Владимирский государственный университет

А. А. МОКРОВА Р. А. КОЗЛИКОВ

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ШКОЛЬНИКОВ ПО АСТРОНОМИИ

Учебное пособие

Владимир 2022

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

А. А. МОКРОВА Р. А. КОЗЛИКОВ

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ШКОЛЬНИКОВ ПО АСТРОНОМИИ

Учебное пособие

Электронное издание

Владимир 2022

© Мокрова А. А., Козликов Р. А., 2022

УДК 53.01
ББК 22.31

Рецензенты:
Кандидат физико-математических наук, доцент
доцент кафедры технологического и экономического образования
Владимирского государственного университета
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых
В. А. Игонин

Кандидат физико-математических наук, доцент
доцент кафедры современного образования
Российского университета кооперации (Владимирский филиал)
В. В. Красильщиков

Мокрова, А. А. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ШКОЛЬНИКОВ ПО АСТРОНОМИИ [Электронный ресурс] : учеб. пособие / А. А. Мокрова, Р. А. Козликов; Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2022. – 120 с. – Электрон. дан. (2,76 Мб). – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Систем. требования: Intel от 1,3 ГГц ; Windows XP/7/8/10 ; Adobe Reader ; дисковод CD-ROM. – Загл. с титул. экрана.

В пособии рассмотрены основные темы по Астрономии, представлен теоретический материал, дополненный типовыми задачами и заданиями.

Предназначено для учащихся 10 – 11 класса, адресовано широкому кругу учащихся, абитуриентов, студентов педагогических вузов, учителей.

Ил. 47. Библиогр.: 27 назв.

© Мокрова А. А.,
Козликов Р. А., 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. ВВЕДЕНИЕ 5

1.1. АСТРОНОМИЯ, ЕЕ РАЗВИТИЕ И ВЗАИМОСВЯЗЬ С ДРУГИМИ НАУКАМИ 5

1.2. Основные этапы исследования строения мира 7

1.3. Основные задачи современной астрономии 12

1.4. Особенности астрономии как науки 13

2. ЗВЕЗДНОЕ НЕБО. АСТРОНОМИЧЕСКИЕ КООРДИНАТЫ. 14

2.1. Представления о звездах и звездном небе 14

2.2. Основные линии и точки небесной сферы 18

2.3. Астрономические координаты. Горизонтальная система координат 21

2.4. Астрономические координаты. Экваториальная система координат 23

2.5. Типовая задача 26

2.6. Зависимость суточного движения светил от положения наблюдателя на Земле. 26

3. ДВИЖЕНИЕ СОЛНЦА И ЛУНЫ 28

3.1. Годичное движение Солнца 28

3.2.Следствия годичного движения Солнца. 33

3.3. Движение Луны 39

3.4. Фазы Луны 40

3.5. О затмениях 42

4. ПРАКТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ АСТРОНОМИИ. ИЗМЕРЕНИЕ ВРЕМЕНИ 44

4.1. Звездное время. Звездные сутки 44

4.2. Истинное солнечное время. Истинные солнечные сутки. 47

4.3. Среднее солнечное время. Средние солнечные сутки. 48

4.4. Системы счета времени 51
4.5. Календарь 56
5. ДВИЖЕНИЕ ПЛАНЕТ 60
5.1. Видимое движение планет 60
5.2. Синодический и сидерический периоды планет 64
5.3. Законы движения планет. 66
5.4. Определение расстояний по параллаксам светил. 67
5.5. Космические скорости 70
5.6. Движение небесных тел в сфере действия Земли 74
6. ОСНОВЫ КОСМИЧЕСКИХ ПЕРЕЛЕТОВ 76
6.1. Теоретические основы запуска ИСЗ (искусственного спутника Земли) 76
6.2. Полеты ка на другие тела солнечной системы 82
6.3. Простейшие траектории перелета на ближайшие планеты 86
7. ЗВЕЗДЫ. ГАЛАКТИКИ 91
7.1. Общие сведения о Солнце 91
7.2. Метагалактика (выход за пределы Галактики) 95
7.3. Разнообразие Галактик 98
7.4. Наша галактика 99
7.5. Первые крупные открытия в мире звезд 101
7.6. Наша звездная система –Галактика (Система Млечного пути) 105
7.7. Звезды и Солнце 111

1. ВВЕДЕНИЕ

1.1. Астрономия, ее развитие и взаимосвязь с другими науками

Астрономия возникла в глубокой древности (***4 – 3 тысячелетии до н.э.)*** из практических потребностей человечества: составление календаря, который позволил бы планировать сельскохозяйственные работы, и способов ориентирования при пути на большие расстояния. Эти практические задачи могли быть решены только на основе наблюдений за небесными телами.

Название «**астрономия**» происходит от двух греческих слов «**астрон**» - **светило**, звезда и «**номос**» - **закон**.

<u>Вопросы.</u>

1. Вспомните, изученные ранее, способы ориентирования на местности днем и ночью.
2. Перечислите единицы измерения времени и соответствующие им астрономические явления.
3. Назовите дни недели на иностранном языке, который вы изучаете. Чем обусловлена семидневная продолжительность недели?

День недели	*Небесное тело (Бог в скандинавской мифологии)*	
Monday (понедельник)	*Луна – Moon*	
Tuesday (вторник)	*Марс – Mars*	*Тиу – Tiu*
Wednesday (среда)	*Меркурий – Mercury*	*Вотан – Wotan*
Thursday (четверг)	*Юпитер – Jupiter*	*Тор – Thor*
Friday (пятница)	*Венера – Venus*	*Фрейя – Freya*
Saturday (суббота)	*Сатурн – Saturn*	
Sunday (воскресенье)	*Солнце – Sun*	

Например в Индии:

Понедельник – Сомвар (день Луны);

Вторник – Мангалвар (день Марса);

Среда - Будхавар (день Меркурия);

Четверг - Вирвар (день Юпитера);

Пятница - Шукравар (день Венеры);

Суббота - Шанивар (день Сатурна);

Воскресенье - Равивар (день Солнца)

Еще древние Шумеры заметили, что полный цикл Луны составляет 28 дней, а семь – это как раз четверть от него, удобно. Так у них и получился повторяющийся семидневный цикл, впоследствии ставший привычной нам неделей. К тому же у Шумеров было семь главных богов, им и посвящались дни недели:

Воскресенье - Шамаш (Солнце);

Понедельник - Син (Луна);

Вторник - Нергал (бог войны и владыка подземного мира, Марс);

Среда - Нисаба или Набу (сын Мардука, бог писцов, Меркурий);

Четверг - Мардук (владыка богов, Юпитер);

Пятница - Инанна или Иштар (богиня любви, Венера);

Суббота - Нинурта или Нингирсу (бог плодородия и грома, Сатурн).

После гибели шумерского государства осколки их культуры попали в другие цивилизации - как к их прямым наследникам (вавилоняне, ассирийцы), так и к более дальним, таким, как греки и римляне.

4. С каким астрономическим явлением может быть связано деление окружности на 360 равных частей?

Этому делению мы обязаны вавилонянам. Согласно их календарю, продолжительность года составляла 360 дней – именно столько раз, по наблюдениям древних астрономов, солнечный диск укладывался на годичном пути светила. Иными словами, за каждые сутки солнце делало один «шаг». Поэтому вавилоняне и разделили окружность на 360 равных частей, каждую из которых называют градусом (от лат. gradus – шаг, ступень).

1.2. Основные этапы исследования строения мира

Систематические наблюдения за небесными светилами убедили людей, что расположение звезд друг относительно друга остается на протяжении длительных промежутков времени неизменным. Характерные «звездные фигуры» получили название **созвездий.** На их фоне происходило движение Солнца, Луны и планет.

Строгая периодичность, повторяемость небесных явлений, например фаз Луны, смены дня и ночи, позволили использовать их для отсчета времени. Длительные наблюдения, проводившиеся в Вавилоне, Египте и Китае способствовали накоплению первых сведений о характере видимых движений светил на небесной сфере.

На начальном этапе развития астрономии размеры небесных объектов и расстояние до них еще не могли быть установлены, этот вопрос не являлся предметом научного исследования.

Требования точности возрастали с развитием астрономии, возникла необходимость предсказывать положение небесных тел. Для этого необходимо было объяснить устройство окружающего мира – Вселенной, понять, где располагаются и движутся небесные тела.

Соответствующая картина мира строилась на основе достижений науки того времени. Уже за несколько веков до нашей эры утвердилось представление о шарообразности Земли (Аристотель). Земля считалась центром мира, и повседневный опыт, как казалось, убеждал в этом:

– все тяжелое стремилось к центру и падало на Землю,
– все легкое поднималось вверх, стремясь удалиться от этого центра.

Движение всех небесных тел вокруг Земли, как единственного центра мира, в свете подобных рассуждений выглядело весьма закономерным. Эта система мира была названа – ***геоцентрической***.

Во II в. н. э. Птолемей дал геометрическое описание движения планет. Согласно его теории равномерное круговое их движение про-

исходит по малым кругам, центры которых в свою очередь движутся по большим кругам, имеющим свои центром Землю.

Рисунок 1.1.

Порядок расположения небесных тел был определен на основе скорости их перемещения на фоне звезд.

Ближе всего – Луна, затем Меркурий, Венера, Солнце, Марс, Юпитер, Сатурн. Зная, что Меркурий и Венера видны на небе утром или вечером, т.е. неподалеку от Солнца, Птолемей «предписал» центрам этих кругов двигаться так, чтобы все время оставаться на одной линии с Солнцем.

Таким образом система Птолемея впервые дала описание взаимного расположения Солнца, Луны и планет, и первое кинематическое описание их движение.

На протяжении почти полутора тысячелетий только совершенствовалось кинематическое описание, до гениального открытия Н. Коперника.

Н. Коперник указал, что объяснить все наблюдаемые явления можно гораздо проще, если считать, что Земля не является неподвижным центром мира. Но уровень развития физики того времени не позволил доказать ни вращение Земли, ни ее обращение вокруг Солнца. Однако из-за относительности движения, он был убежден в том, что движение всех планет происходит вокруг Солнца. Так появилась ***гелиоцентрическая*** система мира.

Коперник ввел в науку очень важный ***принцип различия видимого (кажущегося) и действительного***, которому, впоследствии, было суждено сыграть существенную роль не только в астрономии, но и в других науках.

На основе гелиоцентрических представлений был предложен способ, который дает возможность обнаружить орбитальное движение Земли и определить расстояние до звезд. Этот способ основан на измерении ***кажущегося (параллактического) смещения звезды***, которое должно происходить в случае движения Земли по орбите вокруг Солнца.

Идея способа представлена на рисунке, где S_1 – положение звезды, $T_1, T_2, T_3, \ldots$ - различные положения Земли на орбите, S – Солнце. Угол $T_1S_1T_3$ и есть параллактическое смещение звезды вследствие перемещения Земли из одного положения в другое.

Коперник не смог обнаружить параллактического смещения звезд. Это дало ему основание сделать вывод, что звезды находятся от нас, по крайней мере, в 1000 раз дальше, чем Солнце (точность измерений не позволяла утверждать большего).

Только в XIX веке благодаря использованию точных оптических приборов удалось обнаружить параллактическое смещение у ближайших звезд, происходящее вследствие годичного обращения Земли вокруг Солнца.

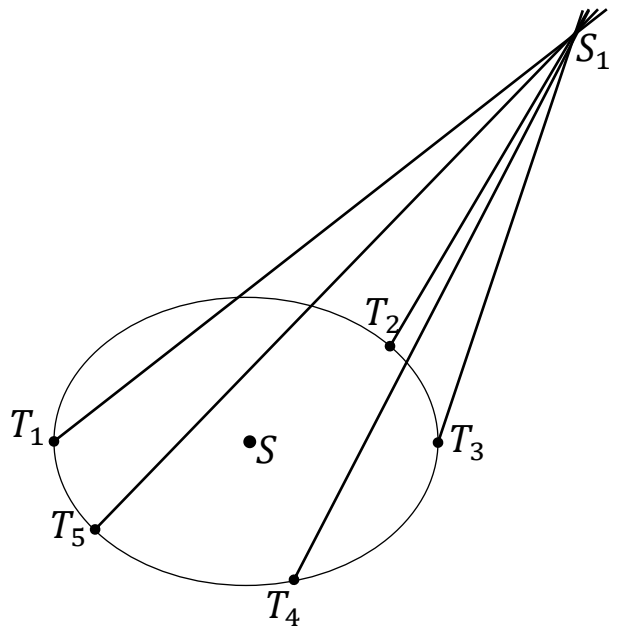


Рисунок 1.2.

Таким образом, кажущееся вращение всех небесных светил вокруг Земли согласно гелиоцентрическим представлениям объясняется вращением нашей планеты вокруг своей оси, а движение Солнца на фоне звезд благодаря движению Земли вместе со всеми другими планетами вокруг Солнца.

Итак, можно выделить следующие этапы эволюции представлений о строении мира.

I этап.	Связан со строением солнечной системы (переходом от геоцентризма к гелиоцентризму) I в. н. э. – 1540 г.
II этап.	Связан с миром звезд и нашей галактикой (до конца XVII в.).
III этап.	Связан с миром галактик, вплоть до Метагалактики (с 1910 г.).
IV этап.	Современный этап, связанный с космологией, наукой изучающей общие закономерности строения и эволюции Вселенной, как целого. Этот этап чисто теоретический, модельный, не доступный наблюдению.

1.3. Основные задачи современной астрономии

1) Изучение движения и распределения небесных тел и их систем.
2) Изучение физических свойств небесных объектов и материи.
3) Изучение вопросов образования и эволюции небесных тел и систем.

В настоящее время человек проникает в космос на расстояние $R = 10 \div 20$ млрд. св. лет.

Телескоп "Хаббл" заглядывает на миллиарды световых лет назад. Так, самая далёкая галактика во Вселенной, которую нам удалось найти - GN-z11 находится на расстоянии 32 млрд. св. лет от нас (она образовалась после Большого взрыва спустя всего 400 млн лет).

Часть Вселенной, доступная астрономическим наблюдениям называется Метагалактикой («метос» - «за»). Синонимы Метагалактики: Астрономическая Вселенная, Большая Вселенная.

1.4. Особенности астрономии как науки

1) Пространственно-временные масштабы астрономических явлений.

Объекты, изучаемые в астрономии, не соизмеримы с объектами, изучаемыми в других науках, по своим размерам, расстояниям между ними, по времени протекания процессов и масштабам самих процессов.

2) Необходимость интерпретации явлений.

Эту особенность отметил Шкловский И.С.: «…Дело в том , что между открытиями какого-либо явления и построением его полной теории должна иметь место интерпретация явлений без какой бы то ни было серьезной теоретической разработки. Анализ орбитального движения, цвета и видимой звездной величины спутника Сириуса с неизбежностью привел к выводу, что вещество этой небольшой «звездочки» имеет плотность в тысячу раз большую плотности воды. Это классический пример интерпретации».

3) Редкость целого ряда космических явлений. Например, солнечных и лунных затмений, появление комет, падение больших космических тел на поверхность Земли, вспышек новых и сверхновых звезд и т.д.
4) Невозможность воспроизведения многих процессов, происходящих во Вселенной, в земных условиях.

Вселенную часто называют «лабораторией естествознания» именно потому, что астрофизика позволяет изучить поведение вещества и излучения в условиях, которые недостижимы в земных лабораториях.

5) Эволюционный характер современной астрономии.

Эволюция наблюдается на всех уровнях: активные образования на Солнце, кометы, планетарные атмосферы, газовые туманности, остатки взрывов сверхновых, звезды, ядра галактик и галактики – все эти объекты эволюционируют с характерными для них шкалами времени.

6) Необходимость учитывать различие между наблюдаемым (кажущимся) и действительным.

Это играет важную роль при раскрытии сущности многих астрономических явлений, начиная от суточного движения светил до красного смещения.

7) Анализ электромагнитного излучения как основа астрофизических исследований.

Электромагнитное излучение позволяет получить информацию о самых разнообразных процессах, происходящих в космическом пространстве.

2. ЗВЕЗДНОЕ НЕБО. АСТРОНОМИЧЕСКИЕ КООРДИНАТЫ

2.1. Представления о звездах и звездном небе

Исторически при рассмотрении звездного неба человек мысленно представляет, что все объекты на небе (Солнце, Луна, планеты и звезды) движутся по некоей воображаемой сфере, которую называют ***Небесной сферой***. При этом считалось, что сфера вращается вокруг Земли. Позднее, это понятие было оставлено в научных целях.

Почему же так происходит? Любые объекты, находящиеся на расстоянии более 0,5 км, кажутся для человека одинаково удаленными (свойство человеческого глаза).

В астрономии, **небесной сферой** называется сфера произвольного радиуса с центром в глазу наблюдателя или в любой нужной ему точке.

На небесную сферу, как бы проектируется все, что человек видит в окружающем небесном пространстве.

На рисунке A и B истинные положения звезд, a и b – их проекции на небесную сферу (кажущееся положение звезд).

$$R > 0{,}5 \text{ км}, Oa = Ob.$$

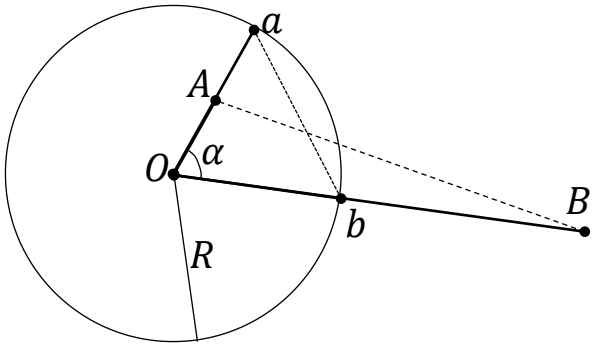


Рисунок 2.1.

На небесной сфере проводятся линии и наносятся точки, связанные с положением наблюдателя. На небесной сфере можно иметь дело только с угловыми расстояниями между объектами, т.е. со значе-

ниями углов, которые образуют лучи зрения из глаза наблюдателя на данный объект.

Например, на рисунке, OA и OB лучи зрения для звезд A и B, а α – угловое расстояние между ними, при этом точное положение A и B неизвестно.

Считается, что в течение жизни нескольких поколений людей звезды сохраняют на небе относительное расположение. Это позволяет создавать карты и атласы вида звездного неба и составлять на определенную эпоху каталоги небесных объектов.

На продолжительных интервалах времени (порядка десятков тысяч лет) вид звездного неба меняется по трем причинам.

1. *Собственное движение звезд.*
2. *Прецессия земной оси (скольжение точки весеннего равновесия).*
3. *Вековые возмущения (*это возмущения, которые приводят к отклонению орбиты небесного тела от теоретической орбиты в используемой модели, имеющие не периодический характер).

Звезды с древности использовали для ориентирования на Земле при путешествиях. Для чего на небе выделяли характерные сочетания звезд, которые в объединении с рядом расположенными звездами стали называть созвездиями.

Созвездие – определенная область (лоскут) звездного неба с видимыми в нем звездами. Границы созвездий строго определены, они проходят по небесным параллелям и кругам склонения.

На всем небе отмечено 88 созвездий, имеющие всевозможные названия.

- Животные (Лев, Большая медведица, Малая медведица, и др.).
- Имена героев греческих мифов (Персей, Андромеда, Пегас и др.).
- Названия предметов (Весы, Северная корона, треугольник и др.).

На всем небе невооруженным глазом можно увидеть около 6000 звезд. Все звезды различаются по **блеску** $\boldsymbol{E}$, который характеризуется **звездной величиной** $\boldsymbol{m}$.

Под блеском звезды понимается освещенность, создаваемая светом звезды (измеряется в Лк (люксах)).

Все звезды еще в древности были разделены на шесть групп.

обратная шкала

Эмпирически установлено, что

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{E_2}{E_3} = \cdots = \frac{E_5}{E_6} = 2{,}512 \text{ раз } \Rightarrow$$

$$\frac{E_1}{E_3} = 2{,}512^{\,2}, \qquad \frac{E_2}{E_6} = 2{,}512^{\,4}, \qquad \text{и т. д.}$$

Для двух звезд A и B, имеющих звездные величины m_A и m_B, имеем

$$\underbrace{\boldsymbol{\frac{E_A}{E_B} = 2{,}512^{\,m_B - m_A} \quad \text{или} \quad \lg\frac{E_A}{E_B} = 0{,}4(m_B - m_A)}}_{\text{формула Погсона}}.$$

К настоящему времени обнаружено множество объектов, не укладывающихся в указанный диапазон этих шести групп, т.е. более яркие объекты, для которых $m < 1^m$, и множество объектов более бледных, для которых $m > 6^m$.

Например, Солнце ($m_\odot = -26{,}8^m$), Луна ($m_☾ = -12{,}7^m$), Вега – α созвездия Лира ($m < 0{,}03^m$).

С XVII века ввели обозначения звезд в созвездиях по яркости (чаще всего в направлении убывания яркости):

$$\alpha, \beta, \gamma, \delta, \dots, \omega; a, b, c, \dots, z; aa, ab, \dots, zz; 1, 2, 3, \dots.$$

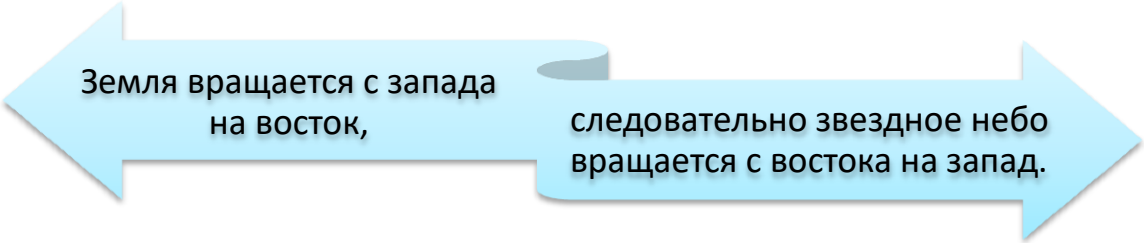
Некоторые наиболее яркие звезды получили собственные имена, например:

α Большого пса	–	Сириус,
α Лиры	–	Вега,
g Большой Медведицы	–	Алькор,
α Тельца	–	Альдебаран.

2.2. Основные линии и точки небесной сферы

С течением времени (за сутки) происходит так называемое вращение звездного неба.

Суточным вращением звездного неба называется вращение обусловленное суточным вращением Земли вокруг своей оси.



Земля вращается с запада на восток, следовательно звездное небо вращается с востока на запад.

Воображаемая ось вращения земного неба называется – ***осью Мира***. С небесной сферой она пересекается в двух точках: ***северном полюсе Мира*** P и ***южном полюсе Мира*** P'. Ось Мира параллельна оси вращения Земли.

Над головой наблюдателя находится – ***зенит*** Z, диаметрально противоположная точка – ***надир*** Z'. Линия ZZ' называется ***вертикальной*** или ***отвесной линией***.

Большой круг небесной сферы проходящий через полюса мира и точки зенита и надира – ***небесный меридиан***.

Плоскость, касательная к поверхности земного шара в точке наблюдения O образует ***математический горизонт***. Плоскость математического горизонта перпендикулярна отвесной линии.

Точки пересечения математического горизонта и небесного экватора называют точками севера N и юга S. На $90°$ от них отстоят точки запада W и востока E.

Теорема. *В заданном месте Земли ось мира образует с плоскостью математического горизонта угол равный широте места наблюдения* φ.

(Используется и другая формулировка. Высота северного полюса мира равна географической широте места наблюдения $h_{P_N} = \varphi$.)

Доказательство. По определению, географическая широта – это угол между плоскостью экватора и радиусом Земли, проведенным в данную точку (φ), а высота полюса мира h_{P_N} – это угол между осью мира и линией NO, лежащей в плоскости горизонта. Ось мира OP_N и ось вращения Земли $O'P$ параллельны, поэтому отвесная линия O'Z пересекает их под одним и тем же углом: $< PNOZ =< PO'O$. Следовательно равны и дополнительные углы $< OO'Q =< NOPN$, т.е. $\varphi = h_{P_N}$.

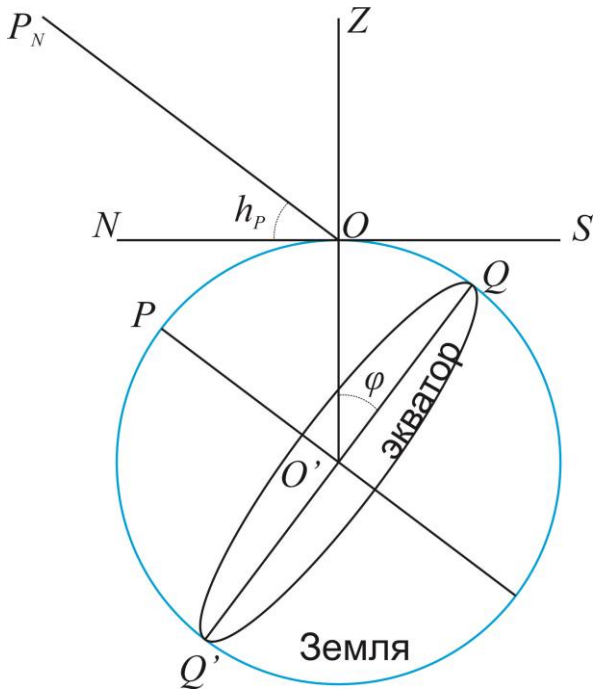


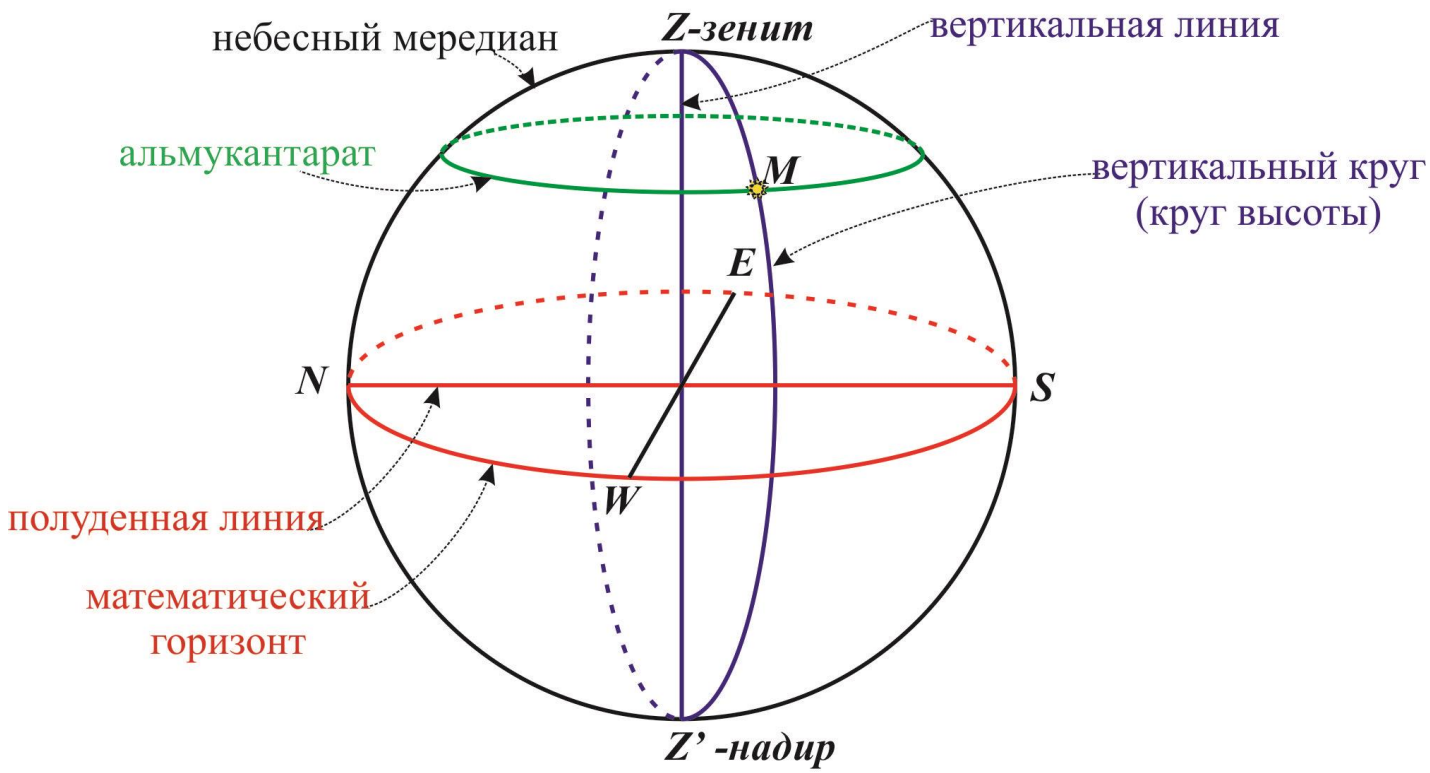
Рисунок 2.2.

