

**Негосударственное частное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Национальный открытый институт г. Санкт-Петербург»**

Блинов А.Ф., Тарелкин Е.П.

Астрономия

Учебное пособие

Рекомендовано Саморегулируемой организацией
НП «Изыскатели Санкт-Петербурга и Северо-Запада»
в качестве учебного пособия для студентов,
осваивающих образовательную программу
по направлениям
120100.62 «Геодезия и дистанционное зондирование»
и 120700.62 «Землеустройство и кадастры» и слушателей
системы дополнительного образования
в сфере инженерных изысканий

Санкт-Петербург
2015

УДК 528.2

ББК 26.11

Б 69

БЛИНОВ, АЛЕКСАНДР ФРИДРИХОВИЧ

ТАРЕЛКИН, ЕВГЕНИЙ ПЕТРОВИЧ

Учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся по направлениям 120100.62 «Геодезия и дистанционное зондирование» и 120700.62 «Землеустройство и кадастры». В пособии изложены теоретические вопросы дисциплины.

УДК 528.2

ББК 26.11

ISBN 978-5-906759-11-5

© Блинов А.Ф. 2015
© Тарелкин Е.П. 2015
©НОИР 2015
© ИКЦ 2015

Предисловие

Согласно Федеральному государственному образовательному стандарту высшего профессионального образования подготовки бакалавров по направлению «Геодезия и дистанционное зондирование», объектом профессиональной деятельности выпускника являются: поверхность Земли, других планет и их спутников; территориальные и административные образования; искусственные и естественные объекты на поверхности и внутри Земли и других планет, а также околоземное космическое пространство; геодинамические явления и процессы; гравитационные, электромагнитные и другие физические поля.

Согласно Федеральному государственному образовательному стандарту высшего профессионального образования подготовки бакалавров по направлению «Землеустройство и кадастры», объектом профессиональной деятельности выпускника являются: земельные и другие виды природных ресурсов; категории земельного фонда; территории административных образований; территориальные зоны; зоны с особыми условиями использования территорий; зоны специального правового режима; землепользования и земельные участки в зависимости от целевого назначения и разрешенного использования; земельные угодья; единые объекты недвижимости и кадастрового учета; информационные системы и технологии кадастра недвижимости; геодезическая и картографическая основы землеустройства и кадастра недвижимости.

Область профессиональной деятельности бакалавров включает:

- получение измерительной пространственной информации о поверхности Земли, отображение поверхности Земли или отдельных её территорий на планах и картах;
- осуществление координатно-временной привязки объектов, явлений и процессов на поверхности Земли;
- организация и осуществление работ по сбору и распространению геопространственных данных как на территорию Российской Федерации в целом, так и на отдельных её регионах с целью развития их инфраструктуры.

Цель изучения дисциплины – сформировать у будущих бакалавров знания в области космогонии и космологии, месте пла-

неты Земли и Солнечной системы во Вселенной, законах движения небесных тел и возможностях использования этих законов для решения задач геодезии, а также изучение динамики изменения поверхности Земли и развития процессов деформаций и смещений, обеспечения безопасности и предотвращения катастроф.

Задачи дисциплины:

- сформировать знания об основных системах координат, применяемых в астрономии, законов движения небесных тел по небесной сфере;
- сформировать навыки решения сферических задач в системах астрономических координат.

В результате изучения дисциплины обучающийся должен иметь представление:

- о роли и месте дисциплины «Астрономия» в комплексе специальных дисциплин;
- о месте Земли во Вселенной;
- о возможности использования методов астрономии для получения геодезических данных.

Изучение курса «Астрономии» позволит студентам-геодезистам в последующем перейти к изучению дисциплины «Геодезическая астрономия», а студентам-землеустроителям иметь представление о роли и возможностях астрономии в решении геодезических задач.

Большое значение в изучении астрономии имеет самостоятельная работа обучающихся. Она имеет целью закрепление и углубление полученных знаний и навыков, подготовку к предстоящим занятиям и зачёту по дисциплине, а также формирование навыков умственного труда и самостоятельности в поиске и приобретении новых знаний.

На сегодняшний день астрономия - бурно развивающаяся наука. Открытия в области техники и технологий последних десятилетий позволили создавать уникальные приборы для наблюдений космоса, включая и орбитальные телескопы, такие как американский телескоп Хаббл.

Растёт интерес к астрономии. На научных телевизионных каналах появляется много передач, созданных с широким использованием компьютерной графики. В интернете появилось много астрономических сайтов, действуют соответствующие форумы.

Содержание:

1. КРАТКАЯ ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ АСТРОНОМИИ	7
2. НЕКОТОРЫЕ ПОНЯТИЯ СФЕРИЧЕСКОЙ ТРИГОНОМЕТРИИ.....	9
3. ОСНОВНЫЕ ТОЧКИ И КРУГИ НЕБЕСНОЙ СФЕРЫ.....	10
4. ВИДИМОЕ ДВИЖЕНИЕ НЕБЕСНЫХ СВЕТИЛ.....	12
5. ГОРИЗОНТНАЯ СИСТЕМА КООРДИНАТ	13
6. ПЕРВАЯ ЭКВАТОРИАЛЬНАЯ СИСТЕМА КООРДИНАТ	14
7. ВТОРАЯ ЭКВАТОРИАЛЬНАЯ СИСТЕМА КООРДИНАТ	15
8. КООРДИНАТЫ СОЛНЦА	16
9. АСТРОНОМИЧЕСКАЯ ШИРОТА ТОЧКИ СТОЯНИЯ.....	18
10. АСТРОНОМИЧЕСКАЯ ДОЛГОТА ТОЧКИ СТОЯНИЯ	19
11. ПАРАЛЛАКТИЧЕСКИЙ ТРЕУГОЛЬНИК	20
12. СОЛНЕЧНОЕ И ЗВЁЗДНОЕ ВРЕМЯ.....	21
13. СВЯЗЬ МЕЖДУ СОЛНЕЧНЫМ И ЗВЁЗДНЫМ ВРЕМЕНЕМ	23
14. СЛУЖБА ВРЕМЕНИ	24
15. ПЛАНЕТЫ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ.....	25
16. АСТЕРОИДЫ И КОМЕТЫ.....	27
17. ПРОЯВЛЕНИЕ ЗАКОНОВ КЕПЛЕРА	28
18. СВОЙСТВО ПРЕЦЕССИИ ГИРОСКОПА	29
19. ЯВЛЕНИЕ ПРЕЦЕССИИ ЗЕМНОЙ ОСИ	30
20. ЯВЛЕНИЕ НУТАЦИИ ЗЕМНОЙ ОСИ И СМЕЩЕНИЯ ПОЛЮСА ЗЕМЛИ	31
21. ГОДИЧНЫЙ ПАРАЛЛАКС	32
22. СУТОЧНЫЙ ПАРАЛЛАКС.....	33

23. ГОДИЧНАЯ АБЕРРАЦИЯ	35
24. СОБСТВЕННОЕ ДВИЖЕНИЕ ЗВЁЗД	37
25. ФАЗЫ ЛУНЫ, ЛУННЫЕ И СОЛНЕЧНЫЕ ЗАТМЕНИЯ.....	38
26. СИНОДИЧЕСКИЙ ПЕРИОД ОБРАЩЕНИЯ ЛУНЫ.....	39
27. СИДЕРИЧЕСКИЙ ПЕРИОД ОБРАЩЕНИЯ ЛУНЫ	40
28. ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗВЁЗД	41
29. ХАРАКТЕРИСТИКИ ГАЛАКТИК.....	44
30. СТРУКТУРА ВСЕЛЕННОЙ	45
31. НАБЛЮДАТЕЛЬНАЯ АСТРОНОМИЯ.....	46
32. ГИПОТЕЗЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ВСЕЛЕННОЙ И СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ	47
33. ЗАКЛЮЧЕНИЕ	50
ТЕСТЫ (ДЛЯ ПРИМЕРА И САМОКОНТРОЛЯ).....	51
Раздел 1. Элементы сферической астрономии.....	51
Раздел 2. Солнечная система и движение небесных тел	53
Раздел 3. Звёзды и галактики.....	55
СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ.....	57
УКАЗАТЕЛЬ ПЕРСОНАЛИЙ	70
ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ.....	73
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	77
Основная литература	77
Дополнительная литература.....	77
Руководящие документы и справочная литература	77
АННОТАЦИЯ САЙТОВ ИНТЕРНЕТ.....	78

1. Краткая история развития астрономии

Астрономия — наука о Вселенной, изучающая расположение, движение, строение, происхождение и развитие небесных тел и образованных ими систем.

Астрономия — древняя наука. Ещё жрецы Древнего Египта заметили, что появление звезды Сириус над горизонтом предвещает скорый разлив Нила. В те же эпохи было замечено, что законы движения небесных светил и судьба человека сходны, что привело к появлению *астрологии*. Со своей стороны астрология способствовала развитию астрономии.

Было замечено, что вид небесной сферы (расположение светил) может зависеть от местоположения наблюдателя. Например, древнегреческим учёным Аристотелем, был сделан вывод о шарообразности Земли. По современным представлениям, первым определил длину окружности Земли александрийский учёный Эратосфен в третьем веке до нашей эры, используя результаты наблюдения Солнца.

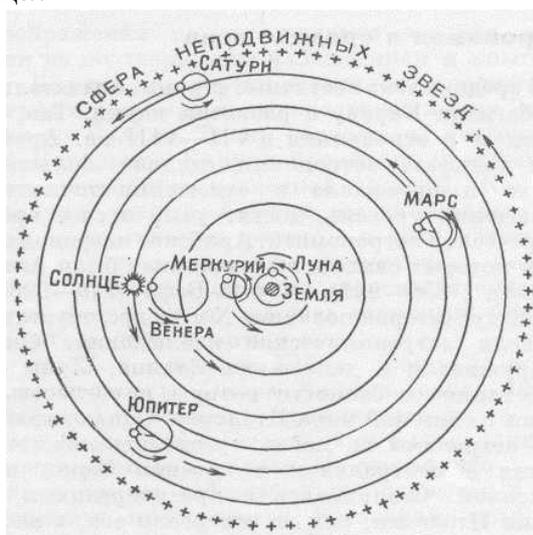


Рис. 1. Система мира по Птолемею

Зародились *космогония* и *космология*. Разработана *геоцентрическая система мира*, наиболее полно изложенная в труде «Альмагест» древнегреческого астронома Клавдия Птолемея (рис. 1). По его представлениям в центре мира располагается шарообразная Земля. Земля окружена непрозрачной небесной сферой, за которой горит божественный огонь. К сфере прикреплены драгоценные камни — звёзды. Вариант — звёзды — отверстия в небесной сфере, через которые проникает божественный огонь. Между Землёй и небесной сферой расположены хрустальные

(прозрачные) сферы, к которым прикреплены небесные тела (Солнце, Луна и планеты) и которые вращаются на хрустальных же осях.

При этом считалось, что центр Земли совмещён с центром мира, и центр мира есть точка, к которой притягиваются все тела. Поэтому небесные тела считались прикрепленными к сферам, равноудалённым от центра Земли и поэтому Солнце, Луна и другие светила не падали на Землю.

Геоцентрической системе мира присуща проблема строгого описания движения таких планет, как Марс, Юпитер, Сатурн. Математически строгое описание движения таких планет в пределах геоцентрической системы мира крайне затруднительно и практически невозможно. А для астрологов было очень важно иметь возможность предвычислять на любой момент будущего положение любого светила на фоне звёзд.

В 1543 году Н. Коперник предложил *гелиоцентрическую систему мира*, позволившую разрешить эту проблему. В этой системе в центре мира помещалось Солнце. И. Кеплер в 1619 году опубликовал труды, в которых изложил законы движения небесных тел по орбитам, чем ещё раз доказал правильность гелиоцентрической системы мира и дал формулы для точного вычисления положения светил. Однако не был решён вопрос: что к чему притягивается и почему светила не падают на Солнце или Землю. То есть, законы Кеплера не объясняли, почему небесные тела движутся именно по орбитам и не падают.

В 1687 году И. Ньютон опубликовал труд «Математические начала натуральной философии». В нём изложил теорию всемирного тяготения, которая подтвердила законы Кеплера. Закон назван всемирным именно потому, что тяготение оказалось присуще всем материальным телам, а не только центру мира, Земле или Солнцу. Там же он доказал, что Земля представляет собой не сферу (шар), а эллипсоид (сплюснутый шар).

Для доказательства сплюснутости Земли были проведены наземные измерения, но из-за невысокой точности явных доказательств не было. Окончательное решение принесли две экспедиции: *Перуанская* с 1735 по 1744 годы (Л. Годен, Ш. М. Ла Кондамин, П. Бугер) и *Лапландская* с 1736 по 1737 годы (П. Л. Мопертюи). При определении дуги одного градуса дуги меридиана астрономическим путём определялись широты точек и определялось расстояние между ними. Эти измерения называются *градус-*

ными, так как в этом случае определяется длина дуги одного градуса по широте, а из него – длина окружности Земли.

В России подобные градусные измерения были произведены в 1816 - 1855 гг. под руководством В. Я. Струве. Была измерена дуга меридиана от Дуная до Лапландии ($25^{\circ} 20'$) длиной в 2820 км.

Галилей в 1609 году построил один из первых *телескопов* и открыл, что на Луне есть горы, Млечный Путь - скопление звёзд, а Юпитер имеет спутники.

Много открытий совершил В. Гершель. В конце XVIII века он построил на то время самые большие телескопы. Открыл планету Уран, пришёл к выводу, что звёзды группируются в «звёздные острова» - *галактики*, предположил, какую форму имеет галактика Млечный Путь. Его работу продолжили следующие поколения астрономов.

В 1931 году американский инженер К. Янский построил первый *радиотелескоп* и в 1932 году открыл *космическое радиоизлучение*. С этого момента началась радиоастрономия. Позже были созданы телескопы, работающие с излучениями других длин волн: инфракрасные, ультрафиолетовые, рентгеновские, а также регистраторы элементарных частиц и гравитационных волн.

Американский астроном Э. Хаббл в 1929 году опубликовал работу, в которой вывел закон: «Чем дальше галактика, тем больше её скорость». Это позволило разработать концепцию расширяющейся Вселенной и гипотезу Большого взрыва.

На сегодняшний день в мире работают сотни крупных астрономических обсерваторий и сотни и сотни менее крупных, включая обсерватории учебных заведений. Есть и телескопы, выведенные на орбиту вокруг Земли, например, крупнейший - телескоп «Хаббл», запущенный на орбиту в 1990 году.

2. Некоторые понятия сферической тригонометрии

Задачи астрономии и геодезической астрономии решаются на небесной сфере. Решения опираются на понятия и теоремы сферической тригонометрии. Рассмотрим некоторые из них.

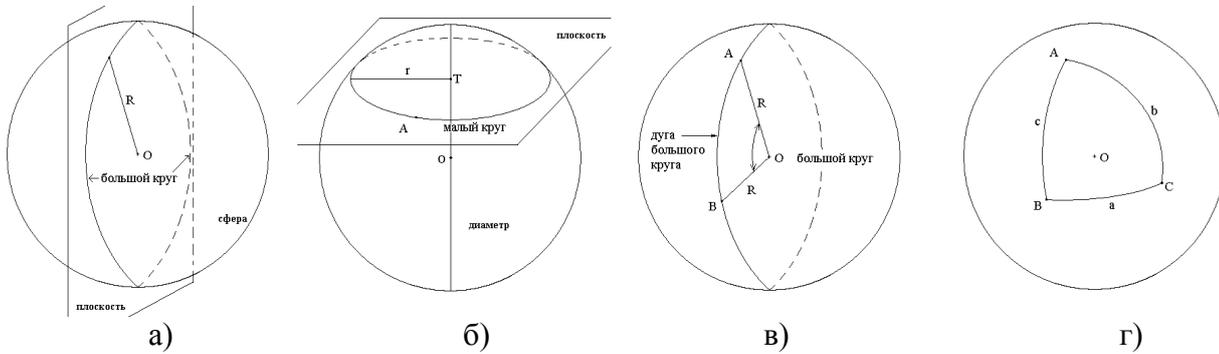


Рис. 2. Основные понятия сферической тригонометрии

Имеется сфера (шар) радиуса R с центром в точке O . Если пересечь сферу плоскостью, проходящей через центр сферы, на поверхности образуется окружность, называемая *большим кругом* (рис. 2а).

Сферу можно пересечь плоскостью, не проходящей через центр сферы, и такая плоскость образует на поверхности *малый круг* радиусом r (рис. 2б).

На большом круге возьмём две точки - A и B (рис. 2в). Фрагмент большого круга между этими точками называется *дугой большого круга*. Длина этой дуги может быть выражена в линейной мере (метры, сантиметры ...) или в угловой мере, например, в градусах дуги. Если из точек A и B провести радиусы к центру сферы, то угол, образованный этими радиусами и есть длина дуги в угловой мере. Если, например, этот угол равен $25^{\circ} 15' 45''$, то считается, что длина дуги AB равна $25^{\circ} 15' 45''$.

Три дуги большого круга могут образовывать *сферический треугольник* на поверхности сферы, например, треугольник ABC со сторонам a , b и c на рисунке 2г.

В свою очередь дуги большого круга образуют на поверхности сферы углы: A , B и C , как углы между плоскостями, эти дуги образующими.

В сферической тригонометрии изучаются теоремы, устанавливающие взаимосвязи между углами и длинами сторон сферического треугольника. С ними можно познакомиться в специальной литературе.

3. Основные точки и круги небесной сферы

Небесная сфера — воображаемая сфера произвольного радиуса, на которую проецируются изображения небесных тел. За

центр небесной сферы принимают глаз наблюдателя - точка M на рисунке 3а.

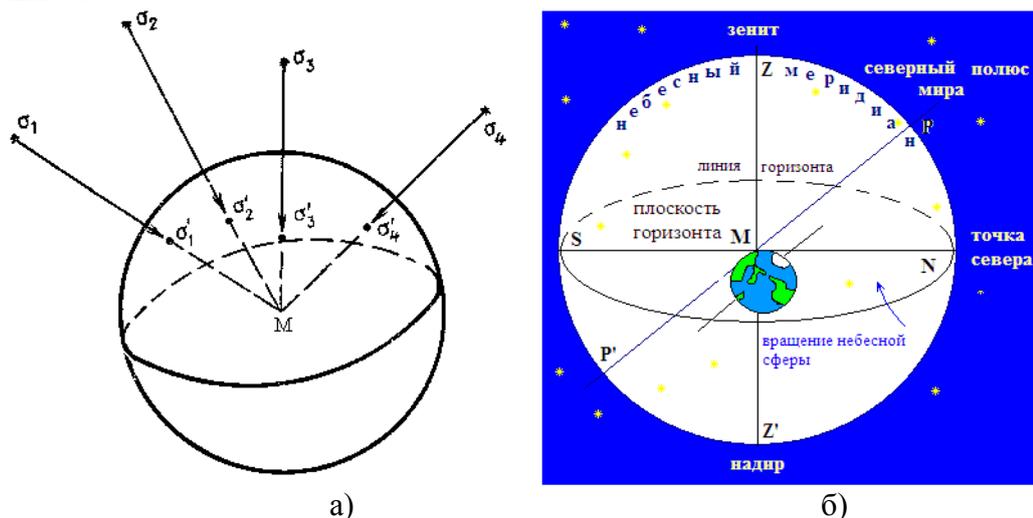


Рис. 3. Проекция светил на небесную сферу и основные точки небесной сферы

Если через точку M (рис. 3б) провести *отвесную линию*, то пересечение линии со сферой даёт две *точки*: *зенита* Z и *надир* Z' .

Через точку M проводится линия, параллельная оси вращения Земли, называемая *осью мира*. Пересечение линии со сферой даёт точки: *северный полюс мира* P и *южный полюс мира* P' .

Через точки Z, P, Z', P' проводится большой круг - *небесный меридиан*, образующий *плоскость небесного меридиана*.

Через точку M строится плоскость, перпендикулярная отвесной линии - *плоскость горизонта*. На небесной сфере образуется *линия горизонта*. Точки пересечения небесного меридиана и линии горизонта образуют *точки*: *севера* N и *юга* S .

Рассмотрим рисунок 4а. Через точку M строится плоскость, перпендикулярная оси мира, называемая *плоскостью небесного экватора*. На небесной сфере образуется линия *небесного экватора*.

Точки пересечения линии горизонта и небесного экватора - *востока* E и *запада* W .

Вспомогательная точка A - пересечение небесного экватора и небесного меридиана в южной части небесной сферы.

