

Костанайский государственный педагогический университет
им. У. Султангазина
Естественно-математический факультет
Кафедра физико-математических дисциплин

Телегина О.С.

АСТРОНОМИЯ

Учебно-методическое пособие для практикума

Костанай, 2018

ББК 22.6

Т 31

Автор: **Телегина О.С.**, старший преподаватель

Рецензенты: **Поезжалов В.М.**, к. ф.-м.н., профессор, Костанайского государственного университета им. А. Байтурсынова.

Демисенов Б.Н., к. ф.-м. н., ассоциированный профессор кафедры физико-математических дисциплин Костанайского государственного педагогического университета им. У. Султангазина.

Джумабеков А.З., учитель физики, педагог-мастер ГУ «Школа-гимназия № 3» отдела образования акимата г. Костанай.

Т 31 Телегина О.С.

Астрономия. Учебно-методическое пособие для практикума. – Костанай: КГПУ им. У. Султангазина, 2018. – 148 с.

В учебно-методическом пособии даётся описание занятий, которые проводятся для студентов специальности «Физика» при изучении дисциплины «Астрономия». По изучаемой теме приводится теоретическое введение, глоссарий, примеры решения задач, представлен ход работы или задачи, которые решаются в аудитории, а также вопросы и задания СРОП. Помимо этого, пособие снабжено справочным материалом и тестами для подготовки к рубежному контролю и экзамену.

Пособие предназначено для студентов специальности «Физика», а также могут быть полезны для учителей и учащихся школ. Материал некоторых занятий может быть использован при подготовке к занятиям по дисциплинам «Концепции современного естествознания» и «Вспомогательные исторические дисциплины».

© Костанайский государственный педагогический университет, 2018

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 Подвижная карта звёздного неба.....	5
2 Небесная сфера и системы астрономических координат.....	11
3 Малые звёздные атласы.....	15
4 Видимое движение звёзд на разных географических широтах.....	26
5 Видимое годичное движение Солнца по эклиптике и его следствия.	31
6 Время и его измерение.....	38
7 Календари.....	45
8 Законы Кеплера. Закон Всемирного тяготения.....	50
9 Оптические системы.....	58
10 Солнечная система.....	67
11 Земля.....	71
12 Физическая природа Солнца и звёзд.....	84
13 Кратные и переменные звёзды.....	93
14 Физика звёздных систем.....	99
15 Элементы космологии. Основы космогонии.....	111
Приложение А	
Астрономические постоянные.....	123
Приложение Б	
Международный астрономический союз.....	128
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	131
Тесты для самоконтроля.....	132

ВВЕДЕНИЕ

Методические рекомендации содержат требования и описания всех 15 лабораторных занятий по астрономии, которые проводятся для студентов специальности «Физика».

На занятиях в аудитории (темы №№ 1-6) осуществляется работа по ознакомлению с устройством, структурой и принципом работы астрономических приборов, таких как армиллярная сфера, небесный глобус, подвижная карта звёздного неба и телескоп. Также данные занятия предусматривают работу со звёздными каталогами и картами звёздного неба, а также астрономическими календарями и справочниками. Эти занятия посвящены изучению таких разделов астрономии как «Основы сферической астрономии» и «Основы практической астрономии». Перед выполнением такого рода заданий необходимо обязательно ознакомиться как с кратким теоретическим введением, так и с материалом в рекомендуемой литературе.

Остальные занятия проводятся в форме решения задач; такого рода занятия предваряются кратким теоретическим введением, в котором изложены основные понятия и формулы, позволяющие определить интересующие величины, и примеры решения типовых задач.

Необходимо помнить, что даже рекомендуемая литература содержит устаревшие сведения об изучаемых объектах (например, классификация тел солнечной системы, некоторые характеристики планет и их спутников, и т.д.), однако, значительная часть материала в классических учебниках по астрономии для студентов ВУЗов достаточна для успешного выполнения всех заданий на занятиях.

В случае благоприятных погодных условий, планируется проведение визуальных наблюдений объектов звёздного неба (Солнца и Луны) в утреннее и дневное время независимо от темы практического занятия или СРОП. Для наблюдений звёзд, Луны, планет, туманностей, галактик, организовываются наблюдения в вечернее время.

Внимание! При наблюдении Солнца необходимо соблюдать осторожность: строго выполнять все указания преподавателя, и ни в коем случае не рассматривать диск Солнца в телескоп без защитных фильтров. Это опасно для глаз!

1 Подвижная карта звёздного неба

Цель работы: сформировать навыки работы с подвижной картой звёздного неба при решении задач сферической и практической астрономии.

Оборудование: подвижная карта звёздного неба, малый звёздный атлас А.А. Михайлова, интерактивная ПКЗН.

Краткое теоретическое введение

Подвижная карта звёздного неба (ПКЗН) служит пособием для общей ориентировки по небу и, в частности, для определения расположения созвездий относительно истинного горизонта. На карте изображены сетка небесных экваториальных координат и основные созвездия, состоящие из сравнительно ярких звёзд.

Карта составлена в проекции А.А. Михайлова, в которой *небесные параллели* изображаются *концентрическими окружностями*, а *круги склонения* – *лучами*, выходящими из северного полюса мира, расположенного в центре карты. Рядом с ним находится главная звезда α созвездия Малой Медведицы, называемая Полярной звездой. Круги склонения проведены через 30° (2^h) и оцифрованы в часах по одной из небесных параллелей, вблизи внутреннего обреза карты. Небесный экватор и три небесных параллели с интервалом в 30° оцифрованы в точках их пересечения с начальным кругом склонения ($\alpha = 0^h$) и с диаметрально противоположным ему кругом склонения ($\alpha = 12^h$). Оцифровка кругов склонения и небесных параллелей позволяет грубо оценивать значения экваториальных координат небесных светил.

Эксцентрический овал, пересекающийся с небесным экватором в двух диаметрально противоположных точках, изображает *эклиптику*. Точки пересечения небесного экватора с эклиптической, называемые *точками равноденствий*, обозначаются специальными значками: точка весеннего равноденствия обозначается знаком Овна ($\alpha = 0^\circ$, $\delta = 0^h$), а точка осеннего равноденствия обозначается знаком Весов ($\alpha = 12^\circ$, $\delta = 0^h$).

Область карты, заключённая внутри небесного экватора, представляет собой северную небесную полусферу; остальная часть карты изображает пояс южной небесной полусферы, заключённой между небесным экватором и небесной параллелью со склонением $\delta = -45^\circ$. Небесные параллели южной небесной полусферы изображаются окружностями бóльшего радиуса, нежели небесный экватор. Поэтому изображения созвездий южной полусферы растянуты, и их вид несколько отличается от привычного вида тех же созвездий на небе.

По наружному обреза карты, называемому *лимбом дат*, нанесены календарные числа и названия месяцев года.

Накладной круг, прилагаемый к карте, позволяет установить вид звёздного неба для любого времени суток произвольно выбранного дня года. Для этой цели внешний обрез круга, называемый *часовым лимбом*, разделён на 24 часа, по числу часов в сутках. Штрихи на часовом лимбе нанесены через

каждые 10 мин. Часовой лимб оцифрован в системе среднего времени, и, строго говоря, это обстоятельство должно учитываться при пользовании подвижной картой. Однако в самом начале изучения звёздного неба можно, с некоторой погрешностью, полагать, что часовой лимб оцифрован в системе счёта времени, по которой живёт наблюдатель. По изучении же систем счёта времени нужно пользоваться часовым лимбом в системе среднего времени.

В накладном круге имеется овальный вырез, положение которого определяется *географической широтой места наблюдения*. Он вырезается по тому овалу (из числа начерченных на накладном круге), который оцифрован значением географической широты, близкой к географической широте места наблюдения. Контур овального выреза изображает *истинный* или *математический горизонт*, и на нём нанесены названия четырёх его главных точек – юга, запада, севера и востока. Между точками юга и севера полезно натянуть нить, изображающую небесный меридиан, т.е. большой круг небесной сферы, проходящий через полюс мира и зенит и пересекающийся с истинным горизонтом с точках севера и юга.

Положение *зенита* на нити определяется точкой её пересечения с небесной параллелью, склонение δ которой равняется географической широте φ места наблюдения: $\delta = \varphi$. В частности, если овал в накладном круге карты вырезан для широты $\varphi = +53^\circ$, то нужно на карте отметить небесную параллель с $\delta = +53^\circ$ и отметить на нити ту точку её пересечения с этой небесной параллелью, которая лежит вблизи центра выреза.

На накладных кругах некоторых подвижных карт звёздного неба у овального выреза (горизонта) накладного круга проставлена оцифровка в градусах – лимб азимутов, по которому можно приближённо оценивать азимуты небесных светил. Если такого лимба нет, то азимуты можно определять очень грубо.

Работа с подвижной картой звёздного неба

(изображение подвижной карты звёздного неба приведено в конце практической работы на рисунке 1).

Подвижная карта звёздного неба позволяет приближённо решать ряд задач практической астрономии. Так, для определения вида звёздного неба в некоторый момент времени заданного дня года (даты), нужно наложить накладной круг концентрично на звёздную карту таким образом, чтобы штрих часового лимба, указывающий данный момент времени, совпал со штрихом заданной даты, а небесный меридиан (нить) – всегда проходил через северный полюс мира. Тогда в асимметрично расположившемся овальном вырезе окажутся те звёзды, которые в заданный момент времени видны над горизонтом. Звёзды, находящиеся под горизонтом (и, следовательно, недоступные наблюдениям), будут закрыты накладным кругом. Над серединой овального выреза располагаются созвездия, находящиеся вблизи зенита. По направлениям от зенита к разным точкам истинного горизонта можно установить области небосвода, в которых находятся те или иные созвездия

(южная, северо-восточная, юго-западная и т.д.). При ориентировочной оценке допустимо делить небосвод на четыре области – восточную, южную, западную и северную, причём границами этих областей являются направления от зенита на точки северо-востока, юго-востока, юго-запада и северо-запада, лежащие на истинном горизонте.