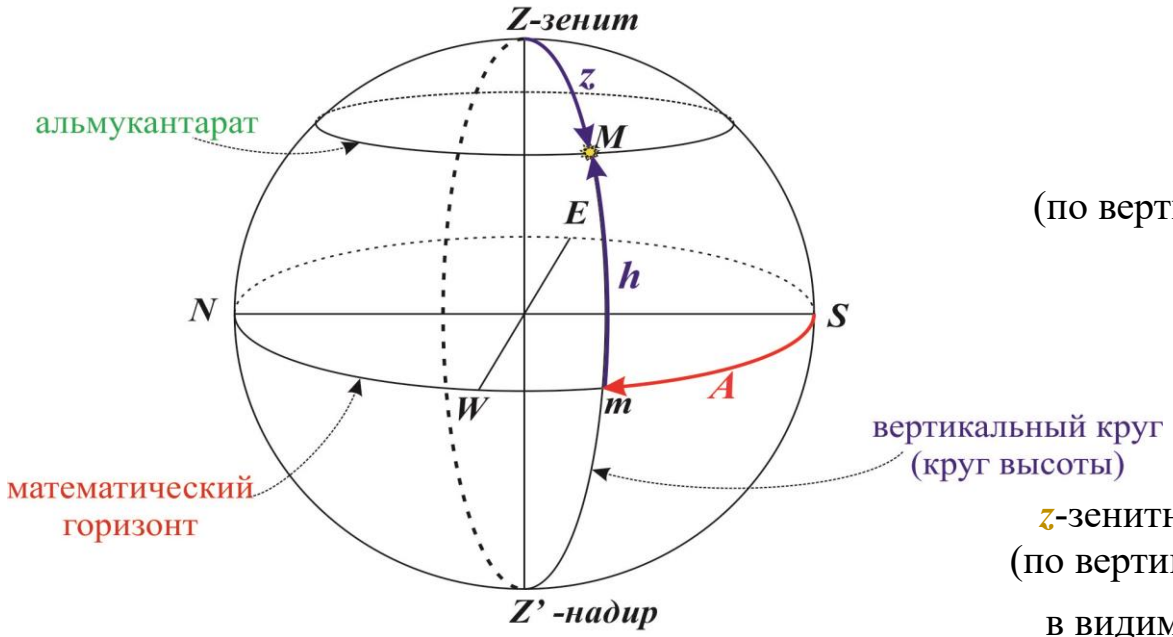
Эта теорема позволяет изображать небесную сферу без изображения земного шара, только учитывая широту.

Плоскость, проходящая через наблюдателя и параллельная оси мира, называется ***небесным экватором***.

2.3. Астрономические координаты. Горизонтальная система координат

Плоскость отсчета – плоскость математического горизонта.



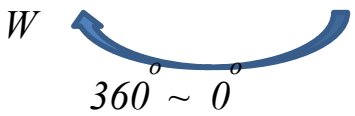


$z+h=90^{o}$

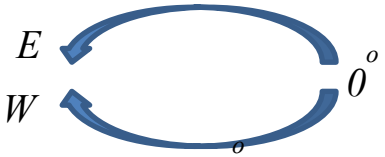
h-высота
(по вертикальному кругу)

z-зенитное расстояние
(по вертикальному кругу)
в видимой части <90°
в невидимой части> 90°

A-азимут
(по математическому горизонту)

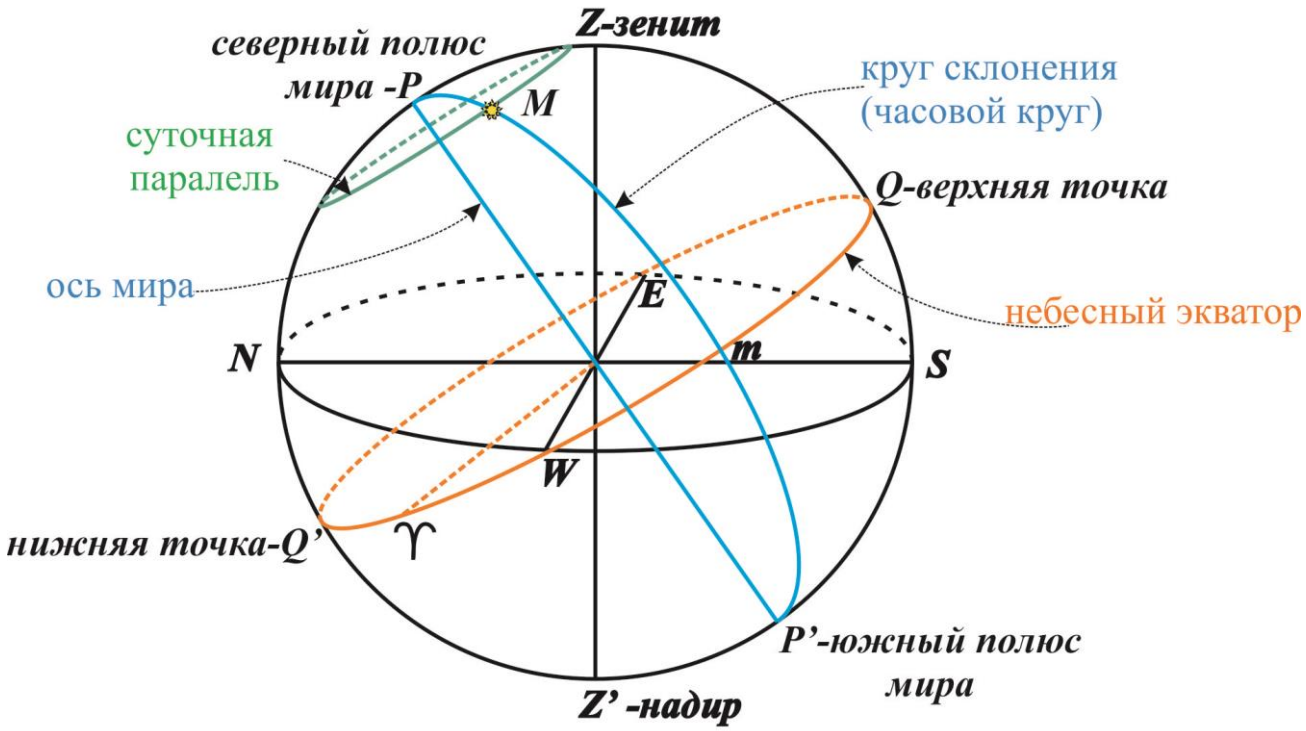


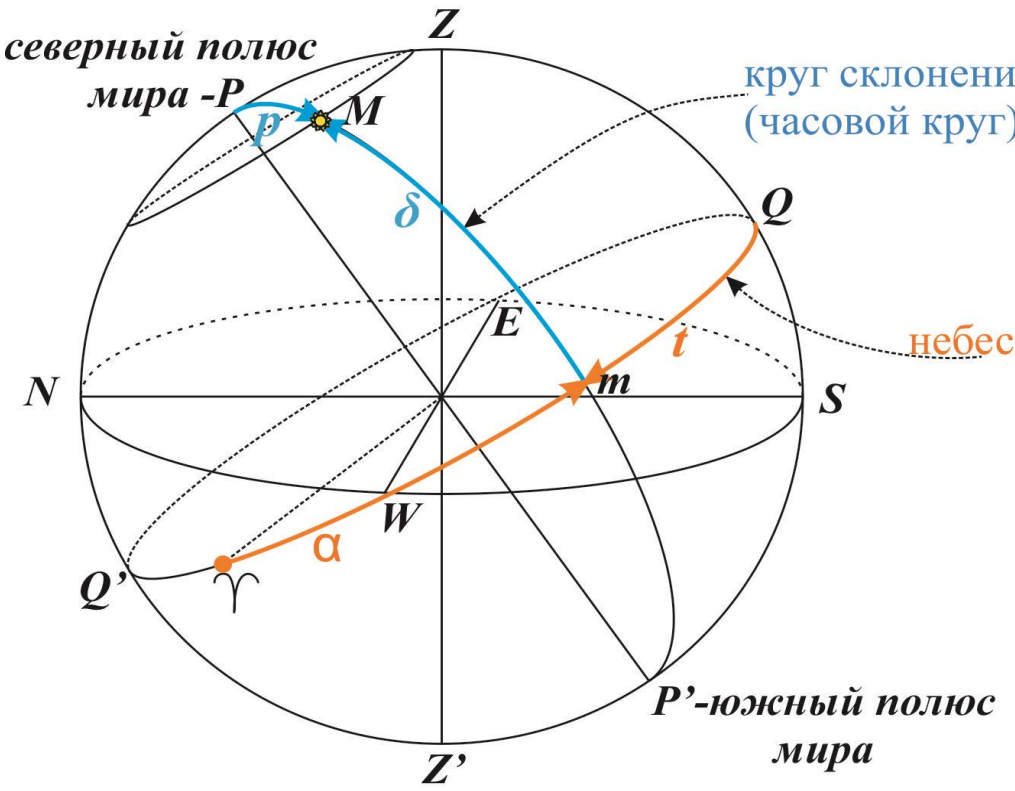
или



2.4. Астрономические координаты. Экваториальная система координат

Плоскость отсчета – плоскость небесного экватора



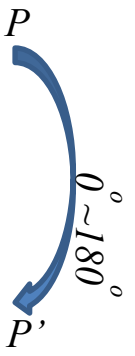


круг склонения (часовой круг)

небесный экватор

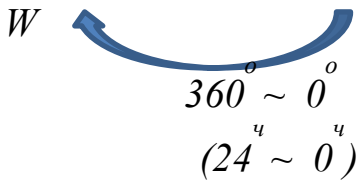
δ-склонение (по кругу склонения)

p-полярное расстояние (по кругу склонения)

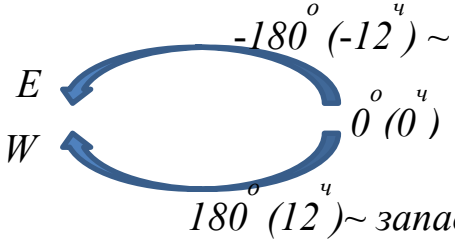


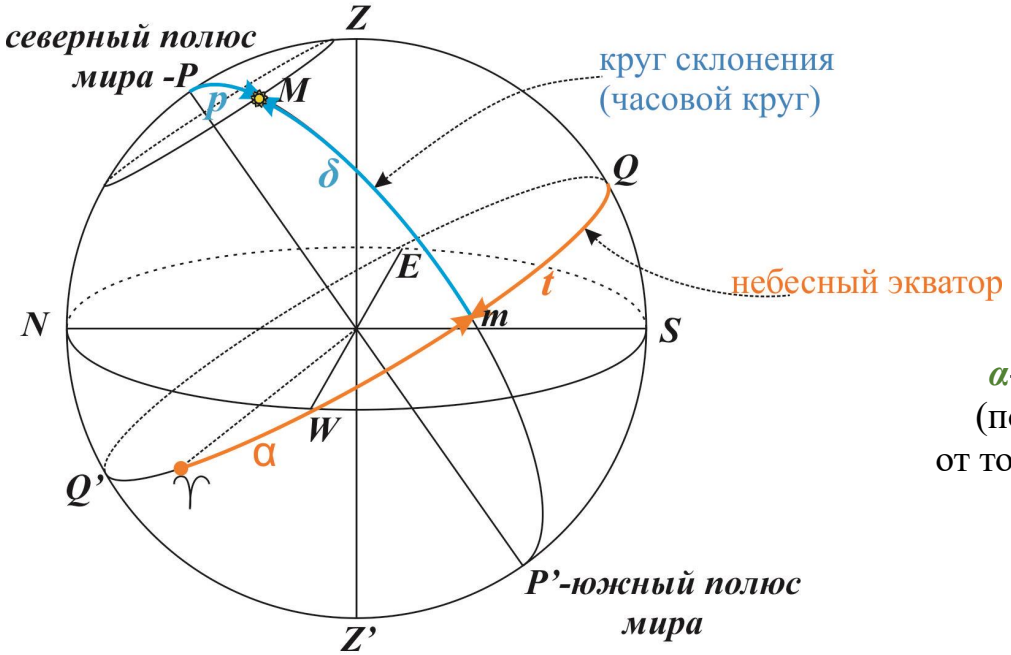
$$p+\delta=90^{o}$$

t-часовой угол (по небесному экватору)

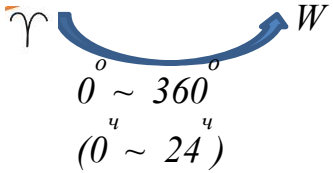


или





α-прямое восхождение
(по небесному экватору)
от точки весеннего равноден-
ствия



2.5. Типовая задача

Высота светила в кульминации.

Светило M находится в верхней кульминации к югу от зенита. Найдите его высоту, зная, что широта места равна φ, а склонение светила δ.

Решение. Обозначим искомую высоту через h. Она равна дуге меридиана от точки юга до светила. Дуга SM равна сумме двух дуг: от горизонта до экватора QS, равной $90° - \varphi$, и от экватора до светила QM, равной δ. Следовательно, $\boldsymbol{h = 90° - \varphi + \delta}$.

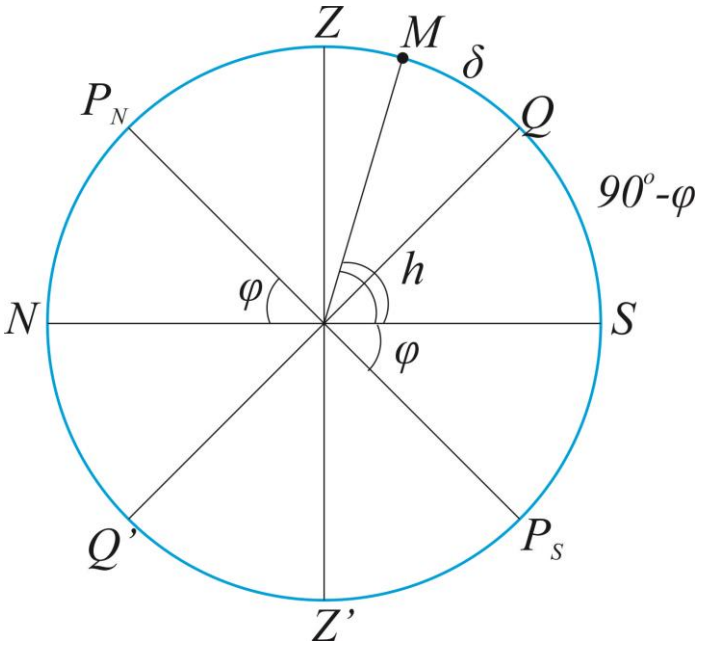


Рисунок 2.3.

2.6. Зависимость суточного движения светил от положения наблюдателя на Земле.

Суточные пути светил на НС – окружности, плоскости которых параллельны небесному экватору, каждая из них в двух точках пересекает небесный меридиан. Рис: Суточные пути светил: а) на средних широтах, б) на Северном полюсе Земли, в) на экваторе.

Явление пересечения светилом небесного меридиана – *кульминация*. Ближайшая к зениту – *верхняя*, более удаленная – *нижняя*. В верхней кульминации светило имеет наибольшую высоту, а в нижней – наименьшую.

Высота светила в кульминации зависит от географической широты места наблюдения.

Если наблюдатель находится на одном из полюсов Земли, то для него ось мира совпадает с отвесной линией. Высота северного полюса мира над горизонтом в этом случае $h_P = 90°$. Наблюдателю кажется, что небо вращается вокруг вертикальной оси, а суточные пути светил параллельны математическому горизонту, с которым совпадает небесный экватор.

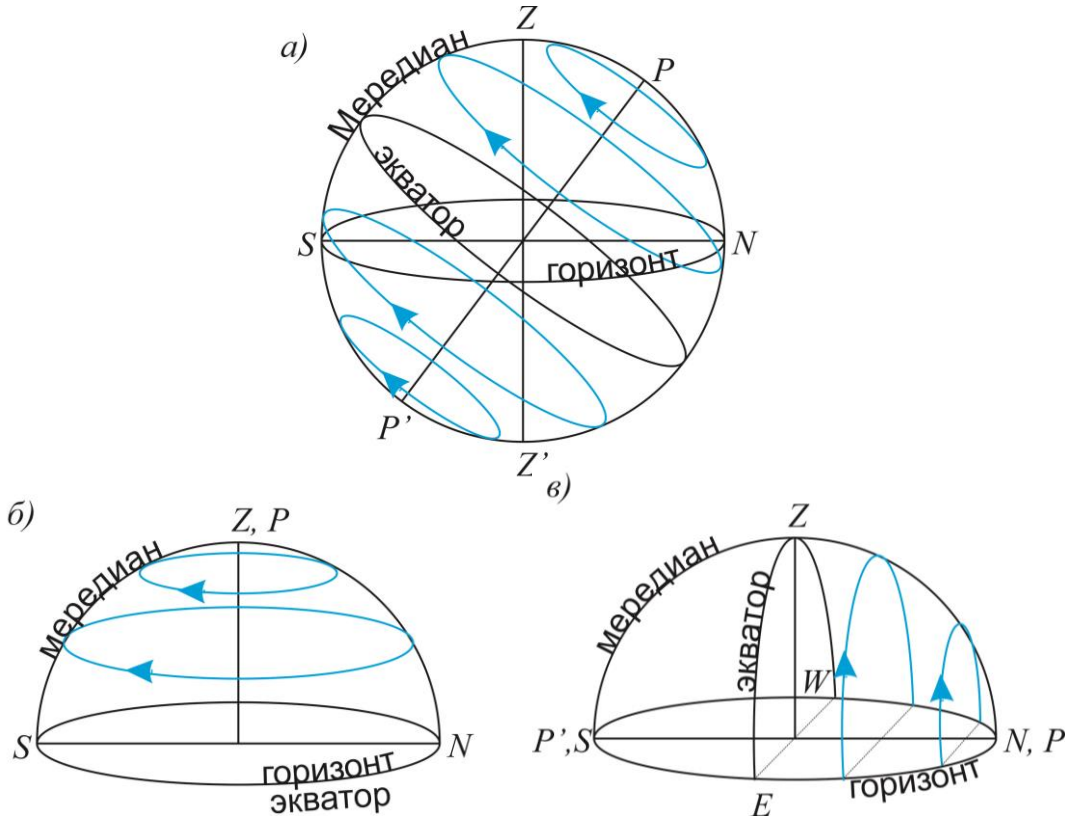


Рисунок 2.4.

Поэтому, д**ля наблюдателя, находящегося на полюсе Земли, высота любого светила над горизонтом в течение суток не меняется.** Все наблюдаемые звезды являются незаходящими.

Если наблюдатель перемещается от Северного полюса вдоль какого-либо географического меридиана, высота полюса мира для него начнет уменьшаться. Когда наблюдатель достигнет экватора, ось мира станет перпендикулярной отвесной линии и будет находиться в плоскости математического горизонта. Тогда $h_P = 0°$. Полюсы мира окажутся при этом в соответствующих им точках севера N и юга S, а плоскости небесного экватора и суточных путей светил станут перпендикулярны плоскости математического горизонта. Поэтому

На экваторе могут наблюдаться все светила северного и южного полушарий неба. Все светила в течение суток восходят и заходят.

Когда наблюдатель переходит южное полушарие Земли, северный полюс мира становится невидимым. Над горизонтом оказывается южный полюс мира, который тем ближе к зениту, чем наблюдатель ближе к южному полюсу Земли. Вблизи южного полюса мира нет яркой звезды, но на расстоянии около 10° имеется красивое созвездие Южного Креста.

3. ДВИЖЕНИЕ СОЛНЦА И ЛУНЫ

3.1. Годичное движение Солнца

Уже в глубокой древности, наблюдая за Солнцем, астрономы обнаружили, что его полуденная высота с течением года меняется. Вместе с тем было установлено, что в течение года меняется и вид звездного неба: в полночь в южной части горизонта в различное время года видны разные созвездия, те которые видны в летние месяцы (рис.1), не видны зимой (рис.2) и наоборот.

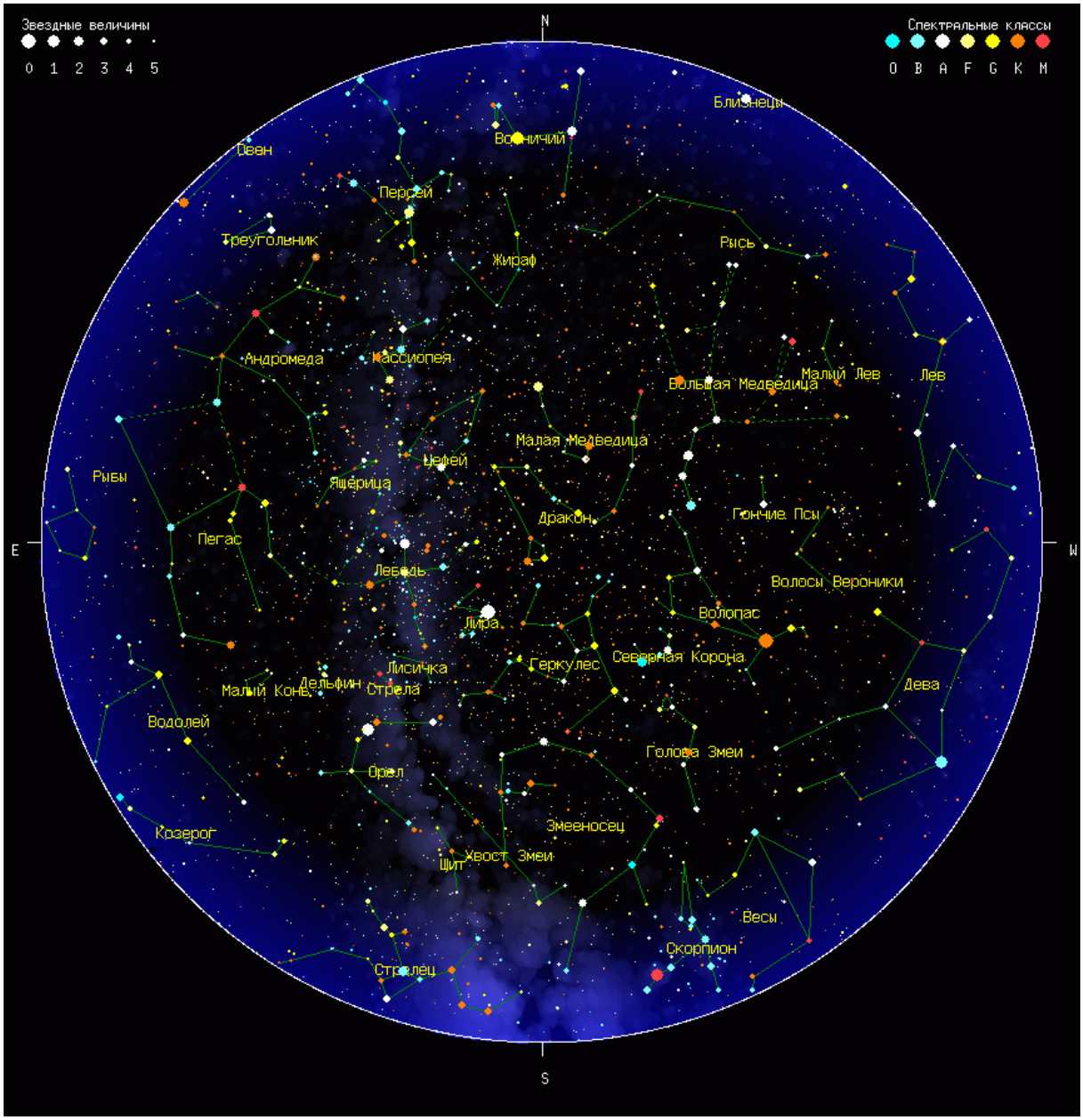


Рисунок 3.1. Вид звездного неба во Владимире 21 июня в полночь

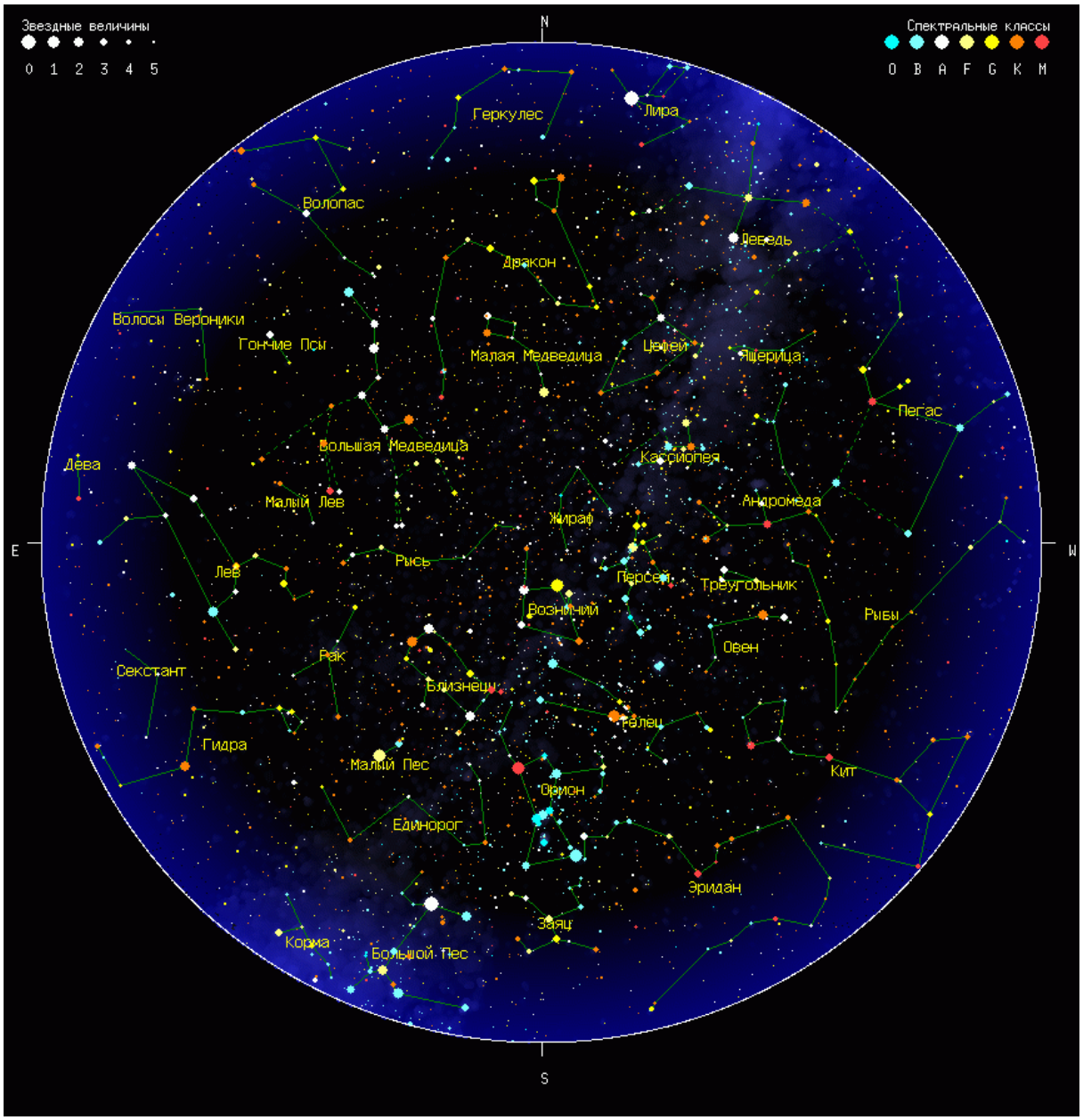


Рисунок. 3.2.