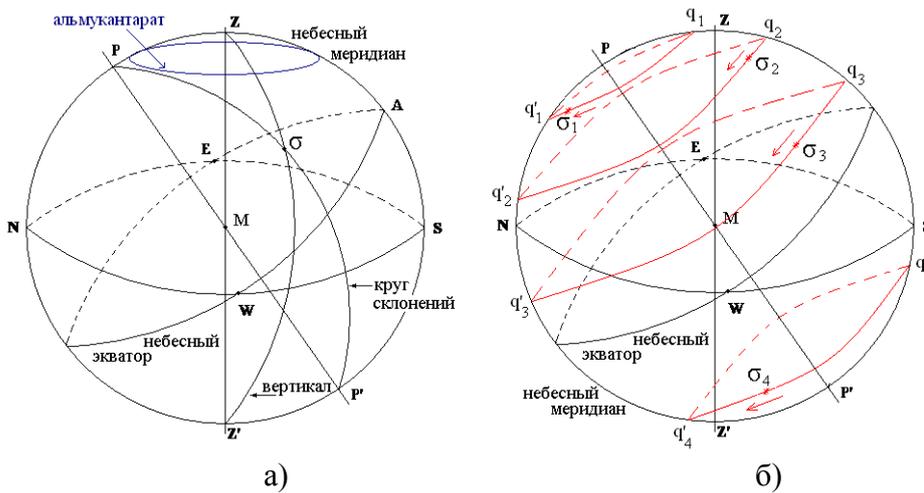


Рис. 4. Основные круги небесной сферы и видимое движение светил

На небесной сфере поместим изображение светила σ . Через вертикальную линию и светило строится *плоскость вертикала*, образующая на небесной сфере линию *вертикала*. Небесный меридиан - тоже вертикал. Вертикал, плоскость которого перпендикулярна плоскости меридиана, называется *первым*, а его плоскость называется *плоскостью первого вертикала*.

Через ось мира и светило строится плоскость склонений, образующую на небесной сфере *круг склонений*.

Любой круг, параллельный линии горизонта, называется *альмукуантаратом*.

4. Видимое движение небесных светил

В любой точке поверхности Земли, кроме располагающихся на полюсах и на экваторе, видимое движение светил выглядит, как показано на рисунке 4б.

Земля вращается, но наблюдателю кажется, что вращается небесная сфера. При этом светила могут быть:

- *незаходящими* (σ_1 и σ_2);
- *заходящими* (σ_3);
- *невосходящими* (σ_4).

Светила в своём движении пересекают небесный меридиан в двух точках, называемых *кульминациями*. Кульминации бывают *верхними* (q_1, q_2, q_3, q_4) и *нижними* (q'_1, q'_2, q'_3, q'_4).

Особое место занимают светила, у которых верхняя или нижняя кульминации располагаются между точками полюса и

зенита (надира). Такие светила называют *циркумполярными*. На рисунке 4б это светило σ_1 .

На экваторе все светила являются заходящими (рис. 5а). На полюсах светила либо незаходящие, либо невосходящие (рис. 5б). При этом у светил не наблюдается явление кульминации, так как на полюсе отсутствует небесный меридиан.

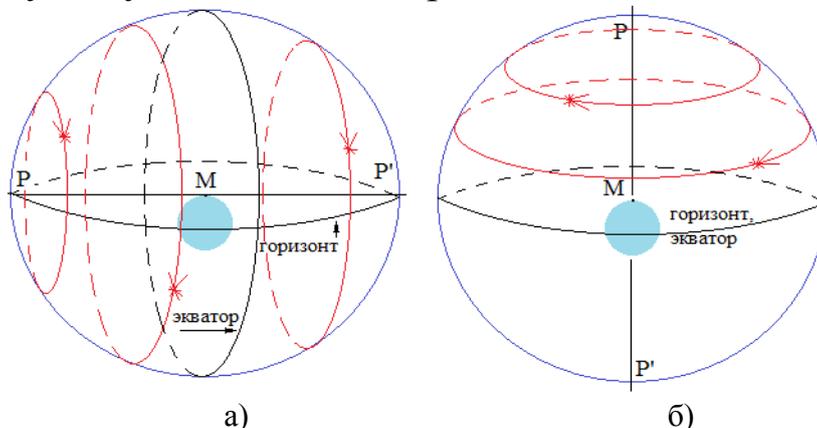


Рис. 5. Особые случаи видимого движения небесных светил

5. Горизонтная система координат

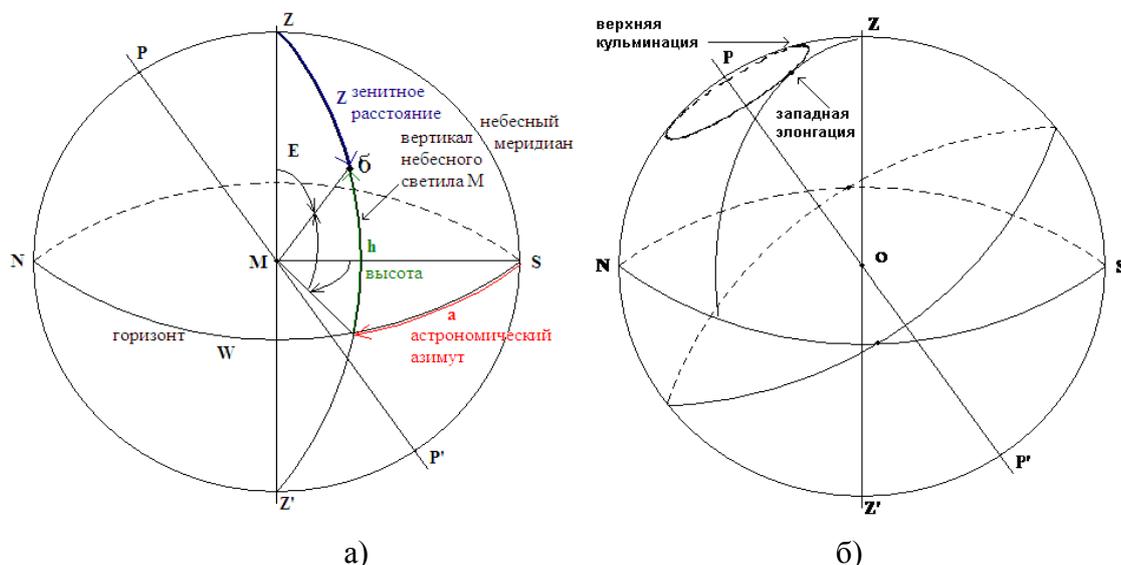


Рис. 6. Горизонтная система координат

Положение светила σ (рис. 6а) относительно земного наблюдателя характеризуются координатами :

- *астрономический азимут a* , отсчитываемый от точки юга S до вертикала светила в градусной мере;

- *зенитное расстояние z* , отсчитываемое по вертикалу от точки зенита Z до светила в градусной мере.

Вспомогательная величина - *высота светила* h , отсчитываемая по вертикали от экватора до светила в градусной мере. Справедливо равенство:

$$z + h = 90^\circ \quad .$$

Из-за вращения небесной сферы горизонтные координаты светил постоянно изменяются. Зенитное расстояние может принимать значения от 0° до 180° . Зенитные расстояния светил под горизонтом более 90° . Азимут светил в течение суток изменяется от 0° до 360° .

Особый случай для циркумполярных звёзд (рис. 6б). Азимут такого светила изменяется лишь в некоторых пределах. Состояние, когда азимут светила принимает крайние значения, называется *элонгацией*. Таких состояний два - западная и восточная элонгации.

В практике *геодезической астрономии* азимуты (направления) и зенитные расстояния измеряются *теодолитами*.

6. Первая экваториальная система координат

В первой экваториальной системе (рис. 7а) координатами светила являются:

- *склонение* δ , отсчитываемое по кругу склонений от небесного экватора до светила в градусной мере;

- *часовой угол* t , отсчитываемый по экватору от вспомогательной точки A до круга склонений в часовой мере.

В астрономии углы и дуги могут измеряться в часовой мере. Если полный круг равен 24^h и равен 360° , то $1^h = 15^\circ$, $1^m = 15'$, $1^s = 15''$.

Вспомогательной величиной является *полярное расстояние* p , отсчитываемое по кругу склонения от северного полюса мира до светила в градусной мере.

Склонение севернее небесного экватора принимает значения от 0° до 90° , южнее небесного экватора от 0° до -90° . Склонение звёзд очень медленно меняется, в том числе и в течение суток.

Часовой угол в течение суток изменяется от 0^h до 24^h .

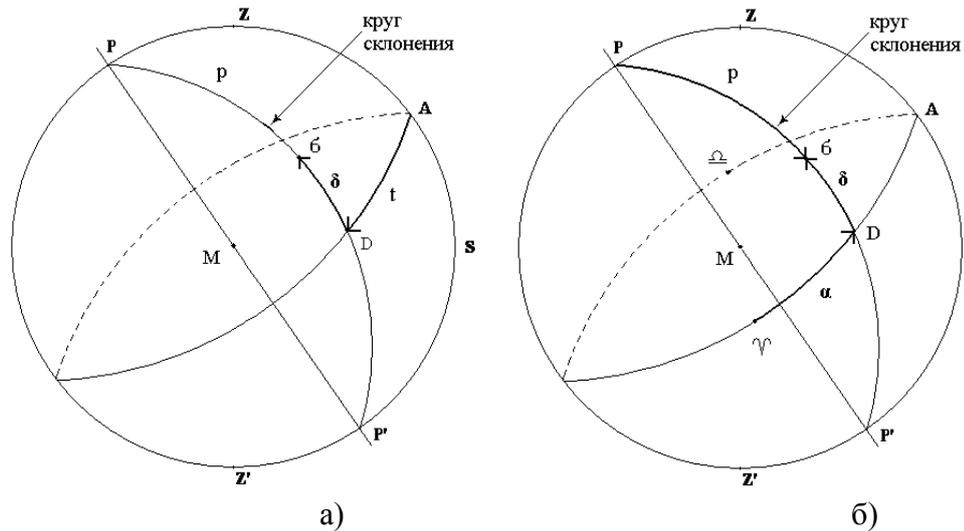


Рис. 7. Первая и вторая экваториальные системы координат

7. Вторая экваториальная система координат

Во второй экваториальной системе (рис. 7б) координатами светила являются:

- склонение δ и полярное расстояние p , и соответствует аналогичным величинам в первой экваториальной системе координат;
- *прямое восхождение α* , отсчитываемое от точки *весеннего равноденствия Υ* по небесному экватору до круга склонений против движения светил в часовой мере.

Выясним, что представляет собой точка *весеннего равноденствия*. Из-за движения Земли по орбите проекция Солнца на небесную сферу в течение года перемещается среди звёзд (рис. 8а).

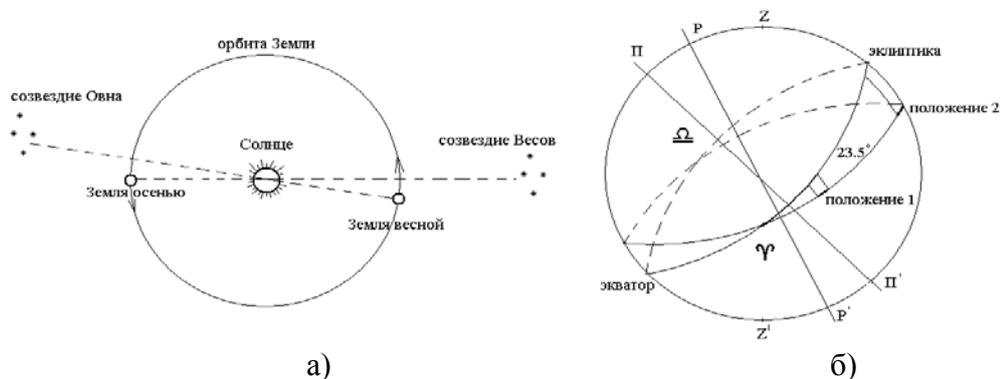


Рис. 8. Перемещение изображения Солнца в течение года

Эклиптика - линия перемещения проекции Солнца на небесной сфере (рис. 8б). Плоскость эклиптики наклонена к плос-

кости небесного экватора на угол 23.5° , что соответствует наклону плоскости экватора Земли к плоскости земной орбиты. Эклиптика пересекает небесный экватор в двух точках: точке весеннего равноденствия Υ и точке осеннего равноденствия Ω .

Прямое восхождение может принимать для различных светил значения от 0^h до 24^h .

8. Координаты Солнца

Чем выгодна вторая экваториальная система координат? Обе координаты очень медленно изменяются в течение времени (столетий и тысячелетий). В этой системе удобно создавать каталоги координат небесных светил.

Чем выгодна первая экваториальная система координат? В этой системе решаются задачи навигации и геодезии. Позже рассмотрим формулы связи между первой и второй экваториальными системами координат.

Солнце — уникальный небесный объект. Оно удобно для наблюдений и производства астрономических определений с малой и средней точностью, что и производится довольно часто. Становится выгодно создавать каталог координат Солнца и пользоваться им непосредственно в первой экваториальной системе координат.

Действительно, наблюдая повседневную жизнь, можно сказать, что Солнце в полдень находится строго на юге, то есть его часовой угол равен 0^h . Соответственно, в 18 часов (вечером) - часовой угол будет 6^h , в полночь - 12^h , в 6 часов утра - 18^h . Так бы оно и было, если бы Солнце двигалось строго по небесному экватору. Но оно в течение года перемещается по эклиптике и только два раза в год бывает на экваторе.

Рассмотрим рисунок 9а. В некоторую дату Солнце кульминирует (пересекает небесный меридиан), находясь в точке a на эклиптике.

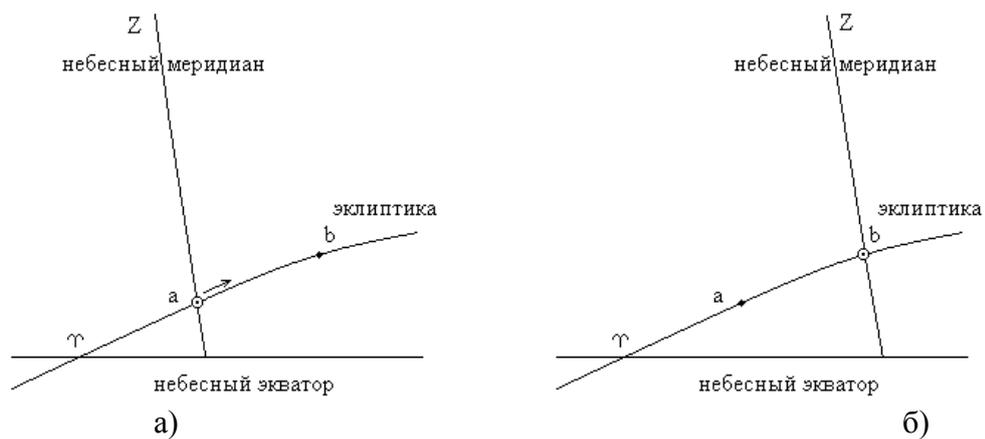


Рис. 9. Кульминации Солнца

Через сутки (рис 9б) Солнце снова кульминирует. Но за прошедшие сутки оно переместится из точки **a** в точку **b** по эклиптике. То есть кульминация наступит несколько позже. Сделаем выводы:

- ежедневно Солнце запаздывает с кульминацией на некоторую величину;
- поскольку через год Солнце снова окажется в точке **a**, суммарная величина запаздывания составляет 1 сутки.

Рассмотрим рисунок 10а и сравним левую и правую части. В левой части кульминации происходили вблизи экватора, в правой части - далеко от него. Точки **a'** и **b'** по сути являются вспомогательными точками **A** (см. рис. 7), от которых отсчитывается часовой угол.

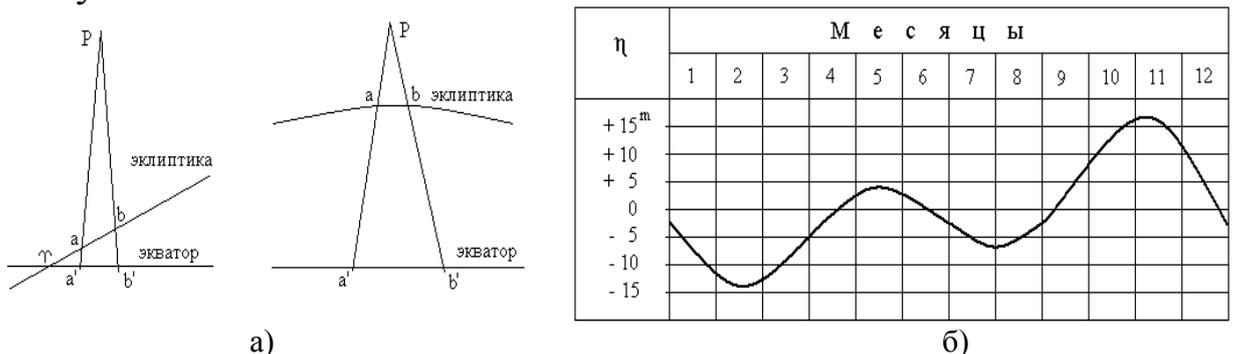


Рис. 10. Уравнение времени

Из сравнения видно, что часовой угол Солнца бывает равным 0^h (строго на юге) в разное время в разные даты.

Все пользуются часами, обеспечивающими равномерное время. Получается, что в одни даты Солнце находится в верхней кульминации (строго на юге) раньше полудня на некоторую величину, в другие даты - позже.

Кроме того, Земля движется не по идеальной круговой орбите, а по эллиптической, двигаясь то быстрее, то медленнее. А значит и Солнце по эклиптике движется с разными скоростями. Это тоже вносит свою составляющую в величину отставания или опережения кульминации Солнца. Суммарная величина носит название *уравнения времени* и обозначается символом η . Его приближённое значение показано в таблице на рисунке 10б. Точное значение приводится в каталогах координат Солнца.

В некоторых случаях для описания положения Солнца на эклиптике и других небесных светил используют *эклиптическую систему координат*. В этой системе координатами являются: *эклиптическая широта* φ , отсчитываемая от полюса Солнечной системы, и *эклиптическая долгота* λ , отсчитываемая от точки весеннего равноденствия.

9. Астрономическая широта точки стояния

Астрономическая широта точки стояния на Земле φ соответствует углу, между плоскостью горизонта и осью мира (рис. 11а).

С другой стороны, широта есть:

$$\varphi = 90^\circ - z_p \quad ,$$

где z_p - зенитное расстояние полюса мира P . Широта измеряется в градусной мере. В северном полушарии Земли широта принимает значение от 0° на экваторе до 90° на Северном полюсе. В южном полушарии - от 0° на экваторе до -90° на Южном полюсе.

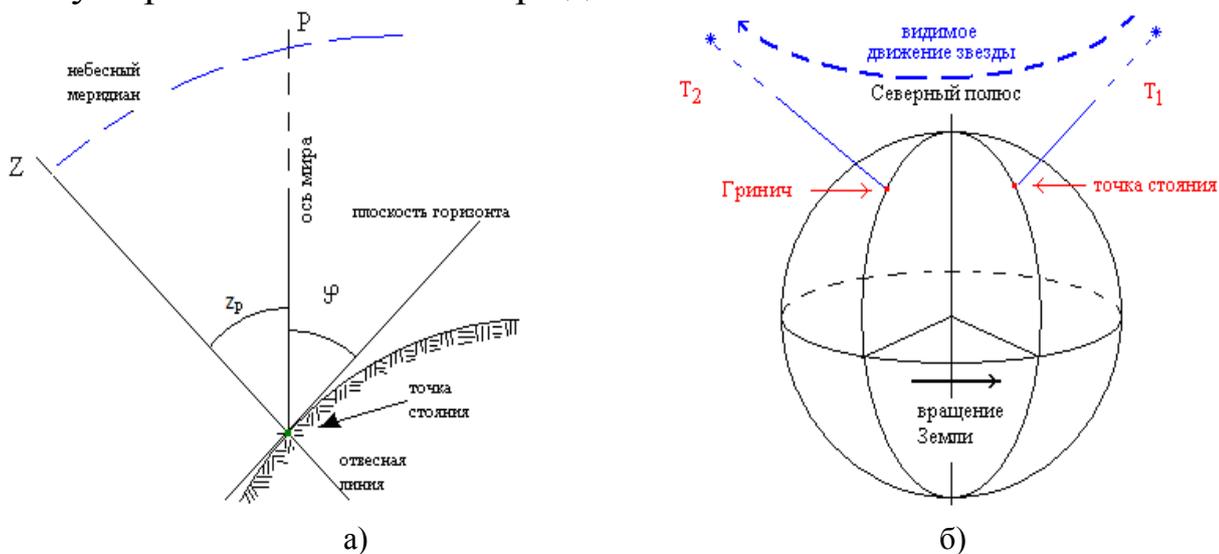


Рис. 11. Астрономические широта и долгота точки стояния

10. Астрономическая долгота точки стояния

Для каждой точки стояния есть свой небесный меридиан. Есть небесный меридиан и для обсерватории в Гринвиче (Гринвиче) в Лондоне.

Рассмотрим рисунок 11б. Взять какое-либо светило (звезду) и засечь в точке стояния момент её верхней кульминации T_1 . Через некоторое время эта же звезда пройдёт верхнюю кульминацию в Гринвиче в момент T_2 . Долгота точки стояния λ будет:

$$\lambda = T_2 - T_1 \quad .$$

Долгота измеряется в часовой мере и принимает значение от 0^h до 24^h .

