изменяется, эволюционирует. Возникает вопрос: каково прошлое и каково будущее Вселенной?

Существует гипотеза, что расширение Метагалактики началось 10–20 млрд лет назад с явления, напоминающего колоссальный взрыв вещества, обладавшего огромной температурой

и плотностью (теория Большого Взрыва). В настоящее время имеется экспериментальное доказательство этой гипотезы. Согласно расчетам, проведенным на основе теории Большого Взрыва, космическое пространство должно быть заполнено электромагнитным излучением – посланцем той древней эпохи, когда рождалась Вселенная. Американские ученые А. Пензиас и Р. Вильсон обнаружили это излучение. Его назвали реликтовым. В каждом кубическом сантиметре воздуха содержится около 500 квантов реликтового излучения.

В настоящее время Метагалактика расширяется, а что будет с ней в дальнейшем? Теория предсказывает две возможности зависимости от средней плотности Вселенной. Если средняя плотность материи меньше критической плотности (порядка  $10^{-26}$  г/см<sup>3</sup>), Метагалактика будет расширяться бесконечно долго. Если же средняя плотность превышает критическую, расширение Метагалактики в будущем сменится сжатием (рис. 4).

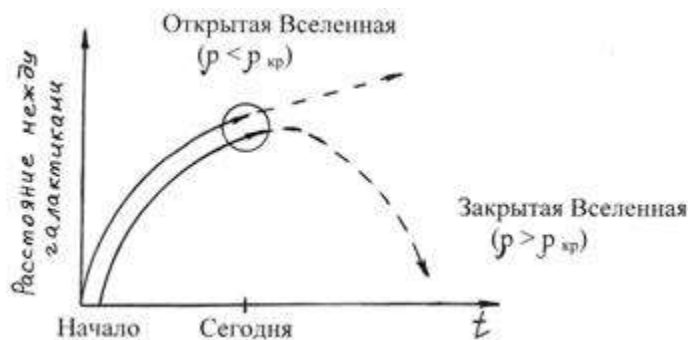


Рис. 4

Значение средней плотности Метагалактики определено не точно. Оно связано с проблемой «скрытой массы». Данные средней плотности ( $10^{-26}$  г/см<sup>3</sup>) получены с учетом только светящихся объектов. Если ненаблюдаемых объектов больше, чем наблюдаемых, то Вселенная в будущем испытает сжатие.

#### Галактика

Наша Галактика представляет собой огромное плоское образование с центральным утолщением, имеющее поперечник около 30 тыс. *пк* и состоящее из звезд, разреженного газа, космических лучей и пыли. Мы находимся почти в плоскости ее симметрии на расстоянии примерно  $2/3$  радиуса от центра. Теперь подведем итоги свойствам Галактики, рассмотренным в предыдущих параграфах, с целью получить более общие представления о ее структуре.

Важнейшими элементами структуры Галактики являются ее *центральное сгущение*, *спиральные рукава*, или *ветви*, и *диск*.

х3,1 Центральное сгущение занимает внутреннюю область Галактики и большей частью скрыто от нас темной непрозрачной материей. Лучшее всего видна южная его половина в виде яркого звездного облака в созвездии Стрельца. Центральное сгущение занимает на небе область  $28^\circ \times 18^\circ$ , что соответствует линейным размерам 4,8 *кпк*.

Млечный Путь в направлении на центр Галактики поразительно похож на спиральную звездную систему NGC891, видимую с ребра. Учитывая размеры центрального сгущения, нашу Галактику можно отнести к спиральям промежуточного типа Sb.

В центральном сгущении туманности Андромеды обнаружено огромное быстро вращающееся образование типа шарового скопления. Подобный объект имеется и в центральном сгущении нашей Галактики, где инфракрасными приемниками излучения обнаружено эллиптическое образование размером около 10 *пк*. Скорее всего, это весьма компактное скопление, содержащее миллионы звезд, окруженное мощным облаком газовой пылевой материи, сильно поглощающей ультрафиолетовое и видимое излучение и доступное наблюдениям только в инфракрасной области спектра. Не исключено, что здесь мы имеем дело с объектом необычной и неизвестной еще природы.

На расстоянии  $3 \text{ кпк}$  от центра Галактики методами радиоастрономии обнаружен водородный рукав, расширяющийся в направлении от центра со скоростью около  $50 \text{ км/сек}$ . Дальше от центрального сгущения распределение межзвездного водорода, получаемое на основании радионаблюдений оказывается весьма сложным и непохожим на спиральную структуру, выявляемую по распределению горячих звезд. В целом, нейтральный водород в Галактике образует широкое кольцо.