Рисунок 2. Вид звездного неба во Владимире 21 декабря в полночь

На основе этих наблюдений был сделан вывод о том, что Солнце перемещается по небу на фоне созвездий.

Круг небесной сферы, по которому проходит видимое годичное движение Солнца, назвали ***эклиптикой***.

Задание. Найдите на карте звездного неба (рис. 3) эклиптику и проследите, по каким созвездиям она проходит? Их двенадцать, они получили название ***зодиакальных***.

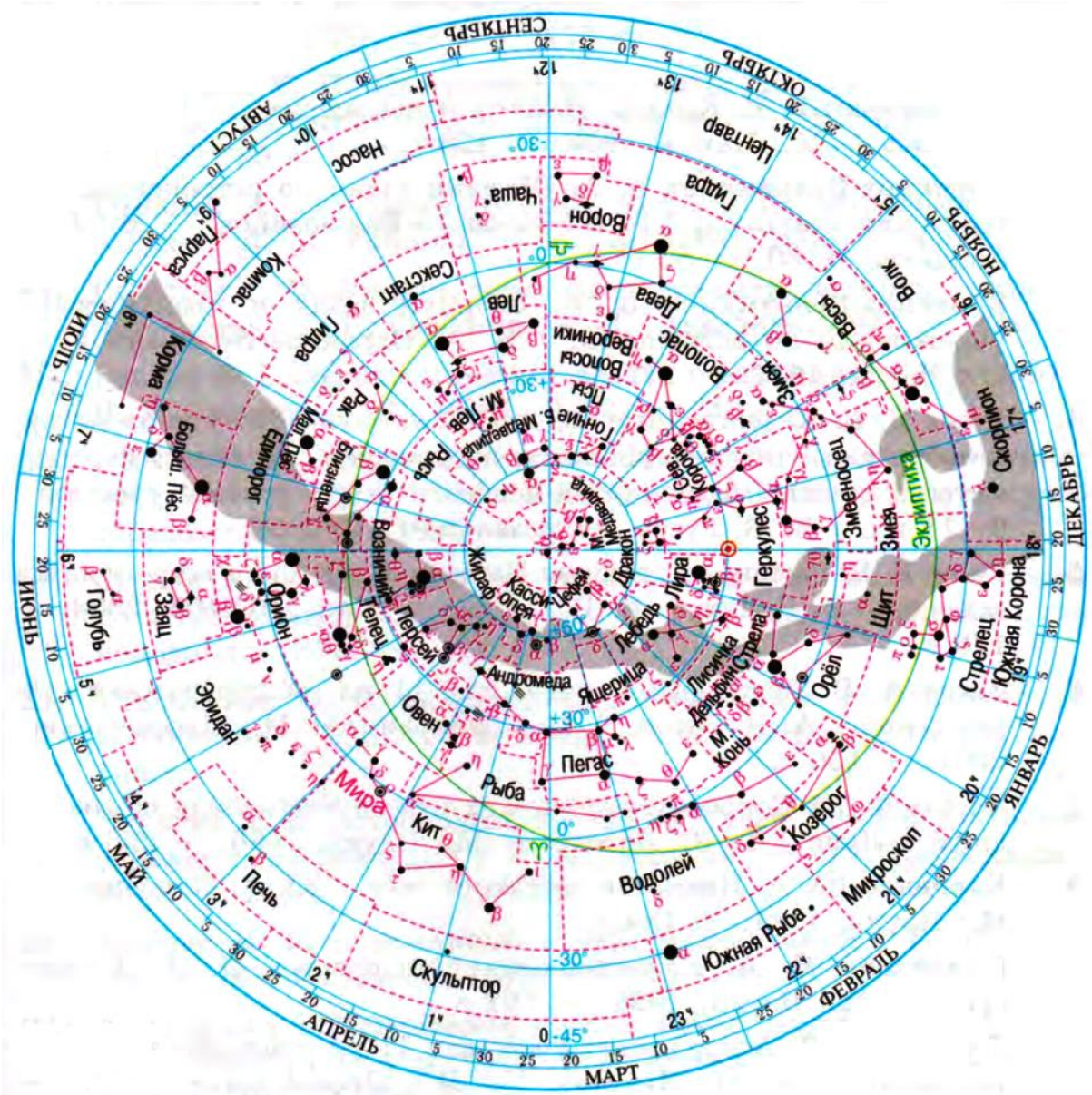


Рисунок 3.3. Карта звездного неба

Замечание. Зодиак (зодиакальный круг, от греческого живое существо). Это связано с тем, что половина знаков в классическом греческом зодиаке представлены в виде животных (помимо мифологических существ). Считается, что это круговая полоса небесной сферы, включающая в себя эклиптику, шириной в 9°.

Николай Коперник уже в XVI веке объяснил, что перемещение Солнца на фоне звезд – явление кажущееся. Происходит оно вследствие годичного обращения Земли вокруг Солнца (рис. 4).

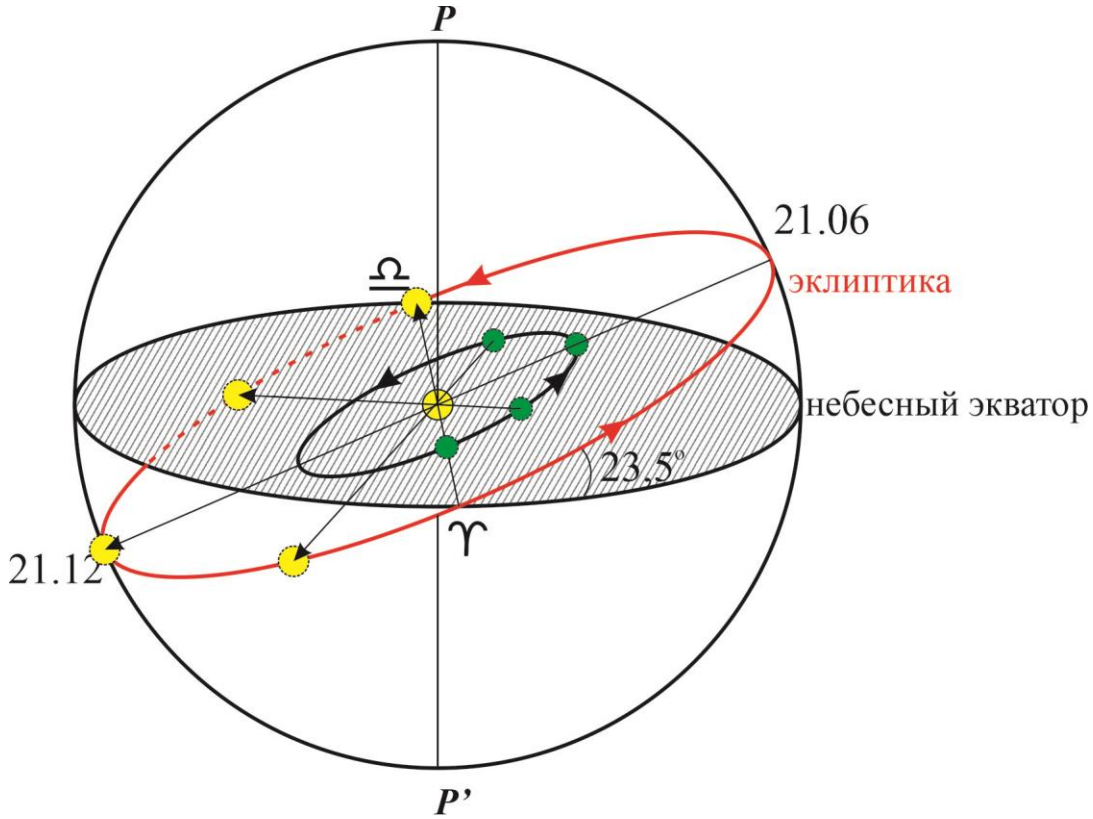


Рисунок 3.4. Кажущееся движение Солнца

За сутки Земля проходит примерно $\frac{1}{365}$ часть своей орбиты. Вследствие этого Солнце перемещается на небе примерно на 1° за каждые сутки, обходя полный круг за ***год***.

Тропический год – промежуток времени между двумя последовательными прохождениями Солнечным диском точки весеннего равноденствия (♈).

Продолжительность тропического года равна ***365 дней 5 часов 48 минут 46 секунд*** или ***365,2422 дней***.

Плоскость эклиптики наклонена к плоскости небесного экватора под углом $\varepsilon = 23°26' \approx 23{,}5°$. Из рисунка 54 видно, что плоскость

земной орбиты пересекает небесную сферу по окружности, наклоненной по отношению к небесному экватору. Эта окружность и есть эклиптика. Вспомним теперь, что Земля наклонена к плоскости своей орбиты движения вокруг Солнца, под углом $= 66°34' \approx 66{,}5°$. Следовательно экватор Земли имеет по отношению к плоскости ее орбиты наклон равный $23{,}5°$. Именно таков и наклон эклиптики по отношению к небесному экватору (рис. 5).

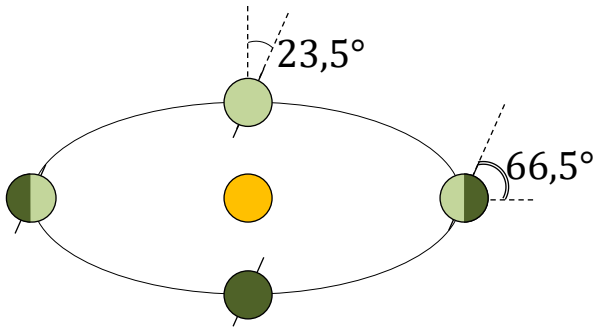


Рисунок 5. Положение оси вращения Земли в пространстве

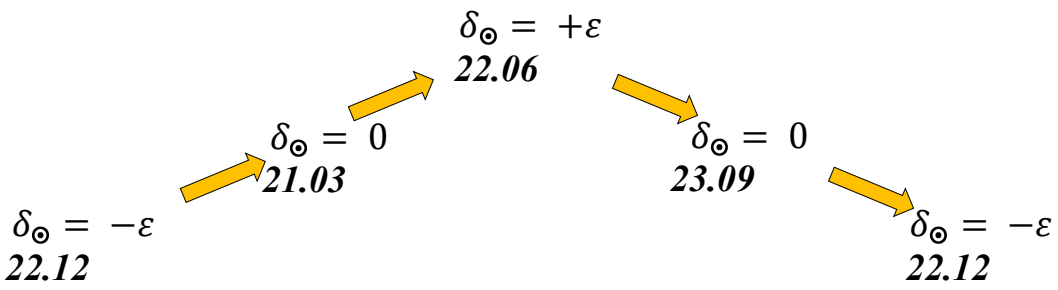
3.2.Следствия годичного движения Солнца.

1. Изменение экваториальных координат Солнца (α, δ) в течение года.

Прямое восхождение Солнца растет с течением года

$$\mathbf{0^ч \leq \alpha \leq 24^ч}\,,\ \frac{\alpha_\odot}{\mathbf{1}\ \text{сутки}} \approx \mathbf{4'}.$$

Склонение изменяется в соответствии с диаграммой.



2. Изменение видимости Солнца на произвольной широте в зависимости от времени наблюдения (по причине изменения δ).

1 период: $\delta_{\odot}$ растет, при этом

→ полуденная и полуночная высота солнца растет;

→ продолжительность дня увеличивается, а ночи уменьшается;

→ места восхода и захода Солнца (азимуты) смещаются в северную сторону неба;

→ моменты (часовые углы) восхода и захода Солнца изменяются.

Поскольку ось вращения Земли сохраняет постоянное направление в пространстве, условия освещения Солнцем ее северного и южного полушарий планеты в течение года меняются (рисунок 5). В дни равноденствий, граница дня и ночи проходит точно через полюса Земли. Оба полушария освещаются одинаково, день равен ночи во всех пунктах Земли. В дни равноденствий Солнце находится на небесном экваторе и имеет склонение 0° (рисунок 4).

В день летнего солнцестояния Солнце лучше освещает Северное полушарие Земли. Здесь стоит лето и дни значительно длиннее, чем ночи. В день летнего солнцестояния Солнце поднимается над плоскостью земного (и небесного) экватора на $23°26'$ (рисунок 4).

В день зимнего Солнцестояния, когда северное полушарие освещается хуже всего, Солнце находится ниже небесного экватора на такой же угол $-23°26'$ (рисунок 4).

3. Разделение Земного шара на три тепловых пояса.

Название поясов	Границы поясов
северный и южный холодные пояса	*северный* $(\varphi = +66°34')$ *и юж-*

северный и южный умеренные пояса	*ный* $(\varphi = -66°34')$ *полярные круги*
	северный $(\varphi = +23°26')$ *и южный* $(\varphi = -23°26')$ *тропики*
жаркий тропический пояс	

Суточные пути Солнца в различные дни года на полюсе Земли, на ее экваторе и в средних широтах показаны на рисунке 6.

Текст курсивом представлен для ознакомления.

→ *Для наблюдателя на северном полюсе Земли (φ= +90°) незаходящими светилами являются те, у которых* $\delta \geq 0$*, а невосходящимите, у которых δ<0. Положительное склонение у Солнца бывает с 20 марта по 22 сентября, а отрицательное — с 22 сентября по 20 марта. Следовательно, на северном полюсе Земли Солнце приблизительно полгода бывает незаходящим, а полгода — невосходящим светилом. Около 20 марта Солнце здесь появляется над горизонтом (восходит) и вследствие суточного вращения небесной сферы описывает кривые, близкие к окружности и почти параллельные горизонту, поднимаясь с каждым днем все выше и выше.*

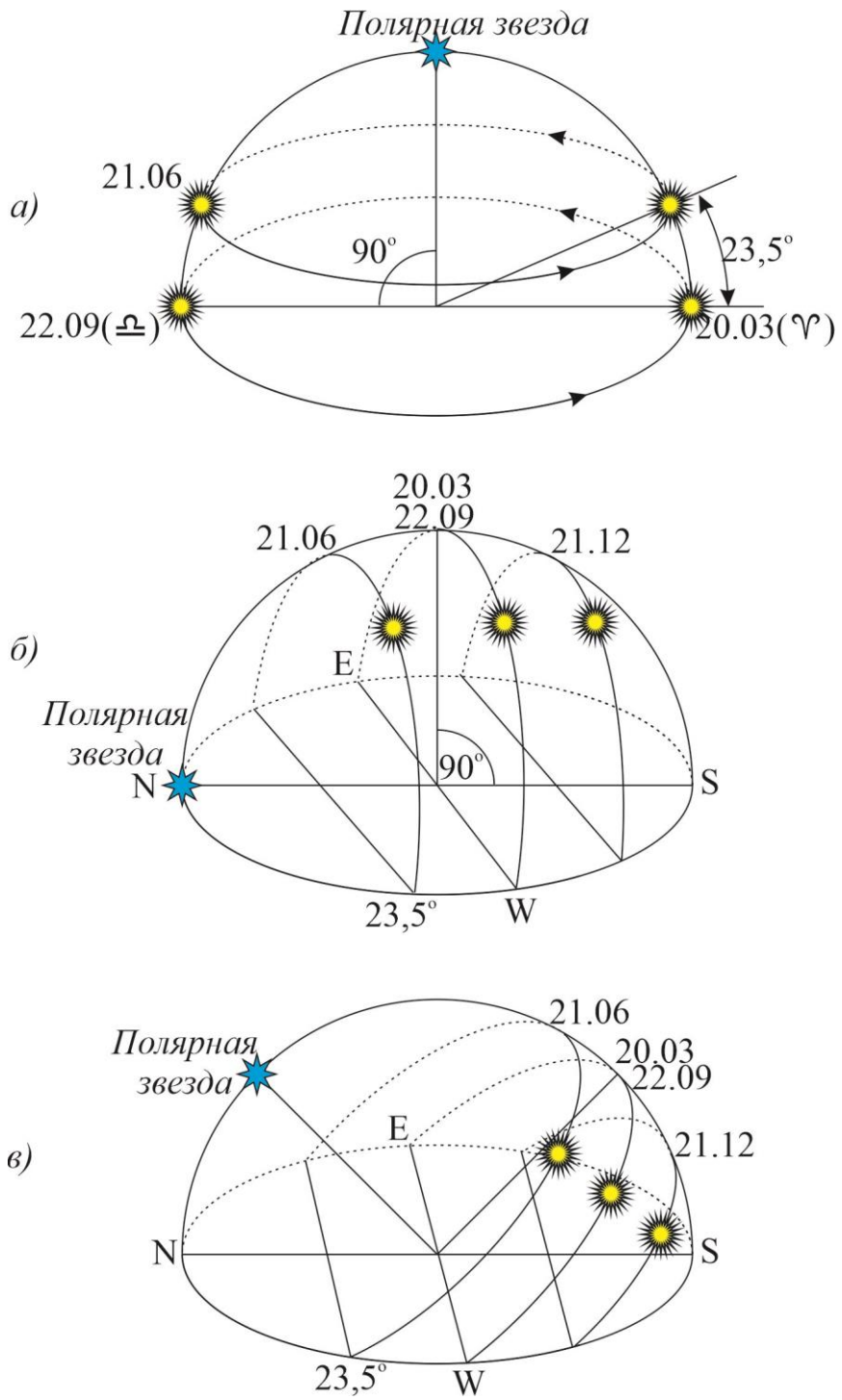


Рисунок 3.6. Изменение полуденной высоты Солнца в течение года:

а) на Северном полюсе; *б*) на экваторе;

в) в средних широтах северного полушария Земли.

В день летнего солнцестояния (около 21 июня) Солнце достигает максимальной высоты h_{max}= +23° 27'. После этого Солнце начинает приближаться к горизонту, высота его постепенно уменьшается и после дня осеннего равноденствия (22 сентября) оно скрывается под горизонтом (заходит). День, длившийся полгода, кончается и начинается ночь, которая длится также полгода. Солнце, продолжая описывать кривые, почти параллельные горизонту, но под ним, опускается все ниже и ниже. В день зимнего солнцестояния (около 21 декабря) оно опустится под горизонт на высотуh_{min} = — 23° 27', а затемснова начнет приближаться к горизонту, высота его будет увеличиваться, и перед днем весеннего равноденствия Солнце снова появится над горизонтом.

→ *<u>Для наблюдателя на южном полюсе Земли (φ= —90°)</u> суточное движение Солнца происходит подобным же образом. Только здесь Солнце восходит 22 сентября, а заходит после 20 марта, и поэтому когда на северном полюсе Земли ночь, на южном—день, и наоборот.*

→ *<u>Для наблюдателя на северном тропике (φ = +23°27')</u> Солнце всегда является восходящим и заходящим светилом. В день летнего солнцестояния оно в полдень достигает максимальной высоты h_{max}=+90°, т. е. проходит через зенит. В остальные дни года Солнце в полдень кульминирует к югу от зенита. В день зимнего солнцестояния его минимальная полуденная высота h_{min}=+43° 06'.*

→ *<u>На южном тропике (φ = — 23°27')</u> Солнце также всегда восходит и заходит. Но на максимальной полуденной высоте над горизонтом (+90°) оно бывает в день зимнего солнцестояния, а на ми-*

нимальной (+43°06') —в день летнего солнцестояния. В остальные дни года Солнце в полдень кульминирует здесь к северу от зенита.

→ *<u>В местах, лежащих между тропиками и полярными кругами</u>, Солнце восходит и заходит каждый день года. Полгода здесь продолжительность дня больше продолжительности ночи, а полгода — ночь продолжительнее дня. Полуденная высота Солнца здесь всегда меньше 90° (кроме тропиков) и больше 0° (кроме полярных кругов). Здесь, Солнце бывает в зените два раза в году, в те дни, когда его склонение равно географической широте места.*

→ *<u>Для наблюдателя на экваторе Земли (φ = 0)</u> все светила, в том числе и Солнце, являются восходящими и заходящими. При этом 12 часов они находятся над горизонтом, а 12 часов —под горизонтом. Следовательно, на экваторе продолжительность дня всегда равна продолжительности ночи. Два раза в году Солнце в полдень проходит в зените (20 марта и 22 сентября). С 20 марта по 22 сентября Солнце на экваторе кульминирует в полдень к северу от зенита, а с 22 сентября по 20 марта —к югу от зенита. Минимальная полуденная высота Солнца здесь будет равна* h_{min}*=90°— 23°27′ = 66° 33′ (21 июня и 21 декабря).*

Таким образом.

В холодных поясах Солнце может быть незаходящим и невосходящим светилом. Полярный день и полярная ночь могут длиться от 24 часов до полугода.

В умеренных поясах Солнце каждый день восходит и заходит, по никогда не бывает в зените. Полярных дней и ночей здесь никогда

не бывает. Продолжительность дня (ночи) короче 24 часов. Летом день длиннее ночи, а зимой — наоборот.

В жарком поясе Солнце также всегда восходящее и заходящее светило и два раза в году (на тропиках один раз) в полдень бывает в зените (в разных местах —в разные дни года, а на экваторе — в день весеннего н в день осеннего равноденствий)

Момент верхней кульминации Солнца называется полднем, а нижней – полночью. Измерив полуденную высоту Солнца и зная его склонение в этот день, можно вычислить географическую широту места наблюдения.

3.3. Движение Луны

Путь Луны на фоне звезд проходит недалеко от эклиптики, т.е. Луна как и Солнце движется по зодиакальным созвездиям.

Определение: Линия, по которой мы наблюдаем движение Луны на фоне звезд называется Лунным путем.

Луна, как и Солнце, движется по небосводу против хода часоой стрелки, но значительно быстрее (Луна на 13° в сутки, Солнце$\approx 1^{o}$ в сутки)

Определение: Точки пересечения Лунного пути и Эклиптики называется Лунными узлами.

- Тот узел, через который Луна движется из южного эклиптического полушария в северное называется **восходящим** (обозначается Ω)

Противоположный –**нисходящим** (℧)

➢ Плоскость лунного пути наклонена в среднем под углом 5° 09` к плоскости эклиптики ($i_{☾}=5^{o}09`$)

Определение: Период обращения Луны по орбите, при котором она делает полный круг на фоне звезд называется *звездным* или *сидерическим месяцем* $T_{☾}$=27,3 сут.

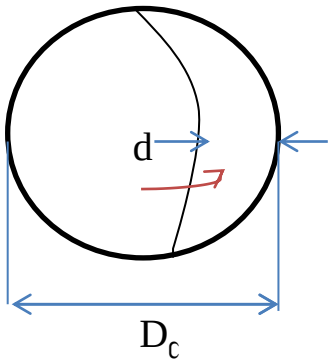
Ориентация линии лунных узлов в пространстве постоянно меняется. При этом лунные узлы движутся на встречу Солнцу и Луне по эклиптике (т.е. к западу) и делают полный оборот приблизительно через 18 лет и 7 месяцев, т.е. ориентировочно на 20° в год.

Положение узлов определяется их геоцентрической долготой λ ($\lambda_{☊}$ и $\lambda_{☋}$), отсчитываемой от точки весеннего равноденствия по эклиптике против ходу часовой стрелки.

3.4. Фазы Луны

В процессе движения Луны по небу в течении синодического месяца, меняется ее внешний вид, который называется фазой Луны.

Фаза Луны - это не только внешний вид, но и некоторый числовой параметр. Часто его приводят в эфемеридах Луны. Каждый день он меняется. Эфемерида (гр.ежедневный, на день) таблица небесных координат астрономических объектов, вычисленных через равные промежутки времени (например, на полночь каждых суток). Так же эфемерида- это формула, по которой можно рассчитать момент минимума для переменных звезд.



$$\Phi = \frac{d}{D_C}$$ фаза меняется от 0 до 1

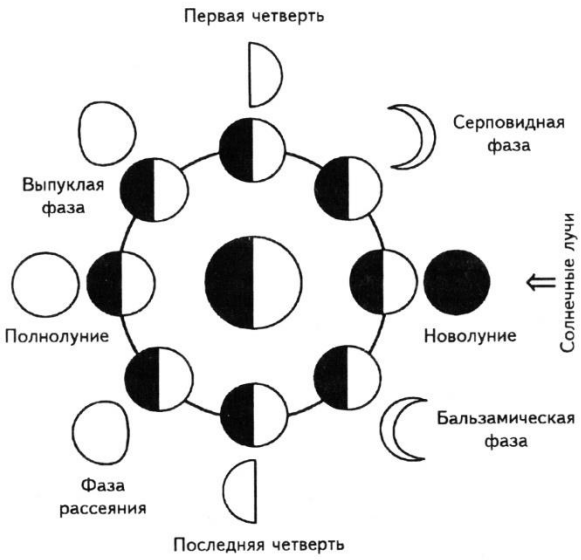


Рисунок 3.7.

Мнемоническое правило:

- Стареющая Луна, похожа на букву «С»
- Рустущая Луна повернута в другую сторону, если к ней мысленно пририсовать палочку, получится буква «Р»

В южном полушарии порядок смен фаз Луны обратный.

Определение: Промежуток времени между двумя последовательными одинаковыми фазами называется *синодическим месяцем* ($S_C \approx$ 29,53 суток)

Синодический месяц длиннее чем сидерический, т.к. через 27,32 суток, т.е. через сидерический месяц Луна сделав полный оборот по

своей орбите, займет прежнее положение относительно звезд, но т.к. Земля за за это время перейдет в новое положение (из 1 в 2), то полнолуния еще не будет. Оно наступает через некоторое время, когда Земля займет положение 3.

Т.е. синодический месяц –это время между двумя последовательными одинаковыми комбинациями в расположении Солнца, Луны и Земли.

О: Звездным или сидерическим годом называется промежуток времени в течении которого Солнце возвращается к одной и той же звезде на небе. Т.е. это время одного полного оборота Солнца (Земли) вокруг Земли (Солнца) Е≈ 365,2564 сут.