Таким образом, широта и долгота точки стояния являются её абсолютными координатами (рис. 12а). Абсолютными они называются потому, что не зависят от принятой в стране системы геодезических координат, так как опираются только на координаты небесных светил. А координаты небесных светил измеряются в астрономических обсерваториях и используются всеми геодезистами мира.

При развитии государственной геодезической сети (ГГС) в России астрономическим методом создавались *астрономические пункты* (см. рис. 12б), на которых с высокой точностью определялись астрономические широты, долготы и азимуты направлений. Назначение таких определений будет рассмотрено при изучении дисциплины «Геодезическая астрономия».

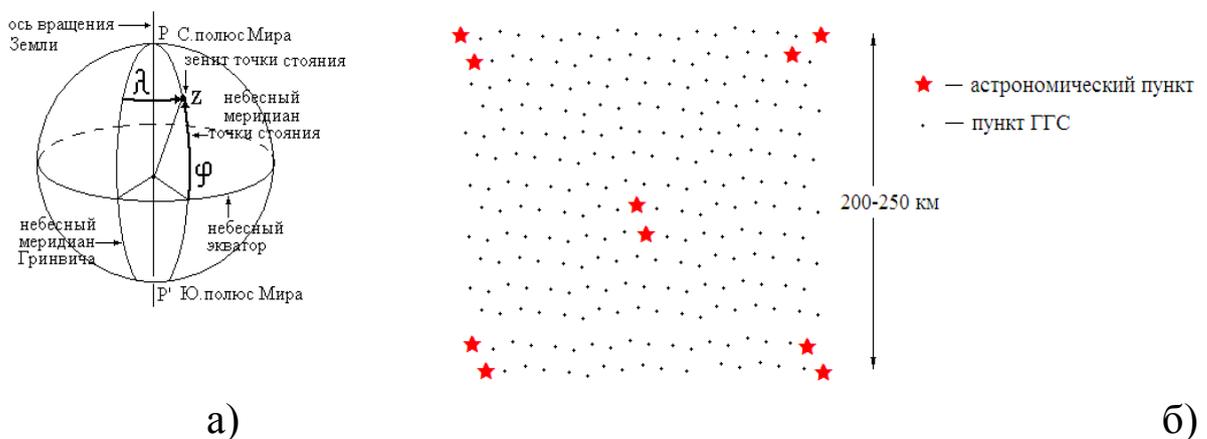


Рис. 12. Астрономические пункты

11. Параллактический треугольник

Для установления связи между системами координат используют *параллактический треугольник* (рис. 13).

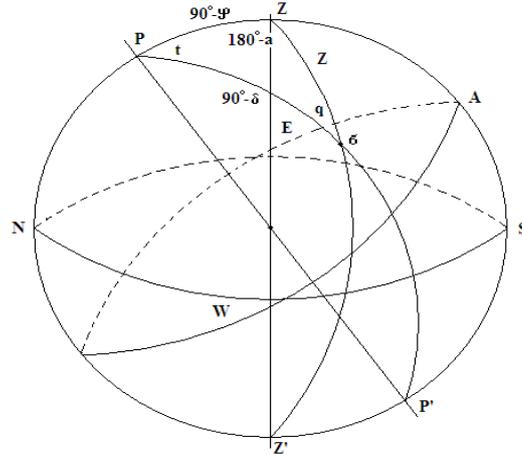


Рис. 13. Параллактический треугольник

Вершинами такого треугольника являются точки: светило σ , зенита Z и полюса мира P . Углами в треугольнике являются: q - *параллактический угол*, часовой угол t и угол, равный $180^\circ - a$. Стороны равны: $90^\circ - \varphi$, $90^\circ - \delta$ и зенитному расстоянию z . Размеры сторон измеряются в градусной мере. Часовой угол t измеряется в часовой мере и, при необходимости, переводится в градусную.

Согласно теоремам сферической тригонометрии с учётом преобразований, для параллактического треугольника справедливы выражения:

$$\frac{\cos \delta}{\sin a} = \frac{\cos \varphi}{\sin q} = \frac{\sin z}{\sin t} \quad ;$$

$$\sin \delta = \sin \varphi \cdot \cos z - \cos \varphi \cdot \sin z \cdot \cos a \quad ;$$

$$\sin \varphi = \cos z \cdot \sin \delta + \sin z \cdot \cos \delta \cdot \cos q \quad ;$$

$$\cos z = \sin \delta \cdot \sin \varphi + \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos t \quad ;$$

$$\cos \delta \cdot \cos q = \sin \varphi \cdot \sin z + \cos \varphi \cdot \cos z \cdot \cos a \quad ;$$

$$\cos \delta \cdot \cos t = \cos z \cdot \cos \varphi + \sin z \cdot \sin \varphi \cdot \cos a \quad ;$$

$$\cos \varphi \cdot \cos a = \cos \delta \cdot \cos z \cdot \cos q - \sin \delta \cdot \sin z \quad ;$$

$$\cos \varphi \cdot \cos t = \cos z \cdot \cos \delta - \sin z \cdot \sin \delta \cdot \cos q \quad ;$$

$$\sin z \cdot \cos q = \sin \varphi \cdot \cos \delta - \cos \varphi \cdot \sin \delta \cdot \cos t \quad ;$$

$$\sin z \cdot \cos a = \cos \delta \cdot \sin \varphi \cdot \cos t - \sin \delta \cdot \cos \varphi \quad .$$

Из формул видна связь между горизонтной и первой экваториальной системой координат, а также широтой точки стояния φ .

В формулах отсутствуют координаты: долгота точки стояния λ и прямое восхождение α .

Существуют особые ситуации:

- один, два или все три угла в сферическом треугольнике равны 90° (прямоугольный сферический треугольник); в этом случае тригонометрические функции *sin* или *cos* обращаются в 0 или 1, что упрощает формулы;

- одна из сторон или один из углов малы, то есть составляют несколько секунд или десятков секунд; в этом случае синус угла заменяется на значение самого угла в секундах дуги, а косинус - на 1, что также упрощает формулы.

12. Солнечное и звёздное время

Земля обращается вокруг Солнца за 365.2422 дней. Этот период можно соотнести со временем между последовательными прохождениями Солнца через точку весеннего равноденствия. Четверть суток за четыре года накапливается в одни лишние сутки. В один из четырёх лет в високосный год добавляются одни сутки.

Год делится на месяцы и на недели. От некоторого года ведётся *летоисчисление*. Летоисчисление зависит от принятого *календаря*.

В астрономии, чтобы избежать путаницы с разными календарями, принимается летоисчисление в *юлианских днях*. Юлианский день обозначается символом *JD*. Начало юлианских суток приходится на гринвичский полдень. Начало счёта ведётся от гринвичского полудня 1 января 4713 года до нашей эры. Например, первая половина суток 1 января 2013 года приходится на 2456293 *JD*.

Солнце, как и любое небесное светило, ежедневно проходит нижнюю кульминацию. Период времени между последовательными кульминациями называется *истинными солнечными сутками*. Из-за наклона эклиптики относительно небесного экватора, истинные солнечные сутки могут быть немного либо короче, либо длиннее. Это явление было рассмотрено в п.8. Поэтому установлены *средние солнечные сутки*, одинаковые в течение всего года из года в год, по которым идут часы во всём мире..

Для обеспечения единства измерений введено понятие *всемирного времени UT*. Это среднее солнечное время на Гринвиче. Из-за неравномерности вращения Земли, а также из-за смещения

её полюса, длительность суток в течение года также меняется. Поэтому существует:

- UT0 - время, полученное из наблюдений небесных светил;
- UT2 - время, исправленное за неравномерность вращения Земли и движение её полюсов;
- TAI - *атомное время*, всегда равномерное, не зависящее от вращения Земли;
- UTC - *всемирное координированное время*.

В UTC длительность секунды равна длительности секунды TAI. UTC изначально равно UT2. Время UT2 сравнивается с атомным временем TAI. Когда разность становится больше 0.5^s , UTC скачкообразно меняется на 1^s . В повседневной жизни и при производстве измерений пользуют UTC. С ним синхронизируется и *московское время*, которое больше UTC ровно на 3 часа.

Среднее солнечное время обозначается:

- *m* - *местное*, на меридиане точки стояния;
- *T_m* - *московское время*;
- *T_0* - *всемирное время*, соответствующее UTC.

Зависимость местного времени от всемирного:

$$m = T_0 + \lambda \quad ,$$

где λ - астрономическая долгота точки стояния.

Поясное время:

$$T_N = T_0 + N \quad ,$$

где N - номер часового пояса.

В сутки дня весеннего равноденствия Солнце и точка весеннего равноденствия Υ кульминируют примерно в одно время. Из-за годичного движения Солнца по эклипике, уже на следующий день Солнце кульминирует примерно на 4 минуты позже, чем точка весеннего равноденствия (см. п.8). Ещё через сутки - примерно на 8 минут. Всего за один год разница достигает одних суток.

Во второй экваториальной системе одной из координат светила является прямое восхождение α , которое отсчитывается от точки весеннего равноденствия и измеряется в часовой мере. Вывод - для измерения времени при наблюдении звёзд необходимо использовать специальное *звёздное время*. Секунда звёздного времени короче секунды среднего солнечного времени.

Звёздное время:

- *s* - *местное*, на меридиане точки стояния;

- S - на Гринвиче;
 - So - на Гринвиче в полночь по всемирному времени, т.е. $To = 0^h$.

Зависимость местного звёздного времени от гринвичского:

$$s = S + \lambda \quad .$$

Следующая кульминация точки весеннего равноденствия в сутки дня весеннего равноденствия произойдёт через 366.2422 звёздных суток. Этот период называется *тропическим годом*.

13. Связь между солнечным и звёздным временем

Из выше изложенного легко установить, что

$$1_{\text{ср.сол.сутки}} = \frac{366.2422}{365.2422} \text{ звёздн.суток} ,$$

или

$$1_{\text{ср.сол.сутки}} = \left(1 + \frac{1}{365.2422}\right) \text{ звёздн.суток} .$$

Редукция времени:

$$\mu = \frac{1}{365.2422} \text{ звёздн.суток} .$$

Поскольку в сутках 86400^s , величина редукции будет

$$\mu = \frac{86400^s}{365.2422} = 236.555^s = 3^m 56.555^s \quad .$$

Удобнее использовать редукцию за 1 час: $\mu = \frac{236.555^s}{24^h} = 9.856^s \quad .$

Если известно московское время наблюдений, местное звёздное время:

$$To = T_m - 3^h \quad ;$$

$$s = So + To + \mu \cdot To + \lambda \quad .$$

При этом So выбирается из соответствующей таблицы, обычно размещаемой в звёздных каталогах.

Обратный переход – от звёздного времени к среднему солнечному. Формулы будут аналогичными:

$$1_{\text{звёздн.сутки}} = \frac{365.2422}{366.2422} \text{ средн.солн.суток} \quad .$$

Редукция времени ν за сутки равна $3^m 55.909^s$, за 1 час - 9.830^s .

Если вернуться к рассмотрению рисунка 7, то можно сделать выводы:

- звёздное время s есть часовой угол точки весеннего равноденствия;

- связь между первой и второй экваториальными системами координат можно выразить формулой:

$$s = t + \alpha$$

Здесь: t - часовой угол светила, α - прямое восхождение светила.

14. Служба времени

Самые точные часы - атомные. По ним сверяют все остальные часы. Любые часы или торопятся, или отстают. В том числе и те, которые используются при астрономических наблюдениях. Это значит, что регистрируя время прохождения небесного светила, показания часов будут содержать ошибку. Если сверить часы с атомными - можно определить *поправку часов u* , которую потом можно будет ввести в результаты регистрации времени:

$$u = X - T$$

где: - X - время, синхронизированное с атомным;

- T - показания часов в момент сравнения с атомным.

Можно изначально установить часы по атомному времени с тем, чтобы поправка была равна нулю. Но через некоторое время поправка снова появится. Секунда, которую вырабатывают часы, либо длиннее атомной, либо короче. Это связано с несовершенством конструкции часов. Изменение поправки часов называется *ходом часов ω* . Определить ход часов можно, дважды сравнив часы с атомным временем. Сравнения должны быть разделены некоторым временем, обычно кратным одному часу. *Ход часов* за 1 час (часовой ход часов) будет:

$$\omega = \frac{u_2 - u_1}{(T_2 - T_1)^h}$$

где: - u_1 - поправка часов в первый приём сравнения с атомным временем;

- u_2 - поправка часов во второй приём сравнения;

- T_1 - показания часов в первый приём сравнения;

- T_2 - показания часов во второй приём сравнения.

Разница $T_2 - T_1$, полученная в часах, минутах, секундах, переводится в часы и доли часа.

В промежутках между приёмами сравнения часов с атомным временем, можно производить наблюдения небесных светил,

регистрируя время наблюдений. Если зарегистрировано время T , то поправка к нему будет:

$$u = u_1 + \omega \cdot (T - T_1)^h .$$

Соответственно, эта поправка должна быть введена в результаты регистрации времени.

Время X , синхронизированное с атомным, можно получить по каналам связи:

- радиовещанию, например по радиостанции «Маяк», которая передаёт сигналы точного времени в начале каждого часа; начало шестого сигнала соответствует началу нового часа;

- передачам специальных радиостанций, например, РВМ, передающим сигналы точного времени три раза в час по 10 минут круглосуточно;

- по Интернету, например, на сайте *www.direct-time.ru*.

Из-за неравномерности вращения Земли и смещения полюса, небесное светило будет занимать на небесной сфере немного другое место, чем это должно соответствовать координатам светила и астрономическим координатам. Для того, чтобы наблюдения светил были корректными, время наблюдений должно быть исправлено соответствующей поправкой, часто обозначаемой как $DUT1+dUT1$. Информацию об этой поправке можно получить:

- по кодовой окраске сигналов точного времени специальных радиостанций, типа РВМ;

- по Интернету, например, на странице <http://hpiers.obspm.fr/eop-pc/>.

Время, которое получается в этом случае, называют *эфemerидным*.

15. Планеты Солнечной системы

Строение Солнечной системы представлено на рисунке 14. В центре располагается звезда по имени Солнце. Вокруг обращается 8 планет. Между орбитами Марса и Юпитера располагается *пояс астероидов*.

Кроме планет существуют: малые планеты, астероиды, кометы, метеориты. По современным представлениям Плутон отнесён к малым планетам. Начиная с орбиты Плутона располагается *пояс Койпера*, состоящий из малых планет, комет и астероидов.

Солнечную систему предположительно окружает *облако Оорта*, состоящее из комет.

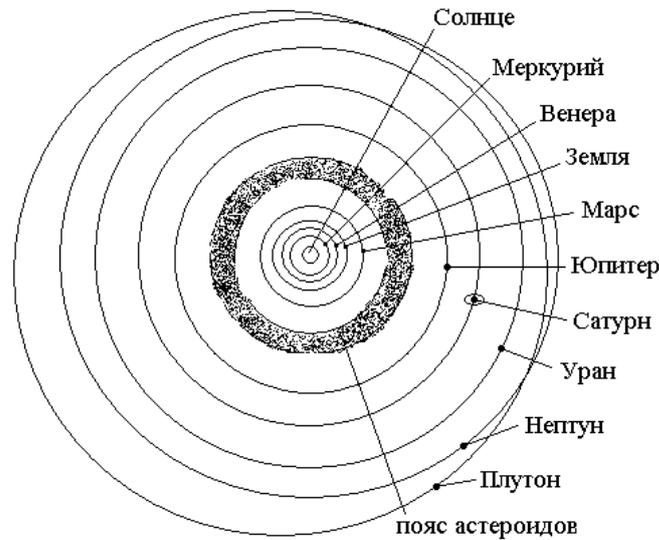


Рис. 14. Строение Солнечной системы

Вокруг планет, кроме Меркурия и Венеры, обращаются спутники. Вокруг Земли - Луна, вокруг Марса - Фобос и Деймос. Вокруг малой планеты Плутона вращается спутник Харон.

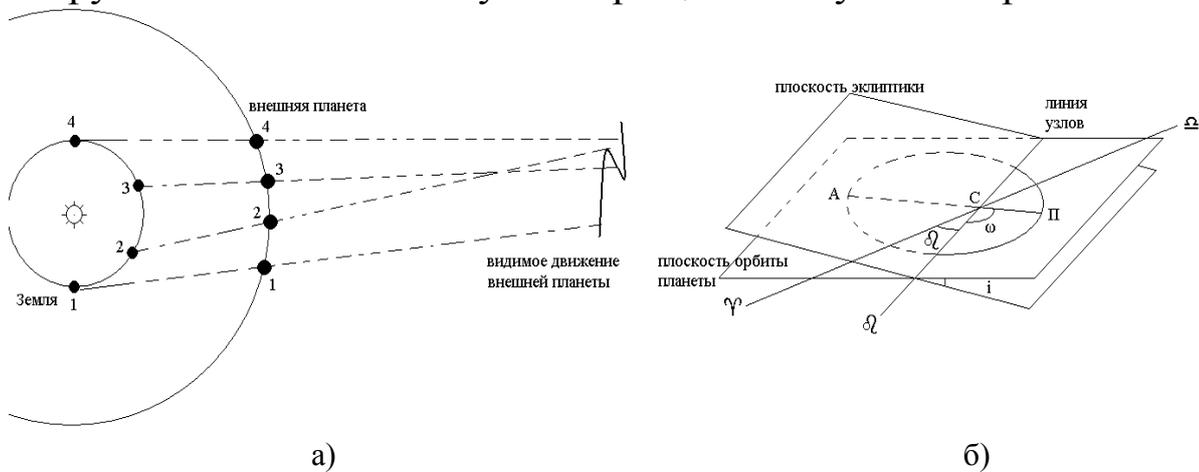


Рис. 15. Положение планет относительно Земли

Чем ближе планета к Солнцу, тем быстрее она вращается вокруг него. Например, Меркурий обращается вокруг Солнца за 88 земных суток, Нептун - за 164 земных года. Из рисунка 15а видно, что: - Земля совершила половину оборота вокруг Солнца (от точки 1 до точки 4), а некоторая внешняя планета прошла лишь небольшую часть по своей орбите.

Складывается ситуация, когда проекция траектории внешней планеты образует зигзаг или делает петлю. Именно этот факт и смущал астрологов, так как подобное явление не могло быть

корректно описано в пределах геоцентрической системы мира (см. п.1).

Плоскости орбит планет несколько не совпадают с плоскостью орбиты Земли - плоскостью эклиптики (см. рис. 15б). Линия пересечения плоскости орбиты планеты с плоскостью эклиптики называется *линией узлов*, восходящего и нисходящего. Восходящим считается узел, после которого планета в своём движении поднимается над плоскостью эклиптики. Пространственное положение орбиты планеты характеризуется углом наклона i её плоскости относительно плоскости эклиптики, а также долготой восходящего узла ϱ . Это угол из центра Солнца между направлениями на точку весеннего равноденствия γ и линией узлов. Кроме того, все орбиты характеризуются размерами полуоси, эксцентриситета, долготой *афелия* и т.д (см. далее).

16. Астероиды и кометы

Малые планеты имеют диаметр от сотен до тысячи километров. *Астероиды* - каменные глыбы меньших размеров (рис 16а). Разница между ними в том, что малой планетой считается каменное тело, которое под действием сил гравитации приняло сферическую форму. Астероиды и малые планеты в основном располагаются в поясе Койпера и поясе астероидов. Есть и астероиды, вращающиеся по вытянутым орбитам и пересекающие орбиту Земли, что не исключает возможности столкновения астероида с Землёй.



Рис. 16. Астероид и комета

Более мелкие камни и песчинки ежедневно падают на Землю. Песчинки успевают сгореть в атмосфере. След падения называется *метеором*. Более крупные - падают на поверхность Земли, образуя кратеры. След падения иногда называется *болидом*, а сам камень - *метеоритом*.

Кометы (рис. 16б), по современным представлениям, глыбы замёрзших газов и воды, перемешанных с камня, песчинками, пылью. Большинство комет располагается в облаке Оорта, но некоторые имеют вытянутые орбиты и также пересекают орбиту Земли.

При приближении к Солнцу из-за нагрева поверхности кометы, начинают испаряться газы, увлекающие за собой пыль и песчинки. Ядро кометы окружается газопылевым облаком. Из-за давления солнечных лучей газопылевое облако относится прочь от Солнца, образуя хвост кометы.

Комета, периодически пролетая мимо Солнца, постоянно теряет газы и воду. В конечном счёте, комета потеряет все газы и воду. Останется рой камней и песка, которые продолжают движение по орбите, постепенно рассеиваясь. При попадании такого роя на Землю наблюдается явление «звёздный дождь» из метеоритов.

17. Проявление законов Кеплера

Планеты, малые планеты (планетоиды), кометы, астероиды, вращаются вокруг Солнца по орбитам. Спутники вращаются вокруг планет также по орбитам. Законы вращения по орбитам были выведены И.Кеплером (1617-1622 гг.).

Первый закон. Каждая планета Солнечной системы обращается по эллипсу, в одном из фокусов которого находится Солнце (рис. 17а).