Понятие о галактических подсистемах. Вращение Галактики

В той части Галактики, где находится Солнце, имеется несколько спиральных рукавов, вдоль которых располагаются скопления молодых звезд и облака межзвездного газа и пыли. Горячие звезды, которые наблюдаются в созвездии Ориона, образуют так называемый Орионов рукав, на краю которого находится и наше Солнце. Выявлены еще два рукава — Персеев рукав (дальше от центра Галактики) и рукав Стрельца — ближе к центру. Возможно, что эти рукава — различные ответвления от одной и той же спирали. Однако не исключено, что наша Галактика имеет несколько спиральных ветвей, связанных с центральным сгущением. Описанные представления об общей структуре Галактики большей частью сложились в последние годы и во многом имеют предварительный характер. Предстоит еще выяснить многие важные проблемы структуры Галактики.

Межзвездный газ относят к населению диска, поскольку по своему химическому составу, расположению и характеру движения он ближе всего к молодым звездам. В спектрах были открыты линии межзвездного натрия, калия, железа, титана и водорода (по косвенным данным, например, потому, что водород образует вместе с атомом углерода молекулу  $\text{CH}$ ). Измерения взаимных положений компонентов в спектрах позволили составить схемы обращения облаков вокруг центра Галактики. В 1951 г. советские астрономы Г.А.Шайн и В.Ф.Газе при фотографировании неба сквозь светофильтры, выделяющие отдельные эмиссионные линии водородной серии Бальмера, открыли более 200 туманностей, которых не видно на обычных фотографиях. Сейчас установлено, что средняя плотность водорода в межзвездной среде порядка  $0,1$  частицы в  $1 \text{ см}^3$ , тогда как в плотных облаках — до нескольких тысяч. Соотношение водорода и гелия в межзвездной среде оценивается как  $9:1$ . В спиральных рукавах плотность водорода примерно на порядок выше, чем между рукавами.

Межзвездная среда ослабляет свет звезд примерно на  $0,6$  звездной величины на  $1 \text{ пк}$ , как доказал в 1847 г. русский астроном В.Я.Струве, а советский ученый П.П.Паренаго вывел формулу учета этого ослабления. Межзвездная среда похожа на пыль, концентрация которой в 100 раз меньше газовой. Ее частицы напоминают ледяные загрязненные кристаллики с  $T \approx 17 \text{ К}$ . Газопылевые облака поглощают свет далеких звезд, при этом их поглощательная способность пропорциональна  $1/\lambda$ . Например, ядро Галактики удастся наблюдать только в инфракрасном и радиодиапазонах. В центре Галактики обнаружен мощный источник радиоизлучения Стрелец А. В нем предполагают наличие массивной черной дыры, окруженной газовым диском диаметром около 1 млрд км. Из ядра, линейные размеры которого оценивают в 4 тыс. св. лет, с огромными скоростями (до  $600 \text{ км/с}$ ) выбрасываются сгустки вещества, масса которых за год оценивается в массу Солнца. В основном облака концентрируются вблизи галактической плоскости. Туманности скрывают тайны строения нашей Галактики.

Ядро Галактики изучено плохо, поскольку центральная область почти недоступна для наблюдений из-за сильного поглощения в межзвездной среде. Наблюдения в разных областях спектра позволили установить размер ядра примерно в несколько килопарсек. Плотность звезд достигает  $10^7 \text{ звезд/пк}^3$ , тогда как вблизи Солнца —  $0,1 \text{ звезд/пк}^3$ . В центре Галактики находится источник нетеплового излучения (Стрелец А); вероятно, очень быстрые электроны, которые возникают при вспышках сверхновых звезд или пульсаров, ускоряются в магнитных полях. Мощное излучение от ядра существует в радиодиапазоне и в инфракрасной области. Есть предположения, что это массивное быстро вращающееся плазменное тело — «магнетойд» или черная дыра.

Движения старых и молодых звезд в Галактике имеют различия. У старых — большие эксцентриситеты орбит, а молодые движутся почти по окружностям. Получаются две

подсистемы: молодые звезды быстро вращаются внутри почти неподвижной системы более старых звезд. Оказалось, старое население Галактики более или менее равномерно занимает почти сферический объем, концентрируясь ближе к центру, а молодое — концентрируется в диске, толщина которого в десятки раз меньше радиуса. Поэтому на больших расстояниях от центра преобладает излучение звезд диска, а вблизи центра — излучение сферической подсистемы. Возникает некое утолщение диска в его центре. Советский ученый Б.В. Кукаркин выделил в Галактике три подсистемы: плоскую, промежуточную и сферическую, различающиеся по степени сосредоточенности звезд. Он показал, что звезды с одинаковыми физическими характеристиками одинаково распределены в пространстве. Вблизи Солнца пространственные скорости звезд различны по величине и направлению и составляют относительно Солнца 20-30 км/с.