Существует математическая связь между синодическим месяцем S и сидерическим месяцем Т и звездным годом Е.

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

Сидерический		Синодический
$T_☾$	<	$S_☾$
Е	>	$E_{тр}$
Звездный		Тропический

3.5. О затмениях

В некоторые моменты времени угловые размера Солнца чуть больше или чуть меньше угловых размеров Луны.

$2\rho_{\odot} \approx 2\rho_{☾} \approx 31`$

Различают полные (центральные), частные и кольцеобразные Солнечные затмения

Так же выделяют полные и частные теневые и полутеневые Лунные затмения.

- Солнечное затмение связано с перекрытием или экранированием для наблюдателя солнечного диска или его части.

Последнее полное затмение в России (западная часть) было видно 20 марта 2015 г. –длилось 2 минуты 47 секунд

В центральной России -1 августа 2008- 2 минуты 27 секунд

Следующее 11 августа 2018 г.

- Лунное затмение связано с попаданием Луны в область земной тени

Условия наступления затмений

Солнечные и лунные затмения происходят при разны конфигурациях в расположении Солнца, Земли и Луны.

	Солнечное	Лунное
Фаза Луны	Новолуние, $\phi=0$	Полнолуние $\phi=1$
Удаление от Лунного узла	$\leq 16{,}5^{o}$	$\leq 10{,}6^{o}$
Благоприятный период в году	≈ 33 дня	≈ 21 день
Число в году	2-5	0-3

4. ПРАКТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ АСТРОНОМИИ. ИЗМЕРЕНИЕ ВРЕМЕНИ

I. Измерение времени.

II. Составление календаря.

III. Определение (широты и долготы места наблюдения) географических координат.

IV. Составление звездных каталогов (определение координат звезд).

V. Создание инерциальных систем отсчета (ИСО).

В астрономии вводится 3 единицы времени (используются только две):

а) звездное время (звездные сутки);

б) истинное солнечное время (истинные солнечные сутки);

в) среднее солнечное время (средние солнечные сутки).

Эталоном для единиц времени служит периодический процесс – период вращения Земли.

4.1. Звездное время. Звездные сутки

Время, измеряемое звездными сутками (часами, минутами, секундами) для сокращения называется звездным временем (обозначается S).

Звездные сутки *– промежуток времени между двумя последовательными верхними кульминациями (ВК) точки весеннего равноденствия* ♈.

За начало звездных суток в каждом месте Земли принимается

момент верхней кульминации точки ♈ в заданном месте.

Звездное время в данный момент, в данном месте численно равно часовому углу точки ♈:

$$S = t_{♈}.$$

Теорема. *Звездное время в любой момент в заданном месте равно сумме часового угла какого-либо светила и его прямого восхождения* (рисунок).

$$\boldsymbol{S = t_{♈} = t_{зв} + \alpha_{зв}}.$$

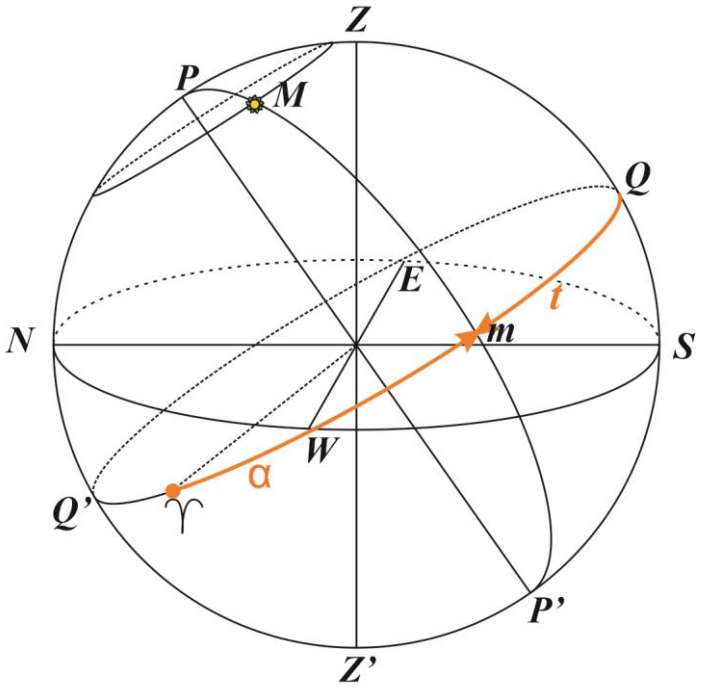


Рисунок 4.1.

•В момент верхней кульминации светила $t_{зв} = 0$, тогда $S = \alpha_{зв}$.

•В момент нижней кульминации светила $t_{зв} = 12$, тогда $S = 12 + \alpha_{зв}$.

<u>Недостатки такого способа определения времени.</u>

1. Точка ♈на небе никакой звездой не отмечена и скользит по небу.

2. Мы привыкли жить по Солнцу, а верхняя кульминация Солнца всегда происходит в разное время.

Так за одни сутки Солнце смещается по эклиптике $\approx$ на $1°4'$ к востоку и только 21 марта, когда $\delta_\odot = 0°$, а $\alpha_\odot = 0^ч$, $S = 0$, во все другие они не совпадают.

3. Полдень по Солнцу и звездному времени не совпадают.
4. Вследствие прецессии земной оси положение точки ♈ не остается неизменным: она медленно перемещается вдоль эклиптики к западу на $50{,}29''$ в год или на $0{,}138'' = 0{,}0092^с$. В проекции на небесный экватор ($\cdot \cos 23{,}5°$) это дает $0{,}0084^с$ в сутки. На эту величину звездные сутки короче периода вращения Земли. Помимо этого длина звездных суток изменяется вследствие нутации земной оси, также смещающей положение точки ♈.

Замечание.

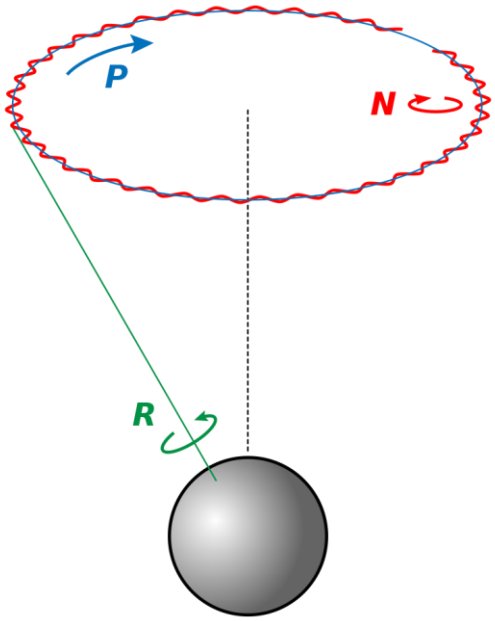


Рисунок 4.2.

Прецессия *— это медленное передвижение оси вращающегося тела (в данном случае — земного шара) так, что ее концы (у Земли —*

полюса) медленно поворачиваются по кругу наподобие вращения оси крутящегося волчка, если ее отклонить от вертикали. При этом угол наклона оси от вертикальной линии в любой позиции прецессионного смещения одинаков. Скорость прецессии земной оси очень медленная — на $1°$ *за каждые 71,6 года.*

Нутация *(от лат. nutatio «колебание; качание, кивание») — слабое нерегулярное движение вращающегося твёрдого тела, совершающего прецессию. Напоминает «подрагивание» оси вращения и заключается в слабом изменении так называемого угла нутации между осями собственного и прецессионного вращения тела.*

Звездное время в основном используют только службы времени.

4.2. Истинное солнечное время. Истинные солнечные сутки.

Его называют солнечные часы. Момент верхней кульминации Солнца – *истинный полдень*, нижней кульминации – *истинная полночь*.

За начало истинных суток принимается истинная полночь.

Истинные солнечные сутки *(ИСС) – промежуток времени между двумя последовательными одноименными кульминациями центра Солнца*.

Временной промежуток от нижней кульминации центра Солнца до любого его положения, выраженный в долях ИСС (в истинных часах, минутах, секундах) называется истинным солнечным временем $T_{\odot}$

Теорема. *Истинное солнечное время* $T_{\odot}$ *на данном меридиане в*

любой момент равно часовому углу Солнца плюс 12 часов

$$\boldsymbol{T_\odot} = \boldsymbol{t_\odot} + \mathbf{12}\text{ч}.$$

В полдень (в верхней кульминации Солнца) $t_\odot = 0°$, $\boldsymbol{T_\odot} = \mathbf{12}$ч.

<u>Недостатки такого способа определения времени.</u>

Продолжительность истинных солнечных суток в течение года меняется, т.к. Солнце за равные отрезки времени по эклиптике (за сутки) проходит больше (у точек весеннего и осеннего равноденствия) или меньше (у точек солнцестояния), чем изменяется дуга часового угла.

4.3. Среднее солнечное время. Средние солнечные сутки.

Вводят две фиктивные точки – среднее эклиптическое Солнце и среднее экваториальное Солнце.

Среднее эклиптическое Солнце (находится постоянно недалеко от реального Солнца) неравномерно движется по эклиптике т.о. чтобы среднее экваториальное Солнце равномерно двигалось по экватору (среднее эклиптическое Солнце и среднее экваториальное всегда находятся на одном круге склонения).

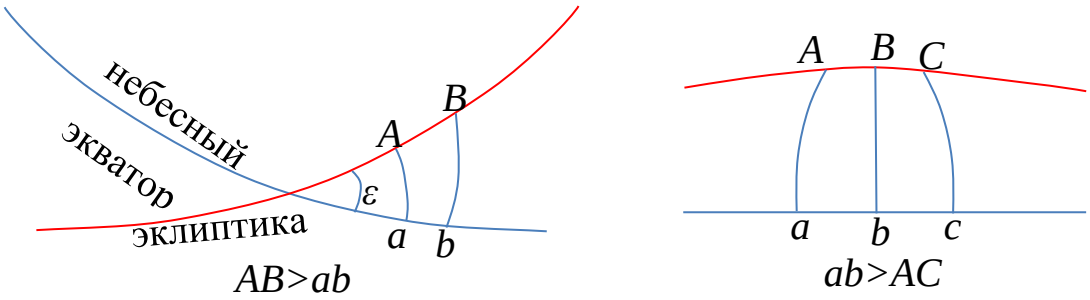


Рисунок 4.3.

Все три Солнца встречаются в точке ♈.

1. Среднее значение ИСС за тропический год называется *средними*

солнечными сутками (ССС).

2. Промежуток времени между двумя последовательными одноименными кульминациями среднего экваториального солнца на данном меридиане называется *средними солнечными сутками* (ССС).

За начало ССС принимается момент нижней кульминации среднего экваториального Солнца (средняя полночь).

Временной промежуток от нижней кульминации среднего экваториального Солнца до любого другого его положения (в средних часах, минутах, секундах) называется ***средним суточным временем или средним временем*** Т.

Теорема. *Среднее время на данном меридиане в любой момент времени численно равно часовому углу* t *среднего экваториального Солнца плюс 12 часов*

$$\boldsymbol{T = t + 12}\text{ч.} \qquad (\mathbf{1})$$

Поскольку среднего экваториального Солнца на небе нет, то для каждого дня года заранее вычисляется разность между часовым углом среднего Солнца t и часовым углом истинного Солнца

$$\boldsymbol{t - t_{\odot} = T - T_{\odot} = \eta}\,. \quad (\mathbf{2})$$

Разность между средним временем и истинным временем в один и тот же момент на одном и том же меридиане (2) называется **уравнением времени**.

Величина уравнения времени η обычно приводится в астрономических календарях. Приблизительно её можно найти по *графику уравнения времени* (рисунок), из которого видно, что четыре раза в год уравнение времени η равно нулю. Это происходит примерно 14

апреля, 14 июня, 2 сентября и 24 декабря. Уравнение времени η принимает наибольшие численные значения около 14 февраля (h = +14 мин) и 3 ноября (h = –16 мин).

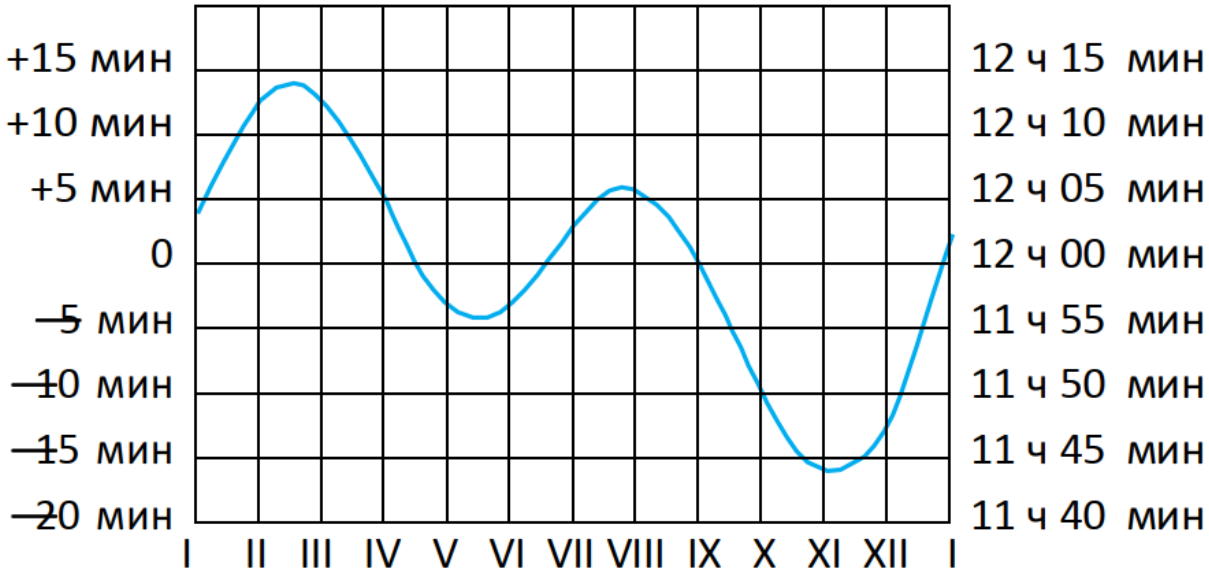


Рисунок 4.4.

Используя (1) и (2) получим

$$\boldsymbol{T = t_{\odot} + \eta + 12}\text{ч.}$$

– формула местного среднего солнечного времени.

Средние сутки длиннее истинных солнечных суток на 3 мин 56 сек (23 ч 56 мин 4 с).

Местное время и долгота

Время, измеренное на земном географическом меридиане, называют ***местным временем.***

Разность местных времен двух пунктов (меридиан) равна разности долгот этих пунктов (или разности меридиан).

Справедлива следующая формула

$$\left.\begin{aligned} \boldsymbol{T_1 - T_2 = \lambda_1 - \lambda_2,} \\ \boldsymbol{S_1 - S_2 = \lambda_1 - \lambda_2,} \\ \boldsymbol{T_{\odot 1} - T_{\odot 2} = \lambda_1 - \lambda_2,} \end{aligned}\right\} \qquad (3)$$

Формула (3) – формула связи местных времен на двух меридианах.

По местному времени практически никто не живет.

4.4. Системы счета времени

Всемирное время

Местное среднее солнечное время гринвического (нулевого $\boldsymbol{\lambda} = \mathbf{0}$*)меридиана называется* **всемирным временем** $\boldsymbol{T_0}$ **(мировое время)**.

Если обозначить в формуле (3) $T_1 = T_0$, $T_2 = T$, $\lambda_1 = 0$, $\lambda_2 = \lambda$, то ***местное время*** T_λ можно определить

$$\boldsymbol{T_\lambda} = \boldsymbol{T_0} + \boldsymbol{\lambda}, \qquad (\mathbf{4})$$

Местное среднее время любого пункта на Земле всегда равно сумме всемирного времени в этот момент и долготы данного пункта, выраженной в часовой мере (считается положительной к востоку от Гринвича).

В большинстве календарей (астрономических) моменты явлений указываются по всемирному времени T_0. Определить местное время этихявлений легко по формуле (4).

Поясное время

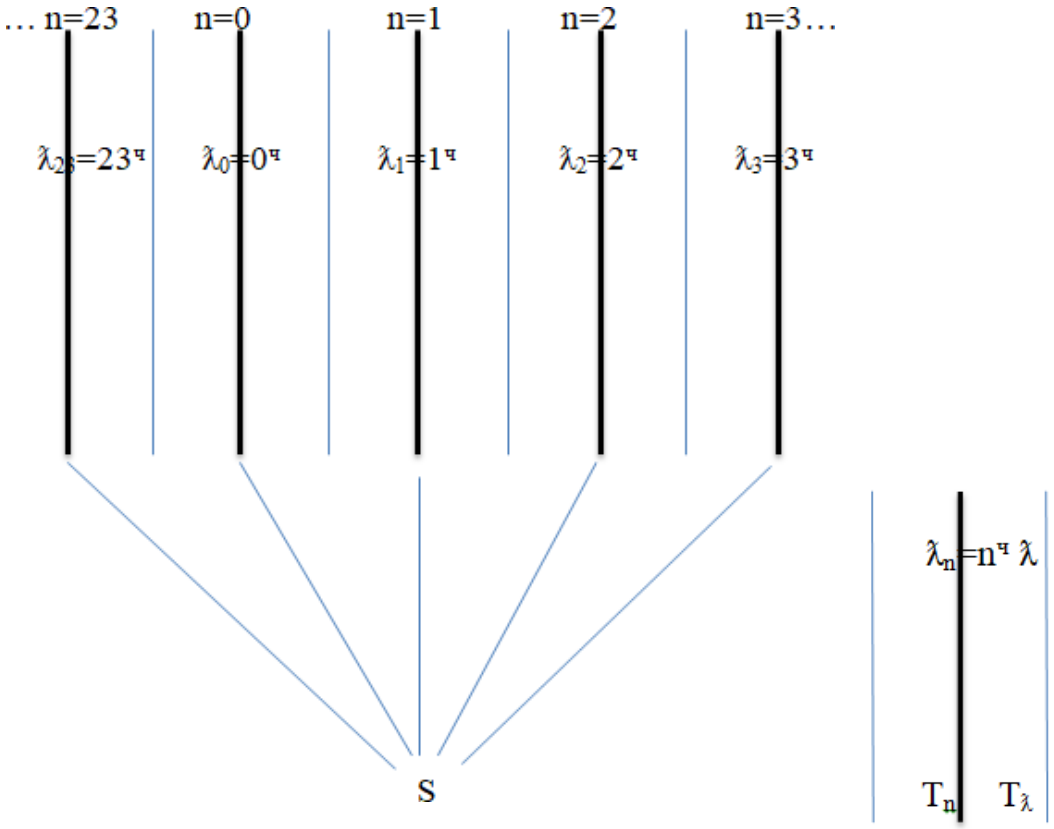


Рисунок 4.5.

В 1884 г введено поясное время на международной конференции, гдебыло оставлено 24 местных времени.

Землю условно разделяли на 24 часовых пояса ширина которых $\approx 15^{\circ}$ (или 1 час).

Поясное время определяет срединный меридиан.

Поясное время – *это местное время меридиан, долготы, которых выражаются целым числом часов*.

n-номер часового пояса,

T_{λ} – местное время,

T_n – поясное время.

$$\boldsymbol{T_n - T_{\lambda} = \lambda_n - \lambda = n^{ч} - \lambda}.$$

$\boldsymbol{T_n = T_\lambda + (n^ч - \lambda)}$ **– связь поясного времени и местного времени некоторого пункта с долготой $\boldsymbol{\lambda}$.**

$T_n - T_\lambda$ – может быть несколько больше или меньше 30 мин.

Если $T_\lambda = T_0$, то $\lambda = 0$ и $\boldsymbol{T_n = T_0 + n^ч}$ - *связь поясного и всемирного времени*.

В нашей стране поясное время было введено с 1 июля 1919 г.

С тех пор границы часовых поясов неоднократно пересматривались иизменялись.

Декретное время

С целью более эффективно использовать светлое время суток по декрету (указу) время переводится на 1 час вперед.

Установлено в СССР в 1930-1931 гг. Официально отменялось в 1991 г., но в 1992 году было восстановлено в России и некоторых странах бывшего СССР. Официально действовало до 2011 г. в связи с законодательным введением понятия местно время (соответствует англоязычному standard time).

$$\boldsymbol{T_D = T_n + 1^ч} \quad \text{или} \quad \boldsymbol{T_D = T_\lambda + (n^ч + \lambda) + 1^ч}.$$

Тогда полная формула декретного времени

$$\boldsymbol{T_D = \underbrace{t_\odot + \eta + 12^ч}_{T_\lambda} + (n^ч + \lambda) + 1^ч}.$$

Летнее время $\boldsymbol{T_л = T_D + 1^ч = T_n + 2^ч}$.

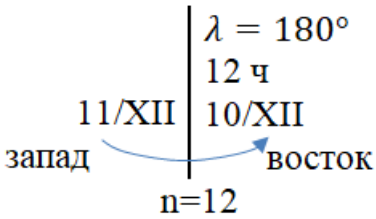
Московское декретное время (n=3) – это декретное время второго часового пояса или поясное время третьего часового пояса (Используется в российской космонавтике).

В конце XX в. в России несколько раз вводилось и затем отменялось декретное время, которое на 1 ч опережает поясное.

С апреля 2011 г. в России не проводится переход на летнее время.

С октября 2014 г. в России было возвращено декретное время, и разница между московским и всемирным временем стала равной 3 ч.

Линия перемены дат (демаркационная линия) - условная линия на Земле (начинается на N – северном полюсе Земли и заканчивается на S – южном) на которой начинается новая дата.



Неравномерноесть вращения Земли. Определение секунды. Эфемеридное время. Атомное время. Координатное время.

Оказывается, что Земля вращается неравномерно. Постоянно замедляясь по причине прецессии и нутации земной оси, оседания на ее поверхности космической пыли и других небесных объектов, в рамках закона сохранения момента импульса сутки удлиняются.

Долгое время считали, что 1 секунда равна $1\text{с} = \frac{1}{86400}$ ссс (средних солнечных суток).

В 1960 г. XI генеральная ассамблея по мерам и весам определила секунду через продолжительность тропического года (**эфемеридная секунда**)

$$1\text{с} = \frac{1}{31556925{,}9747}\,\text{тропического года (1900 г.)},$$

а время измеренное так, стало называться эфемеридным временем.

В 1967 г. на XIII ассамблее была введена **атомная секунда** (***1 ат.с***). Ее продолжительность не зависит от движения Земли

$1\text{ат.с} = 1\text{с} = 9\,192\,631\,770$ *периодов излучения, соответствующих переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния цезия 133.*

В 1973 г. стали использовать две шкалы времени

1) Шкала всемирного времени – неравномерная,

2) Шкала атомного времени – равномерная.

При этом проводится координация времени, т.е. вводится поправка по шкале атомного времени у шкалы всемирного времени $\Delta < 0{,}7$ с за 100 лет.

Такое время называется **координированным** (т.к. из вращения Земли секунду не выбросишь).

С 1 января 1972 г. все страны перешли на координированное по атомному время. Погрешность атомной шкалы равна 10^{-14} с, т.е. 1 секунда за 500 000 лет (для сравнения, у курантов 1 секунда за 500 лет).

Задача. Определить местное время в Риге, когда в Чите по декретному времени полдень.

Дано	*Решение*
$\lambda_{\text{Р}} = 1^{\text{ч}}35^{\text{м}},5$ $n_{\text{Ч}} = 8$ $n_{\text{Р}}=2$ $\text{Т}_{\text{Дч}}=12^{\text{ч}}$	Известно, что $\text{Т}_n = t_{\text{м}} - (\lambda - n)$, откуда $t_{\text{м}} = \text{Т}_n + (\lambda - n)$. Чтобы узнать местное время в Риге ($t_{\text{м}}^{\text{Р}}$), нужно, кроме данных задачи, найти поясное время в Риге ($T_{\text{м}}^{\text{Р}}$) в момент, когда поясное время в Чите $11^{\text{ч}}$. Чита находится в VIII поясе, а Рига во II, очевидно искомое поясное время $T_{\text{м}}^{\text{Р}} = 5^{\text{ч}}$. Тогда $t_{\text{м}}^{\text{Р}} = 5^{\text{ч}} + (1^{\text{ч}}35^{\text{м}},5 - 2^{\text{ч}}) = 4^{\text{ч}}35^{\text{м}},5.$

4.5. Календарь

Календарь — система счисления больших промежутков времени. Единицей времени в современном календаре является тропический год, в течение которого завершается полный цикл изменений склонения Солнца и, следовательно, полная смена времен года — основы хозяйственной жизни людей.

Задача создания календаря встала еще в древности. Сложность этой проблемы заключается в том, что тропический год и средние солнечные сутки несоизмеримы, тогда как календарный год, естественно, должен содержать целое число суток.

В древности (а в календаре некоторых мусульманских стран и теперь) большое значение как календарная единица имел синодический лунный месяц. Но и он не содержит целого числа суток (29,5306) и сам несоизмерим с тропическим годом.

Древнеегипетский календарь в разные эпохи истории Египта содержал в году ровно 360 дней, затем 365 дней, а позже 365,25 дня.

В 46 г. до н.э. Юлием Цезарем был введен в Риме календарь, разработанный астрономом Созигеном из Александрии, получивший впоследствии название **юлианского**. В этом календаре три года подряд содержали по 365 дней, а четвертый (**високосный**) — 366 дней. *Этот добавочный день включался в год, число лет которого кратно четырем*. Однако и этот календарь не давал полного соответствия с движением Солнца и сменами времен года: юлианский календарь «отставал» на трое суток за 400 лет. К концу XVI в. отступление календаря от астрономических явлений достигло десяти дней. В 1582 г. был принят разработанный итальянским математиком Лилио (Луиджи Лилио Джиральди) и баварским иезуитом, астрономом Кристо-

фером Клавием **григорианский календарь**, названный так по имени римского папы Григория XIII, при котором была произведена эта перемена.

После 4 октября 1582 г. стали считать сразу 15-е, а из числа годов, завершающих столетия (например, 1800, 1900 и т.д.) високосными оставлены только те, для которых число лет делится на 400 (например, 1600, 2000). Остальные считаются обыкновенными годами (по $365^{д}$*).*

Средняя продолжительность календарного года $365{,}2425^{д}$, тогда как продолжительность тропического года $365{,}24219879^{д}$. Это приводит к тому, что расхождение григорианского календаря со счетом тропических годов достигает одних суток лишь по истечении 3300 лет, что более чем достаточно для практических надобностей.

10 000 тропических лет короче 10000 григорианских лет всего на три дня. Лишь к 4317 г. расхождение достигнет одного дня. В дальнейшем за юлианским календарем, которым продолжали пользоваться некоторые страны, в том числе и Россия, установилось название «***старый стиль***», а григорианский календарь стали называть «***новым стилем***».

Расхождение между новым и старым стилями в XVII в. составляло 10 дней, в XVIII в. — 11, в XIX — 12, в XX — 13 дней.

Точнее, с 5 октября 1582 г. (с 15 октября по григорианскому календарю) расхождение дней, с 1 марта 1700 г. (с 12-го по григорианскому календарю) — 11 дней, с I марта 1800 г. (с 13 марта) — 12 дней, с 1 марта (14 марта) 1900 г. — 13 дней, с 1 марта 2100 г. (15 марта) расхождение станет 14 дней.

В России новый стиль был введен в начале 1918 г. После 31 января стали считать сразу 14 февраля и вводить високосные годы.

