

## Лекция 2. Основы практической астрономии

### Астрономические исследования

**Основными методами астрономических исследований** являются астрономические наблюдения и измерения, осуществляемые посредством разнообразных астрономических приборов и космические исследования, выполняемые различными космическими аппаратами.

В результате наблюдений ученые получают свыше 90 % информации о космических процессах, явлениях и объектах.

Главной особенностью астрономических наблюдений до сих пор остается их пассивность по отношению к изучаемым объектам. До начала космической эры в астрономии не могло быть экспериментальных исследований. В настоящее время возможность прямого изучения космических тел ограничена пределами Солнечной системы. Ученые не могут активно влиять на космические явления и, тем более на космические процессы.

Другой особенностью астрономических исследований является необходимость объяснения новых открытий задолго до создания их полной теории.

До середины XIX в. астрономы изучали лишь видимый свет космических объектов. В XX в. исследования распространились на их радиоволновое, инфракрасное (тепловое) и ультрафиолетовое излучение. Космонавтика позволила изучать космические объекты во всем диапазоне их излучения.

В зависимости от характеристик исследуемого излучения астрономию стали подразделять на оптическую астрономию, радиоастрономию, инфракрасную астрономию, ультрафиолетовую астрономию, рентгеновскую и гамма-астрономию, изучающие соответственно видимый свет, радиоволны, инфракрасные, ультрафиолетовые, рентгеновские и гамма-лучи, испускаемые космическими объектами.

Основными инструментами астрономических исследований являются телескопы.

**Телескоп** – приемник излучения космических объектов, предназначенный для астрономических наблюдений.

По видам воспринимаемого электромагнитного излучения телескопы подразделяются на радиотелескопы, инфракрасные (ИК-) телескопы, оптические телескопы, ультрафиолетовые (УФ-) телескопы, рентгеновские и  $\gamma$ -телескопы. Кроме того, в настоящее время к

телескопам стали относить некоторые приемники элементарных частиц и детекторы космических лучей, используемые для астрономических исследований (нейтринные телескопы, детекторы гравитационных волн и т.д.). Чем мощнее телескоп, тем больше излучения он способен уловить, тем менее яркие и удаленные объекты можно наблюдать с его помощью и тем большего увеличения видимых угловых размеров светил можно будет добиться.

Помимо телескопов и в сочетании с ними астрономы используют различные угломерные, фотометрические, спектральные и другие приборы. Результаты наблюдений фиксируются и сохраняются на бумаге, фотографиях, видеозаписи, памяти компьютеров.

Телескопы устанавливаются в астрономических обсерваториях. **Астрономические обсерватории** – специальные научно-исследовательские учреждения, оснащенные различными астрономическими инструментами и приборами для обработки результатов наблюдений.

В настоящее время на Земле около 500 обсерваторий, большая часть которых расположена в Северном полушарии. В России действует свыше 10 обсерваторий и почти столько же в странах СНГ. Наиболее крупными являются: Гринвичская (Великобритания), Пик-дю-Миди (Франция), Гарвардская, МаунтПаломар и Гавайская (США), России (ГАО и САО), Главная и Специальная астрофизические обсерватории.

### 1. Методы и приборы астрономических исследований

Анализ электромагнитного излучения космических объектов дает астрономам свыше 90 % сведений об их физической природе, основных характеристиках и особенностях, космических явлениях и процессах. Все свои данные ученые получают на основе:

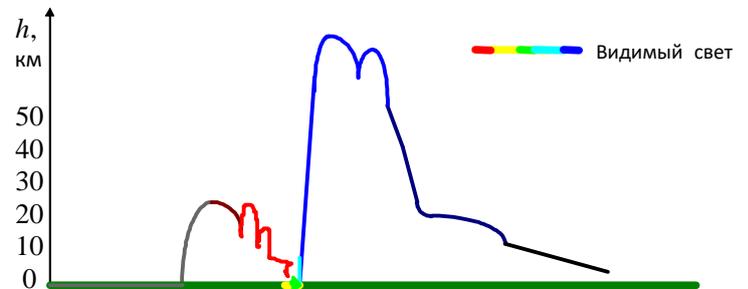
- измерения количества квантов света, приходящих от источника за единицу времени на единицу площади, определение блеска светила – этим занимается астрофотометрия;

размеров	-	область	<u>1</u>	<u>0,1</u>	<u>10<sup>-2</sup></u>	<u>10<sup>-7</sup></u>	<u>10<sup>-9</sup></u>
астрометрии.		λ, м					
Наземные			Радиоизлучение	ИК-	<b>Видимый</b>	УФ-	
астрофизические		Рентгеновское	γ-лучи		Диапазоны		
исследования имеют свои							

излучение свет излучение излучение  
излучения

### Рис. 1. Прозрачность земной атмосферы для различных диапазонов электромагнитного излучения

- изучение распределения излучения по длинам волн (частотам) спектра — этим занимается астроспектроскопия ;



- определение направления излучения (небесных координат) источника и его угловых

особенности, определяемые прозрачностью земной атмосферы для разных диапазонов электромагнитного излучения (см. рис. 1).

Земная атмосфера имеет два «окна прозрачности»: в диапазоне радиоволн длиной от 1 мм до 15-30 м и в оптическом диапазоне ( $0,3 \text{ мкм} < \lambda < 1,5-2 \text{ мкм}$ ). Остальное электромагнитное излучение поглощается или рассеивается молекулами и атомами воздуха. Энергия квантов света возрастает с уменьшением длины волны:  $E_{\text{кв}} = h \cdot \nu$ .

Человеческий глаз воспринимает излучение в диапазоне от  $4 \cdot 10^{-7}$  до  $7,6 \cdot 10^{-7}$  м, проявляя наибольшую чувствительность к лучам желто-зеленой части спектра с  $\lambda = 555 \text{ нм}$ , на которую приходится максимум спектральной плотности энергетической светимости Солнца и которая менее всего поглощается земной атмосферой. С уменьшением освещенности земной поверхности в сумерках, ночью, глаз становится более чувствительным к обладающим большей энергией лучам синефиолетовой части спектра ( $\lambda = 507 \text{ нм}$ ). Тренированный глаз способен различать цвета (участки спектра) с разностью длин волн в  $2 \cdot 10^{-9}$  м.

Чем больше солнечной энергии падает на листья растений, тем интенсивнее идет процесс фотосинтеза. Поэтому флора равнин окрашена в зеленый цвет, а высокогорные растения имеют голубовато-синий оттенок.

У раскаленных звезд, обладающих температурой видимой поверхности от 3000 К до 10000 К максимум энергетической светимости лежит в видимой части спектра, и мы воспринимаем звезды как

«самосветящиеся» космические тела. У планетных тел максимум собственной энергетической светимости находится в инфракрасной и радиоволновой части спектра (для Земли  $\lambda_{\max} \approx 0,01$  мм). Поэтому собственное излучение планет остается невидимым для наших глаз: говорят, что планеты «светят отраженным светом» (на самом деле все планеты-гиганты Солнечной системы излучают энергии больше, чем получают от Солнца).

Одним из основных методов астрофизических исследований является **астрофотометрия**, определяющая энергетические характеристики объектов путем измерения энергии их электромагнитного излучения. Основными понятиями астрофотометрии являются «блеск» и «звездная величина» небесного светила.

**Блеск** небесного светила – это освещенность, создаваемая им в точке на-

блюдения:  $E = \frac{L}{4\pi r^2}$ , где  $L$  – количество энергии, излучаемое светилом;  $r$  –

$4\pi r^2$

расстояние от светила до Земли.

Для измерения блеска в астрономии используют особую единицу измерения – **звездную величину**. Звездная величина светила обозначается числом с латинской буквой « $m$ » на месте показателя степени.

Формула перехода от звездных величин к единицам освещенности, при-

нятым в физике:  $E = 10^{-13,89 m - 2,5 \lg E \cdot m}$

**Звездная величина** – это условная (безразмерная) величина испускаемого светового потока, характеризующая блеск небесного светила, выбранная таким образом, что интервал в 5 звездных величин соответствует изменению блеска в 100 раз. Одна звездная величина отличается от другой ровно в 2,512 раз. Объекты, блеск которых в 2,512 раза превосходит блеск «первой величины» ( $1^m$ ), называются объектами «нулевой величины» ( $0^m$ ), более ярким присваиваются отрицательные значения звездных величин ( $-1^m$ ,  $-2^m$  и т.д.).

Блеск Солнца  $-26,8^m$ . Блеск Луны в полнолуние  $-12^m$ . Блеск Венеры вблизи нижнего соединения до  $-4,6^m$ . Самая яркая из звезд – Сириус, а Большого Пса, имеет блеск  $-1,2^m$ . Самые слабые из космических объектов, наблюдаемых в настоящее время, имеют блеск  $28^m - 29^m$ .

**Формула Погсона** связывает блеск светил с их звездными величинами:

$E^{E-12} = 2.512^{m_2 - m_1}$  или  $\lg E^{E-12} = 0.4(m_2 - m_1)$ , где  $E_1$  и  $E_2$  – освещенность от каждого из светил,  $m_1$  и  $m_2$  – их видимые звездные величины.