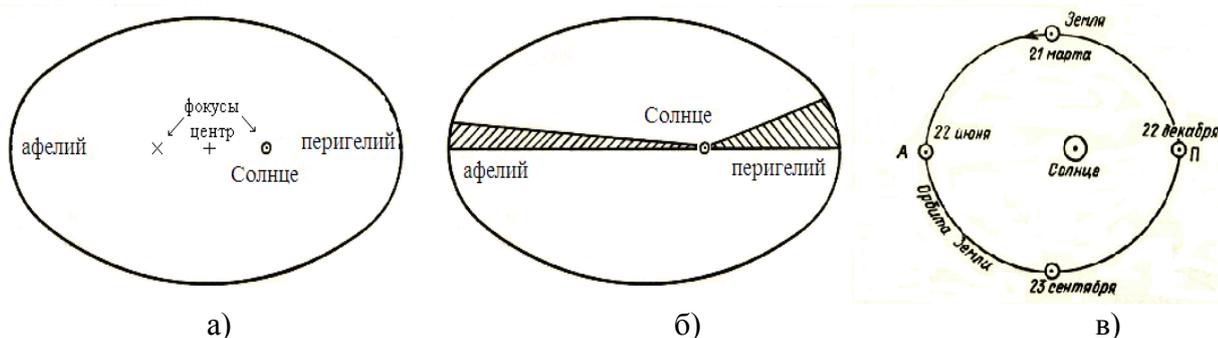


Рис. 17. Орбита планеты и второй закон Кеплера

Характеристикой орбиты являются её большая полуось и эксцентриситет. Большая полуось a и эксцентриситет e связаны отношением

$$e = \frac{c}{a} ,$$

где c - расстояние от центра эллипса до одного из фокусов.

Второй закон. Каждая планета движется в плоскости, проходящей через центр Солнца, причём за равные промежутки времени радиус-вектор, соединяющий Солнце и планету, описывает равные площади (рис. 17б).

Третий закон. Квадраты периодов обращения планет вокруг Солнца относятся, как кубы больших полуосей орбит планет:

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

где: - T_1 и T_2 - периоды обращения первой и второй планеты соответственно;

- a_1 и a_2 - размеры полуосей.

Позже И. Ньютон уточнил эту формулу, введя массы Солнца и планет, и сделал её универсальной для любых систем в космосе

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

где M - масса Солнца или другого центрального тела в системе, m_1 и m_2 - соответственно массы планет или других объектов в системе.

Если рассматриваются орбиты небесного тела, вращающегося вокруг Солнца, то точка орбиты, наиболее удалённая от Солнца называется *афелий*. Наиболее близкая точка к Солнцу - *перигелий*. Аналогично, для Луны и искусственных спутников Земли эти точки называют *апогей* и *перигей*. Земля в афелии находится 22 июня (рис. 17в).

18. Свойство прецессии гироскопа

Тело, быстро вращающееся вокруг одной из осей симметрии, называют *гироскопом*. Примером гироскопа является мас-

сивный цилиндр (рис. 18а). Ось вращения гироскопа называют *главной осью*.

Свойство свободного гироскопа - *свойство стабилизации*. Например, если основную ось гироскопа навести на какую-либо звезду, то при перемещении гироскопа главная ось будет сохранять своё направление на звезду.

Если на гироскоп осуществляется внешнее воздействие, гироскоп будет реагировать, но не так, как обычное материальное тело. Допустим, что на гироскоп в точке A действует сила F_1 . Это равноценно воздействию силы F_2 на главную ось гироскопа. Если бы гироскоп не вращался, точка A начала бы перемещаться по направлению вектора силы F_1 . Во вращающемся гироскопе точка A перемещается по вектору вращения V_{ω} . Складывая векторы, получается, что точка будет перемещаться в направлении вектора V_T . В конечном счёте, гироскоп начнёт разворачиваться по направлению (Vn) , перпендикулярному вектору воздействия силы. Это свойство называют *свойством прецессии*.

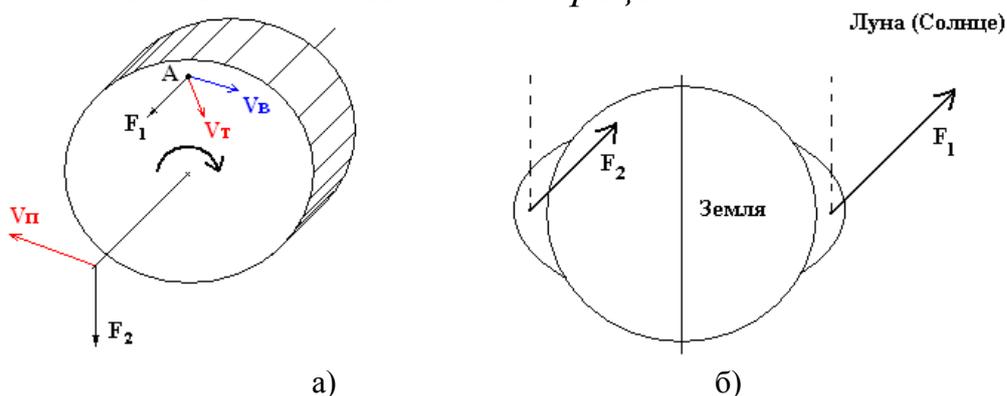


Рис. 18. Явление прецессии

19. Явление прецессии земной оси

Земля представляет собой гироскоп. Для удобства земной эллипсоид можно рассматривать как сферу с экваториальными приливами (рис. 18б).

На Землю воздействует сила тяготения от Луны и Солнца. Эта сила приложена к центру масс Земли (на рисунке не показано). Эта сила есть сумма всех сил, приложенных к единичным массам, из которых состоит Земля. Можно выделить две силы - F_1 и F_2 - приложенные к экваториальным приливам. Вектора этих сил не совпадают ни с плоскостью экватора, ни с полярной осью из-за наклона оси вращения Земли к плоскости эклиптики.

Силы F_1 и F_2 не равны, так как один край экваториального прилива ближе к Луне (Солнцу), чем другой. Разность сил аналогична силе F_1 на рисунке 18а. Вывод - ось вращения Земли (главная ось гироскопа) должна совершать прецессионное движение (рис. 19а).

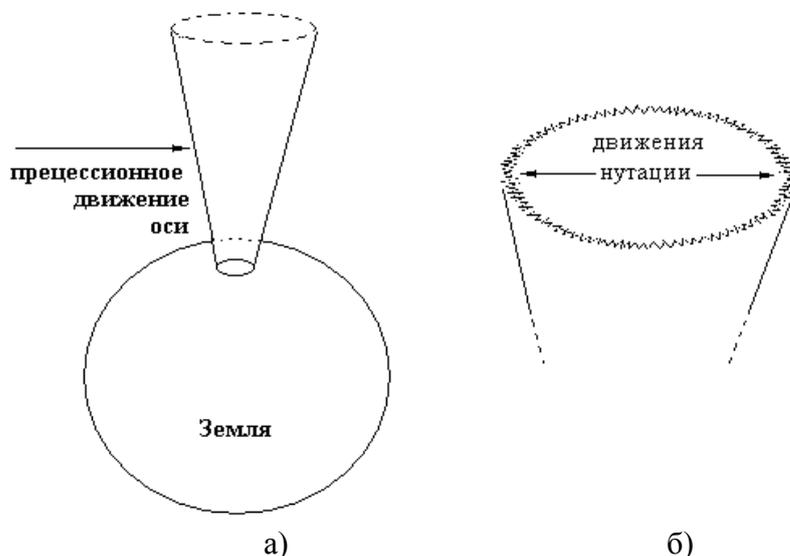


Рис. 19. Прецессия и нутация земной оси

Это приводит как к изменению положения полюса мира среди звёзд, так и смещению точки весеннего равноденствия по небесному экватору. Значит, будут изменяться координаты небесных светил во второй экваториальной системе координат: прямого восхождения α и склонения δ .

Прецессия земной оси заключается в том, что полюс мира совершает в пространстве оборот, образуя конус. Период прецессионного обращения примерно равен 26 000 лет.

20. Явление нутации земной оси и смещения полюса Земли

Нутация имеет ту же природу, что и прецессия. По амплитуде колебаний она существенно меньше, чем прецессия, но тем не менее, её проявление заметно влияет на координаты светил. Своим тяготением на нутацию оказывают влияние как Солнце и Луна, так и такие планеты, как Юпитер, Сатурн и т. д. Нутационные движения земной оси рассматривают, как наложение на основное прецессионное движение (рис. 19б).

Различают долгопериодическую и короткопериодическую нутации. Долгопериодическая нутация имеет период в 18.6 лет. Короткопериодическая нутация проявляется в течение года.

На координаты небесных светил влияет и *смещение полюса*. Если прецессия и нутация выражается в том, что сама Земля меняет свою ориентацию в пространстве, то смещение полюса – есть перемещение оси вращения в теле Земли. То есть, если ось вращения проходила через одну точку на поверхности Земли, то через некоторое время будет проходить через другую. Это, естественно, приводит к изменению астрономических координат точек стояния.

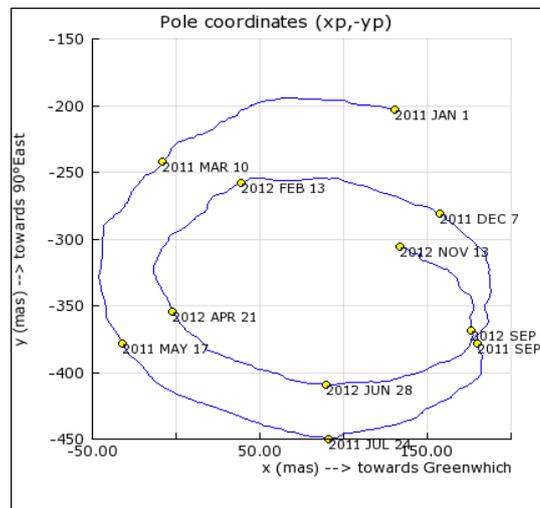


Рис. 20. Изменение положения Северного полюса Земли

Положение полюса отслеживается крупнейшими обсерваториями мира по наблюдениям звёзд и спутников Земли. На рисунке 20 показано изменение положения Северного полюса Земли за некоторый промежуток времени.

21. Годичный параллакс

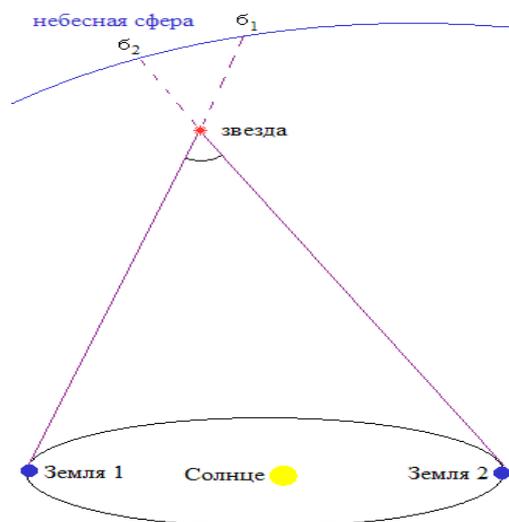


Рис. 21. Сущность годичного параллакса

Сущность *годового параллакса* показана на рисунке 21. Считая, что небесная сфера находится на бесконечно большом удалении, можно видеть, что в положении *Земли 1* и в положении *Земли 2* проекция некоей звезды будет принимать различные положения (σ_1 и σ_2). Это влияет на координаты звезды во второй экваториальной системе координат: прямого восхождения α и склонения δ .

Из рисунка видно, что:

- чем дальше звезда от Солнечной системы, тем меньше эти смещения;

- смещения по координатам по прямому восхождению α и склонению δ зависят как от угла наклона лучей к звезде относительно к плоскости эклиптики, так и от положения Земли на орбите.

Это означает, что влияние годового параллакса индивидуально для каждой звезды.

Если переместиться на звезду и увидеть орбиту Земли, можно измерить угол, под которым видна орбита. Установлено, что орбита Земли будет видна под углом в $1''$ с расстояния в 3.26 световых года (от Земли до звезды свет будет лететь 3.26 года). Это расстояние в астрономии называется *парсек* (параллакс-секунда).

22. Суточный параллакс

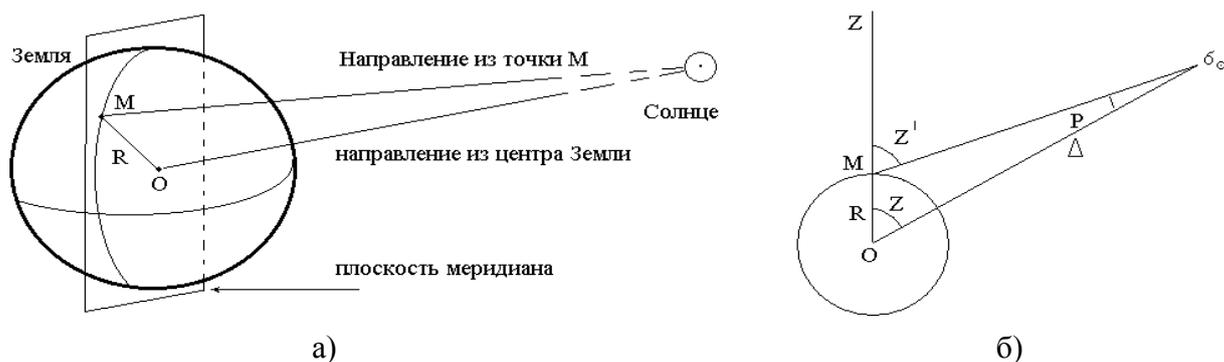


Рис. 22. Суточный параллакс

Суточный параллакс аналогичен годовому параллаксу (рис. 22). Он связан с тем, что точка стояния перемещается в пространстве вследствие вращения Земли вокруг своей оси. С другой стороны, все координаты небесных светил соотнесены с центром Земли, а наблюдения производятся с поверхности планеты. Для отдалённых светил (звёзд) суточный параллакс ничтожно мал, но

для близких небесных объектов: Солнца, планет, Луны, искусственных спутников Земли, - он ощутим.

Суточный параллакс Солнца можно определить как угол, под которым из центра Солнца виден радиус Земли, соответствующий месту наблюдения.

Рассмотрим, каково влияние суточного параллакса Солнца на его азимут. Рассмотрим рисунок 22а. Из точки M на поверхности Земли проведено направление на Солнце. Из центра Земли O также проведено направление на Солнце. Линия MO – отвесная линия. Они образуют плоскость вертикала, в которой в момент наблюдений находится Солнце. Вторая плоскость – плоскость меридиана, в которой лежат: точка M , отвесная линия и центр Земли O . Азимут есть двугранный угол между плоскостью меридиана и плоскостью вертикала. Отсюда следует, что на значение азимута Солнца суточный параллакс не влияет.

Рассмотрим влияние суточного параллакса на измеряемое зенитное расстояние (рис. 22б). Измерено зенитное расстояние z' . При обработке измерений необходимо использовать зенитное расстояние z (приведённое к центру Земли):

$$z = z' - p \quad ,$$

где p – суточный параллакс Солнца в момент наблюдений.

Рассмотрим рисунок 23а. При зенитном расстоянии, равном нулю, параллакс будет равен нулю.

Согласно рисунку 23б при зенитном расстоянии 90° значение параллакса будет максимально. Максимальное значение параллакса называется *горизонтальным параллаксом Солнца*, обозначается символом p_0 и получается из решения треугольника: Солнце – M – O . При этом известен радиус Земли R и расстояние до Солнца Δ . В афелии $p_0 = 8.66''$, в перигелии $p_0 = 8.95''$.

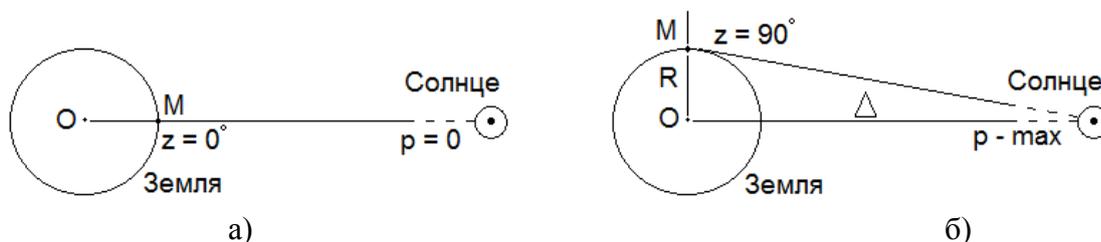


Рис. 23. К определению суточного параллакса

Суточный параллакс p вычисляют по формуле

$$p = p_0 \sin z' \quad .$$

Конечная формула, учитывающая влияние суточного параллакса Солнца на его зенитное расстояние, имеет вид

$$z = z' - p_o \sin z' .$$

Значительно больший суточный параллакс по сравнению с Солнцем имеет Луна. Значение его находится в пределах $53.9 - 61,5'$. Что касается ИСЗ, то их суточный параллакс в несколько десятков раз больше суточного параллакса Луны вследствие их близости к Земле.

23. Годичная абберация

Абберация – это кажущееся изменение положения светила на небесной сфере, обусловленное сложением скорости света и скорости перемещения наблюдателя в пространстве.

Представим себе наблюдателя, который движется в направлении BA (рис. 24), и в точке N наблюдает светило σ . Луч света, идущий от светила, достигает объектива зрительной трубы в некоторый момент времени T . Перекрестье сетки нитей находится в этот момент в точке N . Чтобы пройти расстояние ON от объектива до сетки нитей, лучу потребуется некоторый промежуток времени τ . За это время наблюдатель вместе со зрительной трубой переместиться в направлении BA на величину NN' , равную $v\tau$ (v - скорость движения наблюдателя). Труба займет положение $N'O'$, параллельное NO , а изображение светила σ на сетке нитей сместится в сторону, противоположную направлению движения наблюдателя, на величину $v\tau$.

Для того, чтобы в точке N наблюдатель мог видеть светило σ на перекрестье сетки нитей, он должен заранее, еще в точке N_0 , отстоящей от N на величину $v\tau$, наклонить зрительную трубу так чтобы она заняла положение N_0O .

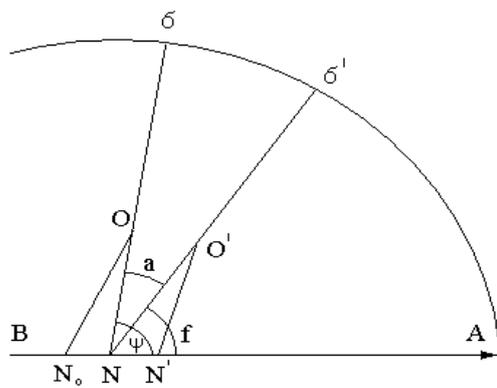


Рис. 24. К объяснению сущности абберации

За время τ , пока луч света проходит расстояние от объекта до перекрестья сетки нитей, сам наблюдатель переместится из точки NO в точку N и увидит изображение светила точно на перекрестье сетки нитей. Зрительная труба в этом случае займет положение NO' , т.е. наблюдатель будет видеть светило в направлении $N\sigma'$.

Таким образом, направление $N\sigma'$ будет видимым направлением на светило, а $N\sigma$ – истинным. Если обозначить угол между истинным направлением на светило и направлением движения наблюдателя через Ψ , а между видимым направлением на светило и направлением движения наблюдателя через f , то разность $\Psi - f = a$ называется углом аберрации. Точка A , в которой направление движения наблюдателя пересекается с небесной сферой, называется *апексом* движения наблюдателя.

Следовательно, вследствие аберрации светило кажется смещенным по направлению к апексу по дуге большого круга, проходящего через светило и апекс. Рассмотрим треугольник $NO'N'$, в котором: угол $NO'N' = a$, угол $O'NN' = f$, $NN' = v\tau$; а $N'O' = c\tau$.

По теореме синусов будем иметь

$$\sin a / (v\tau) = \sin f / (c\tau) \quad ,$$

откуда

$$\sin a = v/c \sin f \quad .$$

Так как v по сравнению с c – величина малая, то и угол a мал. Поэтому, ограничиваясь первым членом разложения в ряд $\sin a$ и выражая a в секундах дуги, можно записать

$$a'' = \rho''v/c \sin f \quad .$$

Ввиду малости угла a вместо $\sin f$ можно взять $\sin \Psi$. Тогда, заменив угол a соответствующий ему дугой $\sigma\sigma'$, получим

$$\sigma\sigma' = \rho''v/c \sin \Psi \quad ,$$

или

$$\sigma\sigma' = R \sin \Psi \quad ,$$

где R – коэффициент аберрации, определяемый равенством

$$R = \rho''v/c \quad .$$

На основании формул можно сделать вывод, что аберрационное смещение светила пропорционально синусу углового расстояния светила от апекса движения наблюдателя.

Точка небесной сферы σ' , в которую проектируется светило для наблюдателя, находящегося в покое, называется истинным положением или истинным местом светила σ . Координаты, относящиеся к видимому положению светила, называют *истинными координатами*.