Обнаруживается и вращение вокруг центра Галактики. Участвуя в общем движении Галактики, Солнце вместе со своей системой движется со скоростью 240 км/с и делает полный оборот вокруг центра за 240 млн лет. Этот промежуток времени называют галактическим годом. Направляя радиотелескоп в разные участки Млечного Пути, ученые изучили распределение водорода в пространстве облаков, линия водорода на  $\lambda=21$  см оказалась расщепленной на несколько отдельных компонентов. По водородным линиям установлены спиральные рукава, вдоль которых образуются молодые звезды.

Лучевые скорости звезд определяют по доплеровскому смещению спектральных линий. Сравнение фотографий звезд, сделанных через достаточно большие интервалы времени, показывает наличие двух составляющих — лучевой (по направлению к наблюдателю) и тангенциальной. Для представления о пространственной скорости необходимо знать обе составляющие. Если лучевую определяют по эффекту Доплера, то для расчета тангенциальной составляющей нужно знать и расстояние до звезды. Звезды гало и диска Галактики различны и по своим пространственным скоростям: у звезд гало скорости в 4-5 раз больше.

Отличия химического состава (различное содержание тяжелых элементов) звезд гало и диска позволили выстроить последовательность жизни звезд. Предполагается, что Галактика как система звезд образовалась примерно 13 млрд лет назад. На «дозвездной», или «до-галактической», стадии развития вещество Вселенной не содержало никаких элементов, кроме водорода (3/4) и гелия (1/4). Гравитационные силы сжимали облако, и возникли первые неоднородности, среди которых выделились области с большой плотностью и в которых начался процесс звездообразования. Возникли и первые скопления звезд. Появились шаровые и рассеянные скопления, в них сформировалось некоторое количество звезд классов О и В. Они «сгорели» за 1 млрд лет, закончив свою эволюцию вспышкой сверхновой.

Более тяжелыми элементами обогатили межзвездную среду оболочки взрывающихся звезд. Первые поколения звезд содержат элементы более тяжелые, условно их называют металлами.

Появление тяжелых элементов говорит о том, что, прежде чем попасть в эти звезды, первичное вещество подверглось каким-то ядерным превращениям и обогатилось тяжелыми элементами. Большинство звезд имеют малую массу, которой недостаточно для выработки тяжелых металлов путем термоядерных реакций. Такие звезды, как наше Солнце, способны только превращать водород в гелий, поэтому их химический состав не меняется и соответствует тем химическим элементам, из которых они образовывались.

Совокупность галактик всех типов, квазаров, межгалактической среды образует Метагалактику — доступную наблюдениям часть Вселенной. Метагалактика, как и составляющие её системы, имеет специфические свойства, особенности структуры и следует собственным закономерностям развития. Красное смещение отражает, по сути дела, одно из важнейших свойств Метагалактики. Смещение линий в спектрах галактик в сторону длинных волн связано с увеличением размеров Метагалактики — «разлётом» скоплений галактик. Попытки иначе объяснить красное смещение не удались. Более того, всё новые и новые факты

наблюдений, например, открытие реликтового излучения, получают своё естественное объяснение только при подобном толковании красного смещения.

Из явления расширения Метагалактики вытекает, в частности, что раньше расстояния между галактиками и скоплениями галактик были меньше. А если учесть, что сами галактики в ранние эпохи развития были протяжёнными и разреженными газовыми облаками, то когда-то, миллиарды лет назад, границы этих облаков смыкались, т.е. все они выделялись из первоначально почти однородной газовой среды, находящейся в состоянии быстрого расширения.

Другое важное свойство Метагалактики - закономерность распределения в ней вещества. В галактиках сейчас основная масса вещества сосредоточена в звёздах, и только несколько процентов вещества, главным образом в спиральных и неправильных галактиках, приходится на межзвёздную среду (газ и пыль).

Некоторая часть материи Метагалактики находится в форме излучения и элементарных частиц. Плотность "лучистой" материи составляет менее  $10^{-3}$  от плотности вещества, но плотность, обусловленная элементарными частицами (главным образом нейтрино, если они обладают массой покоя), может оказаться достаточно большой и довести плотность материи во Вселенной до критического значения  $\sim 10\text{--}29\text{ г/см}^3$ . По мере перехода от галактик к системам галактик всё более высоких степеней организации (группы, скопления, сверхскопления) массы вещества в одинаковых объёмах, намного превышающих размеры сверхскоплений, получаются сравнимыми, а средняя плотность вещества оказывается одного порядка. С гораздо большей точностью однородность Вселенной доказывается по наблюдениям реликтового излучения, интенсивность которого одинакова по всем направлениям.