Определяемая звездная величина зависит от общей и спектральной чувствительности приемника излучения.

Визуальная звездная величина ( $m_v$ ) определяется прямыми наблюдениями и отвечает спектральной чувствительности человеческого глаза.

Фотографическая звездная величина ( $m_p$ ) определяется измерением освещенности светилом на фотопластинке, чувствительной к сине-фиолетовым и ультрафиолетовым лучам.

Болометрическая звездная величина ( $m_b$ ) отвечает полной мощности излучения светила. Определяется прибором болометром<sup>1</sup>.

Звезды и другие удаленные объекты, не имеющие видимых угловых размеров, могут служить моделью точечного источника света. Испускаемые ими лучи движутся практически параллельно. Для протяженных, имеющих большие угловые размеры объектов определяется интегральная (общая) звездная величина, равная сумме блеска его частей.

До середины XIX в. фотометрия космических объектов была исключительно визуальной: для измерения световых характеристик космических объектов использовался человеческий глаз. В визуальных фотометрах блеск светила сравнивается с яркостью искусственного источника света, изменяемого с помощью дымчатого клина или системы поляризаторов. Точность измерений достигает 0,02<sup>m</sup>.

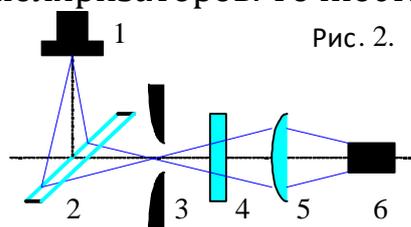
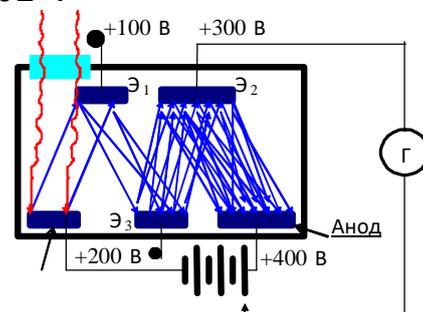


Рис. 2.

**Схема**

**электрофотометра:**

- 1 — окуляр
- 2 — телескопа,
- 3 — диагональное зеркало



для контроля изображения,

- 3 — диафрагма,
- 4 — светофильтры,
- 5 — линза для фокусировки

<sup>1</sup> Болометр – тонкая, зачерненная сажей или окисью серебра проволока, включенная в электрическую цепь. При нагревании ее сопротивление изменяется.

светового пучка, Катод

б— фотоэлемент или ФЭУ Рис. 3. Схема ФЭУ

В современной астрофотометрии широко используются фотоэлектрические фотометры, обеспечивающие точность измерения до  $0,1^m$  (принцип действия основан на применении светочувствительных фотоэлементов), фотоэлектрические умножители (ФЭУ).

В ФЭУ поток квантов света, падающий на фотокатод К, выбивает из него электроны (явление внешнего фотоэффекта), ускоряемые электрическим полем и попадающие на эмиттер Э<sub>1</sub>, выбивая из него новые электроны, которые ускоряются и падают на второй эмиттер и т. д.; поток электронов падает на анод, возникший электрический ток регистрируется гальванометром. Точность фотометрических измерений составляет свыше  $0,01^m$  (до  $0,003^m$ ).

Важнейшими устройствами для регистрации излучения космических объектов в современной астрофизике служат электронно-оптические преобразователи и ПЗС-камеры.

Действие электронно-оптического преобразователя (ЭОП) основано на использовании явления фотоэффекта. Излучение светила падает на фотокатод, покрытый веществом, для которого «красная граница фотоэффекта» находится в инфракрасной части спектра. Вылетевшие из катода электроны ускоряются в электрическом поле и попадают на люминесцентный экран. Чувствительность фотонных приемников в десятки раз выше, чем у тепловых приборов. Чем ниже температура приемника ИК-излучения, тем выше его чувствительность, чем лучше он защищен от тепловых помех из внешней среды, поэтому корпуса приемников охлаждают в жидком азоте (78 К) и даже жидком гелии (4,2 К). Их разрешающая способность достигает  $0,1''$ .

ПЗС-камеры (ПЗС – прибор с зарядовой связью) представляют собой светочувствительные (в основном кремниевые) полупроводниковые микросхемы с набором матриц элементов-пиксел, каждый из которых способен накапливать электрический заряд пропорционально своей освещенности. Оптическое изображение в фокальной плоскости телескопа преобразуется в распределение заряда по ПЗС-матрице. Полученные данные обрабатываются электронным устройством (компьютером) и фиксируются. Простые ПЗС-матрицы являются одной из главных деталей видеокамер. Астрономические ПЗС-матрицы отличаются от них сложностью, большей чувствительностью, увеличенным числом пикселов.

Первые фотографические наблюдения космических объектов начались в 40-х годах XIX в. Астрономы высоко ценят преимущества **астрофотографии** перед визуальными наблюдениями: интегральности – способности фотоэмульсии постепенно накапливать световую энергию (с помощью обычного фотоаппарата на установке с часовым механизмом за 15 мин. экспозиции можно получить снимки звезд до 9<sup>m</sup>, за 1 ч до 11<sup>m</sup>); моментальности; панорамности; объективности – на нее не влияют личные особенности наблюдателя. Фотография является своеобразным документом: многие астрономические открытия были сделаны или уточнены, доказаны с помощью фотографий, сняты десятки лет назад, поэтому их негативы хранятся в специальных архивах обсерваторий. Обычная фотоэмульсия более чувствительна к сине-фиолетовому излучению, однако в настоящее время астрономы применяют при съемке космических объектов фотоматериалы, чувствительные к различным частям спектра электромагнитных волн, не только к видимым, но и к инфракрасным и ультрафиолетовым лучам. Чувствительность современных фотоэмульсий составляет десятки тысяч единиц ISO. Широкое применение получили киносъемка, видеозапись, применение телевидения.

Телескопы, предназначенные для проведения фотографических наблюдений, называются **астрографами**.

Открытие основ спектрального анализа в середине XIX в. произвело подлинную революцию в астрофизике. **Спектральный анализ** позволил установить основные физические характеристики космических тел, судить о процессах, протекающих в их атмосферах и на поверхности.

Первые спектральные наблюдения космических тел производились визуально, при помощи спектроскопа, вмонтированного в окулярный узел телескопа. Затем спектры космических тел стали фотографироваться.

В настоящее время ученые изучают спектры космических объектов на всем протяжении шкалы электромагнитных волн: от радио- до  $\gamma$ -диапазона. Исследуется как тепловое излучение, испускаемое веществом за счет внутренней энергии движения его молекул и атомов при переходе электронов с одного энергетического уровня на другой и их рекомбинации ( $10^9 < \lambda < 10^{-3}$  м), так и нетепловое излучение ( $\lambda < 10^{-9}$  м и  $\lambda > 10^{-3}$  м), возникающее при ускоренном движении электронов, атомном распаде и других процессах.

Механизм и особенности излучения определяются из характера непрерывного спектра.

Спектральный анализ позволяет определять следующие характеристики космических объектов:

$\Phi_{(Дж\cdot АТ)}$

1. Температура вычисляется по закону Вина: длина волны, на которую приходится максимум спектральной плотности энергетической светимости, обратно пропорциональна температуре тела:

$\lambda_{max} = \frac{b}{T}$ , где  $b = 2,898 \cdot 10^{-3}$  м·К- постоянная Вина.

$T$

2. Светимость рассчитывается на основе  $I, \text{ нм}$

данных о ширине спектральных линий. Рис. 4. Закон Вина

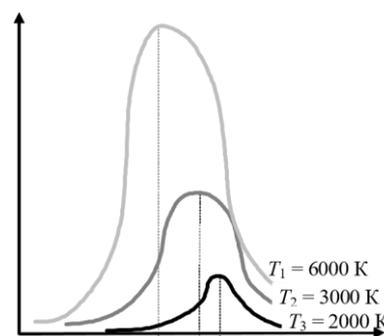
3. Химический состав. Сравнивая положение линий (полос) поглощения или излучения в спектре космического тела и эталонных спектрах различных химических элементов и соединений, ученые определяют качественный химический состав, а по яркости (интенсивности) линий и полос судят о количественном (процентном) содержании каждого элемента или соединения.

4. Степень ионизации и состояние вещества, концентрации вещества, давление и масса газа в туманностях и звездах.

5. Наличие и мощность магнитных полей. В результате воздействия магнитных полей космических объектов на их излучение каждая линия в спектре «расщепляется» на 2 или более линии-близнеца (эффект Зеемана-Штарка).

6. Характеристики движения: наличие и скорость вращения, направление и скорость перемещения в пространстве относительно наблюдателя, а в ряде случаев и расстояние до них. По принципу Доплера при сближении наблюдателя с источником излучения длины волн излучения укорачиваются (линии в оптическом спектре равномерно сдвигаются в фиолетовую часть спектра); при удалении объекта спектральные линии сдвигаются в красную часть спектра. Вращение космических тел обнаруживается по регулярному смещению линий в оба конца от среднего положения.

По спектру космических объектов, наблюдаемых как единое целое даже в мощнейшие телескопы, можно установить, какие из них на самом



деле являются системами космических тел, и какие тела с какими характеристиками входят в эти системы: спектры их просто «накладываются» один на другой.