В астрометрии и теоретической астрономии за начало календарного счета времени используют начало **бесселева года** – это момент, когда средняя долгота Солнца, уменьшенная на постоянную аберрации (20,50" по Ньюкому), достигает $280°0'0''$ ($\alpha = 18ч40мин$).

Начало бесселева года (иначе, фиктивного года, или annus fictus) дается каждый год в астрономических календарях. *Оно одно для всей Земли*, тогда как календарный год наступает в разных местах в разное время.

Эрой какого-нибудь календаря называется принятое в нем начало счета годов.

У разных народов и в различные времена существовали свои календарные системы и свои начала счета годов.

Современный наш календарь использует как эру дату «рождение Христа». Она была вычислена монахом Дионисием Малым через 525 лет после этого события. Однако до 1431 г. римско-католическая церковь все даты отсчитывала от «сотворения мира».

В России счетом лет «от сотворения мира», относя его на 5508 год до н.э., пользовались до 1700 г. Начало года в России до XV в. считали с 1 марта, а с XV в. до 1700 г. с 1 сентября. Петр I перенес начало года на 1 января.

В настоящее время в международных отношениях и в научных вопросах все народы мира употребляют григорианский календарь и условную эру от «рождества Христова». В гражданском счете лет — перед «первым годом н.э.» находится «первый год до н.э.». В астро-

номическом счете первому году н.э. предшествует нулевой год, который следует за минус первым и т.д. Это дает возможность сохранить правило определения високосных годов на все время, охватываемое историей человечества.

Астрономы и историки широко пользуются также особым счетом времени — в днях так называемого юлианского периода.

Мировой календарь

Хотя существующая система чередования високосных годов обеспечивает вполне удовлетворительное согласие средней продолжительности календарного года и длительности тропического года, несовершенства григорианского календаря (различная длина месяцев, смещение дней недели по датам года, и т.д.) вызывают большое число проектов реформы календаря. Среди десятков, если не сотен, проектов получил широкое признание проект «Мирового календаря», введение которого, однако, требует одновременного согласия подавляющего большинства стран мира.

В «Мировом календаре» кварталы имеют одинаковую продолжительность по 91 дню; год и каждый квартал начинаются с воскресенья, каждый месяц имеет по 26 рабочих дней. Эти удобства достигнуты тем, что помимо 364 дней, составляющих ровно 52 недели, в календарь вводится один, а в високосном году два нерабочих дня, не имеющих ни даты , ни обозначения дня недели .

После 30 декабря следует «День нового года», после 30 июня високосного года — «День високосного года», оба без дня недели и даты. Табель-календарь, годный для любого года, может быть сведен к весьма краткой таблице.

Дни недели	Месяцы														
	Январь Апрель Июль Октябрь					Февраль Май Август Ноябрь					Март Июнь Сентябрь Декабрь				
Воскресенье	1	8	15	22	29		5	12	19	26		3	10	17	24
Понедельник	2	9	16	23	30		6	13	20	27		4	11	18	25
Вторник	3	10	17	24	31		7	14	21	28		5	12	19	26
Среда	4	11	18	25		1	8	15	22	29		6	13	20	27
Четверг	5	12	19	26		2	9	16	23	30		7	14	21	28
Пятница	6	13	20	27		3	10	17	24		1	8	15	22	29
Суббота	7	14	21	28		4	11	18	25		2	9	16	23	30

5. ДВИЖЕНИЕ ПЛАНЕТ

5.1. Видимое движение планет

Невооруженным глазом на небе можно увидеть пять планет – Меркурий, Венеру, Марс, Юпитер и Сатурн. Планету по внешнему виду нелегко отличить от звезды, тем более, что не всегда планета бывает значительно ярче. Планеты относятся к числу светил, которые не только участвуют в суточном вращении небесной сферы, но еще и перемещаются на фоне зодиакальных созвездий. Само слово «*планета*» означает «*блуждающий*».

Если проследить за перемещением какой-нибудь планеты, например Марса, ежемесячно отмечая ее положение на звездной карте, то можно выявить главную особенность видимого движения планеты: планета описывает на фоне звездного неба петлю, медленно перемещаясь то с запада на восток (*прямое движение*), то с востока на запад (*попятное движение*).

Существуют некоторые закономерности этих движений.

Планета	**Максимальное удаление от Солнца, °**
Меркурий	28
Венера	48

Остальные планеты могут находиться на любых угловых расстояниях от Солнца, даже диаметрально противоположно Солнцу.

Задание. Пользуясь школьным астрономическим календарем, отметить точками положение Меркурия (желтым цветом), Венеры (синим цветом), Марса (красным цветом) на карте звездного неба (приложение 1) в один и тот же день каждого месяца в течение года (день определяет преподаватель). Соедините точки одного цвета плавными линиями соответствующего цвета. Внимательно рассмотрите полученные кривые и опишите характер движения планет.

Издавна было замечено, что условия видимости планет меняются и меняются по разному.

Венера и Меркурий видны только по утрам и вечерам. Марс, Юпитер и Сатурн иногда могут наблюдаться всю ночь, а по временам любая из планет вовсе не видна. Изменения условий видимости планет происходит вследствие изменения взаимного расположения планеты, освещающего ее Солнца и Земли, с которой мы ведем наблюдения.

Планеты всегда видны вблизи эклиптики, отклонения не превышают нескольких градусов.

Определенные положения Земли, планеты и Солнца называются *конфигурациями*.

Планеты делятся на *верхние* (орбита внутри орбиты Земли) или *внешние* и *нижние* или *внутренние* (орбита вне Земной орбиты).

Нижние	Верхние
Меркурий Венера	Марс Юпитер Сатурн Уран Нептун

(Плутон был исключен из ряда планет в 2006 г., т.к. в поясе Койпера находятся объекты, которые больше или равны по размерам с Плутоном).

Конфигурации планет					
Нижние планеты			*Верхние планеты*		
соединение	верхнее	V_1	соединение		M_1
	нижнее	V_2	противостояние		M_2
элонгация – наибольшее угловое удаление от Солнца	восточная	V_4	квадратура – означает «четверть круга»	восточная	M_3
	западная	V_3		западная	M_4

Нижние планеты лучше наблюдать вблизи элонгаций. При этом с Земли видно не все освещенное Солнцем полушарие планеты, а лишь его часть (фаза планеты).

Планета	**Максимальное удаление от Солнца, °**	
Меркурий	28	*то есть это элонгации планет*
Венера	48	

Меркурий и Венера находятся в том же созвездии, что и Солнце или в соседнем. При восточной элонгации планета видна на западе в лучах верхней зари вскоре после захода Солнца и заходит через некоторое время после него. Затем, двигаясь попятным движением (т.е. с востока к западу) сначала медленно, а потом быстрее, планета начинает приближаться к Солнцу и перестает быть видимой.

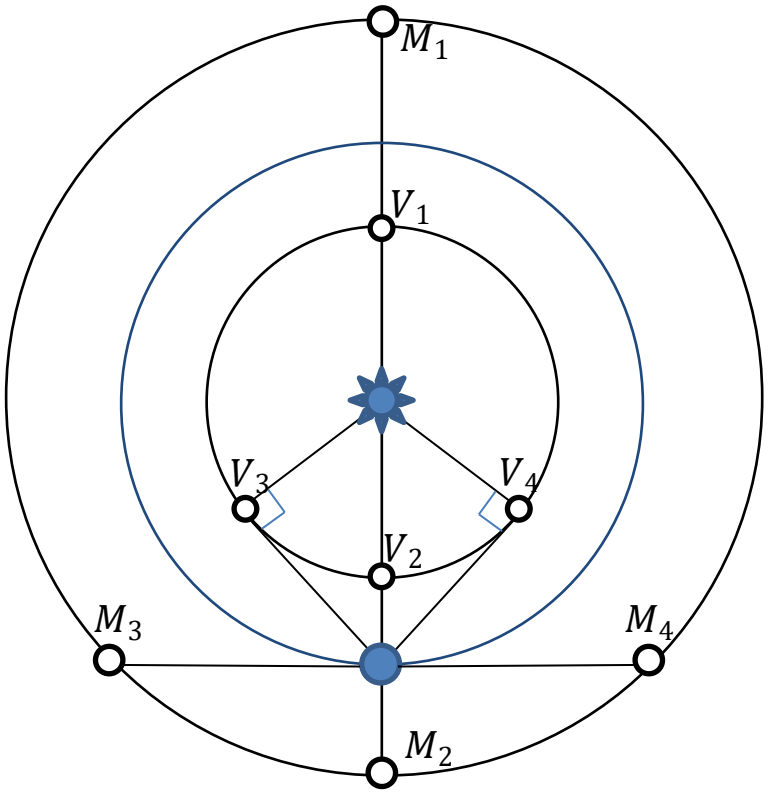


Рисунок 5.1.

В это время наступает *нижнее соединение* планеты с Солнцем: планета проходит между Землей и Солнцем (эклиптические долготы Солнца и планеты равны).

Спустя некоторое время после нижнего соединения планета становится видимой, но уже на востоке, в лучах утренней зари, незадолго до восхода Солнца. В это время она продолжает двигаться попятным движением, постоянно удаляясь от Солнца.

Замедлив скорость попятного движения и достигнув наибольшей западной элонгации, планета останавливается и меняет направление своего движение на прямое. Теперь она движется с запада на восток, сначала медленно, потом быстрее.

Удаление ее от Солнца уменьшается, и она скрывается в утренних лучах Солнца. (Эклиптические долготы планеты и Солнца снова

равны) –планета проходит за Солнцем – наступает верхнее соединение планеты с Солнцем, после которого она снова через некоторое видна на западе в лучах вечерней зари.

Продолжая двигаться прямым движением, она постепенно замедляется. Достигнув предельного восточного удаления, планета останавливается, и меняет направление движения на попятное и все повторяется сначала.

Т.о. нижние планеты совершают как бы «колебания» около Солнца.

Верхние планеты лучше всего видны вблизи противостояний, когда к Земле обращено все освещенное Солнцем полушарие планеты.

5.2. Синодический и сидерический периоды планет

Промежуток времени между двумя последовательными конфигурациями называется **синодическим периодом *S*** обращения светила.

Период обращения небесного тела по его орбите, измеренный в инерциальной (не вращающейся) системе координат (т.е. относительно далеких звезд) называется **звездным** или **сидерическим *T*** (от лат. «сидерис» - звезда).

Рассмотрим, например, наблюдаемое с Земли обращение более далекой и более близкой к Солнцу планеты (Марса и Венеры) вокруг Солнца. Пусть в начальный момент времени Венера наблюдается в соединении с Солнцем, а марс – в противостоянии (все точки лежат на линии CM_1). Если бы угловая скорость ω всех планет была одина-

кова, то они все время сохраняли бы указанную конфигурацию. В действительности, *чем ближе орбита планеты к Солнцу, тем больше ее орбитальная скорость*.

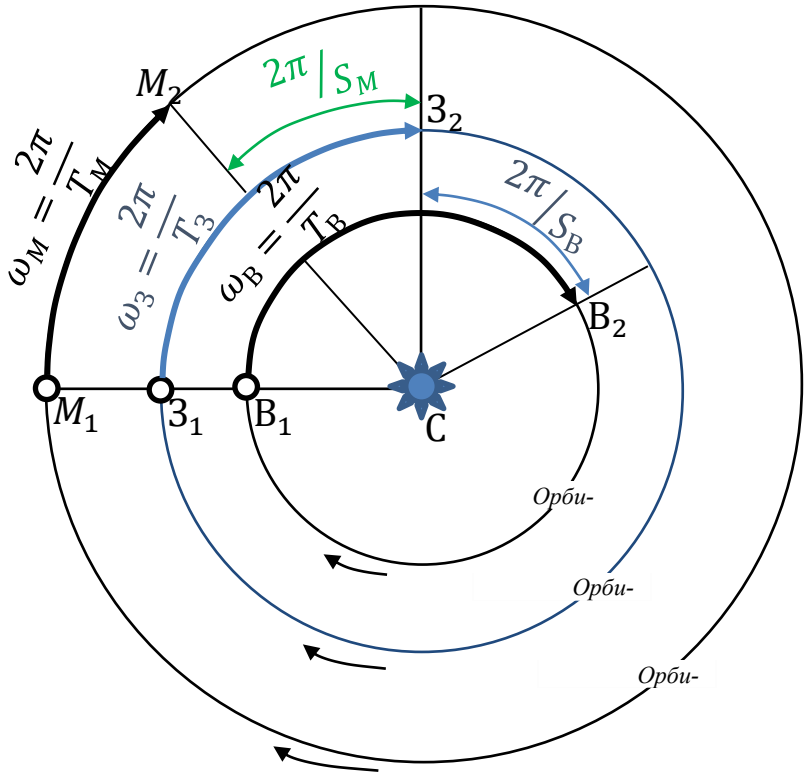


Рисунок 5.2.

Разность угловых скоростей определяет скорость изменения угла между направлением от Солнца на планету и на Землю. Этот угол за промежуток времени, равный синодическому периоду обращения планеты S, увеличивается от 0 до 2π, следовательно за единицу времени он изменяется на $\omega = \frac{2\pi}{S}$.

Для Венеры $\frac{2\pi}{T_В} - \frac{2\pi}{T_З} = \frac{2\pi}{S_В}$ *или* $\frac{\mathbf{1}}{\boldsymbol{T}_В} - \frac{\mathbf{1}}{\boldsymbol{T}_З} = \frac{\mathbf{1}}{\boldsymbol{S}_В}$.

Для Марса $\frac{2\pi}{T_З} - \frac{2\pi}{T_М} = \frac{2\pi}{S_М}$ *или* $\frac{\mathbf{1}}{\boldsymbol{T}_З} - \frac{\mathbf{1}}{\boldsymbol{T}_М} = \frac{\mathbf{1}}{\boldsymbol{S}_М}$.

Здесь $T_З$ *– земной год.*

Оба выражения можно объединить, взяв модуль:

$$\left|\frac{\mathbf{1}}{\boldsymbol{T_1}} - \frac{\mathbf{1}}{\boldsymbol{T_2}}\right| = \frac{\mathbf{1}}{\boldsymbol{S}}.$$

Типовая задача.

Определить период обращения Луны вокруг Земли относительно звезд (сидерический месяц), если период смены фаз (синодический месяц) равен 29,5 суток.

Решение. Синодический месяц ($S_Л$) больше звездного ($T_Л$) из-за движения вокруг Солнца, происходящего с периодом T в ту же сторону, что и Луны вокруг Земли. Поэтому соотношение между периодами имеет вид

$$\frac{1}{T_Л} - \frac{1}{T_З} = \frac{1}{S_Л}, \qquad \frac{1}{29{,}5} - \frac{1}{365{,}25} = \frac{1}{S_Л}, \qquad S_Л = 27{,}3 \text{ дня.}$$

5.3. Законы движения планет.

Законы Кеплера.

I. Планеты обращаются по эллипсам, в одном из фокусов которых находится Солнце.

II. Радиус-вектор планеты (линия соединяющая центр Солнца с центром планеты) за равные промежутки времени, описывает равновеликие площади.

III. Квадраты сидерических периодов обращения двух планет относятся как кубы больших полуосей эллипса

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

Закон Всемирного тяготения.

$$\boldsymbol{F = G\frac{M_1 M_2}{r^2}},$$

где $G = 6{,}67 \cdot 10^{-11}\text{Н} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{кг}^{-2}$.

Третий обобщенный (уточненный) закон Кеплера.

Случай кругового движения планеты со скоростью v_k.

$$a_k = \frac{v_k^2}{r_k}, \quad F = G\frac{Mm}{r_k^2} \Rightarrow \ (II \text{ Закон Ньютона}) \ \frac{v_k^2 m}{r_k} = G\frac{Mm}{r_k^2},$$

$$\boldsymbol{v_k^2 = G\frac{M}{r_k}},$$

($\boldsymbol{v_k = \sqrt{G\frac{M}{r_k}}}$ - I космическая скорость),

$v_k = \frac{2\pi r_k}{T}$, T – период обращения m вокруг M.

$$\left(\frac{2\pi r_k}{T}\right)^2 = G\frac{M}{r_k} \quad \text{или} \quad \frac{r_k^3}{T^2 M} = \frac{G}{4\pi}$$

Для эллиптической орбиты

$$\boldsymbol{\frac{a_k^3}{T^2 M} = \frac{G}{4\pi}}.$$

Если массой m нельзя пренебречь по сравнению с M

$$\boldsymbol{\frac{r_k^3}{T^2(M+m)} = \frac{G}{4\pi}}.$$

Обобщив для двух тел с массами M_1 и M_2, имеем

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

5.4. Определение расстояний по параллаксам светил.

Определение расстояний до тел Солнечной системы первоначально проводилось на основе угловых измерений, при этом измерялось *параллактическое смещение* светила при его наблюдениях из разной точки поверхности Земли. Используется зависимость параллактического смещения от расстояния до наблюдаемого объекта и расстояния между точками наблюдения (базиса). Для того, чтобы параллактическое смещение могло использоваться как мера расстояния до наблюдаемого объекта, условились относить это угловое смещение к радиусу Земли.

Горизонтальным параллаксом *светила называется угол, под которым с этого светила виден радиус Земли, перпендикулярный к лучу зрения*.

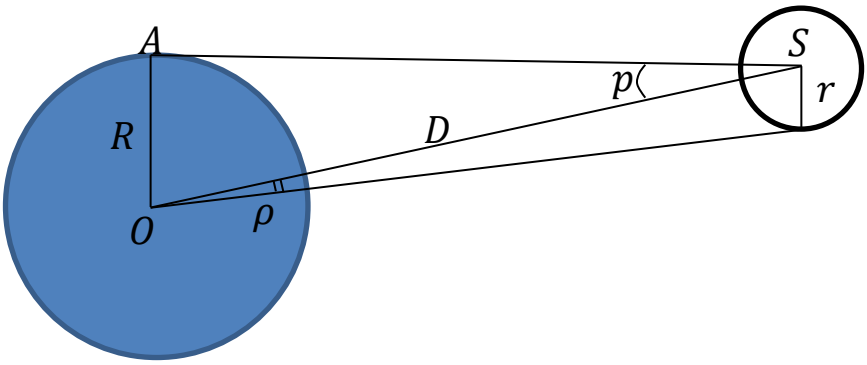


Рисунок 5.3.

S – светило, угол p – его параллакс, $OS=B$ – расстояние между центрами Земли и светила, $OA=R$ – радиус Земли. Тогда

$$D = \frac{R}{\sin p}.$$

Поскольку параллаксы планет малы, то значение синуса угла можно считать равным величине самого угла, выраженной в радианной мере (учитывая, что ***1 рад = 206 256”***), то формулу можно переписать

$$\boldsymbol{D = \frac{206\,256''R}{p}}.$$

Согласно современным данным радиус Земли принимается равным 6370 км (при вычислении будем считать 6400 км). Начиная с 1672 г. вплоть до середины XX века параллакс Солнца, т.е. величина астрономической единицы, определялась на основе измерения параллакса Марса во время противостояния (дело в том, что измерить точную величину столь яркого светила измерить весьма трудно. Пусть S, T и M – центры Солнца, Земли и Марса, R – радиус Земли, a_1 и p_1 – среднее расстояние и параллакс Марса, a и $p_\odot$ –те же величины для Солнца.

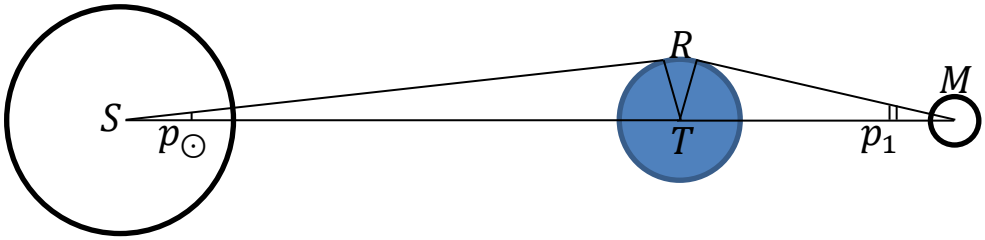


Рисунок 5.4.

Из двух треугольников, вершинами которых являются центры тел, можно записать: $R = a\sin p$ и $R = (a_1 - a)\sin p_1$. Откуда, заменив синусы малых углов самими углами, получим

$$\boldsymbol{p_\odot = \left(\frac{a_1}{a} - 1\right)p_1}.$$

Отношение $\frac{a_1}{a}$ может быть определено по третьему закону Кеплера, а параллакс Марса измерен.

Точная величина параллакса Солнца $\boldsymbol{p_\odot = 8,794''}$ (при вычислениях используют 8,8″) и обратная ему величина – ***астрономическая единица*** (расстояние от Солнца до Земли) $\mathbf{1}\text{а.е.} = \mathbf{1,498 \cdot 10^8}$км $\approx \mathbf{1,5 \cdot 10^{11}}$м.

Зная расстояние до небесных тел, можно вычислить их линейные размеры. Для этого необходимо измерить их угловые размеры. Линейный радиус r объекта можно выразить через угловой радиус ρ и расстояние до светила D следующим образом $r = D\sin\rho$, учитывая $D = \frac{R}{\sin p}$ и заменив синусы углов самими углами, имеем

$$\boldsymbol{r = \frac{R\rho}{p}}.$$

Замечание. В данном соотношении p *и* ρ *можно выражать в любых одинаковых единицах.*

Интегралы кинетической энергии

Интегралами движения принято называть некоторые законы сохранения. Для двух тел массами M и m записывают закон сохранения энергии

$$\frac{mv^2}{2} - \frac{G(M+m)m}{r} = E_0.$$

Оказалось, что для любого конического сечения $E_0 = \mp\frac{G(M+m)m}{2a}$, знак " $-$ " для эллипса, " $+$ " для гиперболы. После преобразования, получим

$$\boldsymbol{v^2 = G(M+m)\left(\frac{2}{r} \mp \frac{1}{2a}\right)} - \textbf{интеграл кинетической энергии}.$$

5.5. Космические скорости

Искусственные спутники Земли подчиняются тем же законам, что и естественные, но их орбиты имеют некоторые особенности. ИСЗ выводятся на орбиту с помощью многоступенчатых ракет. Последняя ступень ракеты сообщает спутнику определённую скорость на заданной высоте от поверхности Земли. Тело станет ИСЗ, если его скорость будет достаточной. Если скорость запуска точно равна круговой

скорости на данной высоте, то тело будет двигаться по круговой орбите.

1) Если орбита окружность, то есть $r = a$, то из интеграла кинетической энергии получается

$$v_{\text{кр.}m} = \sqrt{\frac{G(M+m)}{r}}.$$

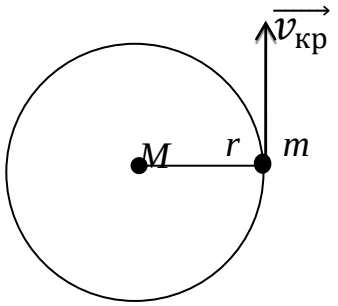


Рисунок 5.5.

2)Если скорость превышает круговую, то тело будет двигаться по параболе.

Если орбита парабола $a = \infty$

$$v_{\text{пар.}} = \sqrt{\frac{2G(M+m)}{r}}.$$

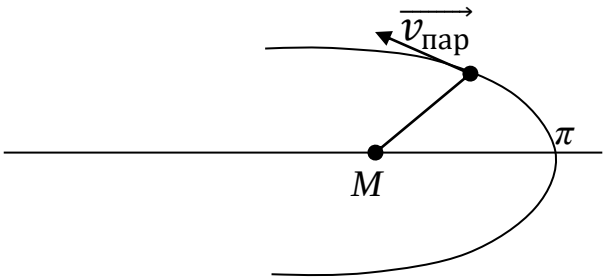


Рисунок 5.6.

Если $r \to \infty \Rightarrow v_{\text{пар}} \to 0$,

$$v_{\text{пар}} = \sqrt{2} v_{\text{кр}}.$$

В Солнечной системе масса центрального тела всегда больше m

$$M \gg m \Rightarrow M + m \approx M \quad \Rightarrow$$

$$v_{\text{кр}} = \sqrt{\frac{GM}{r}} \;; \qquad v_{\text{пар}} = \sqrt{\frac{2GM}{r}}.$$

Поскольку последние формулы не зависят от m, то в таком виде они являются характеристиками гравитационного поля тела M.

$v_{|\text{пл}} = \sqrt{\frac{GM}{R}}$ - *-первая космическая скорость на поверхности тела M,*

$v_{||\text{пл}} = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$ - *вторая космическая скорость*

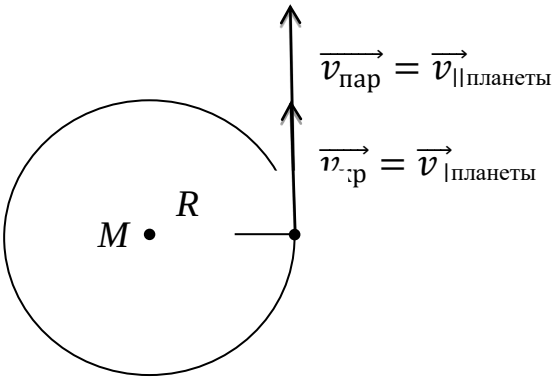


Рисунок 5.7.

Для Земли:

У воображаемого спутника, движущегося по окружности у самой поверхности Земли (h = 0), при R = $6.378 \cdot 10^8$ см скорость должна быть равна:

$v_{|} = 7{,}91\ \frac{\text{км}}{\text{с}}$ - *это первая космическая скорость относительно Земли*

Траектория космического аппарата состоит из двух основных участков - активного и пассивного. Движение на активном участке

определяется тягой реактивных двигателей и притяжением Земли. Пассивный участок начинается с момента выключения двигателя последней ступени. На пассивном участке космический аппарат движется под действие притяжения Земли и других тел Солнечной системы. Для того, чтобы космический аппарат преодолел притяжение Земли и ушёл в космическое пространство, необходимо в начале пассивного участка сообщить ему скорость, равную или большую круговой скорости.

$v_{||} = 11{,}18\ \frac{\text{км}}{\text{с}}$ - *это вторая космическая скорость относительно Земли*

Для того чтобы космический аппарат, преодолев притяжение Земли и войдя в сферу действия Солнца, не упал на его поверхность, он должен иметь в этот момент скорость относительно Солнца, отличную от нуля. Скорость, при которой запущенный с Земли космический аппарат может уйти за пределы Солнечной системы, сильно зависит от направления выхода аппарата из сферы действия Земли по отношению к направлению орбитального движения Земли и лежит в пределах 16,6 км/с <v_0< 72,8 км/с.

$v_{|||} = 16{,}6\ \frac{\text{км}}{\text{с}}$ – *это третьей космическая скорость относительно Земли*

Для Солнца:

$$v_{||\odot} = 619\ \frac{\text{км}}{\text{с}}$$

на расстоянии $r = 1\text{а.е.м.}$

$$v_{|\odot,r} = 29{,}8\ \frac{\text{км}}{\text{с}} \qquad (v_{\odot}\ -\ \text{орбитальная скорость Земли}),$$

$$v_{||\odot,r} = 42{,}1\ \frac{\text{км}}{\text{с}}.$$

Сфера действия небесного тела *m* относительно его центрального тела *M*.