Светила, которые окажутся на нити, проходят в данный момент времени через небесный меридиан (т.е. кульминируют). В верхней кульминации, т.е. к югу от северного полюса мира, находятся те светила, которые располагаются на нити между северным полюсом мира и точкой юга. Одни из них проходят через небесный меридиан к югу от зенита (между зенитом и точкой юга), другие – к северу от зенита (между зенитом и северным полюсом мира).

Те светила, которые располагаются на нити между северным полюсом мира и точкой севера (а также под ней, закрытые накладным кругом) находятся в данный момент времени в нижней кульминации и проходят небесный меридиан к северу от северного полюса мира.

Созвездия, восходящие в данный момент времени над горизонтом или заходящие за горизонт, следует искать соответственно на восточной или западной половине истинного гори зонта. Восточной половиной является дуга истинного горизонта от точки севера, через точку юга, до точки юга. Западной половиной является дуга истинного горизонта от точки юга, через точку запада, до точки севера.

По подвижной карте звёздного неба можно приблизительно указать день года (дату), в который то или иное светило восходит, кульминирует или заходит в данный момент времени суток. В этом случае, поворачивая накладной круг, устанавливают его на карте так, чтобы выбранное светило заняло заданное положение (восход, кульминация, заход). Тогда штрих часового лимба, обозначающий заданный момент времени, совпадает с искомым днём на лимбе дат (или задача ставится наоборот: в указанную дату определить время восхода, кульминации или захода интересующего нас светила).

Многие звёзды в момент нижней кульминации оказываются под горизонтом, и их закрывает накладной круг карты. В этом случае для определения времени и даты накладной круг из своего нормального (симметричного) положения сдвигается в направлении невидимой звезды до её появления в точке севера. Нить (небесный меридиан) проводится через эту звезду и северный полюс мира, и затем весь накладной круг аккуратно сдвигается в обратном направлении, в сторону точки юга до прежнего концентрического положения (данная звезда опять окажется под горизонтом). Уже после этого с часового лимба и с лимба даты снимаются необходимые показания.

С помощью подвижной карты можно определить примерное время восхода и захода Солнца на данную дату. Для этого на лимбе чисел карты необходимо выбрать интересующую дату, затем с помощью линейки (или мысленно) соединить прямой линией отметку даты на лимбе дат и северный полюс мира. Точка пересечения этой линии с эклиптической – есть *примерное*

положение Солнца на данную дату. Восход и заход этой фиктивной точки (эти моменты определяются также как моменты восхода и захода звёзд) представляют собой моменты восхода и захода Солнца.

Восход, заход и кульминации Луны и планет нельзя определить с помощью подвижной карты звёздного неба, т.к. в одну и ту же дату, но разные года эти светила бывают в разных точках небесной сферы. Данные о восходах, заходах и кульминациях (а также *конфигурации*, фазы, и другая информация) помещаются в специальные таблицы – *эфемериды*. Эти таблицы издаются в специальных ежегодниках – *астрономических календарях*.

Ход работы

1. Установите подвижную карту звёздного неба на день и час занятий и укажите расположение созвездий на небесной сфере, отдельно отметив восходящие и заходящие в это время созвездия.
2. Выполните пункт 1 для дат, которые задаются преподавателем.
3. Установите подвижную карту звёздного неба последовательно на 0^h , 6^h , 12^h , 18^h местного среднего солнечного времени для 1 января, и укажите расположение в эти моменты времени созвездий Большой Медведицы, Кассиопеи, Ориона, Лебеда и Девы. Сформулируйте выводы о характере и причине изменения вида звёздного неба в течение суток.
4. Выполните пункт 3 для следующих дат: 22 апреля, 18 июля, 16 октября.
5. Определите день года, в который в 8^h30^m местного среднего солнечного времени в верхней кульминации находится звезда: Вега, Альдебаран, Арктур, Денеб, Капелла, Алголь, Спика, Регул, Беттельгейзе, Фомальгаут.
6. Определите дату, в которую те же звёзды в тот же момент суток находятся в нижней кульминации.
7. В дни 21 марта, 22 июня, 23 сентября и 22 декабря найдите моменты времени восхода, верхней кульминации, захода и нижней кульминации звёзд: Альтаир, Сириус, Поллукс, Ригель, Антарес, Беллатрикс, Процион, Кастор, Расальхаг, Капелла.
8. Определите время восхода и захода Большой Медведицы, Кассиопеи и Водолея в день года по заданию преподавателя.
9. Из анализа результатов пунктов 5-8 сформулируйте выводы:
 - о продолжительности промежутка времени между моментами верхней и нижней кульминации одних и тех же звёзд в пределах суток;
 - об изменении моментов времени восхода, кульминаций и захода звёзд на протяжении года, указав направление, величину этого изменения за полгода, за полмесяца и за сутки;
 - об условиях видимости различных созвездий в данном месте наблюдения.

Задания и вопросы СРОП

1. Что называется созвездием?
2. Что называется эклиптической?
3. Назовите основные точки линий истинного горизонта и эклиптики.

4. Почему точки запада и востока смещены в сторону точки севера на накладном круге подвижной карты звёздного неба?
5. Почему эклиптика смещена относительно небесных параллелей и небесного экватора, т.е. не является эксцентрической окружностью?
6. Почему время восхода и захода звёзд и Солнца, определённое по подвижной карте звёздного неба не совпадает со временем, которое можно определить из непосредственных наблюдений?
7. Почему изображения созвездий южной полусферы растянуты, и их вид несколько отличается от привычного вида тех же созвездий на небе?
8. В течение недели (если позволяют погодные условия) понаблюдайте за объектами звёздного неба с помощью ПКЗН. Наблюдения занесите в тетрадь, отметив: созвездия, которые видны во время вечерних наблюдений (отождествить их с расположением на подвижной карте), названия наиболее ярких звёзд, на данный момент времени отметить восходящие, заходящие и кульминирующие созвездия и звёзды.
9. Можно ли пользоваться имеющейся подвижной картой звёздного неба находясь: в северных широтах, в южных широтах, в экваториальной зоне. Ответ обоснуйте.
10. Можно ли пользоваться подвижной картой звёздного неба для определения моментов восхода, захода и кульминаций Луны и планет? Ответ обоснуйте.

Литература

1. Кононович Э.В., Мороз В.И. Общий курс астрономии: Учебное пособие /Под ред. В.В. Иванова. Изд. 2-е, испр. – М.: Едиториал УРСС, 2004. – 544 с. (Классический университетский учебник).
2. Куликовский П.Г. Справочник любителя астрономии /Под ред. В.Г. Сурдина. Изд. 5-е, перераб. и полн. обновл. – М.: Эдиториал УРСС, 2002. – 688 с.
3. Куликов К.А. Курс сферической астрономии. – М.: Наука, 1974. – 232 с.
4. Дагаев М.М. Лабораторный практикум по курсу общей астрономии. – М.: Высшая школа, 1972. – 424 с.
5. Воронцов-Вельяминов Б.А. Сборник задач и практических упражнений по астрономии. – М.: Наука, 1977 – 284 с.
6. Астрономический календарь ВАГО: постоянная часть. – М.: Наука, 1981, гл. 1. – 704 с.
7. Курышев В.И. Практикум по астрономии: Учеб. пособие для студентов физ. и мат. спец. пед. ин-тов. – М.: Просвещение, 1986. – 144 с.
8. <http://spacescience.ru/>