Возможность определения физических характеристик космических объектов независимыми способами (на основе фотометрических данных, изучения спектров и т.д.) позволяет их проверять, уточнять и свидетельствует об истинности и объективности и единстве законов физики для всей известной нам части Вселенной.

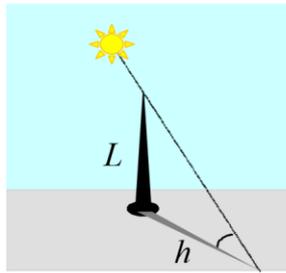
### • Угломерные приборы

Необходимость измерения углов между небесными светилами и основными точками и линиями небесной сферы и точного определения моментов времени привела к созданию **угломерных приборов** астрометрии.

Гномон в простейшем варианте представляет собой вертикальный стержень, отбрасывающий тень на горизонтальную плоскость. Зная длину гномона  $L$  и измерив длину отбрасываемой им тени  $l$ , можно найти угловую высоту Солнца над горизонтом  $h$  по формуле:  $\operatorname{tg} h = \frac{l}{L}$ . Древние астрономы использовали гномон для измерения полуденной высоты Солнца в различное время года, главным образом для ведения календаря: гномон позволяет зафиксировать дни летнего и зимнего солнцестояний, определять продолжительность солнечного года, географические координаты местности и может использоваться в качестве простейших солнечных часов. Измерения будут тем точнее, чем выше гномон и, следовательно, длиннее отбрасываемая им тень. Самый высокий гномон имел высоту 90 м (Флоренция, XV век).

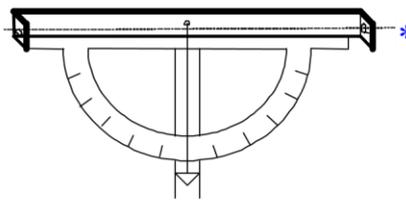
Высотомер служил для измерения высоты (зенитного расстояния) светила над горизонтом и для измерения угловых расстояний между светилами. К данному типу угломерных инструментов относятся скафис, звездный посох, квадрант, секстант, октант и модель небесной сферы (армилярная сфера).

Чем крупнее был угломерный инструмент, чем точнее была его градуировка и установка в вертикальной плоскости, тем более точные измерения можно было с ним проводить.



#### Гномон:

Зная длину гномона  $L$  и измерив длину отбрасываемой им тени  $l$ , можно найти угловую высоту Солнца над горизонтом  $h$  по формуле:  $\operatorname{tg} h = \frac{L}{l}$



Простейший высотмер состоит из деревянной линейки с визирами на концах к которым крепится транспортир и небольшой отвес. После наводки линейки на светило производится отсчет его высоты по шкале транспортира. Последовательное уменьшение “работающей” части дуги транспортира до  $1/4$ ,  $1/6$  и  $1/8$  части окружности соответственно превращает прибор в квадрант, секстант, октант.

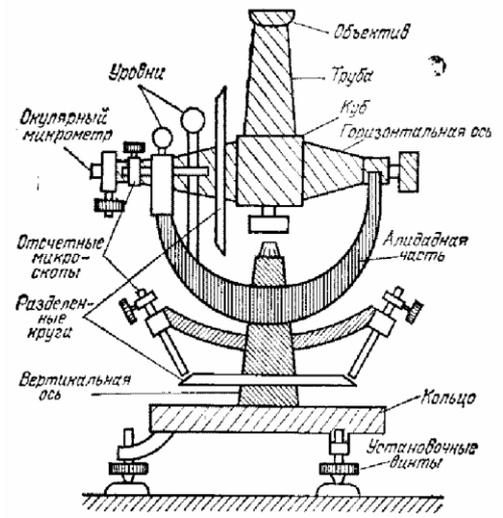


Схема универсального инструмента

### Рис. 5. Угломерные приборы

Изобретение телескопа позволило значительно повысить точность астрометрических наблюдений. Современный угломерный инструмент состоит из вертикального и горизонтального кругов (лимбов) со шкалами измерений, соединенных с соответствующими осями вращения и служащих для отсчета углов, и небольшого телескопа («астрономической трубы») в роли визира.

Универсальный инструмент предназначен для измерения горизонтальных координат светил с точностью до  $5''$ - $10''$  в любой точке земного шара и применяется для определения географических координат места наблюдения и азимутов наземных объектов. Для измерения горизонтальных и вертикальных углов в геодезии применяется разновидность универсального инструмента, называемая теодолитом. Менее точный, но портативный и простой в обращении секстант позволяет одновременно визировать объекты, между которыми измеряется угол при совмещении их изображения в поле зрения астрономической трубы.

Астрономические трубы меридианного круга и пассажного инструмента строго ориентированы и могут вращаться лишь в плоскости небесного меридиана. Данные инструменты служат для наблюдения светил вблизи кульминаций с целью определения их небесных координат с точностью до  $0,1''$  –  $1''$  и для определения точного времени по звездам.

Высокоточные приборы – зенит-телескоп (применяются для измерения малых разностей зенитного расстояния звезд вблизи зенита для определения точного значения географической широты обсерватории, изучения движения земных полюсов, определения

времени с максимально возможной точностью и т.д.), призменная астролябия, фотографическая зенитная труба и т.д. – требуют стационарной установки на специализированных астрометрических обсерваториях.

• **Телескопы: основные схемы и характеристики**

Оптические телескопы подразделяются на:

**Рефракторы** – телескопы, объектив которых представляет собой линзу или систему линз.

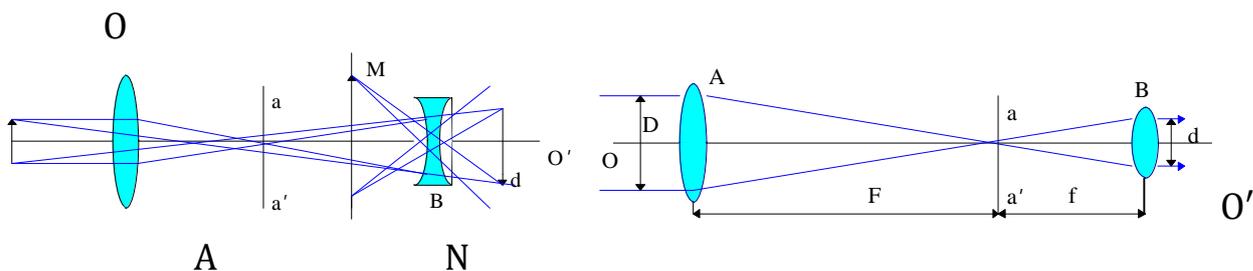


Рис. 6. **Оптическая схема рефрактора Галилея**      **Оптическая схема рефрактора Кеплера**

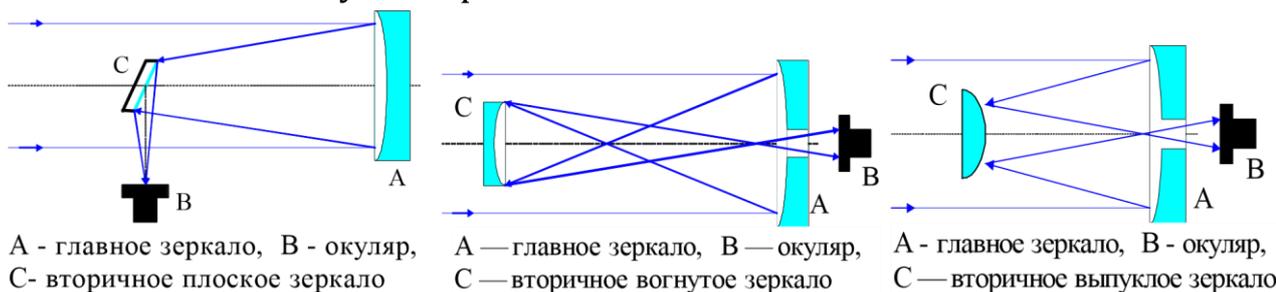
$D$  – диаметр объектива,  $d$  – «выходное отверстие» окуляра,  $F$  – фокусное расстояние объектива,  $f$  – фокусное расстояние окуляра,  $aa'$  – фокальная плоскость,  $MN$  – изображение объекта

Объективы современных рефракторов представляют собой системы линз из оптических материалов с разным коэффициентом преломления (чаще всего из сортов кварцевого стекла, флингласа и кронгласа) для борьбы с хроматической аберрацией. Путем придания линзам объектива параболической формы уменьшается сферическая аберрация; при специальном подборе и размещении линз уменьшаются и другие виды аберраций.

Исторически сложились две основные схемы телескопов-рефракторов: схема Галилея дает прямое изображение (и поэтому широко используется в биноклях и зрительных трубах), схема Кеплера – перевернутое. При одинаковых фокусных расстояниях объективов и окуляров у телескопа Галилея будет большее поле зрения при меньшем увеличении, чем у телескопа Кеплера.

Самый крупный рефрактор имеет диаметр объектива около 1 м. Он был изготовлен в конце прошлого в. В начале XX в. в России был заказан объектив диаметром более 1 м, но начавшаяся Первая мировая война и последующая революция помешали постройке в нашей стране крупнейшего в мире телескопарефрактора.