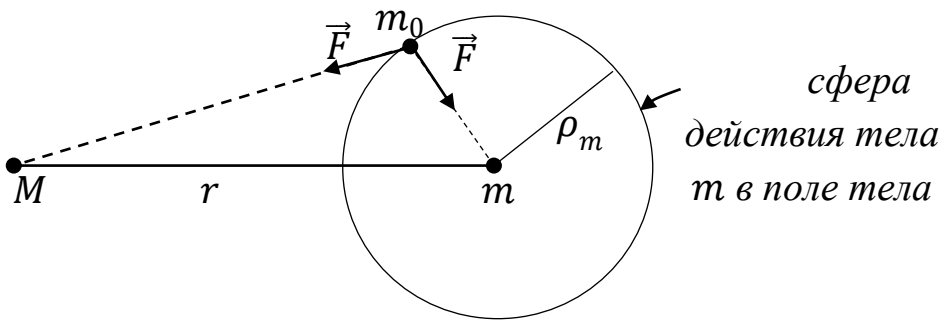


Рисунок 5.8.

Вэтой сфере преобладает влияние на любое m_0 тела массой m. Влияние M считают возмущающим.

$$\frac{F_{\text{возм.}M}}{F_{\text{притяж.}m}} < \frac{F_{\text{возм.}m}}{F_{\text{притяж.}M}},$$

$$\rho_{m\,\text{отн.М}} = r\left(\frac{m}{M}\right)^{\frac{2}{5}}.$$

<u>Примеры</u>. $\rho_{\odot} \approx 1\text{св. год.}$, $\rho_{\oplus\,\text{отн.}\odot} \approx 930\,000$ км., $\rho_{☾\,\text{отн.}\oplus} \approx$ 66 000 км.

Для Юпитера $\underbrace{\rho_{♃\,\text{отн.}\odot} \approx 48 \cdot 10^6\text{км}\,; \quad r_{♃\,\text{отн.}\odot} = 778 \cdot 10^6\text{км}}_{\text{в 16 раз меньше}}$.

Таким образом, на основе задачи двух тел проводится расчет орбит искусственных небесных тел.

5.6. Движение небесных тел в сфере действия Земли

Основные параметры элипса.

При движении 2-х тел, траектория их описывается уравнением конического сечения:

$$r = \frac{p}{1 + e\,cos\varphi},$$

где r,φ – полярные координаты, p – параметр, e – экстринситет.

Рассмотрим пример планеты Солнечной системы

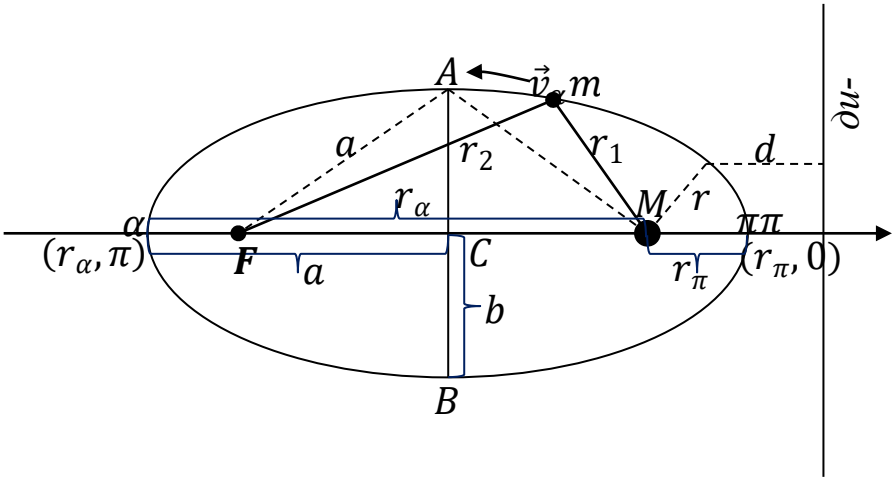


Рисунок 5.9.

απ – большая ось, AB – малая ось,

$\mathrm{a} = \frac{\alpha\pi}{2}$ –большая полуось, $\mathrm{b} = \frac{\mathrm{AB}}{2}$ – малая полуось,

r_α – афелийное расстояние,

r_π – перигелийное расстояние.

Основное свойство элипса: $r_b+r_a=2a=\alpha\pi$.

Свойство директрисы: $\frac{r}{d} = e$ – общее определение эксцентриситета для комплексной кривой.

$e = \frac{\mu c}{a}$ – частное определение эксцентриситета для элипса.

$$r_\pi = \frac{p}{1 + e\cos 0} = \frac{p}{1+e}, \qquad r_\alpha = \frac{p}{1 + e\cos\pi} = \frac{p}{1-e},$$

$$2a = r_\pi + r_\alpha = \frac{p}{1+e} + \frac{p}{1-e}, \qquad 2a = p\,\frac{1-e-1}{1-e^2} = p\,\frac{2}{1-e^2},$$

$$\boldsymbol{p = a(1 - e^2)}.$$

$$MC = \frac{r_\alpha r_\pi}{2} = \frac{1}{2}\left(\frac{p}{1-e} - \frac{p}{1+e}\right) = \frac{p}{2}\,\frac{1+e-1+e}{(1-e)^2} = \frac{pe}{1-e^2}$$

$$= \frac{a(1-e^2)e}{1-e^2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boldsymbol{e = \frac{MC}{a}}.$$

FA = AM = a.

Из *ΔCAM* $a^2 = b^2 + MC^2$, $b^2 = a^2 - MC^2 = a^2 - e^2a^2 = a^2(1-e^2)$,

$$\boldsymbol{b = a\sqrt{1-e^2}}$$

$$\boldsymbol{r_\pi = \frac{a(1-e^2)}{1+e} = a(1-e), \quad r_\pi = a(1+e).}$$

6. ОСНОВЫ КОСМИЧЕСКИХ ПЕРЕЛЕТОВ

6.1. Теоретические основы запуска ИСЗ (искусственного спутника Земли)

Тело, которое движется по замкнутой траектории вокруг Земли, под действием ее гравитационного поля называется ***ИСЗ.***

В первом приближении движение ИСЗ можно рассматривать в рамках задачи двух тел (невозму движение).

Прежде чем любое тело станет ИСЗ необходимо его вывести на земную траекторию, т.е.

1) "поднять" на некоторую высоту над поверхностью Земли h_0 (чаще задают начально расстояние от центра Земли до тела *m*).

$$r_0 = R_\oplus + h_0,$$

$$h_0 > 200 \div 300 \text{ км}$$

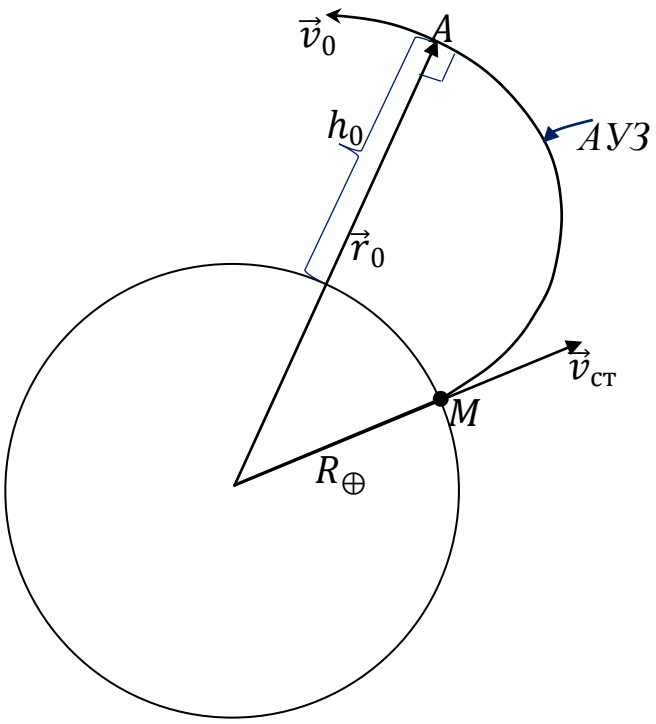


Рисунок 6.1.

2) сообщить ему некоторую начальную скорость ($v_0 > v_{кр}$ на расстоянии r_0), перпендикулярную радиус-вектору тела $\vec{v}_0 \perp \vec{r}_0$

Все это осуществляется на одном участке движения - участов выведения или *активный участок запуска* (АУЗ) КА (космического аппарата).

На этом участке работают двигатели ракетоносителя и можно пренебречь тяготением Земли.

Определение движения КА на этом участке осуществляется на основе динамики тел переменной массы (уравнения Мещерского, задачи Циолковского, законы реактивного движения).

В т. *A* начинается свободный полет (по терминологии Циолковского) КА, который становится ИСЗ. $\vec{v}_0, \vec{r}_0$ – начальные условия запуска спутника. ***С этого момента мы учитываем действие только поля Земли***.

ИСЗ, в зависимости от формы траектории их движения, различают:

- круговые,
- эллиптические.

Для запуска ИСЗ необходимо, чтобы в т. А скорость ИСЗ была не меньше $\upsilon_{\text{кр}}$ и не больше (т.е. меньше) $\upsilon_{\text{пар}}$ в заданной точке

$$\upsilon_{\text{кр}} \leq \upsilon_0 < \upsilon_{\text{пар}}.$$

Поскольку m << $M_{\oplus}$, то

$$\sqrt{\frac{GM_{\oplus}}{\mathrm{r}_0}} \leq \upsilon_0 < \sqrt{\frac{2GM_{\oplus}}{\mathrm{r}_0}}.$$

Они определяются полной механической энергией системы Земля – ИСЗ E_0=*const* и законом сохранения момента импульса $\overrightarrow{L_0} = \overrightarrow{const}$.

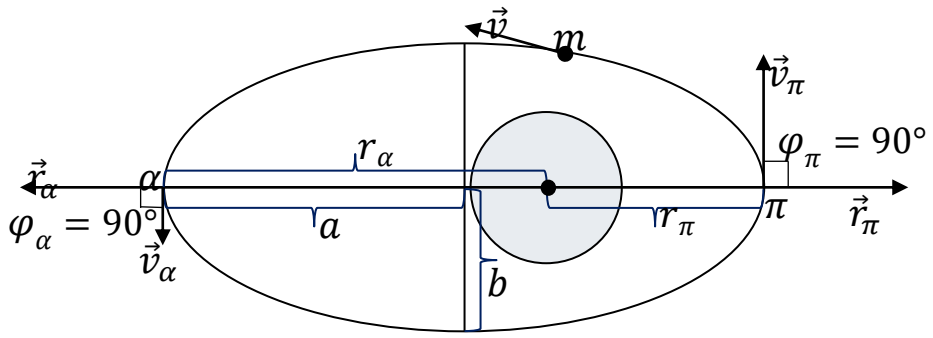
В свою очередь начальные условия определяют форму и вид траектории.

Большая полуось орбиты a определяется исключительно начальной механической энергией E_0

$$E_0 = \pm\frac{G(M+m)}{2a}, \quad a = a(E_0).$$

В зависимости от E_0 и от $\overrightarrow{L_0}$ можно найти малую полуось орбиты $b = b(E_0, \overrightarrow{L_0})$.

Изобразим случай эллиптической орбиты ИСЗ.



$\upsilon_\pi - ?\,;\upsilon_\alpha - ?$

Рисунок 6.2.

Поскольку эллипс – это каноническое сечение, то справедливо:

$$r = \frac{p}{1 + e\cos\varphi} = \frac{a(1 - e^2)}{1 + e\cos\varphi},$$

$$r_\pi = a(1 - e),$$

$$r_\alpha = a(1 + e),$$

$$r_\pi + r_\alpha = 2a.$$

Справедлив интеграл кинетической энергии, т.к. m<<M⊕, то m ≈ 0 и

$$\upsilon_\pi^2 = GM_\oplus\left(\frac{2}{r_\pi} - \frac{1}{a}\right) = GM_\oplus\frac{2a - r_\pi}{r_\pi a} = GM_\oplus\frac{r_\alpha}{r_\pi a},$$

$$\upsilon_\alpha^2 = GM_\oplus\left(\frac{2}{r_\alpha} - \frac{1}{a}\right) = GM_\oplus\frac{2a - r_\alpha}{r_\alpha a} = GM_\oplus\frac{r_\pi}{r_\alpha a},$$

$$\frac{\upsilon_\pi^2}{\upsilon_\alpha^2} = \frac{r_\alpha^2}{r_\pi^2}, \qquad \frac{\upsilon_\pi}{\upsilon_\alpha} = \frac{r_\alpha}{r_\pi}.$$

Данное соотношение можно получить из закона сохранения момента импульса

$\overrightarrow{L_0} = [\vec{r}m\vec{\upsilon}]$

$$r_\pi m\upsilon_\pi \sin p_\pi = r_\alpha m\upsilon_\alpha \sin\varphi_\alpha,$$

$$r_\pi \upsilon_\pi = r_\alpha \upsilon_\alpha, \quad \frac{\upsilon_\pi}{\upsilon_\alpha} = \frac{r_\alpha}{r_\pi}.$$

Аналогичный результат получим, если использовать 2-ой закон Кеплера. Поскольку $r_\alpha > r_\pi \Rightarrow \frac{r_\alpha}{r_\pi} > 1 \Rightarrow \frac{\upsilon_\pi}{\upsilon_\alpha} > 1 \Rightarrow \upsilon_\pi > \upsilon_\alpha$.

Простейший случай запуска ИСЗ.

1) $\upsilon_0 = \upsilon_{\text{кр}}$– окружность

$$\vec{\upsilon}_0 \perp \vec{r}_0 = \overrightarrow{r_\pi}$$

2) $\upsilon_{\text{пар}} > \upsilon_0 > \upsilon_{\text{кр}}$– эллипс

$$\vec{\upsilon}_0 \perp \vec{r}_0$$

3) $\upsilon_0 = \upsilon_{\text{пар}}$– парабола

$$\vec{\upsilon}_0 \perp \vec{r}_0$$

4) $\upsilon_0 > \upsilon_{\text{пар}}$- гипербола

$$\vec{\upsilon}_0 \perp \vec{r}_0$$

5) $\upsilon_0 = \upsilon_{\text{кр}}$; $\vec{\upsilon}_0$ не $\perp \vec{r}_0$ – эллипс, но $r_0 \neq r_\pi$, т.е. начальная точка не в перигее, $\upsilon_0 < \upsilon_{\text{кр}}$; $\vec{\upsilon}_0 \perp \vec{r}_0$ – баллистическая траектория, т.е. упадет на Землю.

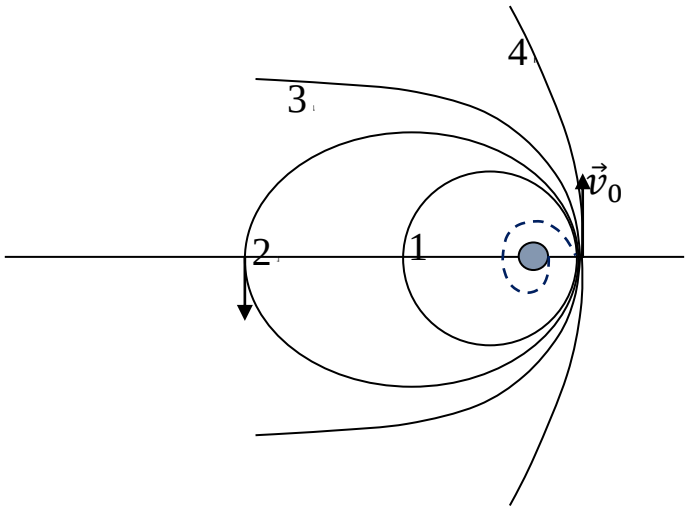


Рисунок 6.3.

Для ИСЗ справедлив третий уточненный закон Кеплера, который позволяет вычислить период обращения ИСЗ, если он движется по земной траектории.

$$T = \sqrt{\frac{4\pi^2 a^3}{G(M+m)}}$$

Если $m << M$, то

$$T_{\text{исз}} = \sqrt{\frac{4\pi^2 a^3}{GM_{\oplus}}}.$$

Стационарный и синхронный ИСЗ.

Стационарным спутником земного небесного тела M называется круговой спутник ($e = 0$), движущийся в плоскости небесного экватора земного тела (наклон орбиты $i = 0$) и имеющий период обращения T равный периоду вращения центрального тела: $T = T_{\text{вращ}}$.

Для Земли такой спутник называется геостационарным как и его орбита. В этом случае $i = \delta = 0$, $T_{\text{вращ}\oplus} = 23$ ч 56 мин $= 86160$ с – звездные сутки.

Такой спутник остается все время на одной и той же точке экватора, что удобно для связи. Часть поверхности небесного тела, видимая с него называется *зоной покрытия*.

Спутник, имеющий период в целое число раз больший или меньший периода вращения своего центрального тела называется *синхронным*.

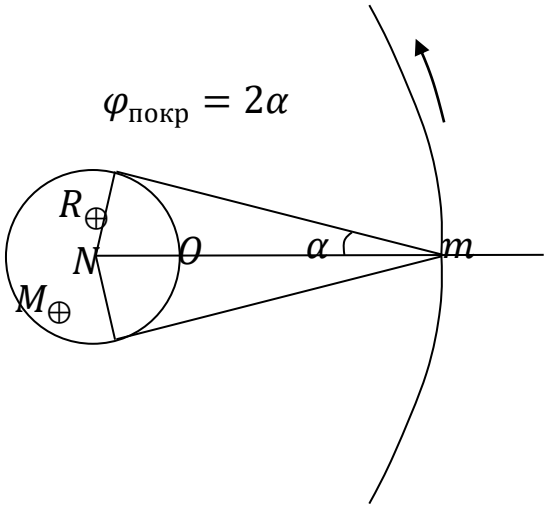


Рисунок 6.4.

6.2. Полеты ка на другие тела солнечной системы

Выход из сферы действия Земли.

При переходе из сферы действия одного тела в сферу действия другого тела нужно осуществлять пересчет скорости КА. Этот пересчет реализуется на основе теоремы о сложении скоростей.

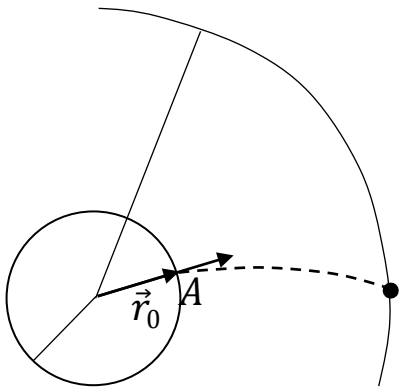


Рисунок 6.5.

$$\overrightarrow{\upsilon_{\text{абс}}} = \overrightarrow{\upsilon_{\text{пер}}} + \overrightarrow{\upsilon_{\text{отн}}}$$

Найти соотношение между начальной геоцентрической скоростью ($\upsilon_{\text{нач}}$) КА близ поверхности Земли и его скоростью выхода ($\upsilon_{\text{вых}}$) на границе сферы действия Земли.

При условии, что радиус сферы действия Земли мы будем считать равным бесконечности

$$\rho_{\oplus} \approx 930000 \text{ км} \approx \infty.$$

Поскольку размеры Солнца и Земли малы, в масштабе Солнечной системы обычно делают такой рисунок.

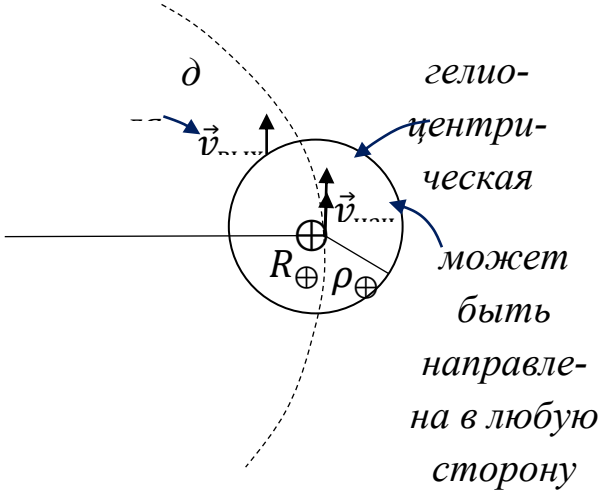


Рисунок 6.6.

$$\upsilon_{\text{КА}} = \upsilon_{\oplus} + \upsilon_{\text{вых}},$$

$\upsilon_{\text{вых}}$– геоцентрическая скорость выхода КА из сферы действия Земли.

Используя интеграл кинетической энергии найдем

$$\upsilon_{\text{нач}}^2 = G\left(M_{\oplus} + m\right)\left(\frac{2}{r_{\text{нач}}} - \frac{1}{a}\right) = GM_{\oplus}\left(\frac{2}{r_0} - \frac{1}{a}\right);\ m = 0, r_{\text{нач}} = r_0,$$

$$\upsilon_{\text{вых}}^2 = G\left(M_\oplus + m\right)\left(\frac{2}{\rho_\oplus} - \frac{1}{a}\right) = -GM_\oplus\frac{1}{a};\ \rho_\oplus = \infty,$$

$$\upsilon_{\text{нач}}^2 - \upsilon_{\text{вых}}^2 = \frac{2GM_\oplus}{r_0} = \upsilon_{\text{пар}}^2.$$

При $r_0 = R_\oplus, \upsilon_{\text{пар}} = \upsilon_\parallel$ с поверхности $\upsilon_{\text{нач}}^2 - \upsilon_{\text{вых}}^2 = \upsilon_\parallel^2$:

1) Если $\upsilon_{\text{нач}} = \upsilon_\parallel \Rightarrow \upsilon_{\text{вых}} = 0$ – КА летит по параболе в системе отсчета связанной с Землей и в бесконечности относительно Земли останавливается, т.е. будет вместе с Землей двигаться вокруг Солнца.
2) $\upsilon_{\text{вых}} > 0 \Leftrightarrow \upsilon_{\text{нач}} > \upsilon_\parallel$ в этом случае КА превратится в ИС Солнца.

В общем виде в гелиоцентрической системе $\overrightarrow{v_{\text{КА}}} = \overrightarrow{v_\oplus} + \overrightarrow{\upsilon_{\text{вых}}}$.

Вопрос. Какова должна быть минимальная начальная геоцентрическая скорость, чтобы КА вылетел из сферы действия Земли?

Чтобы КА покинул сферу действия Солнца надо, что он в сфере действия Солнца (сразу же после вылета из сферы действия Земли) летел по параболе или гиперболе.

Возьмем кратчайший случай – параболу.

$$v_{\text{пар}}(1\ \text{а.е.}) = 42{,}1\frac{\text{км}}{\text{с}}, \qquad \left(v_{\text{пар}} = \sqrt{\frac{2Gm_\odot}{r = 1\ \text{а.е.}}}\right),$$

(а.е. – астрономическая единица),

$$v_{\text{кр}\oplus} = 29{,}8\frac{\text{км}}{\text{с}}\left(v_{\text{кр}\oplus} = \sqrt{\frac{Gm_\odot}{r}}\right),$$

$$\upsilon_{\text{вых}} + v_\oplus = v_{\text{вых}},$$

$v_{\text{вых}}$ – начальная геоцентрическая скорость выхода КА,

$v_{\oplus}$ - орбитальная (гелиоцентрическая) скорость Земли,

$v_{\text{вых}}$ – начальная гелиоцентрическая скорость КА.

$$v_{\text{вых}} = v_{\text{пар}} => v_{\text{вых}} = v_{\text{пар}} - v_{\oplus},$$

$$v_{\text{вых}} = (42{,}1 - 29{,}8)\frac{\text{км}}{\text{с}} = 12{,}3\ \frac{\text{км}}{\text{с}},$$

$$v_{\text{нач}} = \sqrt{v_{\parallel}^2 + v_{\text{вых}}^2}, v_{\parallel} = 11{,}2\frac{\text{км}}{\text{с}}\left(v_{\parallel} = \sqrt{\frac{2Gm_{\oplus}}{R_{\oplus}}}\right),$$

$$v_{\text{нач}} = \sqrt{11{,}2^2 + 12{,}3^2} \approx 16{,}6\frac{\text{км}}{\text{с}} = v_{|||},$$

$v_{|||} = 16{,}6\frac{\text{км}}{\text{с}}$ – скорость, сообщенная КА близ Земли (в момент прекращения действия двигателей) достаточная для того, чтобы он покинул сферу действия не только Земли, но и сферу действия Солнца называется 3-ая космической скоростью.

Т.О. чтобы попасть на планету Солнечной системы с Земли $v_{\text{нач}}$ должна быть $v_{\parallel} < v_{\text{нач}} < v_{|||}$.

Вопрос 1. Какую начальную геоцентрическую скорость $v_{\text{нач}}$ надо сообщить на Земле, чтобы КА улетел радиально на Солнце.

$$\overrightarrow{v_{\text{вых}}} = -\overrightarrow{v_{\oplus}}, \text{ т.е. } v_{\text{вых}} = 29{,}8\ \frac{\text{км}}{\text{с}}\ (\text{или } v_{\text{вых}} = 0!!!),$$

$$v_{\text{нач}} = \sqrt{11{,}2^2 + 29{,}8^2} = 31{,}8\frac{\text{км}}{\text{с}} = v_{\text{IV}}.$$

Упасть на Солнце радиально сложнее, чес улететь из Солнечной системы. Сейчас максимально достижимая $v_{\text{нач}} = 14\ \frac{\text{км}}{\text{с}}$.

Вопрос 2. Как два Вояджера и два пионера улетели за пределы Солнечной системы? (Левантовский А.И. «Космонавтика в элементарном изложении»)

Ответ. Решение было предложено русским ученым Ю.В. Кондратюком (1897-1942): гравитационный маневр.

6.3. Простейшие траектории перелета на ближайшие планеты

В 1925 г. В. Гоманом были предложены простейшие полуэллиптические траектории перелета как на внутренние (нижние) планеты, так и на внешние (верхние). При этом сам механизм припланечивания не учитывает.

Для реализации такого полета были сделаны следующие допущения.

1) Считается, что планета и Земля движутся по окружностям с центром в центре Солнца, т.е. $e_{\text{орб}} = 0$.

2) Плоскости орбит планет совпадают, т.е. $i = 0$.

Весь полет подразделяют на три участка.

I. Геоцентрический.

II. Гелиоцентрический.

III. Планетоцентрический.

Целесообразно начать рассмотрение с гелиоцентрического участка.

Гелиоцентрический участок траектории

(Полет в сфере действия Солнца).