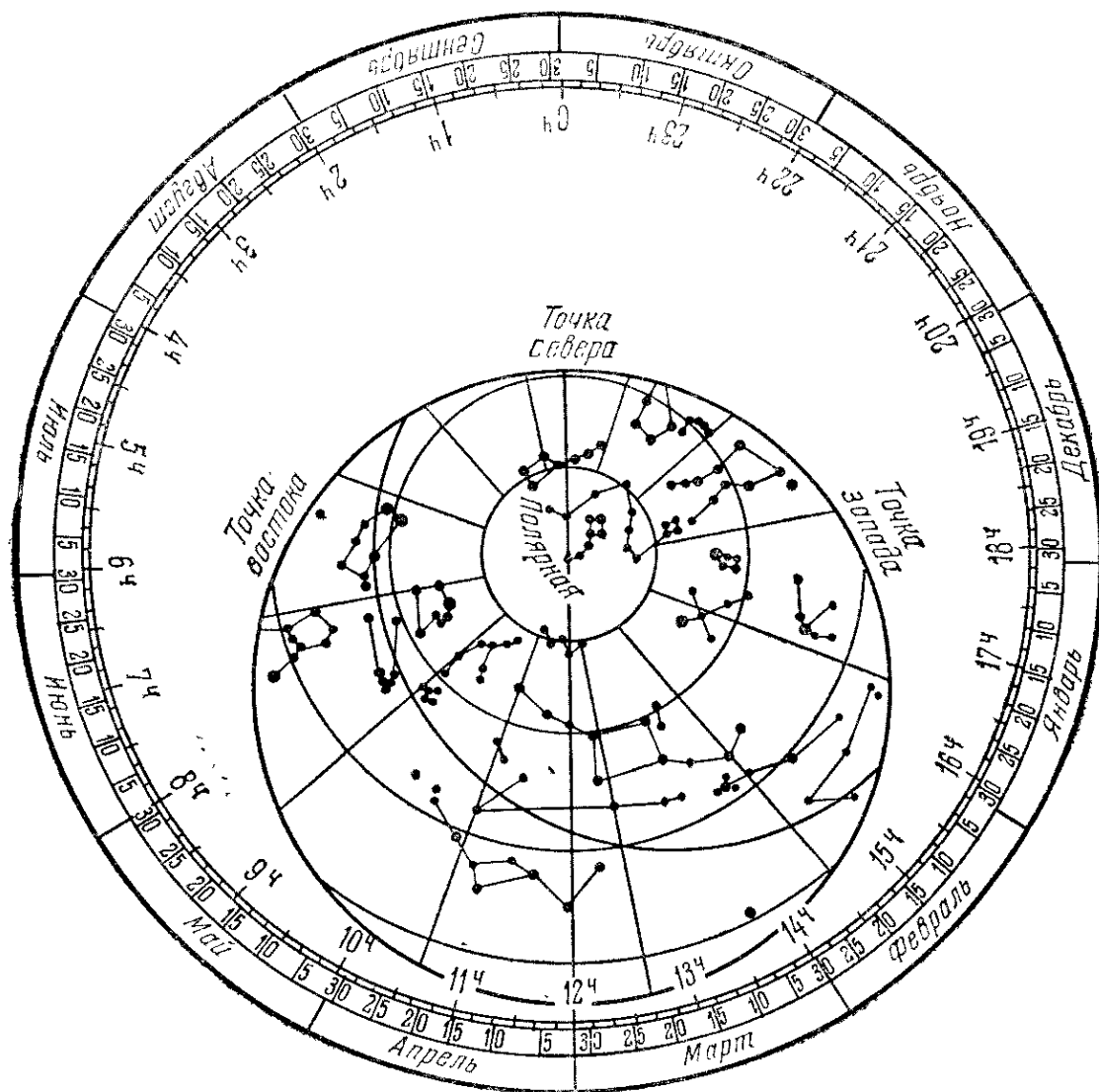


Рисунок 1. Подвижная карта звёздного неба

2 Небесная сфера и системы астрономических координат

Цель работы: изучить основные элементы небесной сферы и системы астрономических координат.

Оборудование: модель небесной сферы, небесный глобус.

Краткое теоретическое введение

Основным пособием при изучении темы служит модель *небесной сферы* – воображаемая вспомогательная сферическая поверхность произвольного радиуса с центром в любой произвольно выбранной точке пространства (в точке наблюдения, в центре Земли, Солнца, Луны, планеты).

На небесную сферу проецируют видимые положения светил. Положение светила на небесной сфере определяется точкой её пересечения с прямой, соединяющей центр небесной сферы с центром светила. Измерения на небесной сфере производятся только в угловых (дуговых) единицах. Между угловыми единицами, выраженными в градусах (минутах, секундах) дуги и единицах времени (d (d) – сутки, $ч$ (h) – час, $м$ (m) – минута, $с$ (s) – секунда), существуют соотношения:

$$360^\circ \sim 24^h$$

$$15^\circ \sim 1^h$$

$$15' \sim 1^m$$

$$15'' \sim 1^s.$$

Основные направления и основные плоскости небесной сферы:

1. *отвесная линия* и перпендикулярная ей *плоскость математического горизонта*;
2. *ось мира* (параллельная оси вращения Земли) и перпендикулярная ей *плоскость небесного экватора*;
3. *ось эклиптики* и перпендикулярная ей *плоскость эклиптики*.

Плоскость небесного меридиана проходит через центр небесной сферы, отвесную линию и ось мира.

Плоскости, проходящие через центр небесной сферы, в сечении дают большие круги: *математический горизонт*, *небесный экватор*, *эклиптику*, *небесный меридиан* и т.д. Отдельные металлические круги, изображающие как большие, так и малые круги небесной сферы – это *альмукуантараты* и *суточные параллели*.

Вращение Земли вокруг своей оси происходит в направлении от запада к востоку, т.е. против часовой стрелки; это направление принято называть *прямым*. Вращение небесной сферы есть следствие вращения Земли. Осью вращения Земли является *ось мира*. Для наблюдателя в северном полушарии Земли, стоящего лицом в сторону юга, вращение Земли будет происходить *слева направо* (по ходу часовой стрелки), т.е. от востока к западу через юг. Во вращении небесной сферы не участвуют круги небесного меридиана, горизонта, альмукуантараты, а также отвесная и полуденная линии.

Изменяя положение небесной сферы относительно математического горизонта, наклонение оси мира к горизонту можно сделать любым и тем самым установить сферу для наблюдателя на любой географической широте φ , равной высоте полюса мира над горизонтом или зенитному расстоянию южной точки экватора.

Основные точки небесной сферы (рис. 1):

1. *зенит* и *надир* (Z и Z') – точки пересечения отвесной линии с небесной сферой;
2. *северный* (P) и *южный* (P') *полюсы мира* – точки пересечения оси мира с небесной сферой;
3. точки горизонта: *север* (C , или N) и *юг* ($Ю$, или S) – точки пересечения математического горизонта с небесным меридианом; *восток* (B , или E) и *запад* ($З$, или W) – точки пересечения математического горизонта с небесным экватором; большой круг небесной сферы, проходящий через точки зенита, надира, востока и запада, называется *первым вертикалом*;
4. основные точки эклиптики: *весеннее* и *осеннее равноденствия*, *летнее* и *зимнее солнцестояния*.

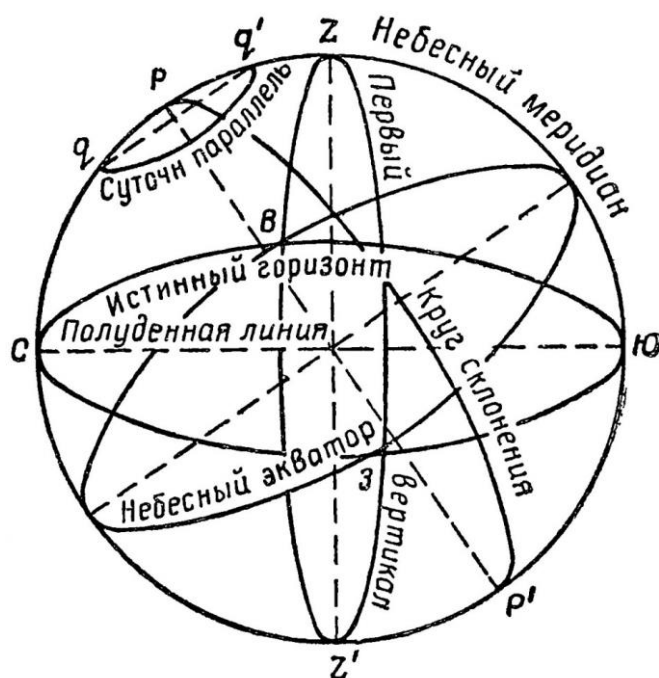


Рисунок 1. Основные линии и точки небесной сферы

Взаимное расположение и видимые движения небесных светил устанавливаются с помощью избранной системы астрономических координат. Идея способа определения координат светила (точки небесной сферы) аналогична идее определения географических координат пункта на земной поверхности.

Выбирают основной круг небесной сферы (математический горизонт, небесный экватор, эклиптику и др.), названию которого соответствует название системы координат, и из полюса системы (точек зенита, полюса мира, полюса эклиптики и др.) проводят через светило дугу большого круга (круг

возвышения) до пересечения с основным кругом. Первую координату (астрономический азимут, часовой угол, прямое восхождение, эклиптическую долготу и др.) измеряют дугой основного круга от избранного (условного) начала отсчета (от точки юга, верхней (южной) точки экватора, точки весеннего равноденствия и др.) до соответствующего круга возвышения (кругов высоты, склонения, эклиптической широты). Вторая координата (высота, склонение, эклиптическая широта и др.) измеряется дугой круга возвышения от основного круга до светила.

Для определения положения точки весеннего равноденствия необходимо, прежде всего, установить правильное направление вращения небесной сферы. Следует помнить, что Солнце движется по эклиптике навстречу вращению сферы, т.е. в прямом направлении, с запада на восток. Из двух точек равноденствия точкой весеннего равноденствия будет та, в которой находится Солнце, переходя из южного полушария в северное. Точка весеннего равноденствия – точка начала отсчета прямых восхождений в экваториальной системе координат и долгот в эклиптической системе координат.

Ход работы

1. Изучите устройство модели небесной сферы (армилярной сферы), и укажите на ней основные элементы: плоскости, линии и точки.
2. Выполните чертежи небесной сферы, на которых изобразите: основные линии, точки и плоскости; горизонтальную и экваториальные системы координат (1-ю и 2-ю) для одного и того же светила.
3. Изучите устройство небесного глобуса, укажите на нём основные элементы небесной сферы.
4. По модели (чертежу) небесной сферы определите горизонтальные и экваториальные координаты основных точек небесной сферы (северного и южного полюсов мира; зенита и надира; севера, юга, запада и востока; северного и южного полюсов эклиптики, точек равноденствия и солнцестояний).
5. Меняя угол наклона оси мира к плоскости математического горизонта, установите последовательно небесную сферу для наблюдателя, находящегося на экваторе, в средних широтах, на полюсе, и рассмотрите при этом положение основных точек, линий и плоскостей небесной сферы.
6. Изобразите на чертеже небесную сферу:
 - в проекции на плоскость математического горизонта;
 - в проекции на плоскость небесного экватора;
 - в проекции на плоскость небесного меридиана;
 - в проекции на плоскость первого вертикала.
7. Проанализируйте изменение (или постоянство) положения элементов небесной сферы при изменении широты места наблюдения.