**Рефлекторами** называются телескопы, объективы которых представляет собой вогнутое зеркало.



A - главное зеркало, В - окуляр, С- вторичное плоское зеркало

A — главное зеркало, В — окуляр, С — вторичное вогнутое зеркало

A - главное зеркало, В - окуляр, С — вторичное выпуклое зеркало

Оптическая схема Ньютона

Оптическая схема Грегори

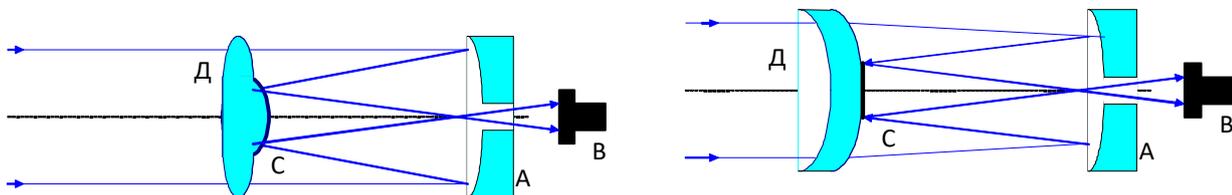
Оптическая схема Кассегрена

**Рис. 7. Оптические схемы телескопов-рефлекторов**

Рефлекторы лишены хроматической aberrации. Сферическая aberrация компенсируется увеличением относительного отверстия (при  $V = 10$  она почти равна нулю), приданием главному зеркалу параболической формы, или приданием сложной формы вторичному зеркалу.

Существуют десятки схем телескопов-рефлекторов: каждая из них имеет свои достоинства и недостатки. Телескоп системы Ньютона наиболее прост в изготовлении и потому наиболее распространен среди любителей астрономии. Телескопы Грегори и Кассегрена позволяют получать большее увеличение при том же типе окуляра за счет «удвоенного» хода лучей в трубе, причем рефлектор Грегори дает прямое изображение и может использоваться в качестве зрительной трубы. Их недостаток: сложность изготовления вторичного зеркала.

**Зеркально-линзовые системы** телескопов сочетают в себе достоинства рефракторов и рефлекторов.



Оптическая схема менискового телескопа

Оптическая схема телескопа Шмидта: Максудова: С — вторичное выпуклое зеркало;

С — вторичное выпуклое зеркало; Д — мениск (оптическая линза, Д — корректирующая линза сложной формы корректирующая ход лучей в телескопе)

**Рис. 8. Оптические схемы зеркально-линзовых телескопов**

Сложность изготовления зеркально-линзовых систем препятствует их широкому распространению. Самые мощные современные зеркально-линзовые телескопы имеют диаметр объектива около 1,5 м.

В настоящее время в обсерваториях мира действуют несколько десятков телескопов с диаметром объектива свыше 1 м. Самым крупным телескопом в нашей стране является построенный в начале 70-х годов 6-метровый рефлектор БТА (главное его зеркало имело фокусное расстояние 24 м, массу 42 т), способный наблюдать объекты до  $26^m$ , установленный в Специальной астрофизической обсерватории АН СССР (САО) близ станции Зеленчукской на Северном Кавказе и модернизированный в середине 90-х годов.

В начале 90-х годов в США в Калифорнийской обсерватории был введен в строй 7-метровый рефлектор, а в астрономической обсерватории им. Кека на Гавайских островах – 2 крупнейших в мире телескопа-рефлектора с диаметром главного зеркала 9,8 м; инструменты образуют оптический интерферометр. Начал работу телескоп им. В. Хобби и Р. Эберли с составным 9,1/11-метровым зеркалом.

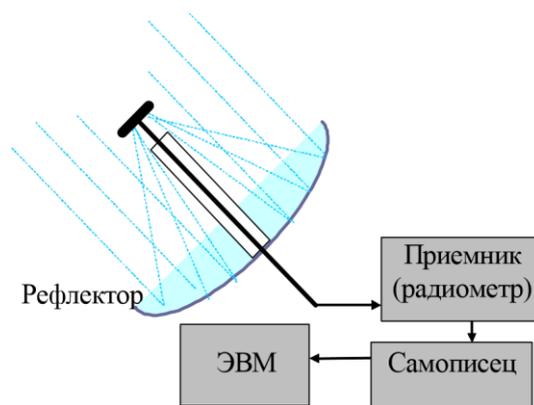
Зеркала современных телескопов в силу чрезмерного увеличения массы не могут быть сплошными, монолитными слитками, а состоят из нескольких отдельных зеркал меньшего диаметра, сфокусированных в одну точку. Введен в строй «Очень большой телескоп» (VLT) Европейской Южной обсерватории в Чили из четырех 8,2-метровых зеркал; по проникающей способности он равносителен 16-метровому, а по разрешающей способности (в режиме оптического интерферометра) – 200-метровому монозеркальному инструменту! Строятся два 8,1-метровых телескопа международного проекта «Джемини»; 8,2-метровый японский «Субару»; итало-американский 8,4-метровый «Большой бинокулярный телескоп» (LBT); 9,1-метровый «Большой южноафриканский телескоп» (SALT); 10,4-метровый «Большой канарский телескоп» (GTS) – все они должны вступить в строй до 2005 г. Разработаны проекты 25-метрового рефлектора, 35-метрового «Крайне большого телескопа» (ELT) и 100-метрового «Ошеломляюще большого телескопа» (OWL), который планируется ввести в строй в 2012 г.; 17 000-тонное зеркало его будет состоять из 20 002-метровых зеркал-сегментов.

Основным инструментом радиоастрономии является **радиотелескоп**. Современные радиотелескопы – специальные

радиоприемные устройства для исследования космических объектов в диапазоне длин волн от 0,8 мм и 20 м (в пределах прозрачности атмосферы). С их помощью определяется направление на радиоисточник, интенсивность и спектр его излучения, структура объектов.

Радиотелескоп состоит из антенны и радиоприемного устройства – радиометра, усиливающего принятое антенной излучение и преобразующее его в удобную для регистрации и обработки форму.

Антенны радиотелескопов бывают разных конструкций и имеют огромные размеры: чашеобразные, параболические, достигают 100 м в диаметре и могут «следить» за объектами наблюдения; чем больше антенна – объектив радиотелескопа, тем больше радиоизлучения будет сфокусировано на радиометр и тем выше разрешающая способность инструмента. Бо-



лее крупные состоят из большого числа от-Рис.

9.

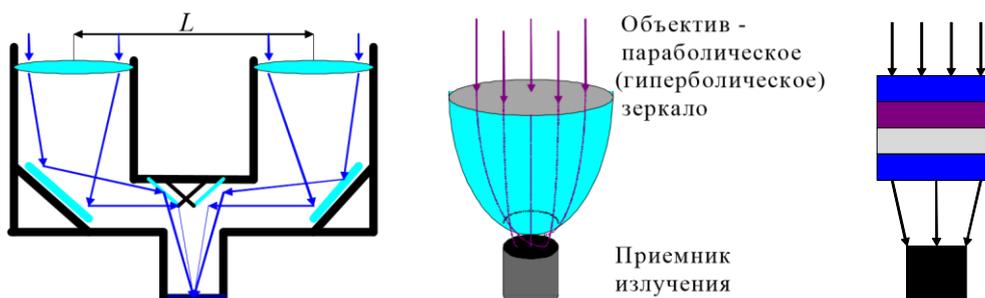
### Принципиальная схема

дельных элементов, установленных на радиотелескопа подвижной платформе и направляющих падающее на них излучение на единый, общий, суммирующий облучатель. Антенны самых крупных радиотелескопов неподвижны и регистрируют радиоизлучение проходящих над ними объектов. Они служат для приема длинноволнового излучения и строятся в виде решеток из элементарных приемников-диполей или вибраторов. Недостатком всех отдельных радиотелескопов является их низкая разрешающая способность. Использование явления интерференции электромагнитных волн позволяет значительно улучшить качество изображения, повысить чувствительность и разрешающую способность телескопов.

Наблюдаемое двумя разными телескопами излучение одного и того же наблюдаемого источника будет когерентным для всех наведенных на него инструментов, мы можем «сложить» это электромагнитное излучение. В результате получают изображение объекта, эквивалентное создаваемому объективом диаметром  $L$ , равному расстоянию между телескопами – базе интерферометра. Сложность создания интерферометров определяется необходимостью выравнивания оптических путей излучения. В оптических телескопах она достигает

0,001 мм, поэтому оптических интерферометров очень мало и база их редко превышает десятки метров. С помощью оптических интерферометров системы ОБТ в 2001-2002 гг. были измерены диаметры нескольких десятков звезд.

Поскольку база интерферометра изменяется пропорционально длинам волн, регистрируемым телескопами, стало возможно создание радиоинтерферометров, база которых составляет сотни и тысячи километров. Разрешающая способность радиоинтерферометров менее 0,00001" – несравнимо выше, чем у мощнейших оптических телескопов.