Равномерное распределение материи в масштабах Метагалактики определяет одинаковость свойств материи и пространства во всех частях Метагалактики (однородность) и одинаковость их во всех направлениях (изотропия). Эти важные свойства Метагалактики характерны, по-видимому, для современного состояния Метагалактики, однако в прошлом, в самом начале расширения, анизотропия и неоднородность материи и пространства могли существовать. Поиски следов анизотропии и неоднородности Метагалактики в прошлом представляют собой сложную и актуальную задачу внегалактической астрономии, к решению которой астрономы еще только подходят.

### **Вопросы к практическому занятию**

1. Чем галактики отличаются от звезд, если те и другие рассматривать как гравитационно связанные системы частиц?
2. Что за галактика наша Галактика?
3. Как доказать, что Солнце расположено и всегда находилось близко к галактической плоскости?
4. Каких звезд больше всего в Галактике?
5. Почему старые звезды Галактики образовали сферическую подсистему, а молодые - тонкий вращающийся диск?
6. Почему в веществе самых старых звезд Галактики очень мало тяжелых элементов, а в веществе самых молодых, наоборот, повышенное их содержание?
7. Почему спиральный узор Галактики вращается как единое целое?
8. Какие самые старые образования в Галактике?
9. Можно ли обнаружить невооруженным глазом космическую пыль в Галактике?
10. В каких галактиках на снимках отчетливо видно присутствие межзвездной пыли?
11. Какой ученый и когда открыл мир галактик?
12. По каким направлениям в пространстве видно мало звезд нашей Галактики, но больше всего других галактик?
13. Какие галактики видны невооруженным глазом?
14. Какие галактики расположены ближе всего к нашей Галактике?
15. Какая ближайшая к нам спиральная галактика?

## Практическое занятие 10,11

### Жизнь и разум во Вселенной. Часть 1,2

#### Теоретическая часть

Цивилизация – это общность разумных существ, использующих обмен информации, энергии, массы для выработки действий и средств, поддерживающих свою жизнь и прогрессивное развитие" (В.С. Троицкий).

Или Цивилизация – высокоустойчивое состояние вещества, способного собирать, абстрактно анализировать и использовать информацию для получения качественно новой информации об окружающем и самой себе, для самосовершенствования возможностей получения новой информации и выработки сохраняющих реакций. Степень развития цивилизации определяется объемом накопленной информации, программой функционирования и производством для реализации этих функций" (Н.С. Кардашов)

Ноокосмология – комплексная наука, возникшая на стыке основных естественных, общественных и технических групп наук и использующая их знания, познавательные методы и средства для исследования эволюции космических цивилизаций, в число которых входит земное человечество.

Основными *проблемами* ноокосмологии являются:

- 1) возникновение и развитие жизни, разума и космических цивилизаций на Земле и во Вселенной;
- 2) обнаружение и установление контакта с внеземными цивилизациями;
- 3) следствия контакта, влияние его на развитие цивилизаций и вопросы взаимосвязи и совместного развития космических цивилизаций (КЦ).

Исследования моделей возможной эволюции КЦ ведет к получению ценной информации о проблемах, встающих перед человечеством в ходе его дальнейшего развития.

#### Понятие внеземных цивилизаций

С позиций современной науки предположение о возможности существования внеземных цивилизаций имеет объективные основания: представление о материальном единстве мира; о развитии, эволюции материи как всеобщем ее свойстве; данные естествознания о закономерном, естественном характере происхождения и эволюции жизни, а также происхождения и эволюции человека на Земле; астрономические данные о том, что Солнце – типичная, рядовая звезда нашей Галактики и нет оснований для ее выделения среди множества других подобных звезд; в то же время астрономия исходит из того, что в Космосе существует большое разнообразие физических условий, что может привести в принципе к возникновению самых разнообразных форм высокоорганизованной материи.