Задания и вопросы СРОП

1. В какой точке неба склонение равно -90° ?
2. Чему равно склонение точки зенита на географической широте $+53^\circ$?
3. Почему удобно считать астрономические азимуты в направлении юг-запад-север-восток?
4. Почему счёт прямых восхождений ведётся с запад на восток, а не в обратном направлении?
5. Азимут светила 45° , высота 60° . В какой стороне неба надо искать это светило?
6. Светило имеет часовой угол $t = 18$ ч. В какой части небесной сферы оно видно?
7. Прямое восхождение звезды, равное $284^\circ 15' 17''$; выразите в часах, минутах и секундах.
8. Прямое восхождение звезды, равное $3^h 17^m 9^s$; выразите в градусной мере.
9. Чему равен часовой угол звезды через 6 часов после её верхней кульминации?
10. Чему равно звёздное время, если звезда с прямым восхождением $21^h 9^m 23^s$ имеет часовой угол $98^\circ 11' 15''$ к востоку?
11. Найдите геометрическое место точек сферы, для которых астрономическая долгота равна прямому восхождению.
12. Найдите те точки сферы, для которых широта равна склонению и долгота равна прямому восхождению.
13. Каково склонение звёзд, которые в любом месте Земли могут быть видимы на горизонте?
14. При каких условиях азимут звезды не меняется от её восхода до кульминации?
15. Вычислите зенитное расстояние и азимут α Льва ($\alpha = 10^h 4^m, 7$; $\delta = +12^\circ 18'$) в Москве ($\varphi = 55^\circ 45'$) для момента звёздного времени $s = 5^h 23^m, 8$.

Литература

1. Кононович Э.В., Мороз В.И. Общий курс астрономии: Учебное пособие /Под ред. В.В. Иванова. Изд. 2-е, испр. – М.: Едиториал УРСС, 2004. – 544 с. (Классический университетский учебник).
2. Куликовский П.Г. Справочник любителя астрономии /Под ред. В.Г. Сурдина. Изд. 5-е, перераб. и полн. обновл. – М.: Эдиториал УРСС, 2002. – 688 с.
3. Куликов К.А. Курс сферической астрономии. – М.: Наука, 1974. – 232 с.
4. Дагаев М.М. Лабораторный практикум по курсу общей астрономии. – М.: Высшая школа, 1972. – 424 с.
5. Астрономический календарь ВАГО: постоянная часть. – М.: Наука, 1981, гл. 1. – 704 с.
6. Курьшев В.И. Практикум по астрономии: Учеб. пособие для студентов физ. и мат. спец. пед. ин-тов. – М.: Просвещение, 1986. – 144 с.

7. Воронцов-Вельяминов Б.А. Сборник задач и практических упражнений по астрономии. – М.: Наука, 1977 – 284 с.
8. <http://spacescience.ru/>

3 Малые звёздные атласы

Цель работы: ознакомиться с содержанием малых звёздных атласов и их использованием при изучении звёздного неба.

Оборудование: Малый звездный атлас Михайлова А.А., учебный звёздный атлас Марленского А.Д., «немые» карты звёздного неба, фотографии участков звёздного неба, интерактивные карты звёздного неба.

Краткое теоретическое введение

Звёздные атласы служат пособием при изучении звёздного неба и при выполнении научно-исследовательских работ по астрономии. Они состоят из нескольких звёздных карт, каждая из которых изображает определённую область неба. Так как принципиально невозможно развернуть и совместить сферическую поверхность (небесную сферу) с плоскостью карты, то единственным способом изображения звёздного неба на картах является проектирование звёзд с небесной сферы на плоскость карт. Системы проекции выбираются такими, чтобы изображаемые на картах созвездия претерпевали при проектировании наименьшие искажения, т.е. чтобы вид созвездий на картах практически не отличался от вида этих же созвездий на небе.

Для начального изучения звёздного неба удобны малые звёздные атласы, содержащие небольшое количество карт, ограниченное число звёзд, границы и названия созвездий.

Звёздный атлас Михайлова А.А. состоит из четырёх карт, на которых нанесены все видимые невооруженным глазом звёзды северного полушария и большей части южного полушария. На смежных картах имеется по несколько одних и тех же созвездий, облегчающих переход от одной карты к другой при изучении звёздного неба. Первая карта изображает северную полярную область неба и прилегающие к ней окрестности; центром карты является северный полюс мира. Сетка небесных экваториальных координат нанесена тонкими черными сплошными линиями: круги склонения – радиусами, небесные параллели – концентрическими окружностями. Круги склонения оцифрованы в часах, от 0^h до 23^h ; эти цифры обозначают прямое восхождение каждого круга склонения. Небесные параллели оцифрованы в градусах числами, расположенными вдоль одного круга склонения. Оцифровка небесных параллелей обозначает их склонение, т.е. угловое расстояние от небесного экватора. Остальные три карты изображают экваториальный пояс неба, с прилегающими к нему окрестностями, и составлены в равнопромежуточной цилиндрической проекции: круги склонения изображены прямыми линиями, параллельными боковым обрезами карты, а небесные параллели – прямыми, параллельными верхнему и нижнему обрезами карты. Небесный экватор

выделен более жирной линией и оцифрован 0° . Выше него расположена северная небесная полусфера (склонение в ней положительно), а ниже – южная небесная полусфера (склонение в ней отрицательно). Синусоидальная линия на этих картах изображает эклиптику, т.е. путь видимого годового движения Солнца на фоне звёзд, обусловленного действительным годовым обращением Земли вокруг Солнца. На обрезах карт нанесена штриховка, позволяющая отсчитывать приближенные значения экваториальных координат небесных объектов, изображённых на картах.

Красные цифры на обрезах карт обозначают даты (числа месяцев), в среднюю полночь которых круги склонения, оцифрованные ими, находятся в верхней кульминации, т.е. совпадают в этот момент с южной половиной небесного меридиана. В этот же момент Солнце находится вблизи диаметрально противоположного круга склонения, совпадающего с северной половиной небесного меридиана, т.е. находится вблизи нижней кульминации.

На картах изображены только те небесные объекты, экваториальные координаты которых (прямое восхождение и склонение) остаются неизменными в течение длительных промежутков времени. Однако, экваториальные координаты этих объектов все же изменяются, хотя и очень медленно. Это изменение вызвано главным образом поворотом экваториальной сетки координат, связанного с медленным поворотом земной оси (явление прецессии). Поэтому карты звёздных атласов составляются по положению координатной сетки и значениями координат небесных объектов на начало определенного года, называемого *эпохой карт* или *эпохой равноденствия*. Эпохой карт малого звёздного атласа А.А. Михайлова является 1950.0, т.е. начало 1950 года.

На картах написаны названия созвездий; звёзды обозначены буквами греческого и латинского алфавита. Собственные имена звёзд, русские и латинские названия созвездий и списки различных объектов приведены в таблицах атласа, предшествующих картам. Списки объектов содержат их основные характеристики и составлены в порядке возрастания прямого восхождения.

Границы созвездий на картах изображены такими, какими их установил I съезд Международного астрономического союза (МАС).

Наряду со звёздным атласом А.А. Михайлова для изучения звёздного неба используется «Учебный звёздный атлас» А.Д. Марленского, который состоит из 15 карт и составлен на эпоху 1950.0

В сети интернет можно найти как оцифрованные карты (например, <https://sheba.spb.ru/shkola/astronom-atlas-1970.htm>, <http://mixail-63.narod.ru/Constellation/azn/azn.htm>), так и ресурсы, которые позволяют исследовать объекты звёздного неба он-лайн, к ним относятся, например, программы: http://www.m31.spb.ru/StarCalc/files_rus.htm, <http://stellarium.org/ru/>, <http://celestia.sourceforge.net/>, <https://androidapplications.ru/programs/5842-sky-map.html>.

Сведения о некоторых каталогах

Звёздный каталог – упорядоченный перечень характеристик набора звёзд. Как правило, каталоги включают наименование звезды, её координаты, а также ряд других характеристик – видимую и абсолютную звёздные величины, спектральный класс, расстояние, тип переменности, и т.д. Количество объектов, включаемых в каталоги звёзд, зависит от их назначения – от нескольких десятков или сотен в специализированных каталогах до перечней громадного объёма, подобных каталогу гидировочных звёзд, включающему 19 млн. объектов.

Каталог Боннского обозрения – звёздный каталог, включающий координаты около 450 тыс. звёзд до предельной величины $+9,5^m$. Каталог опубликован в течение 1859-1887 гг. и охватывает небо до склонения -23° . Обозначения звёзд по Боннскому каталогу, в особенности слабых, используется и в настоящее время. Обозначение звезды состоит из сокращённого названия каталога – «BD» (Bonner Durchmusterung), числа, задающего зону каталога по склонению (в градусах), и порядкового номера звезды в этой зоне, например: BD+12°1234.

Каталоги Кордобского обозрения (Cyrdoba Durchmusterung – CD или CoD) и *Канского обозрения* (Cape Durchmusterung – CPD) – опубликованы позже каталога Боннского обозрения, но дополняют этот каталог до Южного полюса мира, имея между собой значительные перекрытия по зонам.

Каталог Hipparcos – каталог, включающий координаты, расстояния, собственные движения и блеск около 118 000 звёзд, составленный по данным измерений астрометрического спутника Hipparcos. Погрешность данных каталога Hipparcos составляет около $0,001''$. Каталог доступен по <http://archive.ast.cam.ac.uk/hipp/>.

Каталог Tycho – каталог координат и звёздных величин 1 058 000 звёзд, полученный с помощью астрометрического спутника Hipparcos. Точность измерений координат каталога колеблется от $0,007''$ до $0,025''$. Каталог доступен по <http://archive.ast.cam.ac.uk/hipp/>.

Каталог Абеля – каталог скоплений галактик.

Каталог Генри Дрепера – каталог спектральных классов звёзд, составленный в начале XX века на Гарвардской обсерватории; большая часть работ по созданию каталога была выполнена Энни Кэнон (1863-1941 гг.). Вместе с дополнениями каталог содержит данные около 350 000 звёзд.