Приемник типа "кристаллический сэндвич"

Счетчик

Черенкова

Рис. 10. Схема оптического рентгеновского интерферометра

Рис. 11. Схема телескопа  
Рис. 12. Схема гамма-телескопа

Инфракрасное излучение космических объектов исследуется с помощью тепловых приборов (термоэлементов, болометров, элементов Галея) и фотонных приемников (ЭОП).

Ультрафиолетовые телескопы, работающие в диапазоне длин волн до 0,3 мкм, почти ничем не отличаются от оптических телескопов. Для жесткого (дальнего) ультрафиолета и рентгеновского излучения, обладающих большой проникающей способностью, объективы строят по принципу устройства глаз рака: излучение падает на зеркало из золота или платины под очень большим, свыше 87°, углом, и фокусируется на специальную фотопластинку, ЭОП или счетчик Гейгера-Мюллера. Хорошее качество изображения дают 2-зеркальные системы с разрешением до 1"-2" при диаметре объектива до 60 см.

Для регистрации жесткого  $\gamma$ -излучения применяются счетчики Гейгера-Мюллера или  $\gamma$ -телескопы. «Объектив» такого инструмента

имеет сложное строение, напоминающее слоеный пирог. При взаимодействии  $\gamma$ -излучения с веществом приемника возникают электроны и позитроны, поступающие в «счетчик Черенкова», вещество которого светится под ударами электронов, или в другие счетчики элементарных частиц. К сожалению, современные гамма-телескопы обладают небольшим полем зрения и низкой разрешающей способностью (до  $1^\circ$ - $2^\circ$ ).

Все основные характеристики оптических, ИК-,УФ- и некоторых других телескопов зависят от характеристик их объектива:

1. Проницающая сила телескопа определяется предельной звездной величиной самой слабой звезды, которую можно наблюдать; на основе теоретических расчетов была выведена формула:  $m = 6 + 5 \lg \frac{D}{d}$ , где  $D$  – диаметр объек-

$$\frac{D}{d}$$

тива,  $d$  – «выходное отверстие» окуляра.

На практике астрономы используют эмпирическую формулу, учитывающую реальные условия наблюдений:  $m = 2,1 + 5 \lg D$ .

2. Разрешающая способность телескопа  $d$  – минимальный угол между видимыми раздельно объектами:  $d = \frac{l \cdot 206265''}{D}$ , где  $l$  – длина электромагнитной

$$D$$

волны. Равен радиусу дифракционного диска точечного источника света. Для визуальных наблюдений  $d \approx \frac{140''}{D}$ .

$$D$$

3. Светосила телескопа  $\Phi$  характеризует освещенность, создаваемую объективом в фокальной плоскости и численно равна квадрату отношения диамет-

ра объектива к его фокусному расстоянию:  $\Phi = \frac{D^2}{f^2}$ ,  $\Phi = \frac{D^2}{f^2} \cdot \frac{1}{2}$ ,  $\Phi = \frac{D^2}{f^2} \cdot \frac{1}{2}$ .

4. Угловое увеличение телескопа  $\Gamma$  определяется отношением фокусных расстояний объектива ( $F$ ) и окуляра ( $f$ ):  $\Gamma = \frac{F}{f}$ . Применяя окуляры с разным фо-

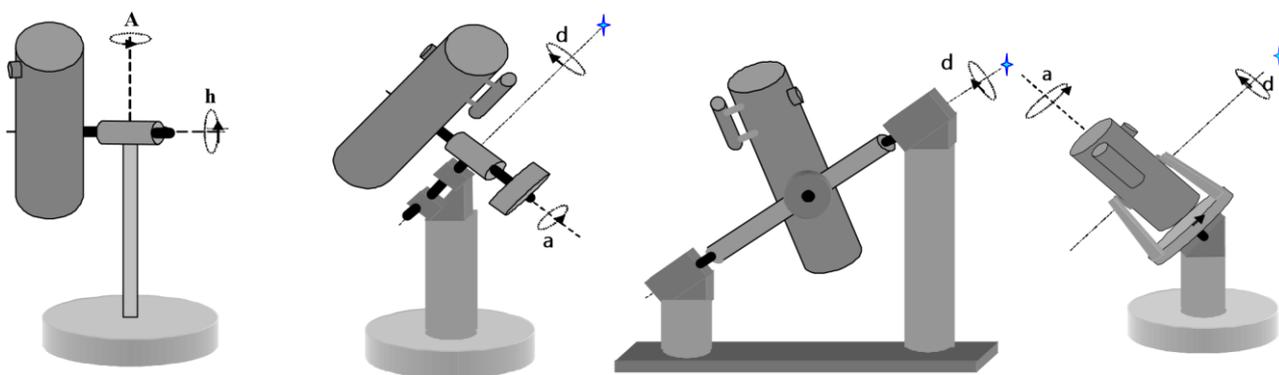
кусным расстоянием, можно в принципе получить любое увеличение, однако на практике для получения наилучшей разрешающей способности, с учетом условий наблюдений, применяют увеличения  $\Gamma \leq 1,3 D$ .

Расчетные значения характеристик телескопа всегда лишь приблизительно совпадают с реальными значениями, которые зависят

от индивидуальных особенностей каждого телескопа и постоянно меняющихся условий астрономических наблюдений.

Вне зависимости от совершенства оптики телескоп не может работать без **монтировки** – механической установки телескопа.

Существует два основных типа монтировок: **азимутальная**, в которой движение трубы телескопа осуществляется по двум взаимно перпендикулярным осям: горизонтальной и вертикальной; и **экваториальная (параллактическая)**, в которой инструмент движется лишь по одной оси, параллельной небесному экватору. Различают 3 вида экваториальных монтировок: немецкую, наиболее удобную для рефракторов; английскую; американскую или «вилку», пригодную для любых инструментов.



Экваториальная

Азимутальная	Экваториальная	Экваториальная	английская
	немецкая	американская	
монтировка	монтировка	монтировка	монтировка

Рис. 13. **Различные виды монтировок телескопов**

Для наводки телескопа на объект наблюдения на его трубе устанавливают визеры и искатели – небольшие телескопы с малым увеличением и большим полем зрения.

Часовой механизм ведет трубу телескопа вслед за движущимся светилом (в настоящее время применяются электромоторы со сложной системой редукторов).

Со второй половины XIX в. телескопы устанавливают в специальных зданиях, в круглых башнях с вращающимся куполом.

Многие обсерватории специализируются на отдельных видах астрономических наблюдений. Это широтные станции, станции

наблюдения ИСЗ, обсерватории для наблюдения Солнца, радиоастрономические обсерватории...

Считается перспективным создание орбитальных обсерваторий. Небольшие (до 50 см) телескопы выводятся на околоземную орбиту на борту спутников и космических кораблей: спутник ИРАС (США) исследовал космические объекты в инфракрасном диапазоне излучения, спутники «Гранат» и «Гамма» (СССР) – в ультрафиолетовой, рентгеновской и  $g$ -части спектра электромагнитных волн. В 1991 г. в США был введен на околоземную орбиту телескоп с диаметром зеркала 2,4 м – космическая обсерватория им. Хаббла (КХТ).

Запуск новой российской космической обсерватории запланирован на 2004 г. Комплекс «Спектр-РГ», «Спектр-Р» и «Спектр-УФ» позволит исследовать космические объекты почти во всем диапазоне длин волн электромагнитного излучения, поглощаемого земной атмосферой.

Космический телескоп следующего поколения NGST с диаметром главного зеркала 8 м планируется вывести в точку Лагранжа  $L_2$  системы Земля-Солнце (1,5 млн. км от планеты) в 2008 г. В 2011-2012 гг. планируется запуск в точку Лагранжа  $L_2$  космического телескопа TRF, предназначенного для поиска и исследования внесолнечных планет на расстоянии до 50 св. лет от Земли; он будет состоять из четырех 3,5-метровых рефлекторов, работающих в режиме интерферометра. Разработаны проекты создания международной астрофизической обсерватории на Луне.

В конце XX в. новыми перспективными направлениями астрономических исследований стали нейтринная и гравитационная астрономия.

Первые детекторы нейтрино – «нейтринные телескопы» были созданы свыше 20 лет назад. В основе регистрации космических нейтрино лежат явление сцинтилляции (световых вспышек), возникающих при их взаимодействии с частицами вещества и изменение элементного химического состава вещества. Частицы нейтрино возникают в ходе термоядерных реакций в недрах звезд и сверхмощных космических процессах (взрывах звезд и т.д.). Изучение потоков нейтрино дает сведения об энергетике Солнца и звезд, их внутреннем строении, эволюции, возникновении и развитии той части Вселенной, в которой мы живем и т.д. Однако нейтрино практически не взаимодействуют с веществом и проходят сквозь Землю, как луч света сквозь прозрачное стекло. Детекторы нейтрино представляют собой

укрытые глубоко, на сотни метров и километры под землей системы многочисленных гигантских емкостей с водой или другими веществами (хлор, галлий, литий,  $\text{CH}_2$  и т.д.).

В настоящее время высокоспециализированные нейтринные обсерватории работают в России (Баксанская), США, Японии, Западной Европе. С их помощью ученые исследуют термоядерные реакции в недрах Солнца (и, в перспективе, других звезд), взрывы звезд и другие высокоэнергетические космические процессы.