В начале 1960-х гг. одним из итогов интенсивного развития астрономического познания, широкого научного международного сотрудничества в астрономии явился важный вывод: во-первых, сложились научные основания исследования проблемы внеземных цивилизаций и, во-вторых, эта проблема носит комплексный, междисциплинарный характер, решается совместными усилиями специалистов в области естественных, технических, социально-гуманитарных и философских наук. С 1960-х гг. вплоть до начала XXI в. в США, в нашей стране была проведена значительная научно-исследовательская и организационная работа в этой области. Она осуществлялась по следующим основным направлениям:

- анализ и развитие мировоззренческих и теоретических оснований проблемы внеземных цивилизаций, их возникновения, развития и проявления; выработка различных стратегий поиска и установления контактов с ними;
- разработка методов обнаружения внеземных цивилизаций (следов их активности, искусственных сигналов, которые они посылают, и т.д.);
- поиск возможных сигналов от внеземных цивилизаций, проведение наблюдений в радио и оптическом диапазонах;
- передача от нашей цивилизации сообщений внеземным цивилизациям.

Таким образом, развитие естествознания во второй половине XX в., выдающиеся открытия в области астрономии, кибернетики, биологии, радиофизики позволили перевести

проблему внеземных цивилизаций из чисто умозрительной в конкретно-научную плоскость. Впервые в истории человечества появилась возможность вести экспериментальные исследования по этой фундаментальной проблеме. К тому же эта проблема имеет глубокий практический смысл. Ведь открытие внеземных цивилизаций и установление контакта с ними могут оказать огромное влияние на научный и технологический потенциал общества, на будущее человечества.

#### Оценка распространенности внеземных цивилизаций

Первым в комплексе вопросов, связанных с научным изучением внеземных цивилизаций, является вопрос об их возможной распространенности. В настоящее время оценка возможной распространенности внеземных (космических) цивилизаций в нашей Галактике осуществляется по формуле Дрейка:

$$N = R f n k d q L,$$

где  $N$  — число внеземных цивилизаций в Галактике;  $R$  — скорость образования звезд в Галактике, усредненная по всему времени ее существования (число звезд в год);  $f$  — доля звезд, обладающих планетными системами;  $n$  — среднее число планет, входящих в планетные системы и экологически пригодных для жизни;  $k$  — доля планет, на которых действительно возникла жизнь;  $d$  — доля планет, на которых после возникновения жизни развились ее разумные формы;  $q$  — доля планет, на которых разумная жизнь достигала фазы, обеспечивающей возможность связи с другими мирами, цивилизациями;  $L$  — средняя продолжительность существования таких внеземных (космических, технических) цивилизаций.

За исключением первой величины ( $R$ ), которая относится к астрофизике и может быть подсчитана более или менее точно (около 10 звезд в год), и доли звезд, обладающих планетными системами ( $f \approx 30\%$ ), все остальные величины являются весьма неопределенными. Поэтому они рассматриваются компетентными учеными на основе экспертных оценок, которые, разумеется, носят субъективный характер.

Вот, например, вопрос о вероятности возникновения жизни. Ясно, что далеко не на всякой планете может возникнуть жизнь. Для возникновения жизни (посредством естественного отбора) необходим сложный комплекс условий.

Во-первых, значительные интервалы времени; поэтому жизнь может возникнуть только вокруг старых звезд не первого, а второго поколения, поскольку только рядом с ними могут быть остатки тяжелых элементов, оставшиеся после взрывов сверхновых звезд первого поколения.

Во-вторых, на планете должны быть соответствующие температурные условия: слишком высокая или слишком низкая температуры исключают появление жизни.

В-третьих, масса планеты не должна быть слишком маленькой: в этом случае планета быстро теряет свою атмосферу, которая попросту испаряется. Чем легче газ, тем быстрее он уходит за пределы планеты. Масса планеты не должна быть и очень большой, чтобы не удерживать свою первоначальную атмосферу (из водорода и гелия), не препятствовать изменению ее состава и появлению вторичной атмосферы.

В-четвертых, наличие жидкой оболочки на ее поверхности: первичные формы жизни, скорее всего, возникли в воде.

И наконец, в — пятых, на планете должны быть условия для возникновения сложных молекулярных соединений, на основе которых могут протекать разнообразные химические процессы.

В результате учета всех этих условий оказывается, что лишь у 1—2% всех звезд в Галактике могут быть планетные системы с явлениями жизни. Иначе говоря, при самых оптимальных оценках около 1 млрд звезд могут иметь планетные системы, на которых в принципе возможна жизнь.

Далее необходимо определить вероятность возникновения разумных форм жизни, достижения ими фазы цивилизации, продолжительности существования цивилизации. Здесь спектр оценок оказывается еще более разнообразным. В итоге остается неопределенность в

оценке общей величины  $N$ : от  $10^9$  цивилизаций в Галактике до одной цивилизации в нескольких соседних галактиках. Однако в последние годы в связи с открытием большого количества планет у других звезд экспертные оценки сдвинулись в сторону большой вероятности существования внеземных цивилизаций.