Каталог гидировочных звёзд – каталог, включающий основные данные для приблизительно 15 млн. звёзд и 4 млн. незвёздных объектов. Каталог («guide star catalog» – GSC) создавался для обеспечения работы космического телескопа им. Хаббла. Каталог доступен по <http://archive.eso.org//gsc/gsc/>. Его база данных включена в ряд электронных атласов неба. Обновлённая версия каталога – GSC II будет содержать данные для 500 млн. объектов.

Каталог Колдуэлла – каталог из 109 наиболее интересных объектов, доступных для наблюдения с малыми телескопами, составленный в 1995 году сэром Патриком Колдуэллом Муром. Каталог включает часть объектов

каталога Месье, но, в отличие от него, охватывает всё небо, и номера объектов в нём последовательно увеличиваются с севера на юг. Объекты в каталоге обозначаются буквой «С» плюс номер объекта, например, звёздное скопление h и χ Персея обозначено как С14.

Каталог Коллиндера – каталог, включающий данные для 471 рассеянного скопления, опубликованный на обсерватории Лунд в 1931 году.

Каталог Месье – каталог 109 диффузных объектов, наблюдаемых в небольшой телескоп, составленный ловцом комет Шарлем Месье между 1771 и 1781 годами. Целью составления каталога было облегчение поиска комет путём исключения объектов, напоминающих кометы по внешнему виду. Объекты каталога Месье обозначаются комбинацией прописной буквы М и порядкового номера. Например, Крабовидная туманность в созвездии Тельца имеет обозначение М1.

Каталог Цвики – каталог, составленный на основе пластинок Паломарского обзора неба, включающий данные около 40 000 галактик и скоплений галактик, составленный и опубликованный в 1968 году под руководством Фрица Цвики. Официальное название каталога – «Каталог галактик и скоплений галактик».

Дополнительный Гарвардский каталог – каталог, включающий около 9000 звёзд до $6,5^m$, опубликованный в 1908 году. Впоследствии он стал основой каталога ярких звёзд.

Каталог ярких звёзд – каталог звёзд ярче $6,5^m$, впервые опубликован обсерваторией Йельского университета в 1930 году; включает более 9000 звёзд.

Каталоги Гершелей – серия каталогов незвёздных объектов, составленных между 1786 и 1847 годами сэром Вильямом Гершелем и его сыном – сэром Джоном Гершелем (а также сестрой В. Гершеля – Каролиной Гершель), включающих данные около 6500 объектов. Позднее большинство объектов, открытых Гершелями, вошло в Новый общий каталог. Ссылки на каталоги встречаются редко; в этих случаях объекты обозначаются буквами Н (сэр Вильям) и h (сэр Джон), например: Н1.210 или h2409.

Слоановский цифровой обзор неба – цифровой обзор неба, выполняемый на обсерватории Апачи Пойнт (штат Нью-Мексико, США). В процессе обзора планируется охватить около четверти площади небесной сферы и получить информацию о более чем 100 млн. объектов: <http://www.sdss.org/>.

Также существуют другие цифровые обзоры неба, которые являются электронными версиями, например, Центра астрономических данных в Страсбурге (<http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/>), базы данных внегалактических объектов Лион-Медон (<http://leda.univ-lyon1.fr/>, <https://observatoire.univ-lyon1.fr/>), базы данных внегалактических объектов НАСА, Паломарского обзора неба.

На сайте http://www.galactic.name/directory/star_map_archive.php размещены карты неба по месяцам.

Ход работы

(карты звёздного неба приведены на рисунках 1-5 в конце текста практической работы).

1. Укажите границы карт звёздного атласа по прямому восхождению и склонению.
2. Определите цену наименьшего деления штриховки карт звёздного атласа.
3. Поясните условные обозначения на картах.
4. По картам звёздного атласа определите экваториальные координаты, характеристику и видимую звёздную величину пяти наиболее ярких звёзд по заданию преподавателя.
5. По картам и спискам объектов звёздного атласа определите названия, принадлежность к созвездиям, основные характеристики и уточнённые экваториальные координаты небесных объектов, приближённые экваториальные координаты которых задаёт преподаватель.
6. По «немым» картам отождествите созвездия, назовите наиболее яркие звёзды, укажите объекты, которые расположены в пределах данных созвездий.
7. На картах укажите: галактический экватор, галактические полюса, эклиптику, полюса эклиптики, точки равноденствий и солнцестояний, апекс движения Солнца.

Задания и вопросы СРОП

1. Какие созвездия можно назвать «яркими»?
2. Что такое *астеризм*? Найдите на картах астеризмы.
3. Назовите звёзды, которые составляют летний и зимний треугольники.
4. Укажите на звёздных картах «Большой квадрат».
5. Укажите на звёздных картах «Северный крест».
6. Назовите созвездия, по которым проходит Млечный Путь.
7. Назовите циркумполярные созвездия северного и южного полушарий.
8. Назовите самое большое и самое маленькое созвездия.
9. Почему на картах звёздное небо разбито на 89 участков, тогда как число созвездий равно 88?
10. Проследите по картам видимый путь Солнца по созвездиям. Выпишите в тетради промежутки времени, в течение которых Солнце находится в том или ином созвездии.
11. Почему некоторые звёзды на картах атласов обозначены буквами не греческого, а латинского алфавита?
12. Какие проекции использовались для изображения полярной и экваториальной области звёздного неба?
13. Как называется раздел астрономии, изучающий происхождение названий звёздного неба?
14. Как выглядят созвездия для наблюдателя, находящегося: 1) на северном географическом полюсе Земли; 2) на экваторе; 3) в средних широтах южного полушария Земли; 4) на нашей широте в западном полушарии Земли; 5) на Марсе?

15. Расскажите о происхождении названий созвездий северного и южного полушарий небесной сферы.

Литература

1. Кононович Э.В., Мороз В.И. Общий курс астрономии: Учебное пособие /Под ред. В.В. Иванова. Изд. 2-е, испр. – М.: Едиториал УРСС, 2004. – 544 с. (Классический университетский учебник).
2. Куликовский П.Г. Справочник любителя астрономии /Под ред. В.Г. Сурдина. Изд. 5-е, перераб. и полн. обновл. – М.: Эдиториал УРСС, 2002. – 688 с.
3. Куликов К.А. Курс сферической астрономии. – М.: Наука, 1974. – 232 с.
4. Дагаев М.М. Лабораторный практикум по курсу общей астрономии. – М.: Высшая школа, 1972. – 424 с.
5. Воронцов-Вельяминов Б.А. Сборник задач и практических упражнений по астрономии. – М.: Наука, 1977 – 284 с.
6. Астрономический календарь ВАГО: постоянная часть. – М.: Наука, 1981, гл. 1. – 704 с.
7. Курьшев В.И. Практикум по астрономии: Учеб. пособие для студентов физ. и мат. спец. пед. ин-тов. – М.: Просвещение, 1986. – 144 с.
8. <http://iaaras.ru/about/issues/yearbook/2018/> – сайт астрономического ежегодника.