Точка небесной сферы σ' , в которую проектируется светило для движущегося наблюдателя, называется видимым положением или видимым местом светила σ . Координаты, относящиеся к видимому положению светила, называют *видимыми координатами*.

Наблюдатель, находящийся на поверхности Земли, движется:

- вследствие вращения Земли со скоростью на экваторе 0.22 км/сек;

- вокруг Солнца со скоростью 30 км/сек.

Видно, что суточная абберация слишком мала, поэтому она не учитывается.

24. Собственное движение звёзд

Звёзды в галактике, в том числе и Солнце, вращаются вокруг центра галактики по своим орбитам. Орбиты не являются идеальными эллиптическими, так как каждая звезда испытывает гравитационное воздействие от других ближайших звёзд и звёздных скоплений. Поэтому каждая звезда движется по своей уникальной сложной кривой.

Различные источники сообщают, что Солнечная система также вращается вокруг центра галактики Млечный Путь, делая один оборот за 200-250 миллионов лет, двигаясь по своей траектории со скоростью 220-250 километров в секунду.

Взаимное положение звёзд относительно Солнца всё время меняется. Это приводит к тому, что с течением времени изменяются координаты звёзд во второй экваториальной системе координат. Это явление называется *собственным движением звёзд* и обозначается символом μ . Соответственно, в звёздных каталогах указываются величины годичного изменения: μ_α - прямого восхождения, μ_δ - склонения.

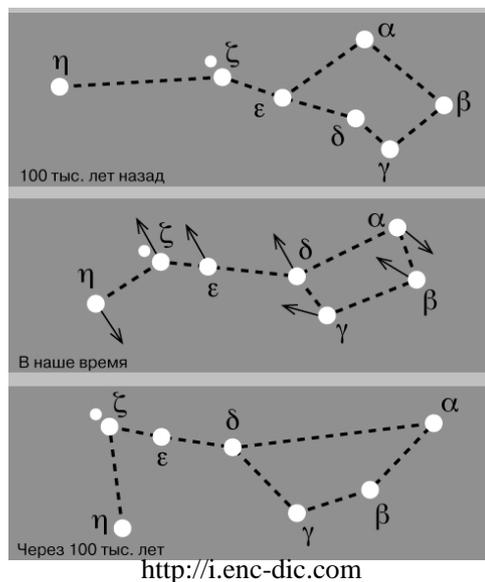


Рис. 25. Изменение положения звёзд созвездия Большой Медведицы

Например, звезда Барнарда смещается более чем на $10''$ в год. На рисунке 25 показано движение звёзд в созвездии Большой Медведицы.

На протяжении последних столетий ведущие обсерватории мира, обрабатывая многолетние определения координат звёзд, вычисляют направление и скорость их движения.

25. Фазы Луны, лунные и солнечные затмения

В своём движении вокруг Земли, Луна освещается Солнцем под разными углами. Если Луна находится вблизи Солнца, то она не видна, так как днём она теряется в лучах Солнца, а ночью - так как находится под горизонтом. Это положение называется *новолунием*. Если Луна находится в положении, когда Земля размещается между Луной и Солнцем, она полностью освещена и это положение называется *полнолунием*. Промежуточные положения называются четвертями. В промежутке от новолуния до полнолуния Луна называется растущей, после полнолуния — убывающей (стареющей).

Плоскость орбиты Луны наклонена к плоскости эклиптики на $5^{\circ} 08' 43.4''$. Если бы не было этого наклона, то ежемесячно Луна проходила точно между Землёй и Солнцем, закрывая от наземных наблюдателей его свет. Это явление из-за наклона орбиты Луны случается значительно реже. Поскольку видимый диаметр

Луны почти равен видимому диаметру Солнца, Луна может полностью перекрыть свет Солнца. Это явление называют *полным солнечным затмением*.

Бывают случаи, когда для наблюдателя на Земле, Луна лишь частично закрывает солнечный диск. В этом случае речь идёт о частичном или *неполном солнечном затмении*. Солнечные затмения явление достаточно редкое, 1-3 раза в году. Хотя бывают годы, когда солнечных затмений не бывает вовсе. Они могут происходить только в новолуние.



Рис. 26. Земля и Луна

Напротив, в полнолуние может сложиться ситуация, когда тень от Земли падает на Луну. Это явление называется *лунным затмением*. Лунные затмения случаются несколько чаще, чем солнечные и бывают как полными, так и частичными.

26. Синодический период обращения Луны

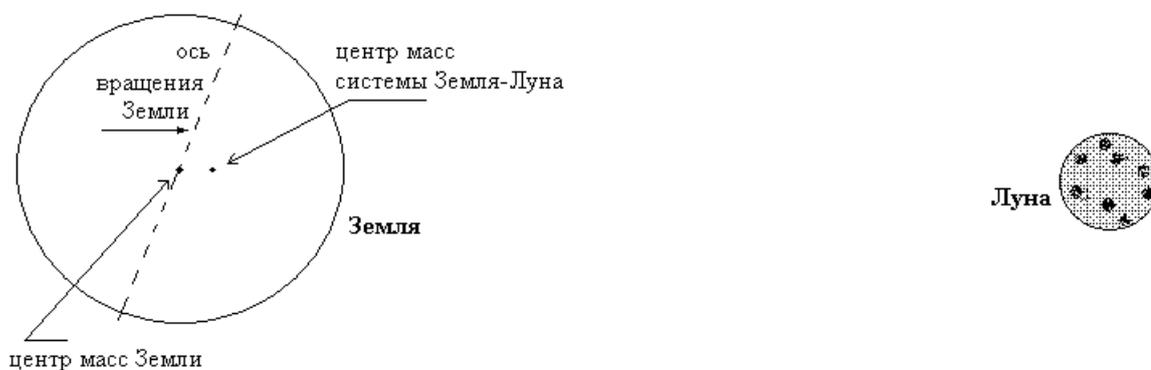


Рис. 27. Система Земля - Луна

Луна вращается вокруг Земли. Фотографии Земли и Луны представлены на рисунке 26.

Луна обладает значительной массой. Система Земля-Луна обладает общим центром масс – *барицентром*, который вращается вокруг Солнца. (рис. 27).

Видимое положение Луны, как и Солнца, перемещается среди звёзд. Поэтому её координаты во второй экваториальной системе постоянно изменяются. Сравнивая положение Луны с положением Солнца на небесной сфере, отмечается, что Луна и Солнце периодически имеет одинаковое прямое восхождение α . Этот период был измерен ещё в древности и назван *синодическим периодом* обращения Луны. Он равен 29.53059 средних солнечных суток.

27. Сидерический период обращения Луны

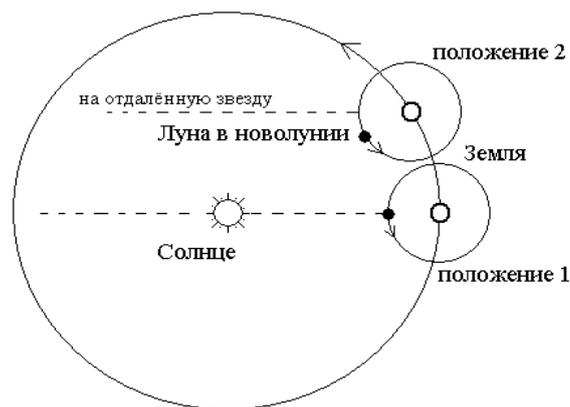


Рис. 28. Синодический и сидерический периоды обращения Луны

Предположим, что Земля находится в положении 1, а Луна в новолунии (рис. 28). Это означает, что их прямые восхождения совпадают.

Через период, равный синодическому (29.53059 суток), Луна снова будет в новолунии при положении 2 Земли. За этот период Солнце сместится по эклиптике и будет иметь другое прямое восхождение, примерно на 1 час меньше. Значит, Луна будет иметь прямое восхождение, равное тому, которое она и Солнце имели в положении 1 Земли несколько ранее, а именно через 27.322 средних солнечных суток. Этот период называют *сидерическим*.

На рисунке 28 этот момент показан штриховой линией с надписью «на отдалённую звезду». То есть сидерическим периодом называется промежуток времени между двумя соседними положениями Луны с одинаковым прямым восхождением.

28. Характеристики звёзд

Основная масса материи во Вселенной сосредоточена в звёздах. Звезда - небесное тело, в котором идут в данный момент термоядерные реакции. В результате термоядерных реакций выделяется энергия. Из-за этого температура на поверхности звёзд составляет тысячи и десятки тысяч градусов, внутри звезды - миллионы и десятки миллионов градусов. При такой высокой температуре атомы вещества, из которого состоит звезда, начинают излучать фотоны с различной длиной волны. Звезда светится. Свет излучают внешние слои звезды: *фотосфера, хромосфера, корона*.

Звёзды различаются между собой по многим показателям (характеристикам). Важнейшие из них:

- размер (диаметр);
- масса;
- цвет (спектральный состав);
- возраст.

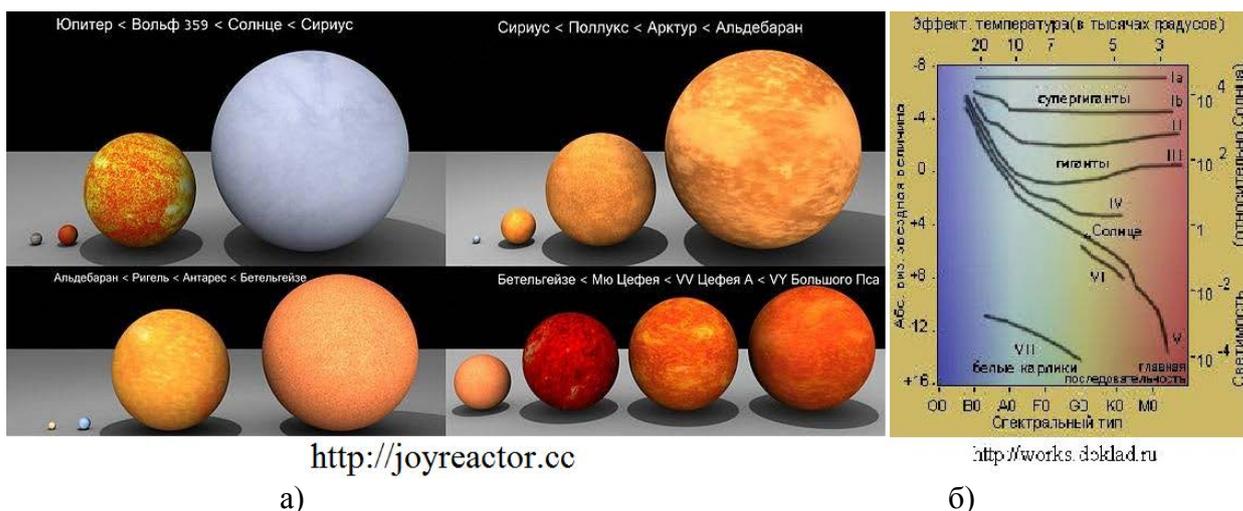
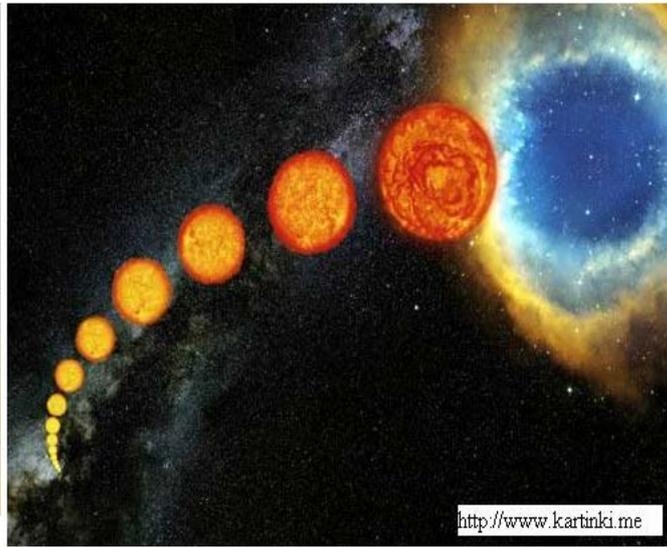


Рис. 29. Размеры звёзд

Класс	Температура, К	Истинный цвет	Видимый цвет ^{[8][9]}
O	30 000—60 000	голубой	голубой
B	10 000—30 000	бело-голубой	бело-голубой и белый
A	7500—10 000	белый	белый
F	6000—7500	жёлто-белый	белый
G	5000—6000	жёлтый	жёлтый
K	3500—5000	оранжевый	желтовато-оранжевый
M	2000—3500	красный	оранжево-красный

<http://kylak.ru>

а)



б)

Рис. 30. Классификация звёзд по температуре и цвету. Жизненный путь Солнца

Размер звёзд определяется относительно некоторого среднего размера. Звёзды делятся на звёзды обычного размера, гигантов и карликов. Солнце считается карликом, хотя в космосе немало звёзд, значительно меньших Солнца по размеру. Диаметр звёзд часто сравнивается с диаметром Солнца (рис. 29а). Масса звезды также сравнивается с массой Солнца. На рисунке 29б дана классификация основных типов звёзд по их размерам, температуре и цвету.

Цвет звезды зависит от температуры её фотосферы. Чем горячее звезда, тем больше в её спектре синего цвета. Чем звезда холоднее — тем больше в её спектре красного (рис. 30а).

По современным представлениям, звёзды не вечны. В какой-то момент образуется звезда, разгорается, светит. Через несколько миллиардов лет термоядерное топливо заканчивается, и звезда начинает претерпевать изменения. Она может расшириться и стать красным гигантом. Затем внутренние слои звезды уплотняются до размеров белого карлика, внешние - рассеиваются, образуя *планетарную туманность*. Солнце, предположительно, обратится в белого карлика, окружённого планетарной туманностью (рис. 30б). С течением времени белый карлик либо взрывается, либо угасает.

Более массивные звёзды чаще всего взрываются. Образуется звезда, называемая «новая» или «сверхновая». В зависимости от массы, она может превратиться в *нейтронную звезду*

(рис. 31а) или *чёрную дыру*. В местах взрывов звёзд остаются газопылевые туманности (рис. 31б).

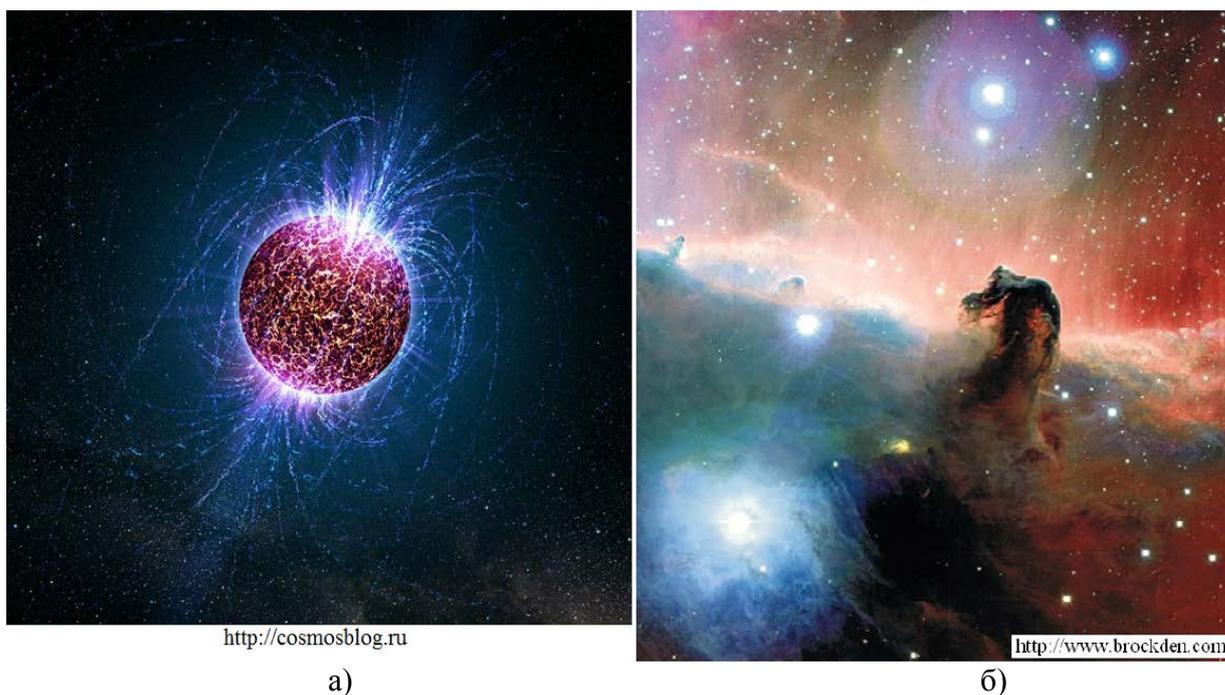


Рис. 31. Нейтронная звезда. Туманность «Конская голова»

Нейтронная звезда — астрономический объект, являющийся одним из конечных продуктов эволюции звёзд, состоящий, в основном, из нейтронной сердцевины, покрытой сравнительно тонкой (1 км) корой вещества в виде тяжёлых атомных ядер и электронов.

Чёрная дыра образуется после взрыва очень массивных звёзд. При этом из-за большой массы вещество начинает сжиматься, уплотняться до огромных значений. Звезда как бы проваливается внутрь себя. Этот процесс называется *коллапсом*. Масса чёрной дыры, сконцентрированная в небольшом объёме, создаёт очень высокую напряжённость гравитационного поля. Настолько большую, что фотоны (свет) не могут вылететь наружу. Поэтому такой астрономический объект и называется «чёрной дырой», поскольку не светится.

Все зарегистрированные звёзды имеют свои номера в соответствующих каталогах звёзд. Наиболее яркие звёзды имеют собственные имена (Вега, Сириус, Альтаир и т.п.). Совокупность изображений соседних звёзд образуют *созвездия*, которые также имеют собственные имена (Большая Медведица, Орёл, Андромеда и т. п.). Двенадцать созвездий, располагающихся вдоль эклиптики, называют *зодиакальными*.

29. Характеристики галактик

Галактика - крупное звёздное образование, включающее в себя сотни миллиардов звёзд. Кроме звёзд, в галактике присутствуют *газопылевые туманности*. В некоторых частях галактики звёзды группируются в более компактные группы - *звёздные скопления*, обычно *шаровые*, включающие в себя десятки и сотни тысяч звёзд.

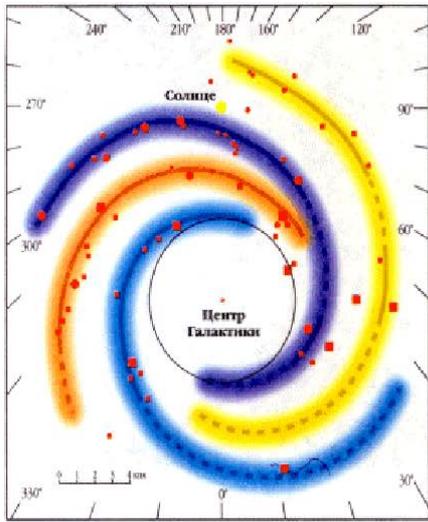
Наша Солнечная система входит в состав галактики Млечный Путь. В нашей галактике приблизительно 200 млрд. звёзд. Рядом с нашей галактикой существуют две карликовых галактики - Большое Магелланово Облако и Малое Магелланово Облако. Ближайшая к нам галактика - Туманность Андромеды удалена от нас на 2.52 миллионов световых лет (рис. 32а).



Рис. 32. Галактика Туманность Андромеды и эволюция галактик

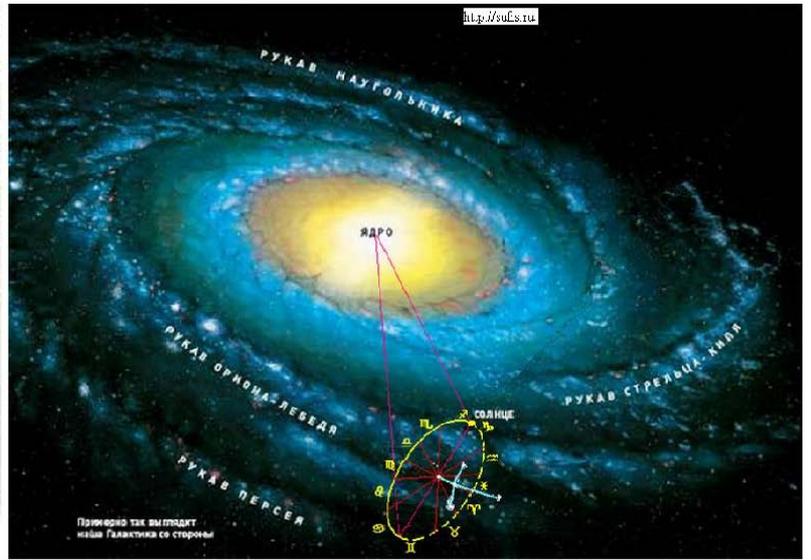
Галактики различаются по размеру и по форме. Предполагают, что форма зависит от возраста галактики (рис. 32б).