Существующие и строящиеся детекторы гравитационных волн делятся на 2 группы:

1. Резонансные антенны представляют собой подвешенные на проволочных петлях массивные металлические болванки, охлажденные до сверхнизких температур (0,01-0,1 К); специальная аппаратура регистрирует их микроколебания, вызванные прохождением гравитационных волн.

2. Интерферометры на свободных массах представляют собой усовершенствованный вариант оптического интерферометра Майкельсона, чувствительного к мельчайшим изменениям длины плеча вследствие гравитационных возмущений.

Чувствительность современных гравитационных детекторов очень мала. Надежды на существенный прогресс исследований ученые связывают с выносом аппаратуры в космическое пространство. Космические гравитационные телескопы будут регистрировать гравитационное излучение релятивистских космических объектов (нейтронных звезд, черных дыр), их взаимодействие и столкновения в тесных двойных системах, взрывы звезд и т.д.

Гравитационная обсерватория ТАМА (Япония) вступила в строй в 1999 г.; в ближайшие годы к ней присоединятся еще пять (в Германии, Франции, Италии и США), в том числе американские космические обсерватории LIGO и LISA.

«Небесной сферой называется воображаемая сфера произвольного радиуса, на которую проецируются изображения небесных светил так, как их видит наблюдатель в данный момент времени в данной местности». Ученики должны отметить и исправить тройную тавтологию «проецируются изображения... светил» (варианты: проецируются космические тела», «наблюдаются небесные светила» и

т.д.) и заменить размытую фразу «в данной местности» более точным выражением «в данной точке пространства».

### • Основные круги, линии и точки небесной сферы

**Небесные светила** – проекции космических тел на небесную сферу.

Благодаря огромной удаленности от Земли небесные светила кажутся находящимися на одинаковом расстоянии от наблюдателя. Необходимость объяснения видимого движения и определения положения светил привела к возникновению понятия небесной сферы.

**Небесной сферой** называется воображаемая вспомогательная сфера произвольного радиуса, на которую проецируются все космические объекты так, как их видит наблюдатель в определенный момент времени из определенной точки пространства.

Помните! Небесная сфера является воображаемой и вводится как вспомогательное понятие, облегчающее определение положения и условий видимости небесных светил и нанесения их на звездную карту. Поскольку радиус Земли ничтожно мал по сравнению с размерами небесной сферы, мы можем в зависимости от целей решаемой нами задачи поместить в ее центр любую точку земной поверхности, центр Земли, всю Землю как материальную точку или Солнце (поэтому понятие небесной сферы находит свое применение в космонавтике для описания видимого движения космических аппаратов).

Небесная сфера разбита на 88 созвездий, различающихся по площади, составу, структуре (конфигурации ярких звезд, образующих основной узор созвездия) и другим особенностям.

**Созвездие** – основная структурная единица деления звездного неба – участок небесной сферы в строго определенных границах. В состав созвездия включаются все светила – проекции любых космических объектов (Солнца, Луны, планет, звезд, галактик и т.д.), наблюдаемых в данный момент времени на данном участке небесной сферы. Хотя положение отдельных светил на небесной сфере (Солнца, Луны, планет и даже звезд) изменяется со временем, взаимное положение созвездий на небесной сфере остается постоянным.

Помните! Созвездие – это не «фигура из звезд», а участок небесной сферы со строго определенными границами – объекты созвездия физически никак не связаны между собой! На небесных картах границы созвездий указываются пунктирными линиями, а звезды в каждом из созвездий в зависимости от яркости обозначаются греческими и латинскими буквами. Самые яркие звезды имеют собственные имена.

Точки пересечения небесной сферы с отвесной линией, проходящей через ее центр, называются: верхняя точка – **зенитом** ( $z$ ), нижняя точка – **надиром** ( $z'$ ). Большой круг небесной сферы, плоскость которого

перпендикулярна к отвесной линии, называется **математическим**, или **истинным горизонтом**.

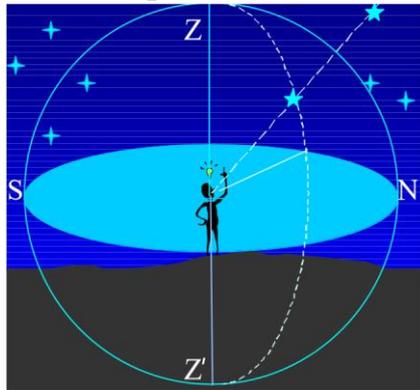


Рис. 22. Небесная сфера, Земля

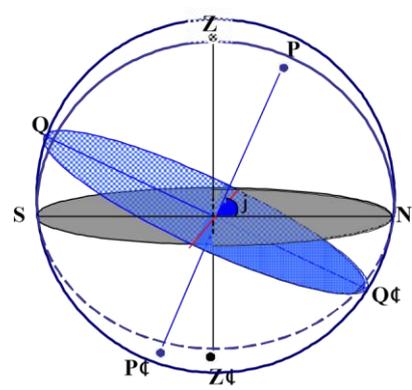
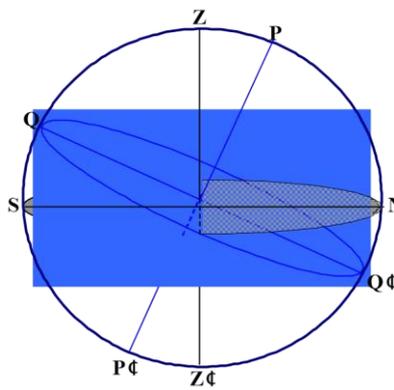


Рис. 23.

Небесная сфера:

и наблюдатель

слева – «каноническое» изображение

в плоскости небесного меридиана; справа – геометрически правильное изображение в ортогональной проекции

Десятки тысяч лет назад было замечено, что видимое вращение сферы происходит вокруг некоей невидимой оси. На самом деле видимое вращение неба с востока на запад является следствием вращения Земли с запада на восток.

Диаметр небесной сферы, вокруг которого происходит ее вращение, называется **осью мира**. Ось мира совпадает с осью вращения Земли. *Угол наклона оси мира к плоскости математического горизонта (высота полюса мира) равен углу географической широты местности.*

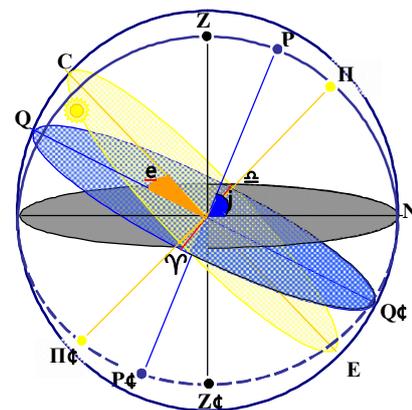
Точки пересечения оси мира с небесной сферой называются **полюсами мира**. Северный полюс мира находится в созвездии Малой Медведицы, в  $0,51^\circ$  от звезды  $\alpha$  Малой Медведицы, называемой «Полярная звезда». Южный полюс мира находится в малозаметном созвездии Октанта. Близость Полярной звезды к Северному полюсу мира позволяет ориентироваться и определять широту местности по наблюдениям Полярной звезды.

Большой круг небесной сферы, плоскость которого перпендикулярна к оси мира, называется **небесным экватором** ( $QQ'$ ).

Большая окружность, проходящая через полюса мира и зенит, называется **небесным меридианом** ( $PNQ\zeta Z\zeta P\zeta SQZ$ ).

Плоскость небесного меридиана пересекается с плоскостью математического горизонта по прямой полуденной линии, которая пересекается с небесной сферой в двух точках: **севера** ( $N$ ) и **юга** ( $S$ ).

Видимое годичное движение Солнца на фоне звезд происходит по большой окружности небесной сферы – **эклиптике** (рис. 24). Направление этого медленного движения (около  $1^\circ$  в сутки) противоположно направлению суточного вращения Земли. **S**



Ось вращения Земли имеет постоянный угол наклона к плоскости обращения Земли вокруг Солнца, равный  $66^\circ 33'$ . Вследствие этого угол  $e$  между плоскостью эклиптики и плоскостью небесного

экватора для земного наблюдателя составляет:  $e =$  Рис.

24.

Положение эклиптики

$23^\circ 26' 25,5''$ .

на небесной сфере

Точки пересечения эклиптики с небесным экватором называются **точками весеннего (^) и осеннего (d) равноденствий**. Точка весеннего равноденствия находится в созвездии Рыб (до недавнего времени – в созвездии Овна), дата весеннего равноденствия – 20(21) марта. Точка осеннего равноденствия находится в созвездии Девы (до недавнего времени в созвездии Весов); дата осеннего равноденствия – 22(23) сентября.

Точки, отстоящие на  $90^\circ$  от точек весеннего равноденствия, называются **точками солнцестояний**. Летнее солнцестояние приходится на 22 июня, зимнее солнцестояние – на 22 декабря.

### • Системы небесных координат

Введение систем небесных координат породила практическая потребность людей в составлении точных географических, топографических и звездных карт, определении географических координат местности и точного времени. В силу аналогии небесных и географических координат наиболее важными построениями небесной сферы являются полюсы мира и небесный экватор. Обратите внимание на аналогии между: гринвичским меридианом и небесным меридианом (нулевым кругом склонений); земной и небесной (суточной) параллелями; географическим меридианом и кругом склонения светила; географической широтой и склонением; географической долготой и прямым восхождением. Но помните, что географические координаты рассматриваются для реальной земной поверхности, а небесные – для воображаемой небесной сферы.