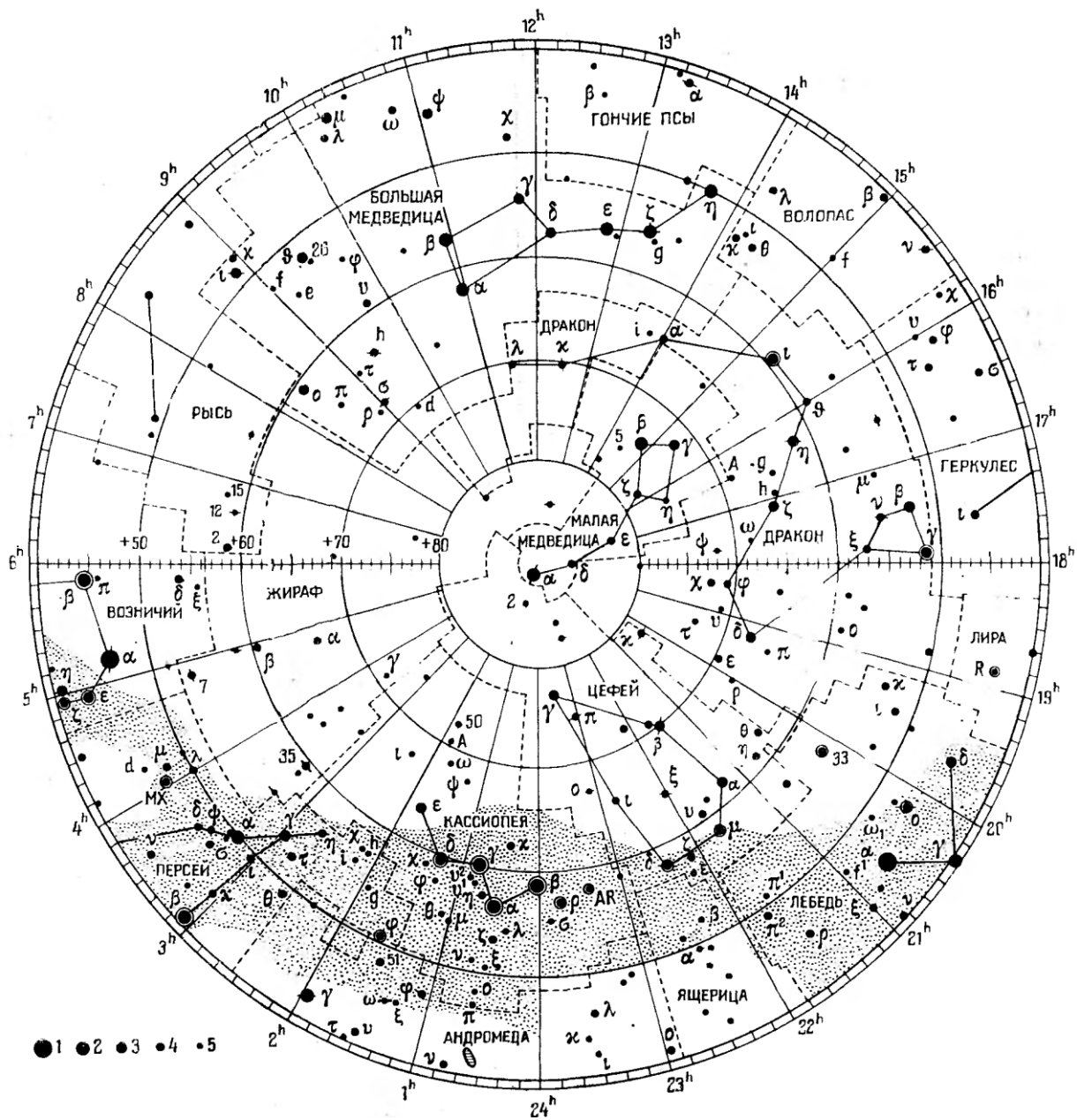


Рисунок 1. Северная часть звёздного неба

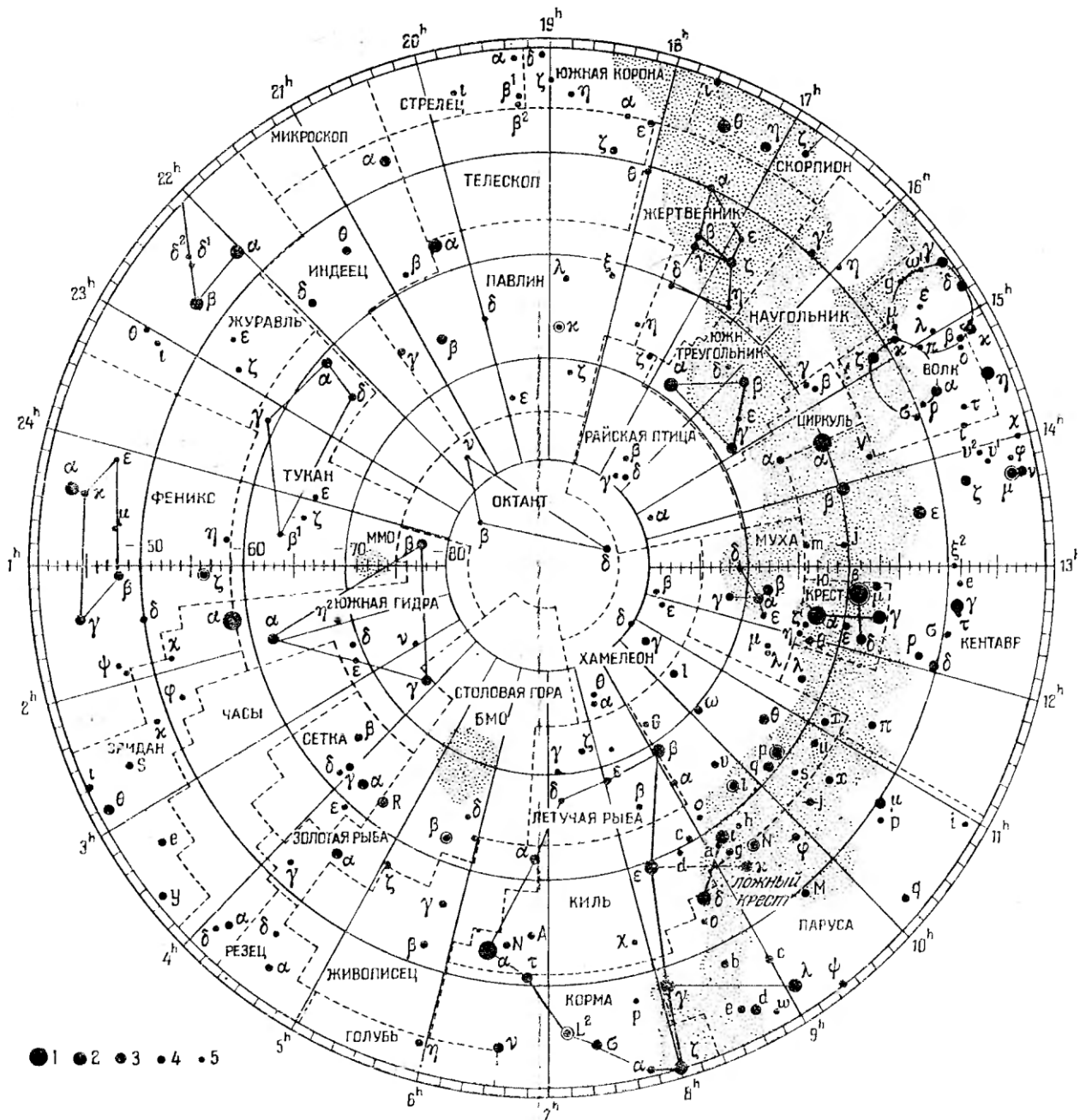
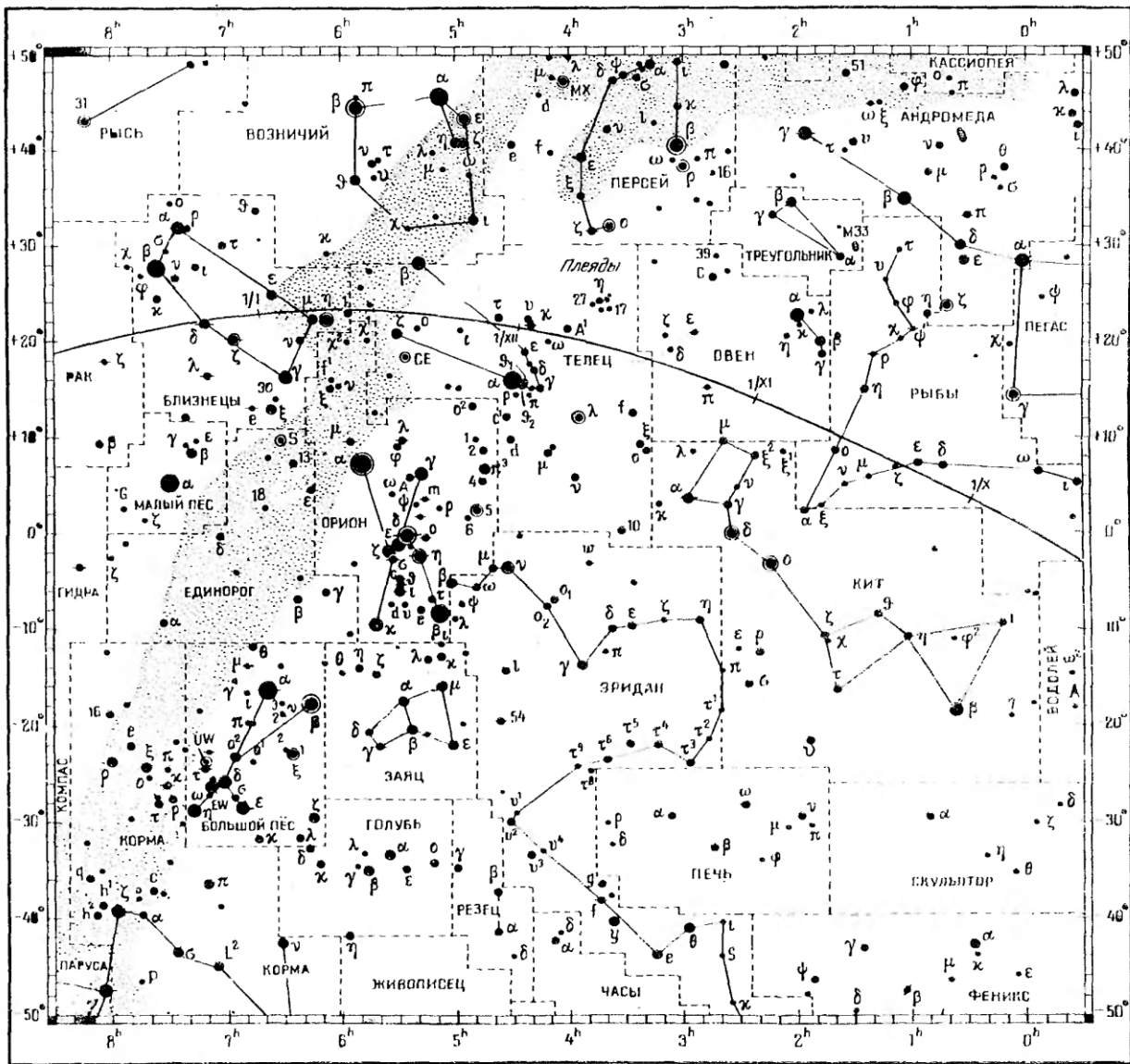
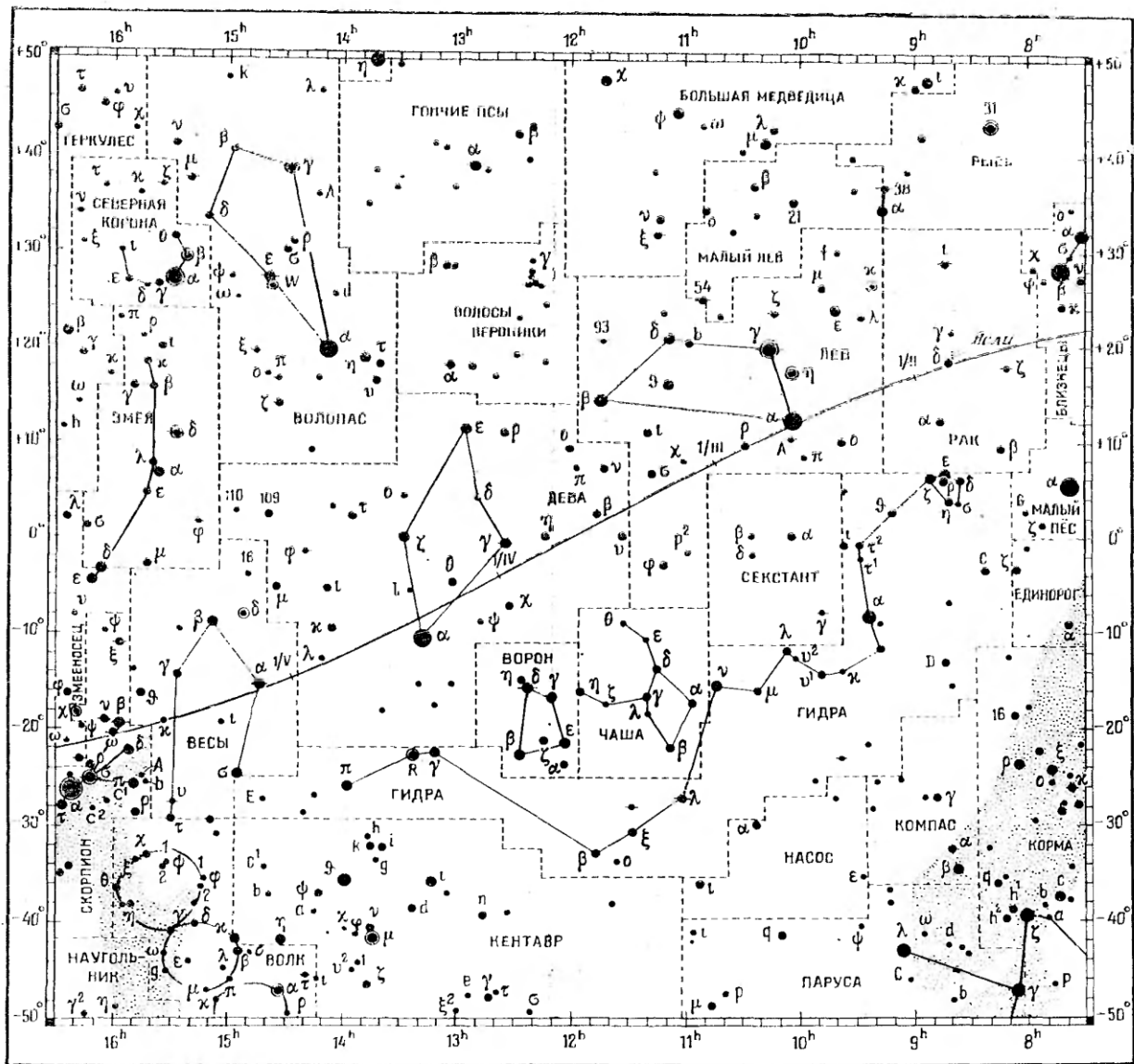