Первоначально галактика напоминает крупное шаровое скопление звёзд. Звёзды вращаются вокруг центра галактики. Постепенно галактика принимает форму линзы (чечевицы). На следующем этапе, звёзды группируются вблизи плоскости экватора галактики. Затем происходит разделение на спиральные галактики и на спиральные галактики с баром (перемычкой). Звёзды группируются в рукавах галактики. Небольшие галактики, которые не могут образовать спирали, становятся неправильными (иррегулярными) галактиками. Постепенно, по мере гибели звёзд, галактика уменьшается в размерах и исчезает.



<http://www.trounev.com>

а)

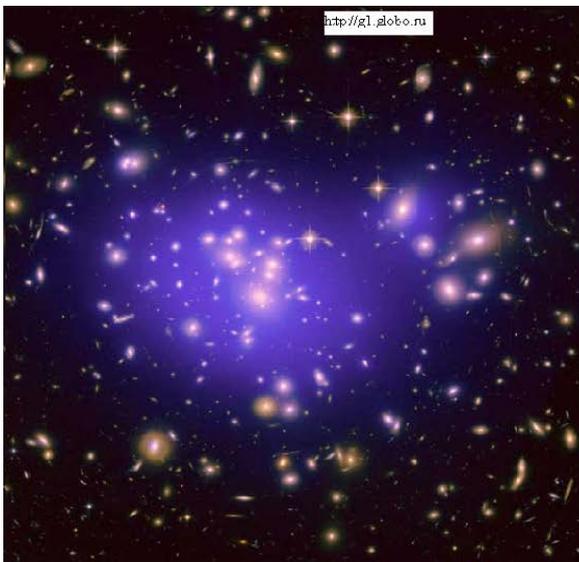


б)

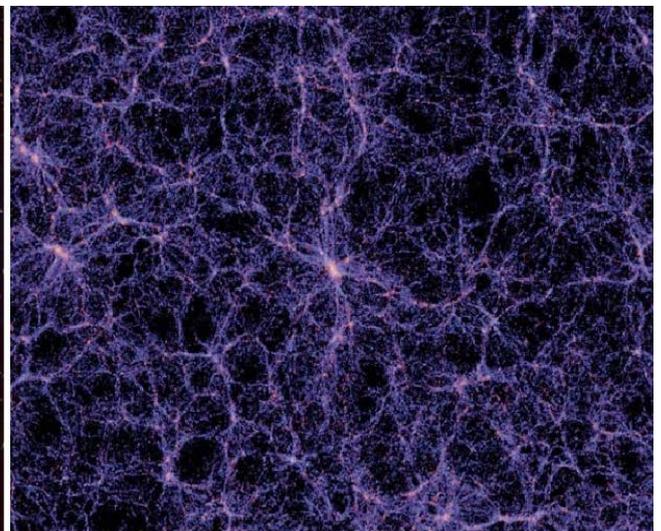
Рис. 33. Схематическое строение и внешний вид галактики Млечный Путь

На рисунке 33а показана предполагаемая структура галактики Млечный путь исходя из современных наблюдений. На рисунке 33б художник изобразил, как бы выглядела наша галактика для стороннего наблюдателя.

30. Структура Вселенной



а)



б)

Рис. 34. Структура Вселенной

Вселенная в вещном мире представлена совокупностью галактик. На данный момент предполагается, что во Вселенной имеется несколько миллиардов галактик. Наблюдаемое скопле-

ние галактик показано на рисунке 34а. Структура Вселенной похожа на ту, которая изображена на рисунке 34б. Каждая светлая точка на рисунке - галактика.

Видимая часть Вселенной ещё называется Метагалактикой. Из рисунка видно, что по структуре она напоминает губку - состоит из пузырей пустого пространства, по границам пузырей в линиях располагаются галактики.

31. Наблюдательная астрономия

Небесные светила человек начал наблюдать ещё в древности, обобщать и систематизировать свои наблюдения. По мере развития цивилизаций, астрономические наблюдения становились достаточно важны для людей. Создавались специальные места, сооружения для производства таких наблюдений. Они назывались *астрономическими обсерваториями*. Таковые создавались и в древнем Китае и в Индии. Для наблюдения за небесными светилами в обсерваториях создавались и устанавливались изме-

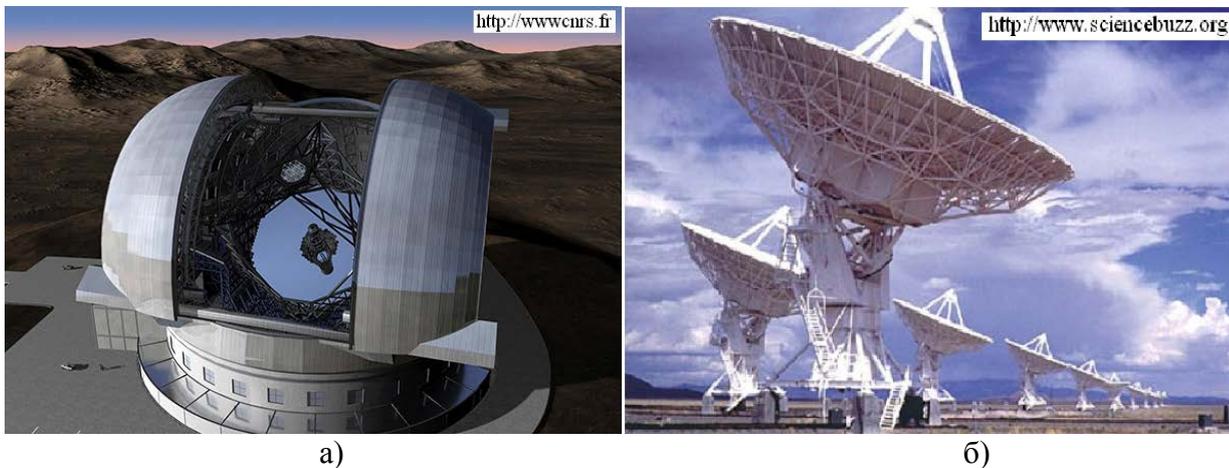


Рис. 35. Оптический телескоп и радиотелескопы

рительные приборы: *солнечные часы (гномоны)*, горизонтальные и вертикальные круги и сектора (квадранты) с делениями для производства измерений.

На современном этапе обсерватории создаются и содержатся не только в крупных странах за государственный счёт, но и на частные пожертвования. Немало обсерваторий имеют национальные объединения учёных (академии наук), учебные заведения и частные организации. Есть и астрономы-любители. Наибо-

лее значимые астрономические обсерватории регистрируются. Всего их насчитывается в мире несколько тысяч.

Для производства наблюдений используются различные приборы: оптические телескопы (рис. 35а), радиотелескопы (рис 35б), инфракрасные, ультрафиолетовые и рентгеновские телескопы, регистраторы частиц. Предпринимаются попытки создать нейтринный телескоп и регистратор гравитационных волн. Существует даже крупная автоматизированная космическая обсерватория, вращающийся на орбите Земли - телескоп «Хаббл».

32. Гипотезы возникновения Вселенной и Солнечной системы

Вопросами возникновения Вселенной и её динамики занимается разделы теоретической астрономии - *космология* и *космогония*. Взгляды учёных на структуру Вселенной, её возникновение и предполагаемое будущее существенно менялись по мере накопления знаний. От примитивных представлений о Земле, лежащей на спинах трёх слонов, до современных гипотез, конкурирующих с гипотезой Большого Взрыва.

Гипотеза Большого Взрыва на данный момент является наиболее распространённой. Исходными наблюдательными данными для её построения был закон, который вывел американский астроном Э.Хаббл в 30-е годы XX века «Чем дальше галактика, тем больше её скорость». Это закон он вывел, опираясь на собственные многочисленные наблюдения за удалёнными галактиками, измеряя величину *красного смещения*.

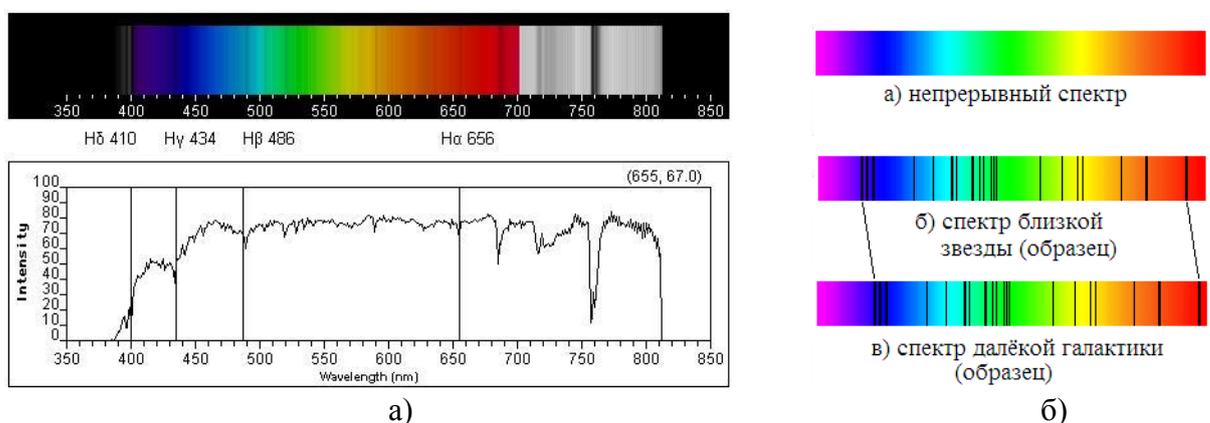


Рис. 36. Красное смещение, наблюдаемое у небесных объектов

Что такое «красное смещение»? Если взять идеальный белый свет, то в его составе обнаружатся фотоны с любой длиной

волны, то есть цветом. В излучении реальной звезды могут отсутствовать фотоны с определёнными длинами волн (рис. 36а). Выражается это в том, что на спектре звезды или галактики появляются тёмные полосы. Расположение тёмных полос в спектре строго определено и соответствует химическому составу звёзд. Если небесный объект неподвижен относительно Земли, тёмные полосы находятся на своих местах. Если объект движется - тёмные полосы смещаются: если приближаются - в фиолетовую сторону, если удаляются - в красную (рис. 36б). Это явление в физике называется *доплеровским эффектом*.

Из предположения, что красное смещение вызвано доплеровским эффектом, возникла концепция «расширяющейся Вселенной». Обратная сторона этой концепции в том предположении, что когда-то все галактики были тесно сконцентрированы в одном месте, а ещё раньше вообще представляли собой точку - *сингулярность*. В некий момент, примерно 14-19 миллиардов лет назад точка взорвалась, образовались материя, пространство и время, из протозвёздной материи образовались туманности и звёзды, сгруппировавшиеся в галактики, которые стали разлетаться и разлетаются до сих пор.

Относительно будущего есть два основных мнения:

- галактики будут и дальше разлетаться до бесконечности;
- наступит время, когда разлёт прекратится и начнётся сжатие, завершающееся образованием новой сингулярности (сверхгигантской чёрной дыры), затем последует новый Большой Взрыв (гипотеза пульсирующей Вселенной).

Гипотезы, альтернативные гипотезе Большого Взрыва отрицают то, что красное смещение у отдалённых галактик вызвано именно доплеровским эффектом. Предполагается, что свойства света ещё не до конца изучены и красное смещение вызвано:

- потерей энергии фотоном с течением времени, выражающимся в увеличении длины его волны;
- вращением Вселенной; сложение скоростей света и вращения приводит к увеличению длины волны и т.п.

Во всех случаях видимый свет вырождается в инфракрасный, а тот в радиоизлучение, которое сегодня регистрируется радиотелескопами и называется *реликтовым*.

Как и другие гипотезы космогонии, гипотезы возникновения Солнечной системы прошли через ряд этапов, важнейший из ко-

торых начался с идей Коперника, разработавшего гелиоцентрическую систему мира.

Одной из первых гипотез возникновения Солнечной системы представил в 1745 году французский учёный Бюффон. Он предположил, что Солнце столкнулось с кометой, удар вырвал из Солнца фрагменты, из которых затем образовались планеты.

В 1755 году учёный И. Кант предположил, что Солнце и планеты образовались из газопылевого облака путём конденсации газов.

В 1796 году П. С. Лаплас развил идею Канта, предположив, что газопылевое облако было сильно раскалённым.

В 1916 году Дж. Джинс разработал другую гипотезу: когда мимо Солнца пролетала другая звезда, она своим притяжением вырвала из Солнца фрагменты, из которых затем образовались планеты.

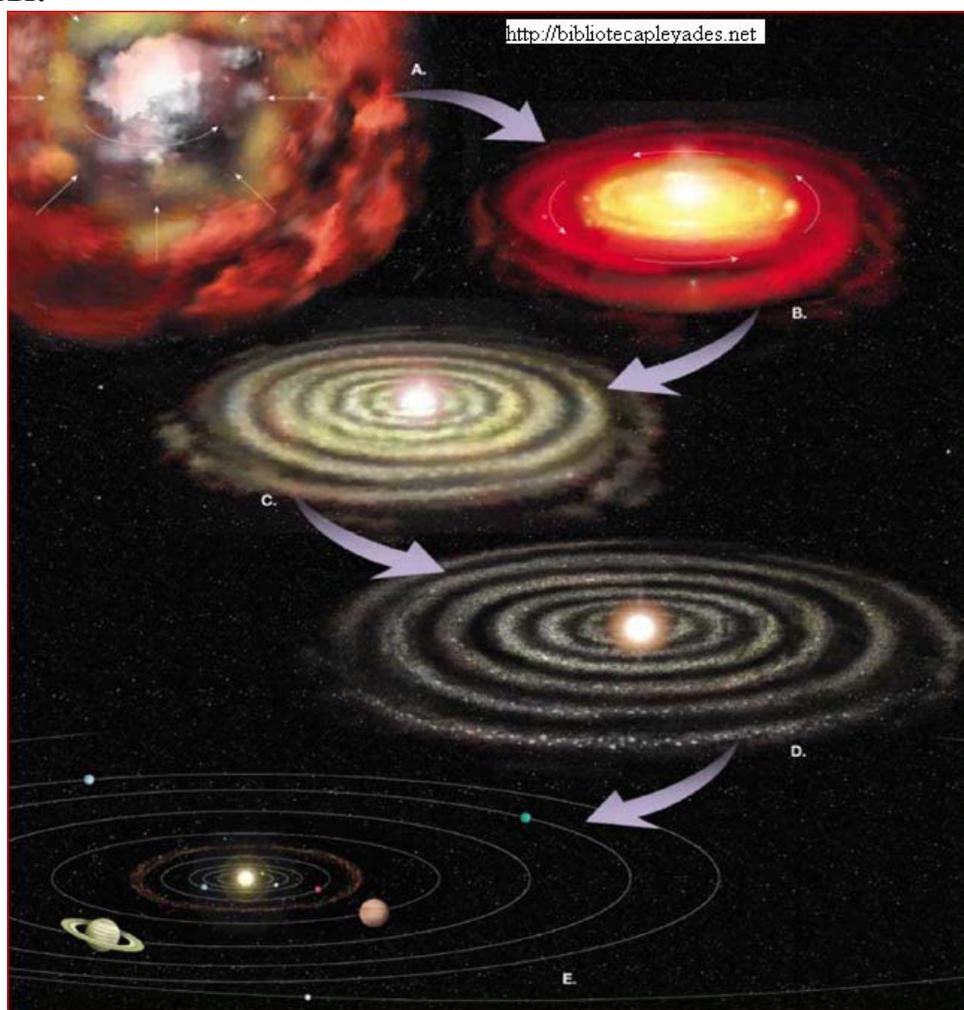


Рис. 37. Возникновение Солнечной системы

В 1944 году Хойл посчитал, что вторая звезда была более старой, чем Солнце и в положенный срок взорвалась, образовав новую звезду. Большая часть остатков была поглощена Солнцем, из остального образовались планеты.

В эти же годы советский учёный Отто Шмидт предположил, что Солнце, двигаясь по галактике, захватило газопылевое облако, из которого сначала образовались протопланеты - *планетезимали*, из которых затем образовались собственно планеты.

По современным представлениям, Солнечная система и само Солнце образовалась из газопылевого облака, близко к тому, как это предполагал Кант, но с учётом достижений современной науки (рис. 37).

33. Заключение

Астрономия возникла в глубокой древности. По мере развития, астрономия расширяла границы Вселенной, ставя задачи перед другими науками: физикой, химией, математикой.

Астрономия выполняет очень важную мировоззренческую функцию, изучая структуру Вселенной, историю её развития и предполагая будущее. Именно работы астрономов позволили отказаться от древних воззрений, что Земля плоская.

Для того, чтобы строго научно описать положение небесных светил на небесной сфере, используют системы координат: горизонтную, первую и вторую экваториальные, эклиптическую. Установлена связь между координатами светил, временем наблюдения и координатами точки стояния наблюдателя. Именно эта связь и используется в геодезии при определении координат земных объектов из наблюдения небесных светил.

На координаты небесных светил во второй экваториальной системе координат влияет ряд факторов: прецессия и нутация, годичный и суточный параллаксы, годичная абберация, собственное движение звёзд.

Тесты (для примера и самоконтроля)

Раздел 1. Элементы сферической астрономии

1. По современным данным первым определил окружность Земли
 - 1) Эвклид;
 - 2) Эратосфен;
 - 3) Архимед.
2. Система мира по Птолемею является
 - 1) гелиоцентрической;
 - 2) геоцентрической;
 - 3) антропоцентрической.
3. Азимут и высота используются
 - 1) в эклиптической системе координат;
 - 2) горизонтной системе координат;
 - 3) экваториальной системе координат.
4. Склонение и прямое восхождение используются
 - 1) в эклиптической системе координат;
 - 2) горизонтной системе координат;
 - 3) экваториальной системе координат.
5. Астрономическая широта точки стояния может принимать значения
 - 1) от 0° до 180° ;
 - 2) от -90° до $+90^\circ$;
 - 3) от 0° до 360° .
6. Астрономическая долгота точки стояния может принимать значения
 - 1) от -12^h до $+12^h$;
 - 2) от 0^h до 24^h ;
 - 3) от 0° до 360° .
7. При передаче сигналов точного времени радиостанцией «Маяк» начало нового часа соответствует
 - 1) началу первой секунды;
 - 2) началу шестой секунды;
 - 3) концу первой секунды.
8. Линия равных высот называется
 - 1) элонгацией;
 - 2) альмукантаратом;
 - 3) колюром.
9. Московское время
 - 1) больше гринвичского на 2 часа;
 - 2) больше гринвичского на 4 часа;
 - 3) меньше гринвичского на 2 часа.
10. Звёздная секунда
 - 1) короче солнечной секунды;
 - 2) длиннее солнечной секунды;
 - 3) не сравнима с солнечной секундой.
11. Вертикал это
 - 1) прямая линия, соединяющая точки зенита и надира;
 - 2) малый круг, проходящий через точку полюса;

- 3) большой круг, проходящий через точки зенита и надира.
12. Небесный меридиан это
- 1) линия, соединяющая точку стояния наблюдателя и Северный полюс Земли;
 - 2) большой круг, проходящий через зенит и полюс мира;
 - 3) большой круг, проходящий через зенит и точку запада.
13. Первый вертикал это
- 1) большой круг, проходящий через зенит и полюс мира;
 - 2) большой круг, проходящий через зенит и точку востока;
 - 3) большой круг, проходящий через полюс мира и точку востока.
14. Элонгация это - когда
- 1) циркумполярная звезда движется только по высоте;
 - 2) циркумполярная звезда движется только по азимуту;
 - 3) звезда имеет наибольший азимут.
15. Склонение светила это
- 1) угол, под которым видно светило над горизонтом;
 - 2) расстояние светила от точки зенита;
 - 3) расстояние от небесного экватора до светила.
16. Прямое восхождение светила это
- 1) азимут, под которым светило восходит;
 - 2) расстояние по экватору от точки весеннего равноденствия до круга склонения;
 - 3) положение светила, когда оно движется только по высоте.
17. Зенитное расстояние светила это
- 1) расстояние от точки зенита до светила;
 - 2) расстояние от полюса мира до светила;
 - 3) двугранный угол между плоскостью горизонта и меридианом.
18. Азимут светила это
- 1) угол между плоскостью меридиана и плоскостью вертикала светила;
 - 2) расстояние от полюса мира до светила;
 - 3) расстояние от экватора до светила.
19. Часовой угол светила это
- 1) угол между плоскостью меридиана и плоскостью вертикала светила;
 - 2) угол между первым вертикалом и вертикалом светила;
 - 3) расстояние по экватору от меридиана до круга склонения светила.