Перелеты на планеты различны для внутренних и внешних планет. Входные данные: $e_p = 0, e_\oplus = 0, i_p = 0$. Описание элементов орбит приведено в таблице 1. Время перелета рассчитывается по третьему уточненному закону Кеплера

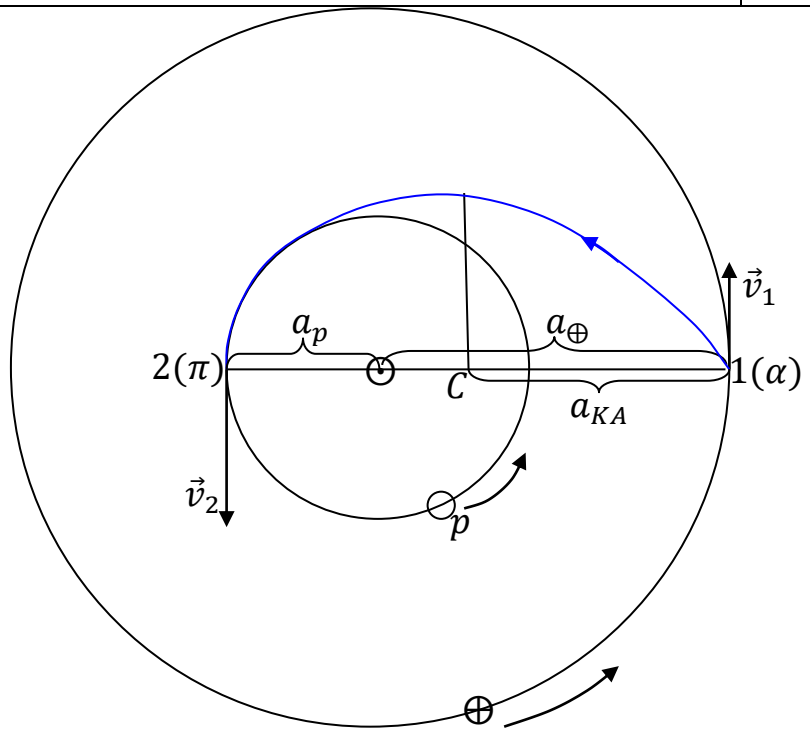
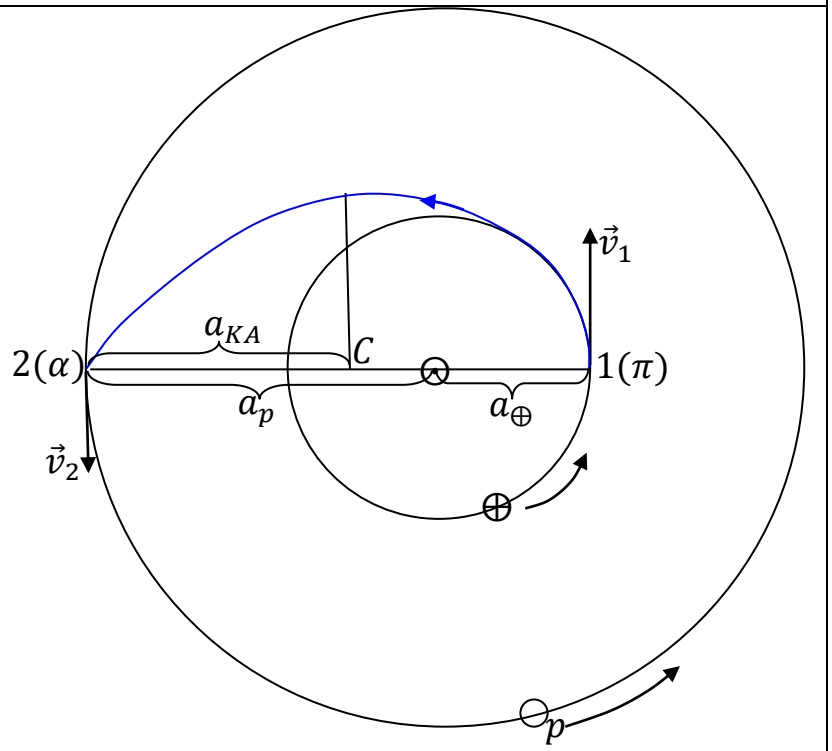
$$\tau = \frac{T_{KA}}{2} = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{4\pi^2 a_{KA}^3}{GM_\odot}}.$$

Гелиоцентрические скорости $(\vec{v}_1, \vec{v}_2)$ находятся из интеграла кинетической энергии

$$v^2 = G\left(M_\odot + \underbrace{m_{KA}}_{\sim 0}\right)\left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a_{KA}}\right)$$

и соотношения $v_1 a_\oplus = v_2 a_{p.}$

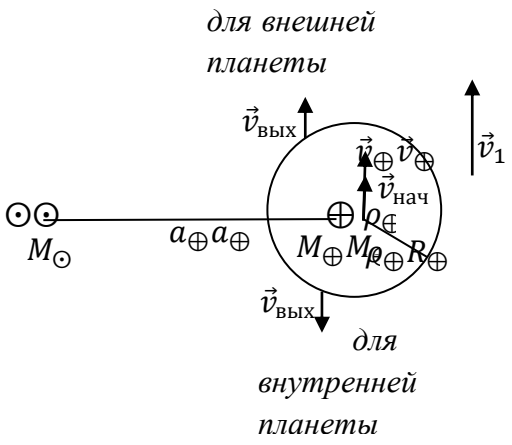
Таблица 1.

Внутренняя планета	$\vec{v}_1 \uparrow\downarrow \vec{v}_2$	Внешняя планета
		

$v_2 > v_1$, $a_\oplus = r_\alpha$, $a_p = r_\pi$, $a_{KA} = \frac{a_\oplus + a_p}{2}$.	$\vec{v}_1$ – начальная гелиоцентрическая скорость, $\vec{v}_2$ – конечная гелиоцентрическая скорость, $a_{KA} = \frac{r_\alpha + r_\pi}{2}$, $e = \frac{\lvert a_p - a_\oplus \rvert}{2a_{KA}}$	$v_1 > v_2$, $a_\oplus = r_\pi$, $a_p = r_\alpha$, $a_{KA} = \frac{a_\oplus + a_p}{2}$.

Геоцентрический участок траектории

(Движение в сфере действия Земли).



$$\vec{v}_1 = \vec{v}_\oplus + \vec{v}_{\text{вых}}.$$

Для внешней планеты $v_1 = v_\oplus + v_{\text{вых}}$.

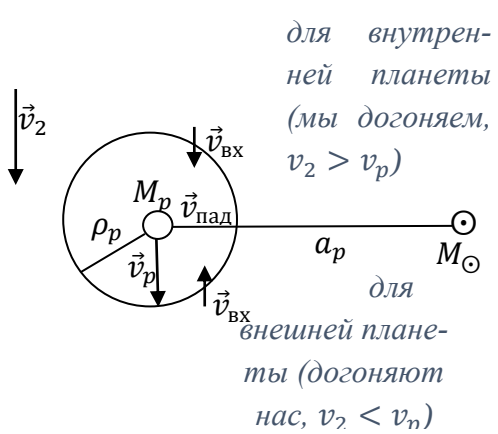
Для внутренней планеты

$$v_1 = v_\oplus - v_{\text{вых}}.$$

Начальная скорость определяется из соотношения $v_{\text{нач}}^2 = v_{II}^2 + v_{\text{вых}}^2$.

Планетоцентрический участок траектории

(Движение в сфере действия планеты прилета).



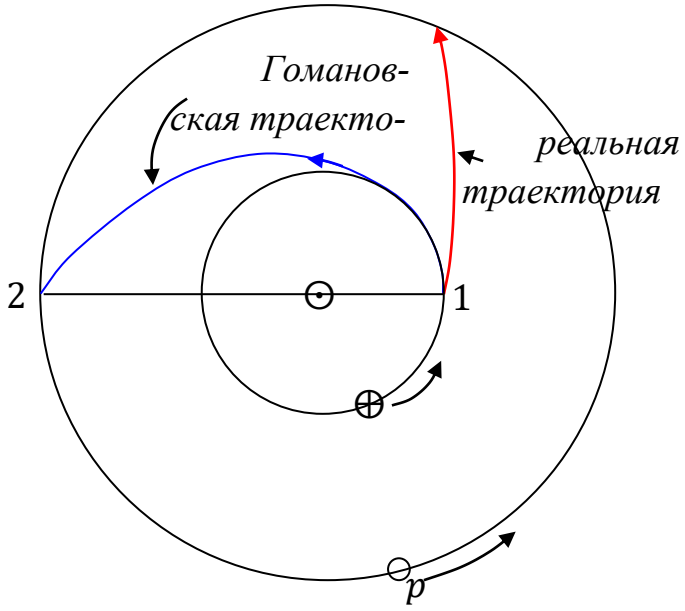
$$\vec{v}_2 = \vec{v}_p + \vec{v}_{\text{вх}},$$

$$v_{\text{вх}} = |v_2 - v_p|,$$

$$v_{\text{пад}}^2 = v_{IIp}^2 + v_{\text{вх}}^2.$$

О реальных траекториях.

По Гомановским эллиптическим траекториям никто не летает, хотя они и выгодны в энергетическом смысле, так как перелет по ним длится очень долго.



7. ЗВЕЗДЫ. ГАЛАКТИКИ

7.1. Общие сведения о Солнце

Наше Солнце представляет собой типичную звезду. Наблюдателю Солнце всегда представляется в виде круглого диска с резкими краями. Сжатие Солнца равно нулю, поэтому его действительная форма – шар.

Радиус	$R_\odot$	696 000 км
Масса	$M_\odot$	$1{,}991 \cdot 10^{30}$ кг
Плотность	$\rho_\odot$	$1{,}4\ \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$
Ускорение свободного падения	$g_\odot$	$2{,}74 \cdot 10^4\ \frac{\text{см}}{\text{с}^2}$
Полное излучение (светимость)	$L_\odot$	$3{,}86 \cdot 10^{26}$ Вт

Фотосфера. Солнечные пятна. Вращение

Самое первое наблюдение Солнца показывает, что его яркость уменьшается к краям диска. Это свидетельствует о том, что поверхность Солнца не является твердой, а представляет собой слой газа, она называется фотосферой. Это тот уровень Солнца, от которого мы получаем основную долю лучистой энергии, испускаемой Солнцем в целом, в частности свет. Фотосфера определяет видимые границы солнечного диска.

Одной из характерных и самых доступных для наблюдения деталей солнечной поверхности – фотосферы являются солнечные пятна (впервые были открыты Галилеем). Они почти всегда присутствуют на Солнце, в одни годы их много, в другие они малочисленны. Основная масса пятен имеет размеры меньше $1'$, но наблюдаются и большие пятна или их группы, видимые невооруженным глазом.

На краю солнечного диска можно видеть большие светлые образования – факелы.

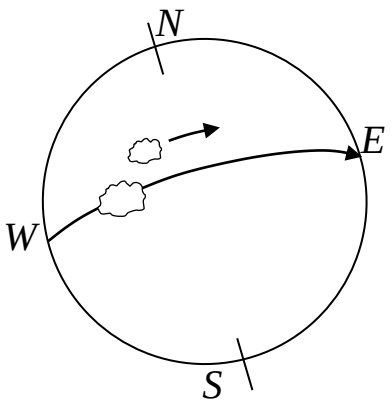


Рисунок 7.1.

Солнечные пятна перемещаются по солнечному диску с запада на восток. На основании этого уже Галилей заключил, что Солнце вращается вокруг некоторой оси и получил период этого вращения. Исследование движения пятен позволило определить наклон оси Вращения Солнца к плоскости эклиптики (угол между ними составляет $82°45'$).

Угловая скорость вращения Солнца ω (в градусах в сутки) на гелиографическй широте φ определяется формулой

$$\omega = 14{,}4° - 2{,}7° \sin^2 \varphi.$$

По ней определяется скорость вращения вблизи экватора, для определения скорости вращения в более высоких широтах используют другие методы, например, смещение спектральных линий.

С наибольшей скоростью вращается экваториальная область Солнца

$$T_{\odot э} = 25{,}38 \text{ дней}, v_{\odot э} = 2\frac{v}{c},$$

Чем дальше от экватора тем медленнее вращение, например, на широте $75°$ $T_{\odot 75°} = 32$ сут.

Солнечная атмосфера

Солнце мы видим до определенной глубины (фотосфера), далее солнечное вещество оказывается непрозрачным. Слои, лежащие над фотосферой, образуют солнечную атмосферу, которая разделяется на хромосферу и корону.

Самое заметное образование в солнечной атмосфере – протуберанцы, начинаются над пятнами – выступают, висят в короне. Они бывают спокойные и эруптивные (взрывные).

Движение протуберанцев удается проследить с расстояния$4R_{\odot}$. Обнаружена лучистость солнечной короны – стримеры.

Внутреннее строение Солнца

Представления о внутреннем строении Солнца можно получить из теоретических рассуждений, основанных на общих законах физики.

При построении теоретической модели Солнца для простоты полагают, что оно является не вращающейся стационарной звездой,

находящейся в состоянии гидростатического равновесия, что означает, что любой элемент объема в недрах Солнца находится в равновесии под действием сил гравитационного притяжения всех более глубоких слоев и силы давления, направленной наружу. Если предположить, что вещество в Солнце распределено равномерно, то можно считать что свойства такого однородного Солнца будут близки к условиям в реальном Солнце на глубине $h = \frac{R_\odot}{2}$.

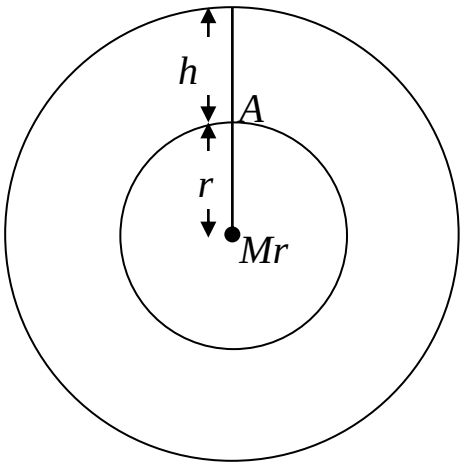


Рисунок 7.2.

Давление в точке А $p = \rho_\odot g h = \rho_\odot g_A \frac{R_\odot}{2}$, $g_A = G\frac{M_r}{r^2} = G\frac{M_\odot/8}{(R_\odot/2)^2} = G\frac{M_\odot}{2R_\odot{}^2} = \frac{g_\odot}{2} = 137\,\frac{\text{м}}{\text{с}^2}, p = 6{,}6 \cdot 10^{13}\,\frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$. Из основного уравнения состояния идеального газа $pV = \frac{m}{\mu}RT$, можно найти температуру T, считая что Солнце состоит из ионизированного Водорода $\left(\mu = \frac{1}{2}\right)$: $T = 2{,}8 \cdot 10^6 K$. Таким образом, при наших предположениях для средних точек в недрах Солнца получается давление в сотни миллионов атмосфер $\left(1\,\frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = 10^{-5}\text{атм}\right)$ и температура порядка нескольких миллионов градусов. В центре Солнца давление и температура должны быть еще больше.

7.2. Метагалактика (выход за пределы Галактики)

Внегалактическая астрономия появилась в десятые годы XX века.

Метагалактика (*метос* – за, вне) – часть Вселенной, доступная астрономическим наблюдениям.

Размеры оцениваются радиусом сферы $R = (10 \div 15 \div 18) \cdot 10^9$ свет. год. Внутри этой сферы находятся разнообразные по своим типам и природе галактики (основное «население» Метагалактики).

Перечислим некоторые особенности Метагалактики.

I. Нестационарность Метагалактики. В первой трети XX века (1929 г.) Эдвином Хабблом было открыто расширение Метагалактики, т.е. обнаружено взаимное удаление галактик друг от друга. Данное открытие окончательео разрушило стационарные модели Метагалактики (модель Эйнштейна). К тому времени расширение Метагалактики было рассчитано советским математиком Фридманом в период 1922 – 1924 гг. Хаббл смог сформулировать закон разбегания галактик. Это закон носит его имя.

Закон Хаббла: скорость удаления (разбегания) галактик пропорциональна расстоянию до них

$$\boldsymbol{v_r = Hr},$$

где v_r – радиальная составляющаа скорости, r – расстояние до галактики, H – постоянная Хаббла. Считается $\boldsymbol{H = (50 \div 100)} \frac{\text{км}/\text{с}}{\text{Мпк}}$.

Постоянная Хаббла важна для определения так называемого возраста Метагалактики $t = \frac{1}{H}$.

Возраст Метагалактики – промежуток времени от момента начала расширения Метагалактики до настоящего времени.

Закон Хаббла получен на основе изучения красного смещения в спектрах галактик.

Красное смещение – смещение спектральных линий в спектрах галактик к красному концу спектра (в сторону возрастания длин волн или убывания частот излучения). Основано на эффекте Доплера.

Главное в этом эффекте – это наличие относительной скорости между приемником и источником сигнала. Если они удаляются друг от друга, то присутствует красное смещение, если же приближаются, то синее.

Суть метода оценки смещения. Используют два спектра

1. Спектр (Sp) сравнения – получен от неподвижного источника $(v_{\text{отн}} = 0)$.
2. Спектр (Sp) галактики $(v_{\text{отн}} > 0 - \text{красное смещение}, v_{\text{отн}} < 0 - \text{синее смещение})$.

В каждом спектре в едином массиве выделяют характерные линии излучений того или иного химического элемента, часто рассматривают излучение водорода. Потом совмещают оба спектра и оценивают величину смещения.

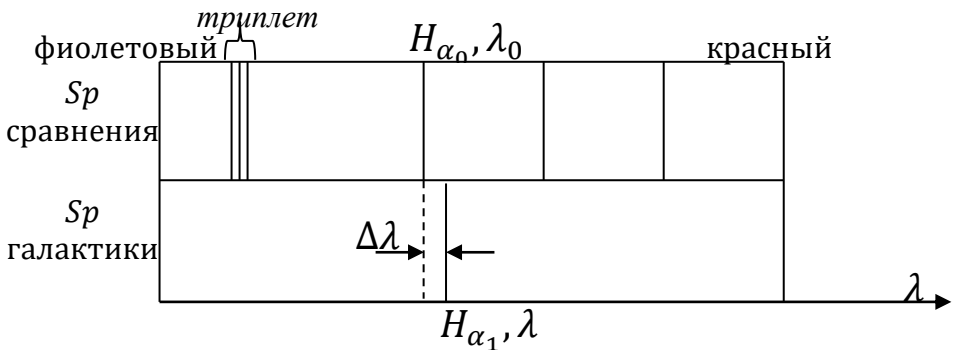


Рисунок 7.3.

$\boldsymbol{\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0}$ – абсолютное смещение спектральной линии в спектре галактики, $\Delta\lambda > 0$ – красное смещение, $\Delta\lambda < 0$ – синее смещение.

Обычно оценивают относительную величину смещения $\boldsymbol{z} = \frac{\boldsymbol{\Delta\lambda}}{\boldsymbol{\lambda}}$, которая для всех линий одной галактики одинакова. В настоящее время самое большое $z = 6$.

Для определения радиальной составляющей скорости v_r Хаббл получил следующие формулы.

1. Если $z \leq 0{,}1$, то есть рассматривается не релятивистская скорость, то
$$v_r = c\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = cz.$$
2. Если $z > 0{,}1$, то есть рассматривается релятивистский случай, то
$$v_r = c\frac{\lambda^2 - \lambda_0^2}{\lambda^2 + \lambda_0^2} = c\frac{(\mathrm{z}+1)^2 - 1}{(\mathrm{z}+1)^2 + 1}.$$

II. Галактики распределены в Метагалактике неравномерно и имеют тенденцию к объединению. Могут быть двойные галактики, группы галактик, скопления галактик. Следовательно, плотность вещества в разных местах галактики различна.

III. Однородность и изотропность Метагалактики в больших масштабах (≥ 100 Мпк), $\rho_{\text{ср}} \approx 3 \cdot 10^{-31}\,\frac{\text{г}}{\text{см}^3}$. Это положение о средней плотности представляет собой космологический принцип.

IV. Сетчатая структура Метагалактики. Последние исследования показывают, что Галактики в Метагалактике образуют ячейчато-сетчатую структуру (в соответствии с принципами самоорганизующихся структур и синергетики).

V. Скрытая масса в метагалактике. Темная (невидимая) масса, масса никак не проявляющая себя. По современным оценкам в Метагалактике скрытой массы в 10 – 20 раз больше чем видимой.

7.3. Разнообразие Галактик

Всего по оценкам в метагалактике $10 \div 20$ млрд галактик. Только три из них доступны наблюдению невооруженным глазом

M 31 – Туманность в созвездии Андромеды (северное полушарие)

ММО – Малое Магеланово облако

БМО – Большое Магеланово облако

}южное полушарие

Классификация галактик может быть проведена по разным основаниям.

I. По внешнему виду – Камертон Хаббла.
   1) эллиптические ($E0 - E9$),
   2) спиралные $S \begin{matrix} -\text{нормальные } (Sa, Sb, Sc) \\ -\text{пересеченные}(SBa, \dots) \end{matrix}$,
   3) неправильные (иррациональные) (Ir), например БМО и ММО.

II. По размеру и количественным характеристикам.
   1) гиганты (размер несколько десятков кпк, число звезд $N \sim 100 \cdot 10^9$ например, *M*31 – 40 кпк, наша Галактика – 30 кпк),
   2) карлики (размер несколько кпк, число звезд $N \sim 10^6 \div 10^9$ например, *ММО* – 7,8 кпк).

III. По виду излучения.
   1) радиогалактики,
   2) рентгеновские галактики,
   3) инфракрасные (ИК) галактики,
   4) ультрафиолетовые (УФ) галактики.

IV. Галактики с активными ядрами.

Их доля порядка 1%, то есть это короткий этап жизни галактик. Из активных галактик происходит большой выброс вещества в виде всевозможного излучения. Все источники излучения очень компактные. Различают

1. Сейфертовские галактики – массивные спиральные галактики, в центре которых сверхмассивная черная дыра ($M \approx 10^9 M_\odot$). Мощность излучения L достигает 10^{37} Вт.

2. Радиогалактики – массивные эллиптические галактики, в центре которых мощный радиоисточник, излучающий в 10 тысяч раз больше галактик.
3. Квазизвездные объекты (КЗО). Открыты в 1961 г, долгое время не удавалось отождествить их спектральные линии поскольку они имеют очень сильное красное смещение $z = 2 \div 6$, это говорит об их внегалактической природе. Хотя КЗО не совсем объекты с активными ядрами, но есть ряд сходств:

a) высокая мощность излучения и его переменчивость во времени с периодичностью, убывающей до нескольких дней и меньше,
b) компактрность – размеры в 30 раз меньше сотен астрономических единиц,
c) цвет, соответствует нетепловому характеру излучения,
d) широкие эмиссионные (более яркие участки спектра) линии спектра.

V. Взрывные галактики, которые оказались вовсе не взрывными. Это галактики с мощным звездообразованием. Наиболее яркий представитель – галактика $M82$ в созвездии Большой медведицы.

VI. Взаимодействующие галактики, имеющие сильныо искаженную форму и не укладывающиеся в классификацию по внешнему виду. Причина заключается в присутствии рядом других галактик. Они часто бывают соединены между собой газовыми или звездными перемычками, или окружены общим звездным туманом. Со временем они смешиваются, что сопровождается мощным звездообразованием.

7.4. Наша галактика

Через все небо северного и южного полушария примерно по большому кругу НС тянется светлая полоса молочного оттенка, которая где-то сужается, где-то расширяется. Эту полосу греки назвали **galaxias –Галактикой** (отслова **gala- молоко**) – **Млечным путем**.

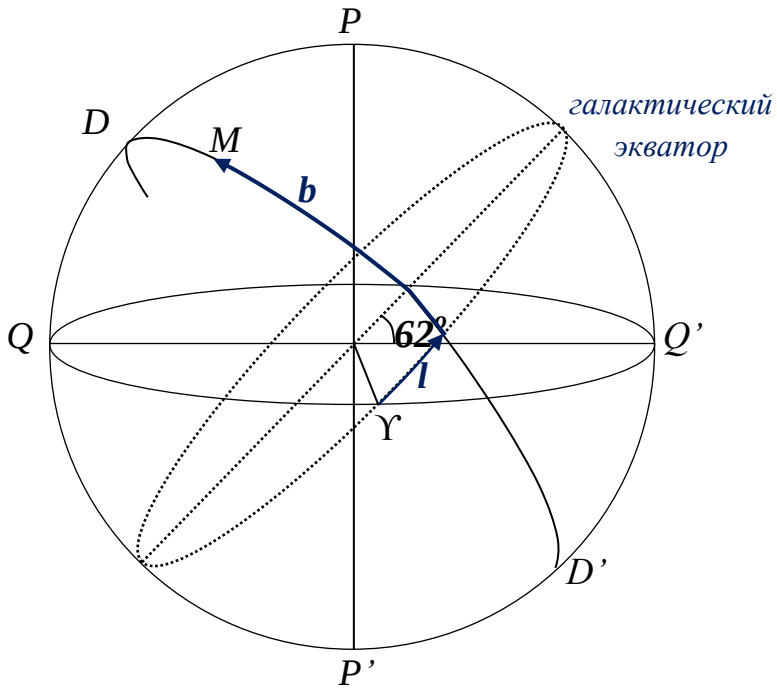


Рисунок 7.4.

Плоскость большого круга небесной сферы, расположенного приблизительно посередине Млечного пути называется **галактической плоскостью** или **основной плоскостью Млечного пути**. Она наклонена к плоскости небесного экватора под углом 62°.

На рисунке. Точка D – северный полюс Галактики, имеет координаты $\alpha = 12^{ч}40^{м}, \delta = 28°$, находится в созвездии Волосы Вероники, точка D' – южный полюс Галактики.

Галактическая плоскость позволяет ввести еще одну систему координат – галактические координаты: долготу ***l*** и широту ***b***.

Уже первые применения телескопа Г.Галилеем показали, что Млечный путь – это скопление звезд, свет которых сливаясь создает молочные полосы. По обе стороны от Млечного пути звезд значительно меньше.

К XIIX- XIXвв. Вильгельм Гершель (английский испытатель, астроном, изобретатель круглых телескопов рефлекторов с D=22 см) построил первую модель Галактики. Он пришел к выводу, что звезды, которые мы видим, образующие Млечный путь, сосредоточены в области плоского диска. Поэтому наша Галактика является образованием конечным и следовательно занимает некоторый объем.

Все объекты, которые мы видим на небе невооруженным глазом (кроме туманности Андромеды (М31), Большого (БМО) и Малого (ММО) Малагеновых облаков в южном полушарии), входят в состав нашей Галактики.

7.5. Первые крупные открытия в мире звезд

1. ***Собственное движение звезд*** (звезды движутся относительно друг друга).

В 1718 Эдмунд Галлей сравнил каталоги звезд и пришел к выводу, что звезды имеют собственную скорость.

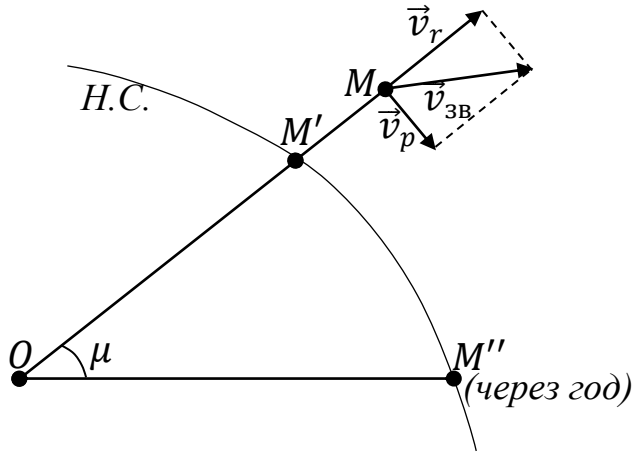


Рисунок 7.5.

На рисунке: M' и M'' проекции звезды M на небесную сферу, $\vec{v}_r$ – радиальная составляющая скорости, $\vec{v}_p$ –поперечная составляющая скорости, $\vec{v}_{зв}$– скорость звезды.

$\boldsymbol{\mu}$ – *собственное движение звезды* – количественная характеристика. Для большинства звезд $\mu \approx 0{,}1''$ в год. Звезда Бернарда («Летящая»звезда) –одиночная звезда в созвездии Змееносца – имеет $\mu = 10{,}27''$(угловых секунд) в год (самое большое собственное движение из всех видимых звезд).