#### Типы контактов с внеземными цивилизациями

Тема контактов с внеземными цивилизациями, пожалуй, одна из самых популярных в научно-фантастической литературе и кинематографии. Она вызывает, как правило, самый горячий интерес у поклонников этого жанра, всех, интересующихся проблемами мироздания. Но художественное воображение здесь должно быть подчинено жесткой логике рационального анализа. Такой анализ показывает, что возможны следующие типы контактов: непосредственные контакты, т.е. взаимные (или односторонние) посещения; контакты по каналам связи; контакты смешанного типа — посылка к внеземной цивилизации автоматических зондов, которые передают полученную информацию по каналам связи.

Конечно, наиболее привлекательны контакты первого типа, но именно они наиболее трудны в реальном осуществлении. Основная трудность связана с длительностью полета к другим цивилизациям, которая может быть больше времени жизни самой земной цивилизации. Отсюда возникает вопрос о возвращении, ценности привезенной информации, а значит, и смысле самого полета. Например, при полетах к далеким звездам со скоростями, много меньшими скорости света ( $v \ll c$ ), требуются тысячелетия, а значит, такие полеты возможны только к ближайшим звездам.

Теоретические аспекты таких проектов учеными обсуждаются, хотя до их практического осуществления еще очень далеко.

Так называемые фотонные ракеты позволили бы перемещаться в пространстве со скоростями, близкими к скорости света ( $v \sim c$ ). При этом путешествия в отдаленные области Галактики (и даже в другие галактики) заняли бы время жизни одного поколения космонавтов. Но согласно теории относительности, в условиях такого полета время сокращается только для экипажа космического корабля, а для жителей Земли оно будет течь как в нерелятивистской системе. Это значит, что за время путешествия на Земле пройдут сотни и тысячи лет.

Правда, учитывая эти аргументы, иногда высказывают идею космического путешествия без возвращения на Землю, т.е. межзвездного перелета со сменой поколений во время полета. В будущем эта проблема, очевидно, будет в принципе технически решаемой. Но ее смысл уже иной — это расселение земной цивилизации во Вселенной. Оценка целесообразности такого расселения — дело наших далеких потомков.

В настоящее время реально возможными контактами с внеземными цивилизациями являются контакты по каналам связи. Если время распространения сигнала в обе стороны  $t$  больше времени жизни цивилизации ( $t > L$ ), то речь может идти об одностороннем контакте. Если же  $t \ll L$ , то возможен двусторонний обмен информацией. Современный уровень естественнонаучных знаний позволяет серьезно говорить лишь о канале связи с помощью электромагнитных волн, тем более что сегодняшняя радиотехника может реально обеспечить установление такой связи.

Поиск сигналов от внеземных цивилизаций — это одна сторона контакта с ними. Но существует и другая — сообщение таким цивилизациям о нашей, земной цивилизации. Поэтому наряду с поисками сигналов от космических цивилизаций неоднократно направлялись послания внеземным цивилизациям. В 1974 г. с радиоастрономической обсерватории в Аресибо (Пуэрто-Рико) в сторону шарового скопления М-31, находящегося от Земли на расстоянии 24 тыс. световых лет, было направлено радиопослание, содержащее закодированный текст о жизни и цивилизации на Земле. В 2001 г. была организована передача (к 6 звездам солнечного типа в радиусе 70 световых лет от Солнца) первого радиопослания внеземным цивилизациям от детей Земли. Информационные сообщения также помещались на космические аппараты, траектории которых обеспечивали им выход за пределы Солнечной системы.

Конечно, очень мало шансов на то, что эти послания когда-либо достигнут цели, но начинать с чего-то надо. Важно, что человечество не только серьезно задумывается о контактах с разумными существами из других миров, но уже и оказывается способным налаживать такие контакты, пусть в самой простейшей форме.

### Поиски внеземных цивилизаций

Изучение внеземных цивилизаций направлено на установление той или иной формы связи с ними. Эти связи могут быть косвенные и прямые (выявление сигналов, направляемых такими цивилизациями либо нам, либо какой-нибудь другой цивилизации, либо безадресно).

В настоящее время наметилось несколько направлений поиска следов активности внеземных цивилизаций.

Во-первых, поиск следов астроинженерной деятельности внеземных цивилизаций. Это направление базируется на предположении, что технически развитые цивилизации рано или поздно должны перейти к преобразованию окружающего космического пространства (создание искусственных спутников, искусственной биосферы и др.), в частности для перехвата значительной части энергии звезды. Как показывают расчеты, излучение основной части таких астроинженерных сооружений должно быть сосредоточено в инфракрасной области спектра. Следовательно, задача обнаружения подобных внеземных цивилизаций должна начинаться с поиска локальных источников инфракрасного излучения или звезд с аномальным избытком инфракрасного излучения. Такие исследования в настоящее время ведутся. В результате было обнаружено несколько десятков инфракрасных источников, однако пока нет оснований связать какой-либо из них с внеземной цивилизацией.