Рисунок 2. Южная часть звёздного неба



● 1 ● 2 ● 3 ● 4 ● 5

Рисунок 3. Экваториальная часть звёздного неба



● 1 ● 2 ● 3 ● 4 ● 5

Рисунок 4. Экваториальная часть звёздного неба

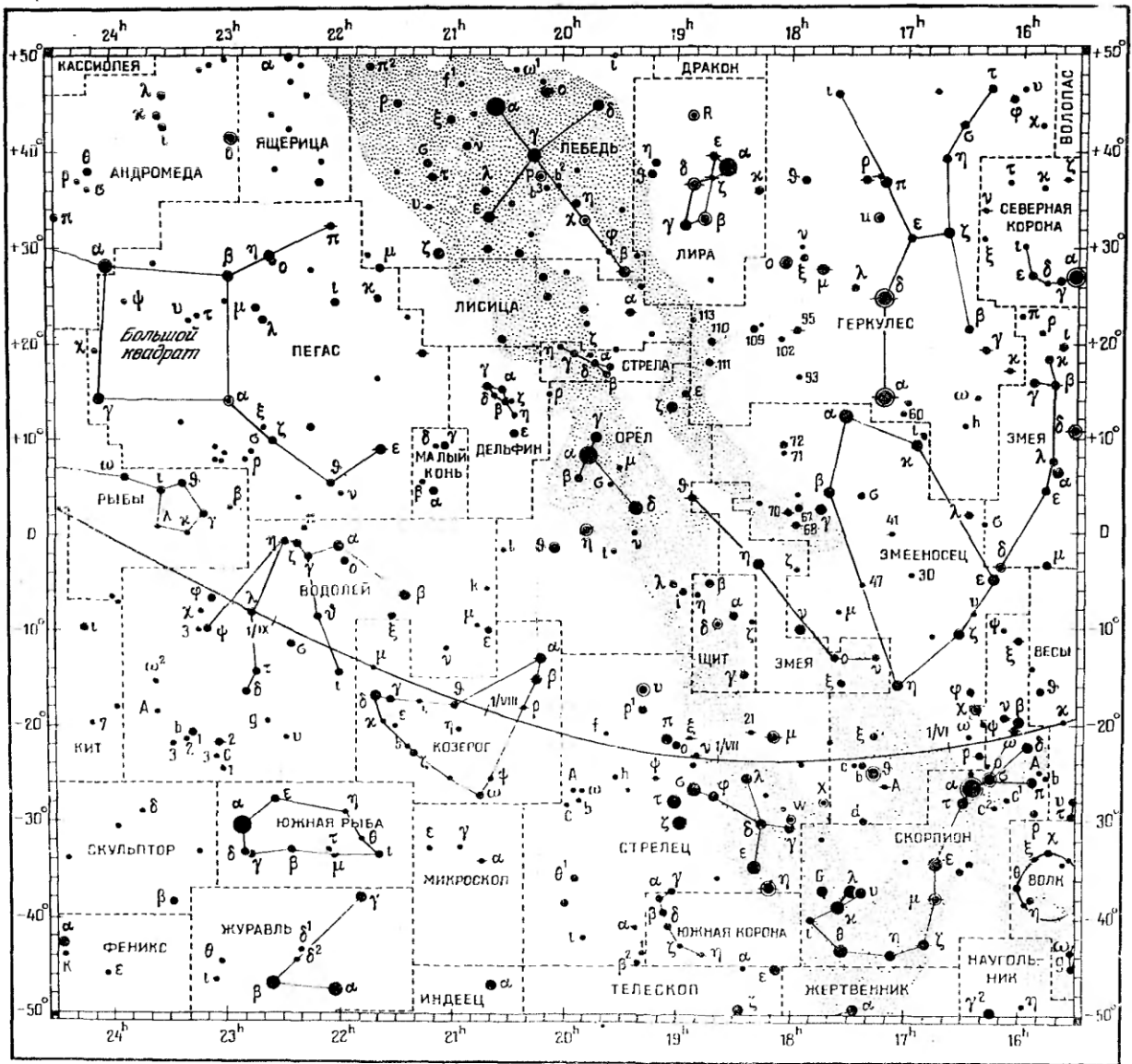


Рисунок 5. Экваториальная часть звёздного неба

4 Видимое движение звёзд на разных географических широтах

Цель работы: изучить условия видимого движения звёзд на небесной сфере в различных географических пунктах Земли.

Оборудование: модель небесной сферы, небесный глобус, карты звёздного неба, астрономические календари (ВАГО, ШАК и др.), подвижная карта звёздного неба.

Краткое теоретическое введение

Видимое вращение небесной сферы происходит вокруг оси мира – прямой, параллельной оси вращения Земли, проходящей через центр небесной сферы и пересекающей её в точках северного и южного полюсов мира. Полюсы мира в суточном вращении небесной сферы не участвуют. Северный полюс мира находится на расстоянии $44'$ (на 2000 год) от звезды α Малой Медведицы (которая называется *Полярной звездой* или *Киносурой*).

Вследствие явления прецессии полюсы мира медленно перемещаются среди звёзд. Через 5500 лет северный полюс мира приблизится к α Цефея, а через 12 000 лет будет находиться недалеко от самой яркой звезды северного полушария неба в летнее время – Веги – α Лиры.

Видимое суточное вращение небесной сферы с востока на запад (если смотреть со стороны северного полюса мира) является отражением вращения Земли вокруг оси в направлении от запада к востоку.

Расположение элементов небесной сферы относительно истинного (математического) горизонта зависит только от географической широты места наблюдения. Изменение азимута и высоты светила зависит как от склонения светила, так и от географической широты.

Каждая точка небесной сферы описывает за сутки *суточную параллель* – малый круг, параллельный небесному экватору. Так как угол между небесным экватором и математически горизонтом составляет $(90^\circ - \varphi)$, то и суточные параллели наклонены к горизонту под тем же углом. С изменением широты места наблюдения будет изменяться и угол наклона суточных параллелей к горизонту.

Для наблюдателей, находящихся на географических полюсах Земли (рис. 1), небесный экватор совпадает с горизонтом, северный полюс мира – с зенитом, а южный – с надиром. В суточном вращении звёзды описывают альмукантараты – круги, параллельные математическому горизонту. На северном полюсе Земли звёзды северной половины небесной сферы будут незаходящими, а звёзды южной половины – невосходящими. Подобным образом будет происходить движение звёзд на южном полюсе Земли, но незаходящими будут звёзды южной половины небесной сферы, а невосходящими – северной. Восходящих светил на полюсах нет, кроме Солнца, Луны и планет.