Изменение небесных координат светил тесно связано с небесными явлениями. Так, в результате обращения Земли вокруг Солнца постоянно изменяются его экваториальные координаты на небесной сфере. Изменение склонения Солнца ведет к изменению его полуденной высоты, положения точек восхода и захода, продолжительности дня и ночи. Изменение прямого восхождения Солнца ведет к его перемещению по созвездиям Зодиака и изменению вида земного неба в течение года.

Для решения многих задач астрономии – определения географических координат местности и т.д. – нужно определять положение светила по отношению к горизонту – **горизонтальные координаты** светила.

В горизонтальной системе координат основной плоскостью является плоскость математического горизонта, отсчет ведется от зенита ( $z$ ) или математического горизонта ( $h$ ), и от одной из точек математического горизонта – точки юга.

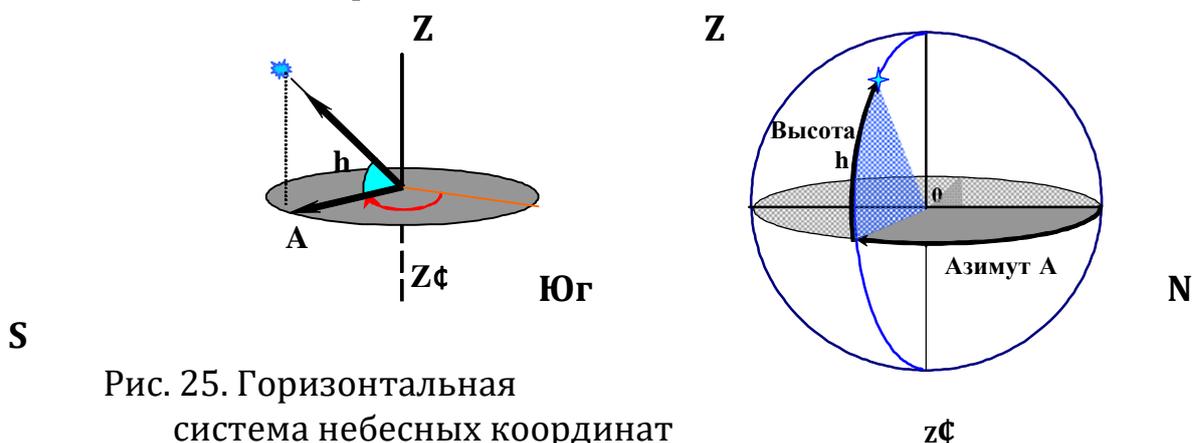


Рис. 25. Горизонтальная система небесных координат

Горизонтальная система координат:

1)  $h$  – **высота** светила над горизонтом;  $z$  – **зенитное расстояние** светила,  $z = 90^\circ - h$ ;

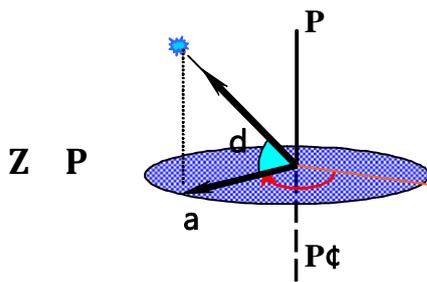
2)  $A$  – **азимут** светила, отсчитывается к западу от точки юга.

Вследствие вращения небесной сферы горизонтальные координаты непрерывно меняются, поэтому вместе с горизонтальными координатами светила необходимо указывать время их определения.

**Экваториальные системы координат** определяют положение светила на небесной сфере и применяются: «первая» – для определения времени; «вторая» – для составления звездных карт и каталогов. Основной плоскостью является плоскость небесного экватора, отсчет ведется от полюса мира ( $P$ ) или плоскости небесного экватора ( $d$ ), и от одной из точек небесного экватора: в I-ой системе – от южной точки, во II-ой системе – от точки весеннего равноденствия.

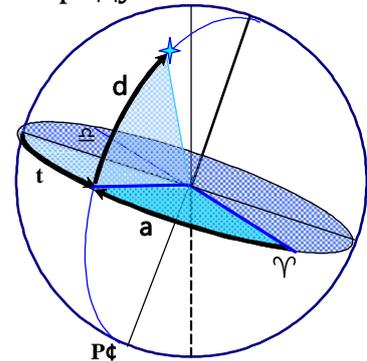
I экваториальная система координат:  $d$  – **склонение** светила: угол между плоскостью небесного экватора и светилом;  $t$  – **часовой угол**: угол

между плоскостью небесного меридиана и направлением на светило. Отсчитывается в сторону суточного вращения неба, выражается в градусах или часах и минутах.



Q

$\wedge$  - точка  
весеннего



Qφ

равноденствия

Рис. 26. Экваториальные  
системы небесных координат

Zφ II экваториальная

система координат:  $d$  – **склонение** светила,  $P$  – **полярное расстояние**;  $P = 90^\circ - d$ ;  $a$  – **прямое восхождение**: угол между точкой весеннего равноденствия и направлением на светило. Отсчитывается против часовой стрелки, выражается в часах и минутах или в градусах. Разность прямых восхождений светил равна разности моментов их одноименных кульминаций.

Экваториальные координаты светил вычисляются путем сложных расчетов, переводящих значения горизонтальных координат с учетом времени наблюдения, получаемых в результате непосредственных астрономических наблюдений.

Для вычисления характеристик истинного движения космических тел в астрономии наиболее часто используются следующие системы координат: геоцентрическая (относительно центра Земли), бароцентрическая (относительно центра масс Солнечной системы) и (реже) гелиоцентрическая. Собственные движения звезд, определенные относительно далеких галактик, называют **абсолютными**. **Стандартная система** небесных координат определяется относительно расположения наиболее удаленных от Земли точечных источников излучения – квазаров.

• **Движение небесных светил.**

**Условия наблюдения небесных светил и явлений**

Видимость светил зависит от их небесных координат, положения наблюдателя на поверхности Земли и от времени наблюдения.

**Кульминацией** светила называется небесное явление прохождения светила через небесный меридиан. Ось мира делит небесный меридиан на 2 части – северную и южную. В северном полушарии в верхней кульминации светило пересекает северную часть небесного меридиана ближе к зениту; в нижней кульминации светило пересекает южную часть небесного меридиана ближе к надиру. Момент верхней кульминации Солнца называется истинным полуднем; момент нижней кульминации светила называется истинной полуночью. Момент нижней кульминации светила называется истинным полуночью.

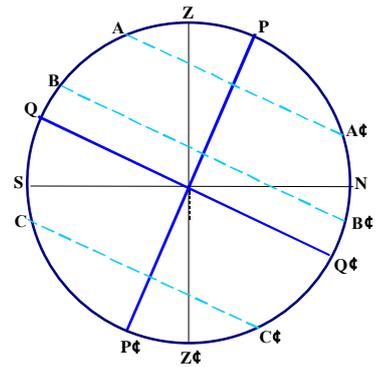


Рис. 27. Небесная сфера: суточные параллели кульминации Солнца называется истинной полуночью верхней кульминации светила; светила А, В, АС', ВВ', ночью. С' в нижней кульминации; светило А –

Суточные движения светил совершаются восходящее и заходящее, светило В – по **суточным параллелям**. незаходящее, светило С – невосходящее. На полюсах Земли суточные параллели светил (за исключением Луны и Солнца) параллельны математическому горизонту. Все светила (кроме Солнца и Луны) являются незаходящими или невосходящими. Небесный экватор параллелен (совпадает) с математическим горизонтом. Верхняя и нижняя кульминации совпадают (рис. 28а).

В средних широтах Земли небесный экватор пересекается с математическим горизонтом под углом:  $90^\circ - j$  (рис. 28б). Для верхней кульминации к югу от зенита:  $h = 90^\circ - j + d$ ;  $z = j - d$ .

Если склонение светила (угол между плоскостью небесного экватора и светилом):  $d < -(90^\circ - j)$ , то оно будет невосходящим.

Если склонение светила:  $d > (90^\circ - j)$ , оно будет незаходящим.

На экваторе Земли суточные параллели небесных светил перпендикулярны математическому горизонту. Все светила являются восходяще-заходящими. Верхняя кульминация происходит вблизи зенита, нижняя – вблизи надира (рис. 28в).