20. Высота светила это
- 1) угол между плоскостью экватора и линией горизонта;
 - 2) расстояние от горизонта до светила по вертикалу;
 - 3) отстояние светила от полюса мира.
21. Верхняя кульминация светила это
- 1) момент восхода светила.
 - 2) момент прохождения светилом меридиана в южной части;
 - 3) момент прохождения светилом заданного альмукантарата.
22. Астрономическая широта точки на Земле определяется как
- 1) угол, под которым виден горизонт;
 - 2) угол между нормалью к поверхности эллипсоида и плоскостью экватора;
 - 3) высота полюса мира.
23. Астрономическая долгота точки на Земле определяется как
- 1) угол, под которым виден полюс мира;
 - 2) разность по времени верхних кульминаций в Гриниче и точке;
 - 3) угол между астрономическим и геодезическими меридианами.
24. Эфемериды светила это
- 1) склонение δ и прямое восхождение α ;
 - 2) зенитное расстояние полюса мира от светила;
 - 3) z и a светила на заданный момент времени.
25. В горизонтной системе координат используются
- 1) часовой угол t и склонение δ
 - 2) зенитное расстояние z и азимут a
 - 3) склонение δ и прямое восхождение α
26. В первой экваториальной системе координат используются
- 1) часовой угол t и склонение δ
 - 2) зенитное расстояние z и азимут a
 - 3) склонение δ и прямое восхождение α

Раздел 2. Солнечная система и движение небесных тел

1. По современным представлениям, Плутон является
 - 1) девятой планетой;
 - 2) малой планетой;
 - 3) спутником Нептуна.
2. Первая от Солнца планета называют
 - 1) Венера;
 - 2) Меркурий;
 - 3) Юпитер.
3. Кольца вокруг себя имеет планета
 - 1) Марс;
 - 3) Сатурн;
 - 4) Юпитер.
4. Апексом называют точку небесной сферы,
 - 1) откуда реально идёт свет звезды;

- 2) куда направлен вектор движения Земли;
3) куда направлен радиус-вектор орбиты Земли.
5. Расстояние, с которого видна орбита Земли под углом в 1 секунду, называют
- 1) световым годом; 2) парсеком; 3) астрономической единицей.
6. Периодическое изменение направления земной оси под влиянием притяжения Луны и Солнца называется
- 1) абберацией; 2) прецессией; 3) параллаксом.
7. Период времени между двумя одинаковыми последовательными фазами Луны называют
- 1) синодическим периодом; 2) сидерическим периодом;
3) календарным месяцем.
8. Период полного обращения Луны вокруг Земли называют
- 1) синодическим периодом; 2) сидерическим периодом;
3) календарным месяцем.
9. Расстояние от Солнца до Земли называется
- 1) световым годом; 2) парсеком; 3) астрономической единицей.
10. Свет от Солнца до Земли долетает примерно
- 1) за 8 часов; 2) за 8 минут; 3) за 8 секунд.
11. Плоскость эклиптики это плоскость
- 1) орбит всех планет солнечной системы;
2) орбиты Земли;
3) перпендикулярная оси вращения Солнца.
12. Солнце находится
- 1) в одном из фокусов эллиптической орбиты планеты;
2) в центре эллиптической орбиты планеты;
3) на линии, соединяющей фокусы орбиты планеты.
13. К внутренним планетам солнечной системы относятся:
- 1) Луна, Земля, Марс, Венера;
2) Марс, Юпитер, Земля, Венера;
3) Меркурий, Венера, Земля, Марс.
14. Солнечное затмение может произойти в
- 1) полнолуние; 2) новолуние; 3) I четверти Луны.
15. Лунное затмение может произойти в
- 1) полнолуние; 2) новолуние; 3) I четверти Луны.
16. Солнечные затмения не случаются ежемесячно из-за
- 1) наклона плоскости орбиты Луны относительно плоскости эклиптики;

- 2) того, что Луна всегда обращена к Земле одной стороной;
 - 3) слишком медленной скорости вращения Луны вокруг Земли.
17. Во время солнечного затмения
- 1) тень от Земли падает на Луну;
 - 2) тень от Солнца падает на Луну;
 - 3) тень от Луны падает на Землю.
18. Во время лунного затмения
- 1) тень от Земли падает на Луну;
 - 2) тень от Солнца падает на Луну;
 - 3) тень от Луны падает на Землю.
19. Явление суточного параллакса вызвано
- 1) вращением Земли вокруг Солнца;
 - 2) вращением Земли вокруг своей оси;
 - 3) наклоном эклиптики.
20. Явление годичного параллакса вызвано
- 1) вращением Земли вокруг Солнца;
 - 2) вращением Земли вокруг своей оси;
 - 3) наклоном эклиптики.
21. Прецессия оси вращения Земли проявляется в изменении
- 1) положения полюса Земли относительно континентов;
 - 2) скорости вращения Земли;
 - 3) положения точки весеннего равноденствия.
22. Явление годичной аберрации вызвано
- 1) сезонными изменениями величины астрономической рефракции;
 - 2) изменением направления земной оси к плоскости эклиптики;
 - 3) сложением скорости света от звезды со скоростью движения Земли.

Раздел 3. Звёзды и галактики

1. Галактика «Млечный путь» включает в себя примерно
 - 1) 200 миллионов звёзд;
 - 2) 200 миллиардов звёзд;
 - 3) 200 триллионов звёзд.
2. Небесное образование Туманность Андромеды является
 - 1) потоком газа и пыли;
 - 2) галактикой;
 - 3) шаровым звёздным скоплением.
3. В будущем Солнце станет
 - 1) белым карликом;
 - 2) нейтронной звездой;
 - 3) чёрной дырой.
4. Гипотеза Большого Взрыва описывает процесс возникновения

- 1) галактики; 2) Вселенной; 3) солнечной системы.
5. Гипотеза Джинса описывает процесс возникновения
- 1) галактики; 2) Вселенной; 3) солнечной системы.
6. Синонимом термина «чёрная дыра» является термин
- 1) чёрный карлик; 2) сингулярность; 3) ничто.
7. Галактика Млечный Путь по форме является
- 1) эллиптической; 2) спиральной; 3) неправильной.
8. Цвет звезды определяет
- 1) её размер; 2) её температуру; 3) её удалённость от центра галактики.
9. Постоянная Хаббла позволяет определить
- 1) размер звезды; 2) расстояние до галактики; 3) возраст звёздного скопления.
10. По современным представлениям возраст Земли
- 1) 4-5 миллиардов лет; 2) 4-5 миллионов лет; 3) 4-5 тысяч лет.
11. Зодиакальные созвездия располагаются вдоль
- 1) небесного экватора; 2) горизонта; 3) эклиптики.
12. Большое Магелланово Облако является
- 1) карликовой галактикой;
- 2) гигантской галактикой;
- 3) газопылевой туманностью.

Словарь терминов

Аберрация - в астрономии явление видимого смещения небесных светил, вызванное движением Земли по орбите вокруг Солнца и вызванное эффектом сложения скоростей света и Земли.

Азимут - в геодезии угол между направлением на север и направлением на какой-либо предмет. Отсчитывается по часовой стрелке. В зависимости от направления на север, различают: магнитный (отсчитываемый от магнитного меридиана), геодезический (отсчитываемый от геодезического меридиана) и астрономический (отсчитываемый от астрономического меридиана) азимуты.

Альмукантарат - малый круг небесной сферы, параллельный горизонту, круг равных высот.

Апекс - точка на небесной сфере, в которую в данный момент времени направлен вектор мгновенного движения Земли.

Апогей - наиболее удалённая от Земли точка орбиты тела, вращающегося вокруг Земли.

Астероид - небесное тело небольшого размера, гравитационные силы которого малы и не позволили телу принять сферическую форму.

Астрология - группа предсказательных практик, традиций и верований, постулирующих воздействие небесных тел на земной мир и человека (на его темперамент, характер, поступки и будущее) и, соответственно, возможность предсказания будущего по движению и расположению небесных тел на небесной сфере и относительно друг друга.

Астрономическая долгота - координата точки стояния, обозначаемая символом λ , соответствующая разности по времени верхних кульминаций светил в точке стояния и на меридиане Гринвича (Гринича).

Астрономическая обсерватория - научное учреждение, оборудованное соответствующим оборудованием и занимающееся исследованием космоса.

Астрономическая широта - координата точки стояния, соответствующая углу между плоскостью горизонта и осью мира; обозначают символом φ .

Астрономический азимут - см. *азимут*.

Астрономический пункт - в геодезии пункт, для которого астрономическим путём определены координаты (широта и долгота) и азимут направления на ориентирный пункт.

Астрономия - наука о Вселенной, изучающая расположение, движение, строение, происхождение и развитие небесных тел и образованных ими систем.

Атомное время - хранимое атомными часами, всегда равномерное, не зависящее от вращения Земли

Атомные часы - прибор для измерения времени, в котором в качестве периодического процесса используются собственные колебания, связанные с процессами, происходящими на уровне атомов или молекул.

Афелий - наиболее удалённая от Солнца точка орбиты тела, вращающегося вокруг Солнца.

Барицентр - общий центр тяжести двух и более близко расположенных тел.

Болид - яркий метеор, имеющий заметные угловые размеры. Наиболее яркие болиды можно наблюдать даже днём.

Большой круг - в сферической тригонометрии круг, образованный поверхностью сферы и плоскостью, проходящей через центр сферы.

Вертикал - круг, образующийся на небесной сфере сечением сферы плоскостью вертикала.

Видимые координаты - координаты небесного светила во второй экваториальной системе координат, являющиеся истинными координатами искажёнными параллаксом и абберацией.

Всемирное время - универсальное время, UT (англ. Universal Time) шкала времени, основанная на вращении Земли и соответствующая среднему солнечному времени на меридиане Гринвича (Гринича).

Всемирное координированное время - универсальное время UTC, длительность секунды которого равна длительности атомной секунды, но начало суток которого координируется со всемирным временем UT.

Высота светила - в горизонтной системе координат угол со стороны наблюдателя между горизонтальной плоскостью и направлением на светило, обозначаемый символом h .

Газопылевая туманность - см. *туманность*.

Галактика - крупное звёздное образование, включающее в себя сотни миллиардов звёзд. Кроме звёзд, в галактике присутствуют газопылевые туманности.

Гелиоцентрическая система мира - представление о строении Солнечной системы: Солнце — центральное тело, вокруг которого обращаются планеты. Имело фундаментальное значение для развития естествознания.

Геоцентрическая система мира - представление об устройстве мироздания, согласно которому центральное положение во Вселенной занимает неподвижная Земля, вокруг которой вращаются Солнце, Луна, планеты и звёзды.

Геодезическая астрономия - раздел практической астрономии, тесно связанный с геодезией и картографией; изучает теорию и методы определения широты φ и долготы λ места, а также азимута a направления на земной предмет.

Гироскоп - тело, быстро вращающееся вокруг одной из осей симметрии.

Главная ось гироскопа - ось, вокруг которой вращается гироскоп.

Гномон - см. *солнечные часы*.

Годичный параллакс - см. *параллакс*.

Горизонтальный параллакс Солнца - максимальное изменение зенитного расстояния Солнца из точки наблюдения, вызванное суточным вращением Земли.

Гравитационный коллапс - возникает в массивных телах (более 10 масс Солнца), когда силы тяготения не компенсируются световым давлением и силы тяготения настолько велики, что материя сжимается в точку - сингулярность.

Градусные измерения - высокоточные астрономические и геодезические измерения, выполняемые на земной поверхности для определения фигуры и размеров Земли.

Гринвич (Гринич) - местность в восточной части Лондона, в которой расположена Гринвичская обсерватория.

Гринвичский (Гриничский) меридиан - меридиан, проходящий через ось пассажного инструмента Гринвичской обсерватории.

Допплеровский эффект - явление, когда электромагнитное излучение движущегося объекта изменяет свою длину волны относительно длины волны от неподвижного объекта. При этом,

если тело удаляется, длина волны увеличивается (см. *красное смещение*).

Дуга большого круга - фрагмент (часть) *большого круга*.

Законы Кеплера - законы, по которым вращаются небесные тела по орбитам.

Заходящие звёзды - звёзды, которые часть суток находятся над линией горизонта, часть суток - ниже линии горизонта для данной точки стояния.

Звезда - небесное тело, в котором идут в данный момент термоядерные реакции.

Звёздное время - шкала времени, в котором длительность суток определяется последовательными верхними кульминациями точки весеннего равноденствия.

Звёздное скопление - группа из тысяч, десятков тысяч и сотен тысяч компактно расположенных звёзд. По форме бывают шаровыми и рассеянными.

Звёздные сутки - промежуток времени между двумя последовательными верхними кульминациями точки весеннего равноденствия на Гринвичском меридиане.

Зенит - точка на небесной сфере, образуемая пересечением её отвесной линии, находящаяся выше наблюдателя.

Зенитное расстояние – угол между отвесной линией и направлением на визирную цель. Угол отсчитывается «сверху – вниз», поэтому, зенитное расстояние направления, лежащего в плоскости горизонта равно 90° , лежащего выше горизонта – менее 90° , лежащего ниже горизонта – более 90° .

Зодиакальные созвездия - двенадцать созвездий, располагающиеся вдоль эклиптики.

Истинные координаты - координаты светила во второй экваториальной системе координат, соотнесённые с центром неподвижной Земли.

Истинные солнечные сутки - период времени между последовательными кульминациями Солнца.

Календарь - способ деления года на удобные периодические интервалы времени.

Комета - небольшое небесное тело, движущееся в межпланетном пространстве и обильно выделяющее газ при сближении с Солнцем.

Коллапс - см. *гравитационный коллапс*.

Космическое радиоизлучение - излучение галактических и метагалактических объектов в радиодиапазоне длин волн. Иногда к нему относят также радиоизлучение Солнца и планет.

Космогония - область науки, в которой изучается происхождение и развитие космических тел и их систем: звёзд и звёздных скоплений, галактик, туманностей.

Космология - учение о Вселенной как едином целом и о всей охваченной астрономическими наблюдениями области Вселенной как части целого; раздел астрономии.

Корона - верхний слой атмосферы звезды.

Красное смещение – явление, наблюдаемое при разложении света в спектр и выражающееся в том, что характерные линии спектра смещаются в сторону красной, более длинноволновой части.

Круг склонений - круг на небесной сфере, образующийся сечением её плоскостью, проходящей через ось мира.

Кульминация - точка, в которой небесное светило пересекает небесный меридиан. Различают верхнюю и нижнюю кульминации.

Лапландская экспедиция - экспедиция Французской королевской академии наук в Лапландию для измерения длины одного градуса меридиана, проводившаяся в 1836 году одновременно с Перуанской экспедицией.

Летоисчисление - последовательный отсчет времени от какой-либо выбранной за. ориентир даты того или иного выдающегося с точки зрения современников.

Линия горизонта - линия, образуемая плоскостью горизонта при пересечении небесной сферы.

Линия узлов - линия пересечения плоскости эклиптики и плоскости орбиты другого небесного тела, входящего в Солнечную систему.

Лунное затмение - явление, когда на поверхность Луны падает тень от Земли.

Малый круг - в сферической тригонометрии круг, образованный поверхностью сферы и плоскостью, не проходящей через центр сферы.

Меридиан - линия, соединяющая какие либо точки с заданными характеристиками. В геодезии различают магнитный, геодезический и астрономический меридианы. Магнитный меридиан - проекция силовой линии геомагнитного поля на поверхность

Земли. Все магнитные меридианы представляют собой сложные кривые, сходятся в северном и южном магнитных полюсах Земли. Геодезический меридиан - линия сечения поверхности земного эллипсоида плоскостью, проходящей через оба полюса Земли. Астрономический меридиан точки представляет собой след сечения земной поверхности плоскостью, проходящей через направление отвесной линии в этой точке и параллельной оси вращения Земли.

Местное солнечное время - солнечное время, соответствующее меридиану точки стояния. Различают местное среднее солнечной время и местное истинное солнечное время (см. *уравнение времени*)

Местное звёздное время - звёздное время, соответствующее меридиану точки стояния.

Метеор - явление, возникающее при сгорании в атмосфере Земли мелких метеорных тел (например, осколков комет или астероидов).

Метеорит - кусок внеземного вещества, упавший на поверхность Земли.

Московское время - время в часовом поясе, где располагается Москва, больше всемирного координированного времени UTC на 4 часа.

Надир - точка на небесной сфере, образующаяся пересечением её отвесной линии, находящаяся ниже наблюдателя.

Небесная сфера - воображаемая сфера произвольного радиуса, на которую проецируются небесные тела: служит для решения различных астрометрических задач. За центр небесной сферы принимают глаз наблюдателя

Небесный меридиан - большой круг небесной сферы, образующийся пересечением её плоскостью небесного меридиана.

Небесный экватор - большой круг, образуемый сечением небесной сферы плоскостью небесного экватора.

Невосходящие звёзды - звёзды, которые никогда не поднимаются над линией горизонта в течение суток для данной точки стояния.

Незаходящие звёзды - звёзды, которые всегда находятся над линией горизонта в течение суток для данной точки стояния.

Нейтронная звезда - специфическое образование, получающееся после взрыва сверхновой, когда масса звезды немного меньше, чем необходимо для возникновения чёрной дыры.

Новая - явление, когда звезда, в которой в термоядерных реакциях выгорел весь водород, взрывается, выбрасывая в окружающее пространство свою внешнюю оболочку. Обычно применяется к звёздам, имеющих массу до 10 масс Солнца (в отличие от *сверхновой*). На месте взорвавшейся звезды обычно образуется звезда типа белый карлик.

Новолуние - явление, когда Луна находится вблизи плоскости Земля-Солнце между Землёй и Солнцем и полностью затемнена.

Нутация - происходящее одновременно с прецессией движение твёрдого тела, при котором изменяется угол между осью собственного вращения тела и осью, вокруг которой происходит прецессия.

Облако Оорта - сферическая область, окружающая солнечную систему, в которой предположительно находится большое количество комет.

Ось мира - воображаемая прямая, проходящая через точку производства наблюдений и параллельная оси вращения Земли.

Отвесная линия - линия, совпадающая с вектором силы тяжести в данной точке.

Параллакс - в астрономии явление видимого перемещения небесных светил из-за перемещения Земли в пространстве. Различают годичный параллакс, вызванный вращением Земли по орбите вокруг Солнца и суточный параллакс, вызванный вращением Земли вокруг своей оси.

Параллактический треугольник - сферический треугольник, вершинами которого являются: полюс, зенит и светило.

Параллактический угол - угол в параллактическом треугольнике при вершине - светиле, обозначаемый символом q .

Парсек - расстояние, с которого орбита Земли видна под углом (параллакс) в $1''$; равен 3.26 светового года.

Пассажный инструмент - астрономический прибор, предназначенный для точной регистрации прохождения звезд через небесный меридиан или первый вертикал в точке стояния.

Первый вертикал - круг, образующийся на небесной сфере сечением её плоскостью первого вертикала.

Перигей - наиболее близкая к Земле точка орбиты тела, вращающегося вокруг Земли.

Перигелий - наиболее близкая к Солнцу точка орбиты тела, вращающегося вокруг Солнца.

Перуанская экспедиция - экспедиция Французской королевской академии наук в Перу (на экватор) для измерения длины одного градуса меридиана, проводившаяся в период с 1836 по 1846 года одновременно с Лапландской экспедицией.

Планета - небесное тело, вращающееся по орбите вокруг звезды или её остатков, достаточно массивное, чтобы стать округлым под действием собственной гравитации.

Планетарная туманность - газопылевая туманность, имеющая вид кольца или сферы.

Планетезимали - в гипотезе О.Шмидта о возникновении солнечной системы достаточно плотные газопылевые образования, из которых в последующем образуются планеты.

Плоскость вертикала - любая плоскость, в которой лежит отвесная линия.

Плоскость горизонта - плоскость, проходящая через точку производства наблюдений и перпендикулярная отвесной линии.

Плоскость небесного меридиана - плоскость, в которой лежат отвесная линия и ось мира, проходящие через точку стояния (производства наблюдений).

Плоскость небесного экватора - плоскость, проходящая через точку стояния (наблюдения) и перпендикулярная оси мира.

Плоскость первого вертикала - плоскость вертикала, перпендикулярная плоскости небесного меридиана.

Полнолуние - явление, когда Луна находится вблизи плоскости Земля-Солнце за Землёй и полностью освещена.

Полюс - крайняя точка чего-либо. В геодезии различают геомагнитный, геодезический и астрономический полюса (разделение условное). Геомагнитный полюс - точка, где сходятся силовые линии магнитного поля Земли. Геодезический полюс - точка, получаемая пересечением малой полуоси поверхности эллипсоида. Астрономический полюс - точка на поверхности Земли, через которую проходит ось вращения планеты.

Полюс мира - точка на небесной сфере, пересечение небесной сферы осью мира. Различают северный и южный полюса мира.

Полярное расстояние - одна из координат в первой и второй экваториальных системах координат, обозначаемая символом p , отсчитываемое по кругу склонения от северного полюса мира до светила в градусной мере.

Поправка часов - разность координированного времени и показаний конкретных часов.

Пояс астероидов - совокупность астероидов, вращающихся по орбитам вокруг Солнца и располагающихся компактно между орбитами Марса и Юпитера.

Пояс Койпера - совокупность малых планет и астероидов, вращающихся по орбитам вокруг Солнца и располагающихся компактно, начиная с орбиты Плутона.