Радиальная составляющая скорости $\vec{v}_r$звезды определяется в эффекте Доплера по смещению линий в спектре звезды

$$v_{зв} = \sqrt{v_p^2 + v_r^2}, \qquad [v] = \frac{км}{с}.$$

Открытие собственного движения звезд окончательно разрушило представление о неподвижности небесной сферы.

2. ***Звездный (годичный) параллакс*** –это угол, под которым с данной звезды видна большая полуось земной орбиты (обозначается π (пи))

На рисунке 7.6.:

abcd - параллактический эллипс (вызван движением Земли вокруг Солнца),

$$<\odot MA = \pi,$$

$l = a_{\oplus}$–большая полуось орбиты Земли

$$\pi < 1''$$

$$\frac{l}{r} = tg\,\pi \approx sin\,\pi =>$$

$$\boldsymbol{r = \frac{l}{sin\,\pi} = \frac{l}{\pi}}(рад),$$

$$\mathbf{1}\ \text{рад} = \mathbf{206265}'' \ => \ \boldsymbol{r} = \frac{\mathbf{206265}''}{\boldsymbol{\pi}''}\boldsymbol{l}$$

– расстояние до звезды через годичный параллакс, выраженный в секундах.

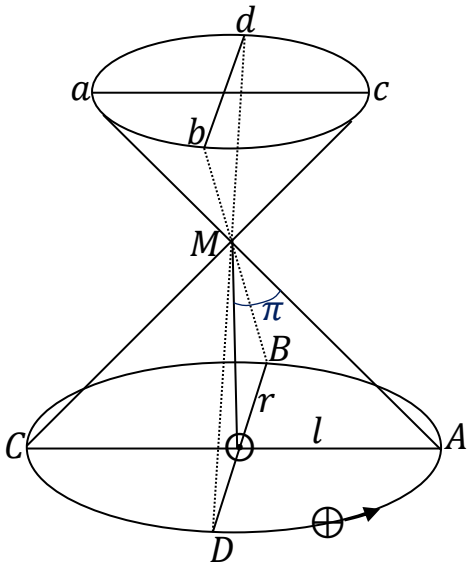


Рисунок 7.6.

Годичный паралакс измерили:

- В 1837 г. Василий Яковлевич Струве (директор Пулковской обсерватории) для звезды Вега -$\boldsymbol{\pi}''$ **=0,123**"
- В 1838 г. Фридрих Вельгем Бессель (Калининград) для звезды 61 Лебедя-$\boldsymbol{\pi}''$ **=0,292**"
- В 1838 г. Томас Гендерсон для звездыα Центавра $\boldsymbol{\pi}'' = \mathbf{0,751}''$**.** Самый большой параллакс из всех видимых звезд, из чего следует, что это ближайшая к нам звезда.

Вывод:

1) звезды находятся на разных расстояниях от Земли, следовательно, нет сферы неподвижных звезд.

2) Доказано годичное движение Земли, т.е. подтверждена модель Коперника.

В настоящее время для порядка 10 тысяч звезд измерен их π. Это позволяет измерять расстояние до них. В случаях, когда это невозможно пользуются спектральным методом.

Годичный параллакс (π) позволяет ввести новую (самую большую)единицу измерения расстояний –парсек (пк):

$$\boldsymbol{r = \frac{206265''}{\pi''} l},$$

1 пк = 206265 а.е., 1 а.е.$\cong 150$ млн. км., 1пк$\cong 3{,}26$ св. год,

$$\boldsymbol{r = \frac{1}{\pi''}} \text{ (пк).}$$

7.6. Наша звездная система –Галактика (Система Млечного пути)

Определение: галактика (любая) – динамически связанная совокупность (система) звезд, различных по свойствам и возрасту, занимающих конечный объем в пространстве.

Галактика (только наша) динамически связанная совокупность (система) звезд, различных по свойствам и возрасту, занимающих конечный объем в пространстве, большей частью расположенных в Млечном пути, т.е. близко к галактическому экватору.

Схематичное строение Галактики.

Основная масса звезд (до 95-98%) расположена в диске (плоскости Млечного пути) и в балдже (вздутии).

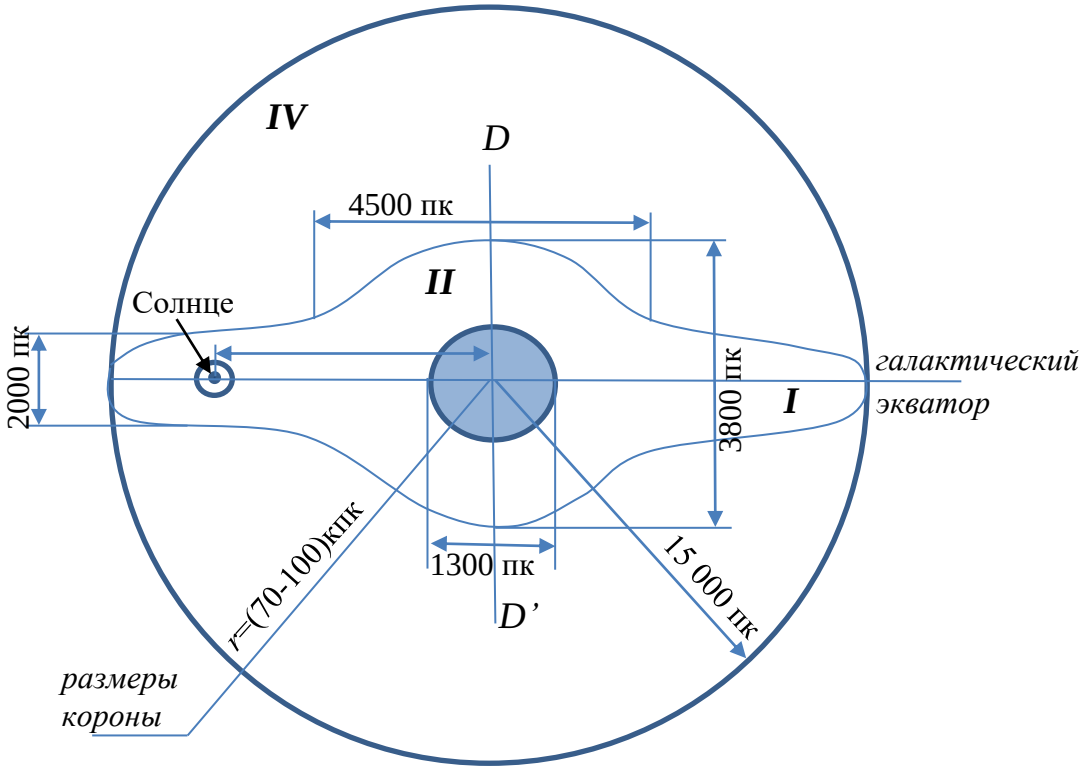
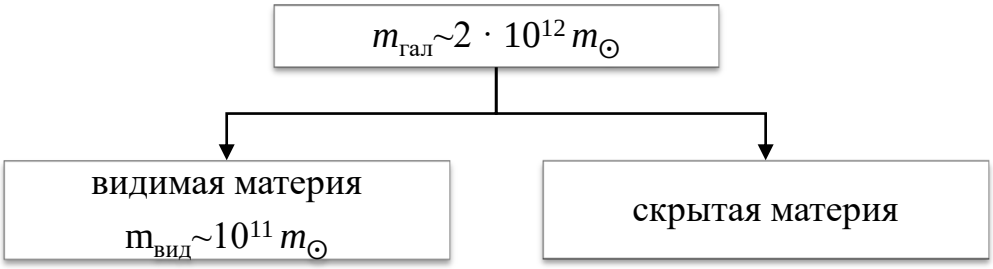


Рисунок 7.7.

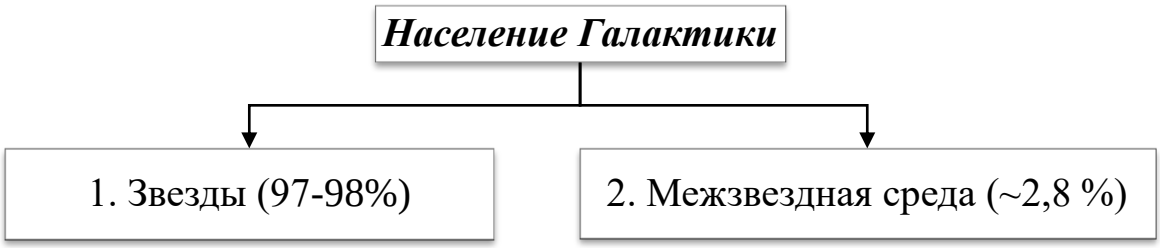
I –диск II –балдж III –ядро IV-гало (расширение атмосферы)

Количественные характеристики Галактики.

1. Число звезд в Галактике n=200 · 10^9звезд
2. Диаметр D=10 000 св.лет = 30 кпк
3. Размер балджа 4800×3800 пк
4. Размер ядра 1300 пк
5. Радиус гало 15 кпк
6. Солнце расположено практически в плоскости галактического экватора (чуть выше) на расстоянии 8500 пк от центра
7. Толщина диска Галактики у Солнца 2000- 2500 пк
8. Масса Галактики (материальная)



9. Светимость Галактики $L_{гал}$=10^{36} Вт ($\frac{Дж}{с}$) –полная мощность излучения всех звезд в Галактике.



Звезды делятся (по обобщению):

1. Одиночные звезды
2. Двойные (бинарные) звезды

3. Кратные звезды
4. Звездные скопления (плеяды)
5. Шаровые скопления (сотни плеяд и миллионы звезд)
6. Звездные ассоциации

Звездные скопления находятся в диске, балдже, ядре. Шаровые скопления – в гало. Межзвездная среда состоит из пыли и газа.

Пыль – частицы графита, силиката, железа, покрытые летучей оболочкой. Она сконцентрирована в узком слое (200-300 пк) вдоль плоскости галактического экватора.

Газ – расположен всюду. Он состоит в основном из нейтрального водорода (H), был открыт в 1951 г.в радиодиапазоне (λ=21см), что позволило подтвердить спиральность нашей галактики.

Газ и пыль образуют облака. Если пыль перекрывает звезды, то получаются <u>темные туманности</u> (например, Конская голова, пылевая туманность в созвездии Ориона).

Если в облаке больше газа чем пыли и есть подсвечивающие ее звезды, то облако светится и получаются <u>светлые диффузные туманности.</u>

Туманности имеют разные происхождение, например, Крабовидная туманность в созвездии Стрельца –результат рождения сверхновой звезды 1054 года.Волнистые туманности появляются после взрыва новых звезд.Существуют планетарные туманности – определенный этап жизни красной планеты. Часто в центре таких туманностей находится черная дыра.

В гало находятся шаровые скопления и космические лучи (электромагнитное поле как форма населения).

В короне расположена скрытая масса, это могут быть нейтрино, холодные звезды, карликовые галактики, а так же экзотичные элементарные частицы.

Вращение нашей Галактики

– происходит по часовой стрелке (если смотреть с D-северногополюса Галактики), но по собственному закону (разные слои движутся по разному).

Вращается как бы облако звезд «наше». Облако вместе с Солнцем движется в процессе вращения вокруг ядра $\approx 220\,\frac{\text{км}}{\text{ч}}$.

Ядро Галактики невидно с Земли, но его можно сфотографировать (впервые это было сделано в 1951 г.) в инфракрасном спектральном диапазоне, в последствии в 1968 г. было получено изображение ядра в радиодиапазоне и в рентгеновском диапазоне.

Межгалактическая среда.

Плотность межгалактической среды нашей Галактики больше, чем в Метагалактике:

$$\rho_{\text{гал}} \approx 10^{-31}\,\frac{\text{г}}{\text{см}^3},$$

$$\rho_{\text{метагал}} \approx 10^{-34}\,\frac{\text{г}}{\text{см}^3}.$$

Плотность Галактики связана с

1. Реликтовым излучением, которое было открыто в 1965 г.. Это остаточное излучение, которое существует с момента расширения (рождения) метагалактики.
2. Горячим газом, излучающим в рентгеновском диапазонеТ $\approx 10^8$К. Этотгаз находится в скоплении галактик, а не во всей Метагалактике.

3. Облака холодного водорода, которые окружают взаимодействующие галактики (температура порядка нескольких кельвинов).

Какую информацию можно получить о Галактике

1. Фотографию. По которой, зная масштаб можно определить угловые размеры Галактики.

2. Спектр Галактики.

3. Если известны угловые размеры и расстояние до Галактики, можно определить Линейные размеры.

$D = \alpha(\text{рад}) \cdot r = \frac{\alpha\prime}{3438'} r,$

α' - угловой размер.

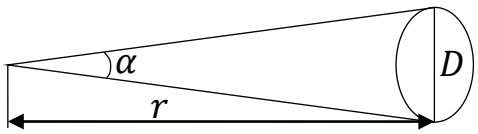


Рисунок 7.8.

4. По спектру можно определить абсолютную звездную величину Галактики.

$$\left.\begin{matrix} \mathrm{m}_{\text{фотограф.}} \\ \mathrm{m}_{\text{визуальн.}} \end{matrix}\right| \Rightarrow lg\frac{L}{L_{\text{гал}}} = 0{,}4(M_{\text{гал}} - M).$$

5. Классификация Галактик - Камертон Хабла.

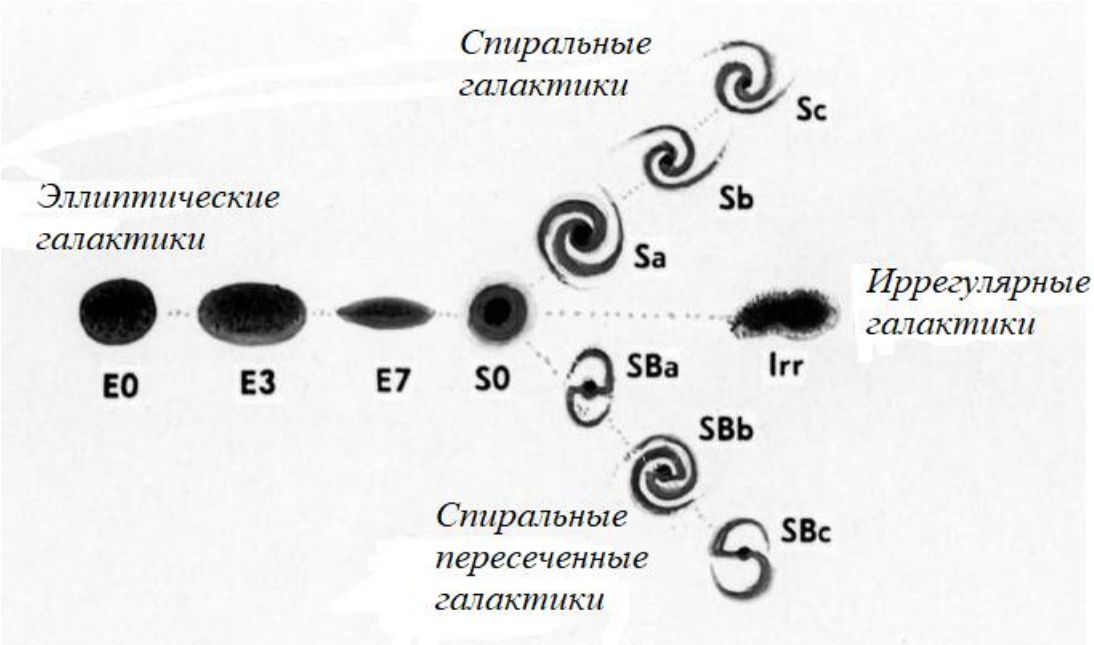

Спиральные галактики
Sc
Sb
Sa
Эллиптические галактики
Иррегулярные галактики
E0
E3
E7
S0
SBa
Irr
SBb
Спиральные пересеченные галактики
SBc

Рисунок 7.9.

7.7. Звезды и Солнце

Звезды – наиболее распространенные объекты вселенной, в которых сосредоточена основная видимая масса космического вещества и которые излучают энергию во всем спектре длин волн за счет термоядерных реакций идущих в их недрах, где образуются различные химические элементы.

Основные количественные характеристики звезд:

- R – радиус
- m – масса
- $T_{эфф}$– эффективная температура
- $\bar{\rho}$ – средняя температура
- L – светимость

По размеру и массе звезды делят на три класса.

1)	Сверхгиганты	***s***	(supergiant)
2)	Гиганты	***g***	(giant)
3)	Карлики	***d***	(duart)

Что можно получить и вычислить для звезд?

	Получить	Вычислить
1.	освещенность (блеск) E, видимая звездная величина m	светимость $L = 4\pi r^2$
2.	параллакс π	расстояние до звезды $r = \frac{1}{\pi''}$ (пк)
3.	спектр звезды Sp	эффективная температура $T_{эфф}$
4.	угловые размеры $d''(r'')$	$L = \varepsilon_{\lambda T} 4\pi R^2 = \delta T_{эфф}^4 4\pi R^2$

Спектральная классификация звезд.

Создана в Гарварде в период с 1859 г. по 1890 г.

В настоящее время классифицировано более 100 000 по сходству спектра (у всех звезд разные спектры, но некоторые похожи). Все звезды разбиты на спектральные классы, сначала чисто эмпирически (по фотографиям спектров). Позднее оказалось, что эта классификация является классификацией по температуре, т.е. спектрафикация температуры (а температура зависит от химического состава).

- Получили классы по убыли температуры: O, B, A, F, G, K, M, (N, R, S). Внутри каждого класса введено 10 подразделений, например: B0, B1, B2, …, B9. Каждый последующий класс называется более *поздним*.

Так горячие звезды классов O, B, A называют звездами *ранних* спектральных классов, а холодные K и M – *поздних* спектральных классов.

	Класс	Температура, тыс.^{0}C	Цвет	Яркие представители
1.	O	25 – 30	голубые	ξ Ориона (O)
2.	B	10 – 20	голубовато-белые	ε Ориона (B0)
3.	A	8 – 10	белые	Сириус (A0)
4.	F	7	желтовато-белые	δ Близнецов (F0)
5.	G	5 – 6	желтые	Капела (G0)
6.	K	4	оранжевые	Арктур (K0)
7.	M	2,5 – 3	красноватые	Бетельгейзе (M0)

Классы R, N, S представляет собой ответвления от классов G и K.

Диаграмма Герцшпрунга–Рассела

- распределение звезд в зависимости от светимости (абсолютной звездной величины) и классы.

Вычислили абсолютные звездные величины порядка для 1000 звезд.

$$M = m + 5 - 5\lg r.$$

Абсолютная звездная величина M связана со светимостью L звезды.

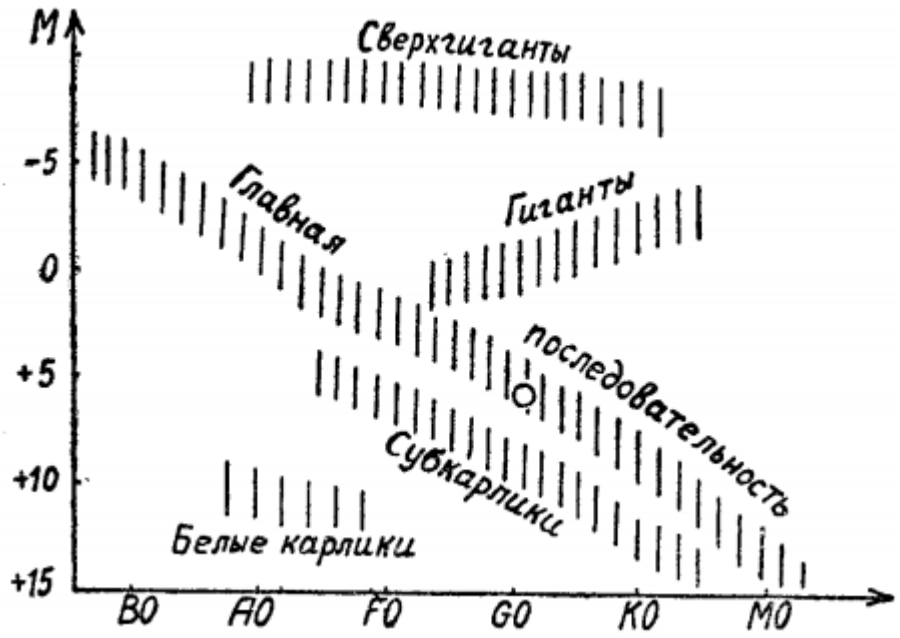


Рисунок 7.10.

Звезды главной последовательности – это звезды, в недрах которых идут термоядерные реакции с водородом (к ним относится и Солнце ⊙).

В 1938 г. Гетэ рассчитал эти реакции (водородные циклы).

Значение диаграммы.

1) Позволяет сделать двумерную классификацию звезд.
2) Практическое знание.
3) Эволюционное значение.

Звездный ветер – расширение атмосферы звезды. Вследствие, звездного ветра звезды теряют массу(худеют)

$$\Delta m_{\odot}^{\text{св}} \approx 10^{-14} - 10^{-15} m_{\odot} /\text{год}.$$

Звездная эволюция

Источник энергии большинства звезд –реакция с водородом $4\text{H} \rightarrow 2\alpha$ т.е. так называемые $(\text{p} - \text{p})$ циклы (протон-протонные). Далее $(N - C)$ – реакции требующие большую температуру.

Звезды рождаются группами в газопыльных комплексах.

Этапы эволюции типичной звезды.

I. Сжатие вещества за счет гравитационной силы → возникновение неоднородности в газопылевом облаке → взрыв центральной части → дальнейшее уплотнение → зарождение термоядерного синтеза. В итоге: рождение звезды в правом верхнем углу диаграммы Герцшпрунга – Рассела, выше главной последовательности. Потом звезда опускается на главную последовательность, начинается реакция с водородом.

II. Пребывание на главной последовательности, т.е. выгорание водорода (накопление гелия). Возраст звезд – это время пребывания на главной последовательности.

III. Фаза красного гиганта. По мере уменьшения массы звезды, падает температура в недрах, и если масса звезды будет меньше $2m_{\odot}$, то в звезде не зарождаются реакции с гелием. Происходит дестабилизация состояния звезды, при которой происходит разрыв оболочки и ядра (ядро дальше сжимается, т.е. происходит коллапс, а оболочка раздувается) в дальнейшем оболочка рассеивается или превращается в планетарную туманность.

IV. Белый карлик. Ядро звезды превращается в белого карлика, находящегося в центре этой планетарной туманности. Тлеет, остывает и превращается в черный карлик, который уже не излучает. Его радиус чуть больше радиуса Земли

$$R = 0{,}01R_{\odot}.$$

Конечные стадии жизни звезды определяются массой в конце реакции с водородом.

1) m<$1{,}2m_{\odot}$ (до $2m_{\odot}$) – белый карлик,

$$\rho = 10^6 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}, R = 0{,}01R_{\odot}.$$

2) $1{,}2m_{\odot}$< m< $2m_{\odot}$ (до $6m_{\odot}$) –нейтронная звезда

$$\text{p} \to n + \nu^e \ (\nu^e - \text{электронное нейтрино}),$$

$$\bar{\rho} = 10^{-14} - 10^{-15} \frac{\text{г}}{\text{см}^3}, \ \ R{\sim}10 - 30 \text{ км}.$$

3) $m > \ 2m_{\odot}$ – черная дыра.

4) При больших массах идут реакции с гелием (He).

Звезды, которых нет на диаграмме Герцшпрунга – Рассела.

1) Звезды Вальфа-Райе – горячие звезды, у которых оболочка рассеялась, а ядро осталось с температурой до 100 000 К.

2) Инфрокрасные звезды Т$\sim$1000 K – класс L

3) Коричневые карлики (это неудавшиеся звезды), если $0{,}07m_{\odot} \leq m < 100m_{\odot}$ следовательно реакции с водородом (полноценная звезда), если $m < 0{,}07m_{\odot}$, то реакции с водородом нет! Превращается в бродячую планету. $0{,}01m_{\odot} \leq m < 0{,}07m_{\odot}$. Большое количество таких объектов было замечено вблизи с «родильными донами».

СПИСОК БИБЛИОГРАФИЧЕСКИХ ССЫЛОК

1. Струве О., Линдс Б., Пилланс Э., Элементарная астрономия; “Наука”, 1964.
2. Дагаев М.М., Лабораторный практикум по курсу общей астрономии, “Высшая школа”, 1972.
3. Воронцов-Вельяминов Б.А., Сборник задач и практических упражнений по астрономии, изд. 6-е, “Наука”, 1974.
4. Миннарт М., Практическая астрономия, “Мир”, 1971.
5. Астрономический календарь. Постоянная часть, изд. 6-е, “Наука”, 1973. д
6. Астрономический календарь.
7. Куликов К.А., Курс сферической астрономии, изд. 2-е, “Наука”, 1969.
8. Рябов Ю.А., Движения небесных тел, изд. 2-е, Физматгиз, 1962
9. Демин В.Г., Судьба Солнечной системы, “Наука”, 1975.
10. Каплан С.Л., Элементарная радиоастрономия, “Наука”, 1966.
11. Мельников О.А., Слюсарев Г.Г., Марков А.В., Купревич Н.Ф., Современный телескоп, “Наука”, 1968.
12. Михельсон Н.Н., Оптические телескопы. Теория и конструкция, “Наука”, 1976.
13. Пикельнер С.Б., Солнце, Физматгиз, 1961.
14. Гуди Р. и Уокер Дж., Атмосферы, “Мир”, 1975.
15. Мартынов Д.Я., Планеты, решенные и нерешенные проблемы, “Наука”, 1970.
16. Вуд Дж., Метеориты и происхождение Солнечной системы, “Мир”, 1971.
17. Куликов К.А., Сидоренков Н.С., Планета Земля, “Наука”, 1972.
18. Жарков В.Н., Внутреннее строение Земли, Луны и планет, “Знание”, 1973.

19. Куликов К.А., Гуревич В.Б., Новый облик старой Луны, “Наука”, 1974.
20. Каплан С.А., Физика звезд, изд. 3-е, “Наука”, 1977.
21. Агекян Т.А, Звезды, галактики, Метагалактика, изд. 2-е, “Наука”, 1973.
22. Шкловский И.С., Вселенная, жизнь, разум, изд. 4-е, “Наука”, 1976.
23. Шкловский И.С., Звезды: их рождение, жизнь и смерть, “Наука”, 1975.
24. Ефремов Ю.Н., В глубины Вселенной, изд. 2-е, “Наука”, 1977.
25. Гинзбург В.Л., Как устроена Вселенная и как она развивается во времена, “Знание”, 1968.
26. Уикс Т.К., Астрофизика высоких энергий, “Мир”, 1972.
27. Аллер Л., Атомы, звезды, и туманности, “Мир”, 1976.

Учебное электронное издание

МОКРОВА Альбина Андреевна
КОЗЛИКОВ Роман Алексеевич

МЕТОДИЧЕСКИЕ
РЕКОМЕНДАЦИИ
ДЛЯ ШКОЛЬНИКОВ
ПО АСТРОНОМИИ
Учебное пособие

Издается в авторской редакции

Системные требования: Intel от 1,3 ГГц; Windows XP/7/8/10;
Adobe Reader; дисковод CD-ROM.

Тираж 25 экз.

Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых
Изд-во ВлГУ
rio.vlgu@yandex.ru

Кафедра физико-математического образования и информационных технологий
albina.mokrova@yandex.ru

Методические материалы рассмотрены и утверждены на заседании учебно-методической комиссии Педагогического института ВлГУ

протокол № 1 от 26 апреля 2022 г.

Председатель комиссии_____ (Артамонова М.В.)