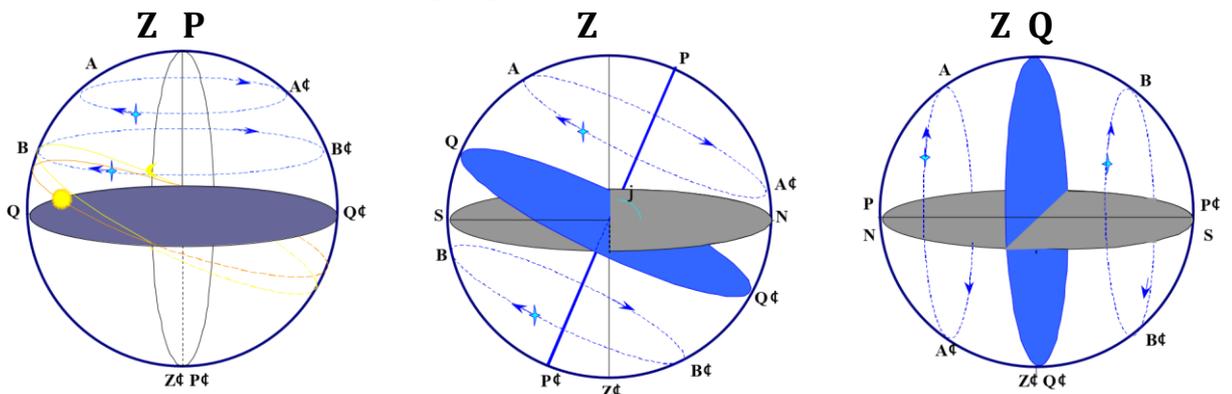
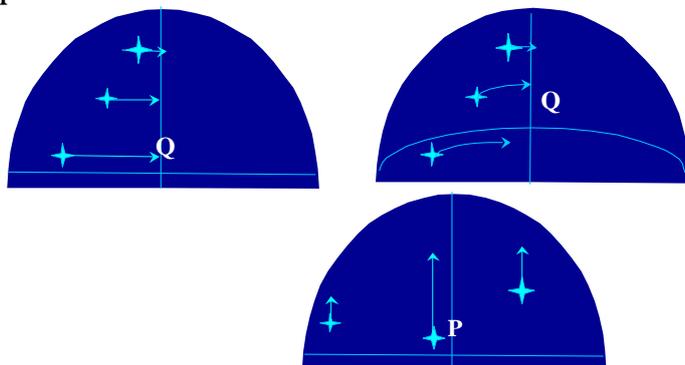


Рис. 28. Вид небесной сферы и условия видимости небесных светил из разных точек земной поверхности:

а) Северный полюс Земли      б) Средние широты Земли      в)  
 Экватор Земли      P Z      Z      Z Q



Условия видимости Солнца и смена времен года зависят от положения наблюдателя на поверхности Земли и от положения Земли на орбите.

Наземным наблюдателям кажется, что Солнце в течение года перемещается по небесной сфере вдоль эклиптики через 13 созвездий, называемых **зодиакальными** (Рыбы, Овен, Телец, Близнецы, Рак, Лев, Дева, Весы, Скорпион, Стрелец, Козерог, Водолей и Змееносец), а их совокупность – **Поясом Зодиака**.

В каждом зодиакальном созвездии Солнце находится около 1 месяца (кроме Змееносца и Скорпиона). По традиции со времен Древнего Вавилона Змееносец не считается зодиакальным созвездием, хотя и лежит на эклиптике.

При этом происходят разнообразные небесные явления: постоянное изменение полуденной высоты, положение точек восхода и захода Солнца, продолжительности дня и ночи, изменяется вида звездного неба в течение года.

Движение Солнца по эклиптике является отображением вращения Земли вокруг Солнца. Эклиптика является проекцией плоскости земной орбиты на небесную сферу. Орбиты всех других планет лежат почти в той же плоскости. Поэтому видимое движение планет по небесной сфере будет осуществляться вдоль и вблизи эклиптики с переменной угловой скоростью и периодическим изменением направления движения.

Движение Солнца по эклиптике связано со сменой времен года. на Земле и климатическими поясами. В Северном полушарии астрономическая весна наступает с пересечением Солнцем небесного экватора 20 (21) марта. Пути Солнца над и под горизонтом равны, поэтому равны и продолжительность дня и ночи. 22 июня Солнце дальше всего от экватора к северу – день летнего солнцестояния, начало астрономического лета. 22 декабря в день зимнего солнцестояния

Солнце отходит дальше всего к югу от экватора – день самый короткий, в полдень Солнце стоит низко над горизонтом, начало астрономической зимы.

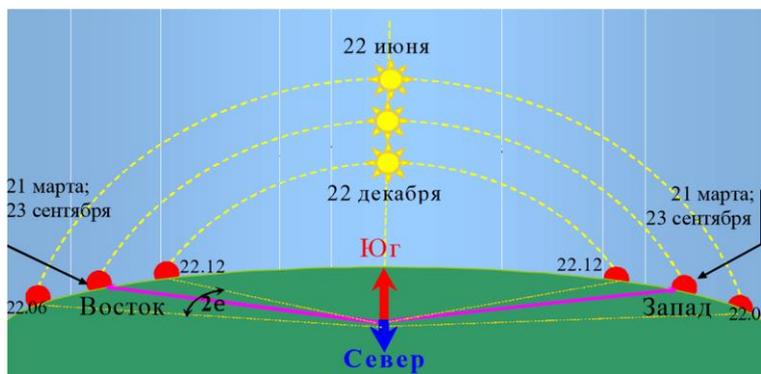


Рис. 29. Видимое перемещение Солнца по небу в течение года

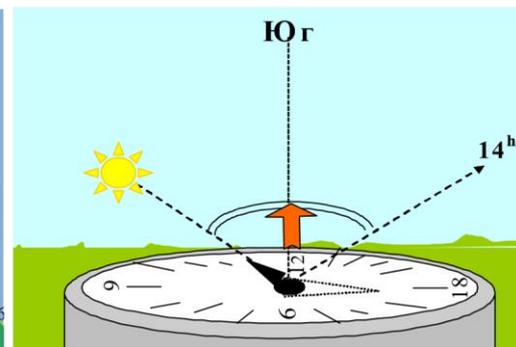


Рис. 30. Ориентация на местности по Солнцу с помощью ручных часов

### Методы ориентации на местности по Солнцу:

В истинный полдень Солнце пересекает линию небесного меридиана, проекцией которого на плоскости математического горизонта является полуденная линия «север-юг». Ближайшей к Солнцу точкой горизонта является точка юга. Точное значение момента истинного полудня – верхней кульминации Солнца определяется по данным Астрономического календаря.

Приближенная ориентация по Солнцу при помощи наручных часов: циферблат располагается горизонтально так, чтобы часовая стрелка указывала на точку горизонта под Солнцем. Направление север-юг показывает биссектриса угла между этой стрелкой и направлением из центра циферблата к 13 часам зимой и к 14 часам летом.

Медленное конусообразное вращение земной оси с периодом 26000 лет под действием сил тяготения со стороны Луны и Солнца называется **прецессией**.

Прецессия меняет положение небесных полюсов. 2700 лет назад вблизи Северного полюса мира находилась звезда  $\alpha$  Дракона, названная китайскими астрономами Царственной звездой. В настоящее время Полярной звездой является  $\alpha$  Малой Медведицы. К 10000 г. Северный полюс мира сблизится со звездой Денеб,  $\alpha$  Лебеда. В 13600 г. полярной звездой станет Вега,  $\alpha$  Лиры.

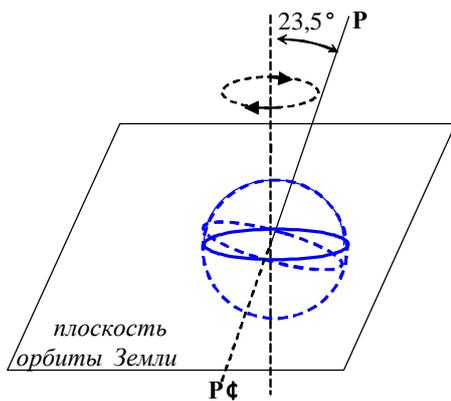
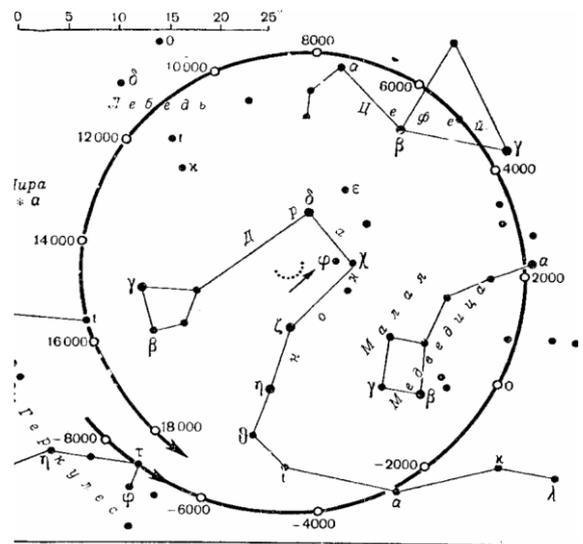


Рис. 31. Прецессионное движение земной оси  $PP'$  Северного полюса мира



В результате прецессии точки весеннего и осеннего равноденствий, летнего и зимнего солнцестояний медленно перемещаются по созвездиям зодиакальным. 5000 лет назад точка весеннего равноденствия находилась в созвездии Тельца, затем переместилась в созвездие Овна, а сейчас находится в созвездии Рыб. Не знающие азов астрономии астрологи предлагают своим доверчивым читателям сведения, устаревшие на 2000 лет.

В конце занятия обучаемые – соседи по парте – проводят взаимную проверку конспектов (опорных схем) лекции.