Во-вторых, поиск следов посещения Земли внеземными цивилизациями. В основе этого направления лежит допущение о том, что активность внеземных цивилизаций могла проявляться в историческом прошлом в виде посещения Земли, и такое посещение не могло не оставить следов в памятниках материальной или духовной культуры различных народов. Так проблема внеземных цивилизаций сближается с историей культуры, археологией, где также имеется много «белых пятен», загадок, тайн и проблем. На этом пути немало возможностей для различного рода сенсаций — ошеломляющих «открытий», квазинаучных мифов о космических истоках отдельных культур. Так, рассказом о космонавтах называют легенды о вознесении святых на небо. Необъяснимые пока постройки больших каменных сооружений также не доказывают их космического происхождения. Например, спекуляции такого рода вокруг гигантских каменных идолов на острове Пасхи были развеяны Т. Хейердалом: потомки древнего населения этого острова показали ему, как это делалось не только без вмешательства космонавтов, но и без всякой техники. В этом же ряду находится и гипотеза о том, что Тунгусский метеорит был не метеоритом или кометой, а космическим кораблем инопланетян. Такого рода гипотезы и предположения необходимо исследовать самым тщательным образом.

В-третьих, поиск сигналов от внеземных цивилизаций. Данная проблема в настоящее время формулируется, прежде всего, как проблема поиска искусственных сигналов в радио- и оптическом (например, остронаправленным лучом лазера) диапазонах. Наиболее вероятной является радиосвязь. Поэтому важнейшей задачей оказывается выбор оптимального диапазона волн для такой связи. Анализ показывает, что наиболее вероятны искусственные сигналы на волнах  $\lambda \equiv 21$  см (радиолиния водорода),  $\lambda \equiv 18$  см (радиолиния OH),  $\lambda \equiv 1,35$  см (радиолиния водяного пара) или же на волнах, скомбинированных из основной частоты с какой-либо математической константой ( $\pi$ ,  $e$  и др.).

Серьезный подход к поиску сигналов от внеземных цивилизаций требует создания постоянно действующей службы. Такая служба должна быть достаточно универсальной — рассчитанной на прием сигналов различного вида (импульсных, узкополосных и широкополосных).

Первые работы по поиску сигналов внеземных цивилизаций были выполнены в США в 1960 г. Исследовалось радиоизлучение ближайших звезд ( $\alpha$  Кита и  $\epsilon$  Эридаана) на волне 21 см. В

последующем (1970—1980-е гг.) такие исследования проводились и в СССР. С 1972 г. поиски в оптическом диапазоне проводились на орбитальных станциях.

Целенаправленный поиск внеземных цивилизаций осуществляется уже свыше сорока лет. Однако итоги оказываются обескураживающими. За сорок с лишним лет проведения в различных странах систематических наблюдений с целью обнаружения признаков внеземных цивилизаций или сигналов от них положительных результатов получено не было. Ни очевидных признаков существования мощных внеземных цивилизаций (сверхцивилизаций), следов их активности, ни сигналов, которые можно было трактовать как искусственные, передаваемые внеземными цивилизациями, обнаружить не удалось. Эту ситуацию определили как астросоциологический парадокс: теоретические предсказания, оценки и ожидания противоречат бесспорным результатам эксперимента.

Чем же объяснить молчание Космоса.

В ходе обсуждения этого вопроса были высказаны самые различные точки зрения: завышенные оценки количества внеземных цивилизаций; слабость наших средств и методов наблюдения (не так, не там, не теми средствами ищем); непродолжительность существования цивилизаций; большой разброс возрастов цивилизаций, приводящий к тому, что период времени, когда возможно взаимное понимание, весьма короток; большинство цивилизаций намного старше нас и поэтому нам сложно вообразить их возможности. Может быть, таинственные мощнейшие гаммавсплески во Вселенной продукты их активности; и уж совсем «приземленное» объяснение цивилизации конкурируют между собой, ведут «звездные войны» и потому конспирируются и т.д. и т.п. Как всегда бывает в таких случаях, глубинной основой всех таких объяснений, в конечном счете, является тональность личностного мироощущения, настроения их автора — либо оптимистическая, либо пессимистическая.