Поясное время - время, синхронизированное с всемирным координированным временем UTC, отличающееся от него на количество целых часов, соответствующее номеру часового пояса.

Прецессия - свойство специфической реакции гироскопа на внешнее воздействие.

Прецессия земной оси - прецессия оси вращения Земли из-за внешнего воздействия силы тяготения Луны и Солнца.

Прямое восхождение - одна из координат во второй экваториальной системе координат, обозначаемая символом α , отсчитываемое от точки весеннего равноденствия по небесному экватору до круга склонений против движения светил в часовой мере.

Пылегазовое облако - космическое образование, содержащее примерно 99 % газов и 1 % пыли.

Радиотелескоп - астрономический инструмент для приёма собственного радиоизлучения небесных объектов (в Солнечной системе, Галактике и Метагалактике) и исследования их характеристик, таких как: координаты, пространственная структура.

Расширяющаяся Вселенная - концепция, согласно которой все объекты Вселенной удаляются друг от друга, что вызвано расширением (распуханием) Вселенной.

Редукция времени - коэффициенты, необходимые для перехода от шкалы среднего солнечного времени к звёздному времени и обратно.

Реликтовое излучение - электромагнитное излучение, заполняющее наблюдаемую часть Вселенной.

Сверхновая - явление, когда звезда, в которой в термоядерных реакциях выгорел весь водород, взрывается, выбрасывая в окружающее пространство свою внешнюю оболочку. Обычно применяется к звёздам, имеющих массу более 10 масс Солнца (в отличие от *новой*). На месте взорвавшейся звезды обычно образуется нейтронная звезда, чёрная дыра или ничего, т.к. вся масса распыляется в виде газопылевого облака.

Световой год - расстояние, которое преодолевает свет за 1 год.

Свойство стабилизации - свойство гироскопа сохранять направление главной оси в пространстве при отсутствии внешних воздействий.

Сидерический период обращения - промежуток времени, в течение которого какое-либо небесное тело-спутник совершает вокруг главного тела полный оборот относительно звёзд. Понятие «сидерический период обращения» применяется к обращающимся вокруг Земли телам — Луне (сидерический месяц) и искусственным спутникам, а также к обращающимся вокруг Солнца планетам, кометам и др. Для Луны сидерический период равен 27.322 средним солнечным дням.

Сингулярность - состояние материи, когда вся масса сосредоточена в бесконечно малой точке; отсутствуют пространство и время.

Синодический период обращения - промежуток времени между двумя последовательными соединениями Луны или какой-нибудь планеты Солнечной системы с Солнцем при наблюдении за ними с Земли. Синодический период Луны - промежуток времени между двумя новолуниями или двумя любыми другими одинаковыми последовательными фазами и составляет 29.53059 средних солнечных дня.

Склонение - одна из координат в первой и второй экваториальных системах координат, обозначаемая символом δ , отсчитываемое по кругу склонений от небесного экватора до светила в градусной мере.

Смещение земной оси - явление, при котором изменяется положение оси вращения Земли в теле земли.

Собственное движение звезды - величина, характеризующая её угловое перемещение на небесной сфере в заданной системе координат за единицу времени.

Созвездие - совокупность близко расположенных изображений звёзд на небесной сфере.

Солнечное затмение - явление, когда диск солнца закрывается Луной. Различают полные, кольцевые и частичные Солнечные затмения.

Солнечные часы - простейший прибор для измерения времени, в котором для отсчёта времени по шкале используется солнечная тень.

Средние солнечные сутки - сутки, в отличие от истинных солнечных суток, одинаковые по длительности в течение всего года из года в год.

Суточный параллакс - см. *параллакс*.

Сферический треугольник - треугольник на поверхности сферы, образованный дугами большого круга.

Телескоп - прибор, предназначенный для наблюдения небесных тел. В частности, под телескопом понимается оптическая телескопическая система.

Теодолит - геодезический прибор, позволяющий измерять горизонтальные направления и вертикальные углы с точностью, характеризующейся конструкцией прибора. По конструктивной точности различают высокоточные, точные и технические теодолиты. Отдельный класс приборов составляют астрономические теодолиты.

Точка весеннего равноденствия - точка пересечения эклиптики и небесного экватора от которой Солнце начинает подниматься над небесным экватором.

Точки востока и запада - точки пересечения линии горизонта и первого вертикала.

Точка осеннего равноденствия - точка пересечения эклиптики и небесного экватора от которой Солнце начинает опускаться под небесный экватор.

Точки севера и юга - точки пересечения линии горизонта и небесного меридиана.

Точка стояния - точка на земной поверхности, с которой производятся наблюдения за небесными светилами.

Тропический год - период, соответствующий 366.2422 звёздных суток.

Туманность - 1) *пылегазовое облако*; 2) близкая к нам галактика.

Туманность Андромеды - спиральная галактика, ближайшая к Млечному Пути большая галактика, расположенная в созвездии Андромеды и удаленная от нас, по последним данным, на расстояние 772 килопарсек (2,52 млн световых лет).

Уравнение времени - величина, обозначаемая символом μ , учитывающее разницу между средним солнечным временем (средним местным временем наблюдателя) и истинным солнечным временем, измеренным на том же меридиане.

Фотосфера - нижний слой атмосферы звезды, излучающая большую часть света.

Хромосфера - средний слой атмосферы звезды, излучающий небольшую часть света, но более коротких длин волн, чем фотосфера.

Ход часов - величина изменения поправки часов за промежуток времени.

Циркумпольное светило - светило, верхняя кульминация которого располагается между полюсом мира и зенитом.

Часовой угол - одна из координат в первой экваториальной системе координат, обозначаемая символом t , отсчитываемая по экватору от вспомогательной точки A до круга склонений в часовой мере.

Чёрная дыра - образование, возникающее после взрыва сверхновой. Из-за большой массы (более 10 масс Солнца) происходит гравитационный коллапс и образуется сингулярность.

Экватор - в геодезии линия на поверхности эллипсоида, получаемая сечением плоскостью, перпендикулярной малой полуоси и проходящей через центр эллипсоида.

Эклиптическая система координат - система координат, где основной плоскостью является плоскость эклиптики, основными точками являются: точка весеннего равноденствия и точка полюса Солнечной системы. Координатами являются: эклиптическая широта φ , отсчитываемая от полюса Солнечной системы, и эклиптическая долгота λ , отсчитываемая по эклиптике от точки весеннего равноденствия.

Эклиптика - линия перемещения проекции Солнца на небесной сфере среди звёзд в течение года.

Элонгация звезды - положение циркумпольной звезды в её видимом суточном движении по небесной сфере, при котором она максимально отклонена по азимуту от точки юга (точки севера).

Эфемеридное время - местное солнечное или звёздное время, исправленное на неравномерность вращения Земли и движение полюса.

Юлианские дни (юлианские даты) - система непрерывной нумерации дней. Юлианский день равен числу суток прошедших с гринвичского полудня (12:00 UT) 1 января 4713 г. до нашей эры до заданного момента. Юлианские дни принято обозначать буквами JD. Величина JD может принимать нецелые значения, в

этом случае ее можно использовать для определения момента события (или измерения интервала времени между двумя событиями) с любой точностью. Юлианские дни широко используются в астрономии и хронологии.

Указатель персоналий

Аристотель (384 до н.э. - 322 до н.э.) - древнегреческий философ.

Бугер Пьер (1698 - 1758) - французский физик, астроном, специалист в области геодезической гравиметрии, один из руководителей Перуанской экспедиции по установлению формы и размеров Земли (1736 - 1746).

Бюффон Жорж-Луи Леклерк (1707 - 1788) - французский натуралист. В 1745 году предложил гипотезу возникновения планет солнечной системы из фрагментов Солнца, вырванных ударом кометы.

Галилей Галилео (1564 - 1642) - итальянский физик, астроном, математик. Существенное внимание уделял общим проблемам зарождавшегося научного метода, а также отграничению науки от всякого рода околонучных и псевдонаучных теорий. Сделал важные астрономические открытия, подрывавшие основы средневековых представлений о космосе и утверждавшие идею единства небесных и земных явлений.

Гершель Вильям (1738 - 1822) - английский астроном и оптик. Построил свой крупнейший телескоп-рефлектор с диаметром зеркала 122 см, сделал ряд важных открытий в области космологии.

Годен Луи (1704 - 1760) - французский астроном, академик Французской академии наук, один из руководителей Перуанской экспедиции по установлению формы и размеров Земли (1736 - 1746).

Джинс Джеймс (1877 - 1946) - английский математик, физик и астроном. В 1916 году предложил гипотезу происхождения планет солнечной системы из фрагментов Солнца, вырванных из него притяжением близко пролетевшей звезды.

Кант Иммануил (1724 - 1804) - немецкий философ, родоначальник немецкой классической философии. В 1755 году предложил гипотезу возникновения солнечной системы из газопылевого облака.

Кеплер Иоганн (1571 - 1630) - немецкий астроном. Открыл законы движения планет (Кеплера законы), на основе которых составил таблицы движения планет. Заложил основы теории затмений. Изобрел телескоп, в котором объектив и окуляр - двояковыпуклые линзы.

Кондамин Шарль Мари (1701 - 1774) - французский астроном, геодезист, путешественник, один из руководителей Перуанской экспедиции по установлению формы и размеров Земли (1736 - 1746).

Коперник Николай (1473-1543) - польский астроном, создатель учения о гелиоцентрической системе мира, автор сочинения «Об обращениях небесных сфер» (1543), запрещенного католической церковью с 1616 по 1828 год.

Лаплас Пьер-Симон (1749 - 1827) - выдающийся французский математик, физик, астроном, член Французского географического общества, специалист в области небесной механики и дифференциального исчисления, один из создателей теории вероятности.

Мопертюи Пьер Луи де (1698 - 1759) - французский астроном и геодезист, последователь и распространитель идей И. Ньютона, руководитель Лапландской экспедиции по изучению формы и размеров Земли (1736 - 1737).

Ньютон Исаак (1643 - 1727) - английский физик, астроном, математик, член Лондонского королевского общества и его президент. Автор гениальнейшего произведения «Математические начала натуральной философии». В нем изложена теория всемирного тяготения, обоснованы законы движения небесных тел (законы Кеплера), математически доказано, что Земля, по своей форме, представляет сплюснутый сфероид.

Птолемей Клавдий (ок. 90 – ок. 168) - древнегреческий астроном, географ, математик. Разработал геоцентрическую систему мира.

Струве Василий Яковлевич (Фредерик-Георг-Вильгельм) (1793 - 1864) - выдающийся астроном, директор Пулковской обсерватории, профессор Дерптского университета. С целью уточнения формы и размеров Земли, по его инициативе и под его руководством, выполнены градусные измерения по «дуге Струве».

Хаббл Эдвин (1889-1953) - американский астроном. Вывел закон, названный его именем: «Чем дальше галактика, тем больше её скорость».

Хойл Фред (1915 - 2001) - британский астроном. Разработал гипотезу возникновения планет солнечной системы и остатков взорвавшейся новой - спутника Солнца.

Шмидт Отто Юльевич (1891 - 1956) - выдающийся советский учёный и государственный деятель. Предложил гипотезу возникновения солнечной системы из газопылевого облака.

Эратосфен Киренский (276 до н. э. - 194 до н. э.) - греческий математик, астроном, географ и поэт, глава Александрийской библиотеки.

Янский Карл (1905 - 1950) - американский инженер, один из пионеров радиоастрономии. Открыл (1932) космическое радиоизлучение.

Предметный указатель

- Аберрация - 36, 38, 51
- Альмукантарат - 13
- Апекс - 37
- Апогей - 30
- Астероид - 26, 28, 29
- Астрология - 8, 9, 27
- Астрономическая долгота - 20, 23
- Астрономическая обсерватория - 10, 20, 47, 48
- Астрономическая широта - 19
- Астрономический азимут - 14
- Астрономический пункт - 20
- Астрономия - 4, 8, 47, 51
- Атомное время - 23
- Афелий - 30
- Барицентр - 41
- Болид - 29
- Большой круг - 11
- Вертикал - 13, 14
- Видимые координаты - 38
- Всемирное время - 22, 23, 24
- Всемирное координированное время - 23
- Высота светила - 15
- Галактика - 10, 45, 46, 47, 48
- Гелиоцентрическая система мира - 9
- Геоцентрическая система мира - 8
- Геодезическая астрономия - 4, 10, 15, 20
- Гироскоп - 30, 31
- Главная ось гироскопа - 31, 32
- Гномон - 47
- Годичный параллакс - 33, 34
- Горизонтальный параллакс Солнца - 35
- Градусные измерения - 9, 10
- Гринвич (Гринич) - 20
- Гринвичский (Гриничский) меридиан - 20
- Допплеровский эффект - 49
- Дуга большого круга - 11, 37
- Законы Кеплера - 9, 29
- Заходящие звёзды - 13, 14

Звезда - 8, 20, 26, 31, 34, 38, 39, 42, 43
Звёздное время - 22, 23, 24, 25
Зенит - 12, 14, 21
Зенитное расстояние - 14, 15, 19, 21, 35
Зодиакальные созвездия - 44
Истинные координаты - 38
Истинные солнечные сутки - 22
Календарь - 22
Комета - 26, 27, 28, 29, 50
Коллапс - 44
Космическое радиоизлучение - 10, 49
Космогония - 3, 8, 48, 49
Космология - 3, 8, 48
Корона - 42
Красное смещение - 48, 49
Круг склонений - 13, 15, 16
Кульминация - 13, 14, 17, 18, 19, 20, 22, 23, 24
Лапландская экспедиция - 9
Летоисчисление - 22
Линия горизонта - 12
Лунное затмение - 39, 40
Малый круг - 10
Меридиан - 9, 10, 23, 35
Местное солнечное время - 23
Местное звёздное время - 22, 23
Метеор - 29
Метеорит - 26, 29
Московское время - 23, 24
Надир - 12, 14
Небесная сфера - 11, 12, 34
Небесный меридиан - 12, 13, 14, 17, 20
Небесный экватор - 12, 15, 16, 32
Невосходящие звёзды - 13, 14
Незаходящие звёзды - 13, 14
Нейтронная звезда - 43, 44
Новая - 43
Новолуние - 39, 40
Нутация - 32, 33
Облако Оорта - 27, 29
Ось мира - 32

Отвесная линия - 12, 35
Параллакс - 33, 34
Параллактический треугольник - 21
Параллактический угол - 21
Парсек - 34
Первый вертикал - 13
Перигей - 30
Перигелий - 30, 35
Перуанская экспедиция - 9
Планета - 3, 9, 10, 26, 27, 28, 29, 30, 32, 34, 50, 51
Планетарная туманность - 43
Планетезимали - 51
Плоскость вертикала - 13, 35
Плоскость горизонта - 12
Плоскость небесного меридиана - 12
Плоскость небесного экватора - 31
Плоскость первого вертикала - 13
Полнолуние - 39, 40
Полюс - 13, 14, 23, 33
Полюс мира - 12, 15, 19, 21, 32
Полярное расстояние - 15, 16
Поправка часов - 25, 26
Пояс астероидов - 26
Пояс Койпера - 26, 28
Поясное время - 23
Прецессия - 30, 31
Прецессия земной оси - 31, 32
Прямое восхождение - 16, 17, 22, 23, 25, 41
Радиотелескоп - 10, 47, 48, 49
Расширяющаяся Вселенная - 10, 49
Редукция времени - 24
Реликтовое излучение - 49
Сверхновая - 43
Свойство стабилизации - 31
Сидерический период обращения - 41, 42
Сингулярность - 49
Синодический период обращения - 40, 41
Склонение - 15, 16, 32, 34, 38
Собственное движение звезды - 38, 51
Созвездие - 39, 44

Солнечное затмение - 40
Солнечные часы - 47
Средние солнечные сутки - 22
Суточный параллакс - 34, 35, 36
Сферический треугольник - 11, 22
Телескоп - 4, 10, 47, 48
Теодолит - 15
Точка весеннего равноденствия - 16, 17, 19, 22, 23, 24, 25, 28, 32
Точки востока и запада - 12
Точка осеннего равноденствия - 17
Точки севера и юга - 12
Точка стояния - 19, 20, 21, 23, 33, 34, 51
Тропический год - 24
Туманность Андромеды - 45
Уравнение времени - 18
Фотосфера - 42
Хромосфера - 42
Ход часов - 25
Циркумпольное светило - 14, 15
Часовой угол - 15, 17, 18, 21, 25
Чёрная дыра - 43, 44, 49
Экватор - 12, 13, 22
Эклиптическая система координат - 19, 51
Эклиптика - 16, 17, 18, 19, 22, 23, 28, 31, 34, 39, 41, 44
Элонгация звезды - 15
Эфемеридное время - 26
Юлианские дни (юлианские даты) - 22

Список рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Блинов А. Ф. Астрономия : задачник / А. Ф. Блинов. – Санкт-Петербург : НОИР, 2013. – 19 с.
2. Засов А. В. Астрономия : учебное пособие / А. В. Засов, Э. В. Кононович. – Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2011. – 256 с.
3. Кононович Э. В. Общий курс астрономии : учебное пособие / Э. В. Кононович, В. И. Мороз ; ред. В. В. Иванов. – 4-е изд. – Москва : ЛИБРОКОМ, 2011. – 544 с.

Дополнительная литература

1. Жаров В. Е. Сферическая астрономия / В. Е. Жаров. – Москва : Фрязино, 2006. – 480 с.
1. Клищенко А. П. Астрономия : учебное пособие / А. П. Клищенко, В. И. Шупляк. – Москва : Новое знание, 2004. – 224 с.
2. Уралов С. С. Курс геодезической астрономии / С. С. Уралов. – Москва : Книга по Требованию, 2013. – 592 с.

Руководящие документы и справочная литература

1. Абалакин В. К. Геодезическая астрономия и астрометрия : Справочное пособие / В. К. Абалакин, И. И. Краснорылов, Ю. В. Плахов. – Москва : Картгеоцентр - Геодезиздат, 1996. – 435 с.
2. Астрономический атлас / Пер. с итал. В. С. Гостик. – Минск : Поппури, 2012. – 232 с.
3. Сурдин В. Г. Большая энциклопедия астрономии / Автор-составитель В. Г. Сурдин. – Москва : Эксмо, 2012. – 480 с.

Аннотация сайтов Интернет

1. Российское общество содействия развитию фотограмметрии и дистанционного зондирования. – Режим доступа: <http://rsprs.euro.ru/>
2. Официальный сайт Международного общества содействия развитию фотограмметрии и дистанционного зондирования. – Режим доступа: <http://www.isprs.org/>
3. Сайт научного электронного журнала по геодезии, картографии и навигации. – Режим доступа: <http://www.geoprofi.ru/>
4. Сайт Московского государственного университета геодезии и картографии (МИИГАиК). – Режим доступа: <http://www.miiigaik.ru/sitemap/>
5. Российская астрономическая сеть. – Режим доступа: <http://astronet.ru>
6. Сайт Центрального научно-исследовательского института геодезии, аэросъемки и картографии (ЦНИИГАиК). – Режим доступа: <http://cniigaik.ru/info/>
7. Сайт Сибирской Государственной геодезической академии (СГГА), г. Новосибирск. – Режим доступа: <http://www.ssga.ru/>
8. Проект «Астрогалактика». – Режим доступа: <http://astrogalaxy.ru>
9. Новости астрономии и космонавтики. – Режим доступа: <http://astronomiya.com>
10. Официальный сайт Федерального агентства кадастра объектов недвижимости Российской Федерации. – Режим доступа: <http://www.kadastr.ru/>
11. Официальный сайт некоммерческого партнерства «Кадастровые инженеры». – Режим доступа: <http://www.roscadastre.ru/>
12. Астрофорум – астрономический портал. – Режим доступа: <http://astronomy.ru>
13. Сайт саморегулируемой организации «Изыскатели Санкт-Петербурга и Северо-Запада». – Режим доступа: <https://www.izisk.spb.ru/>
14. Астрономия 21 век. – Режим доступа: <https://astro21vek.ru>
15. Сайт компании Геокосмос. – Режим доступа: <http://www.geokosmos.ru/>
16. Официальный сайт Федерального космического агентства РФ. – Режим доступа: <http://www.federalspace.ru/>

ДЛЯ ЗАМЕТОК

Учебное пособие
ISBN 978-5-906759-11-5

Блинов А. Ф. Астрономия : учебное пособие / А. Ф. Блинов,
Е. П. Тарелкин. – Санкт-Петербург : НОИР г. Санкт-Петербург,
2015. – 80 с.

Ответственный за выпуск Грызлова А.В.
Редактор Федорова Т.Л.

Подписано в печать 24.11.2014
Заказ № 1024/14
Формат 60x84 1/16
Усл. печ.л. 4,9.
Тираж 300 экз.

Отпечатано в ООО «Информационно-консалтинговый центр»
по заказу НЧОУ ВПО
«Национальный открытый институт г.Санкт-Петербург»

ООО «ИКЦ»
197183 г. Санкт-Петербург, ул. Сестрорецкая дом 6
Тел. +7-812-430-07-16 доб. 224