Хотелось бы обратить внимание на два возможных следствия из астросоциологического парадокса. Во-первых, он, по нашему мнению, призывает еще и еще раз задуматься над вопросом о смысле общения с внеземными цивилизациями. Даже при условии, что такая цивилизация расположена от нас всего лишь на расстоянии 50 или 100 световых лет, для обмена информацией с ней нужно соответственно 100 или 200 лет! За это время на Земле сменится несколько поколений людей, значительно изменятся научные возможности, технический потенциал, цели и задачи нашей человеческой цивилизации, т.е. в конце концов, основные смыслы контекстов переданной и полученной информации будут разительно различаться. Вплоть до того, что полученная нами информация может для нас быть уже не нужной и не новой. И совсем очевидна буквальная «бессмысленность» такого общения, если цивилизация, с которой мы хотим обмениваться информацией, расположена от нас на сотни, тысячи и десятки тысяч световых лет в нашей Галактике (напомним, что ее диаметр 100 тысяч световых лет), не говоря уже о межгалактическом общении.

Во-вторых, есть еще одна сторона в вопросе о смысле общения цивилизаций. Все цивилизации — частицы и продукты, результаты развития одной и той же, «нашей» Вселенной, все они живут по ее законам и познают их. В системе таких законов выделяются общие и частные законы. Общие законы — это фундаментальный базис Вселенной, придающий ей целостность и единство. Они являются предметом физики, астрономии и космологии. И здесь важно иметь в виду, что общие законы Вселенной могут быть познаны в любой ее точке; для их познания нет необходимости в посещении различных частей Вселенной, в межзвездных и межгалактических путешествиях.

Но ведь уже сейчас в эксперименте можно воссоздавать состояния Вселенной, когда ее время было  $10^{-12}$  с, а теоретически моделировать ее состояния вплоть до  $10^{-30}$  с. Дальнейшее развитие науки, несомненно, позволит еще дальше углубиться в начало Вселенной. Любая другая разумная цивилизация, так или иначе, осваивает те же общие законы природы, в меньшей или большей мере продвинувшись по сравнению с нами.

Конечно, есть и множество частных законов, проявляющихся в разных звездных системах, галактиках, их скоплениях. И потому живые системы могут существовать не только на углеродной, а, допустим, на кремниевой основе, внешний облик и способы

жизнедеятельности неземных носителей разума могут иметь самые поразительные свойства, о которых любят писать авторы научно-фантастических произведений. Но принципиально нового приращения фундаментального знания, знания общих законов нашей Вселенной эти частные законы не дают. А общие законы могут быть познаны во всех точках Вселенной. И это, возможно, еще одна причина, почему внеземные цивилизации не видят глубинного смысла в обмене информацией. Таким образом, каждая цивилизация ведет себя так, как будто она одинока во Вселенной.

Наука сделала новое открытие: наша Галактика-это еще не вся Вселенная. За самыми далекими звездами Млечного Пути находятся другие галактики, похожие на нашу и простирающиеся в пространстве до пределов видимости наших крупнейших телескопов. Грандиозные звездные системы - одни из самых потрясающих и наиболее изучаемых современной астрономией объектов. И не известно сможет ли человечество познать их.

Нельзя отвергать полностью мнение, что Человечество одиноко если не во всей Вселенной, то, во всяком случае, в нашей Галактике. Такое мнение влечет за собой важнейшие мировоззренческие выводы о значении и ценности земной цивилизации, ее достижений. Вполне возможно, что наша планета Земля является высшим «цветом» развития всей или, по крайней мере, огромной части Вселенной, в человечестве сконцентрированы все основные результаты, итоги саморазвития Мира, Природы. Это значит, что мы, люди, человечество, в огромной степени ответственны — не только за нашу планету, но и за развитие Вселенной в целом.

#### **Вопросы к практическому занятию**

1. В чём заключается сущность антропоморфного принципа?
2. На каких планетах Солнечной системы учёные предполагают возможность существования жизни?
3. Каким образом можно оценить число внеземных цивилизаций в нашей Галактике?
4. Почему формула Ф. Дрейка даёт значительную неопределённость в оценке количества цивилизаций в Галактике, готовых к контакту с нами?
5. Каким образом человечество пытается установить контакты с внеземными цивилизациями?

**Список используемой литературы**  
**Основная литература**

1. Астрономия. 11 класс Б. А. Воронцов-Вельяминов, Е. К. Страут — М. : Дрофа, 2018.

**Дополнительная литература**

1. Логвиненко, О.В. Астрономия eПриложение : учебник / Логвиненко О.В. — Москва : КноРус, 2020. — 263 с. — (СПО). —<https://www.book.ru/book/934186>