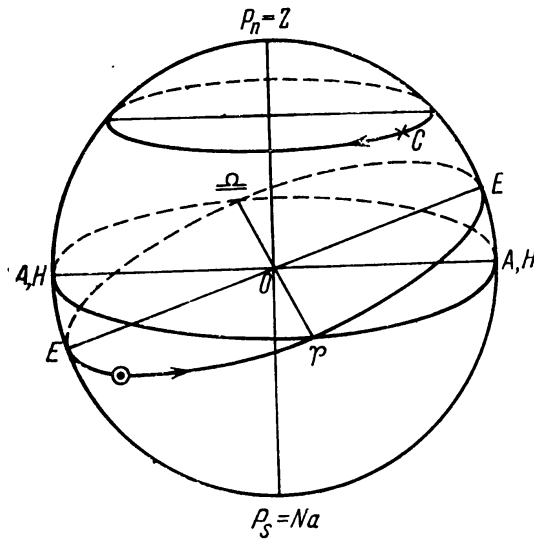


Рисунок 1. Суточное движение светил для наблюдателя на северном полюсе Земли

Для наблюдателя, находящегося на экваторе (рис. 2), небесный экватор совпадает с первым вертикалом, северный полюс мира – с точкой севера, а южный полюс мира – с точкой юга. Все светила восходят и заходят, и в течение года доступны наблюдению. Невосходящих и незаходящих светил нет.

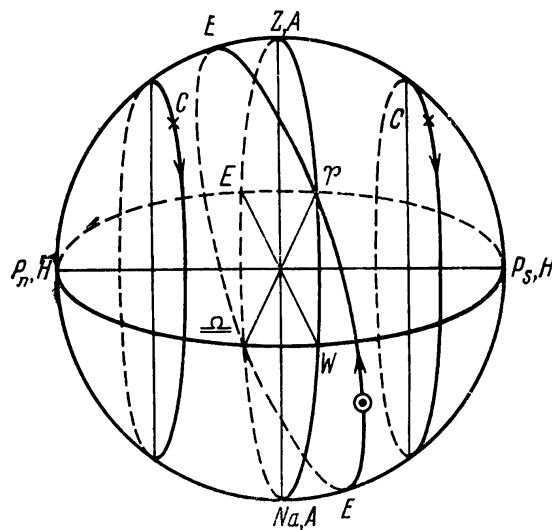


Рисунок 2. Суточное движение светил для наблюдателя на земном экваторе

В средних широтах (рис. 3, 4) звёзды подразделяются на группы: невосходящие, незаходящие, восходящие и заходящие. В северном полушарии Земли выполняются соотношения:

– для незаходящих светил ($h > 0$):

$$\delta > 90^\circ - \varphi;$$

– для невосходящих светил ($h < 0$)

$$-\delta > 90^\circ - \varphi, \text{ или } \delta < -(90^\circ - \varphi),$$

или объединяя эти формулы, можно получить:

$$|\delta| \geq (90^\circ - |\varphi|);$$

– для восходящих и заходящих светил:

$$-(90^\circ - \varphi) < \delta < (90^\circ - \varphi), \text{ или } |\delta| < (90^\circ - |\varphi|).$$

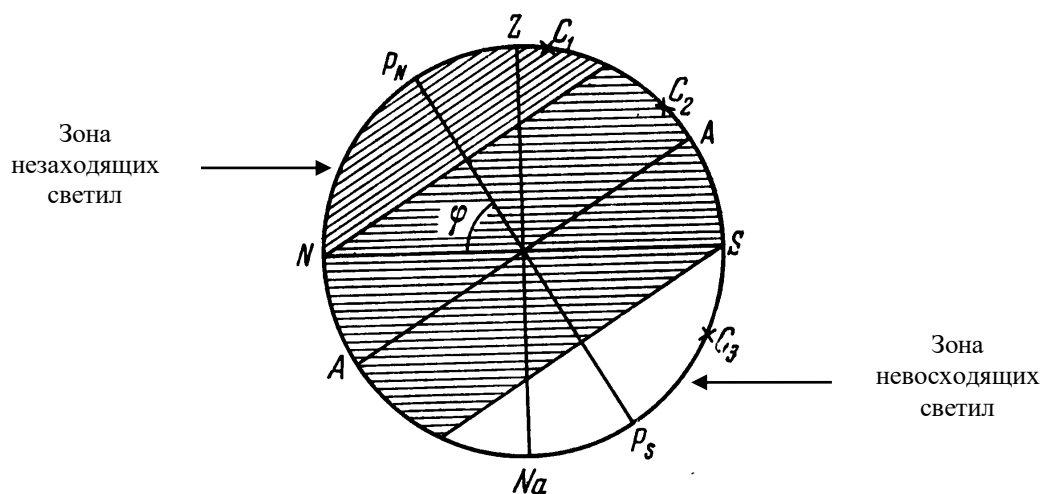


Рисунок 3. Три зоны светил на небесной сфере для наблюдателя, находящегося в средних широтах

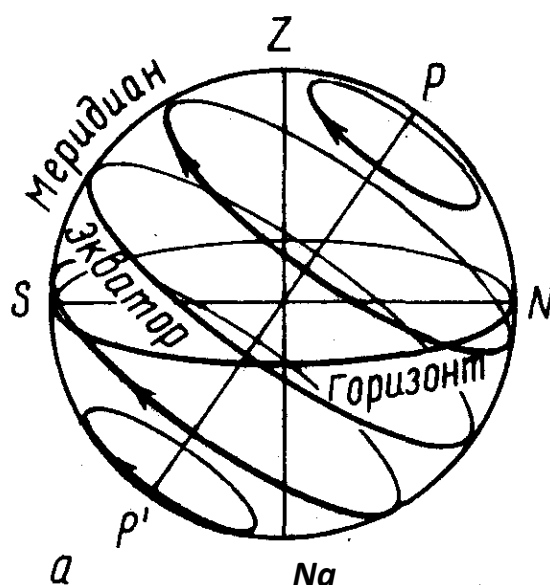


Рисунок 4. Суточное движение светил в средних географических широтах

Каждое светило, двигаясь по суточной параллели, дважды в сутки пересекает небесный меридиан (рис. 5). Прохождения светил через небесный меридиан называются *кульминациями*. Верхняя кульминация происходит в южной части меридиана; высота светила над горизонтом максимальна; часовой угол светила $t = 0$, звёздное время $s = \alpha$. Нижняя кульминация происходит в северной части меридиана; высота светила минимальна; часовой угол светила $t = 12^h$, звёздное время $s = \alpha + 12^h$.

Между географической широтой φ пункта, зенитным расстоянием z и склонением δ светила существуют следующие зависимости:

- для верхней кульминации:

$$\varphi = \delta \pm z^{БК},$$

(знак «+» берется тогда, когда светило кульминирует к югу от зенита, знак «-» – при кульминации светила к северу от зенита, т.е. между зенитом и полюсом);
- для нижней кульминации:

$$\varphi = 180^\circ - (z^{НК} + \delta).$$

Необходимо уяснить, что $\delta^{БК} \approx \delta^{НК}$, так как суточные параллели звёзд параллельны экватору, от которого δ отсчитывается склонение, но $z^{БК} \neq z^{НК}$. При $\delta < \varphi$ светило кульминирует к югу от зенита, $\delta = \varphi$ светило кульминирует в зените, $\delta > \varphi$ светило кульминирует к северу от зенита.

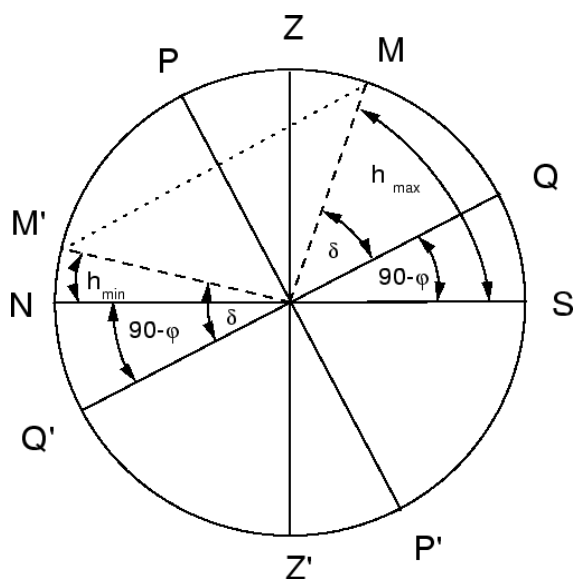


Рисунок 5. Высоты светил в кульминациях

Ход работы

1. При помощи модели небесной сферы и звёздного глобуса проследите за изменением горизонтальных координат светил при суточном вращении небесной сферы.
2. Вычислите для заданного пункта зенитное расстояние в верхней и нижней кульминациях звёзд: α Большой Медведицы, α Орла, α Лиры, α Большого Пса, α Киля, α Южного Креста, α Волопаса, α Малой Медведицы, α Телескопа, α Ориона.
3. На модели небесной сферы изучите вид и особенности видимых движений звёзд для наблюдателей, находящихся на географических полюсах, в средних широтах и на экваторе.
4. Определите границы склонений незаходящих и невосходящих звёзд для Костаная, Алматы, Москвы, Новосибирска, Одессы, Лондона, Сиднея и др.
5. На звёздной карте найдите яркие звёзды, проходящие на широте заданного пункта в околоразенитной области неба.
6. Составьте список созвездий, незаходящих и невосходящих на широте данного пункта наблюдения.

7. Продемонстрируйте зависимость изменения азимута и высоты светила от его склонения и от географической широты места наблюдения.

Задания и вопросы СРОП

1. Чему равен азимут звезды в момент верхней кульминации для места на широте φ ? У всех ли звёзд он одинаков?
2. У каких светил азимут в нашем городе никогда не равен нулю?
3. При каком склонении звезды её азимут в момент верхней кульминации равен 0° , и при каком он равен 180° ?
4. Сравните азимуты и высоты одного и того же светила в момент нижней кульминации для наблюдателей, находящихся на широтах φ и $\varphi + 30^\circ$.
5. Докажите, что высота светила в нижней кульминации выражается формулой $h = \varphi + \delta - 90^\circ$.
6. Каково склонение звёзд, кульминирующих в местности с широтой φ в точке севера?
7. Каково склонение звёзд, кульминирующих в зените места, широта которого равна φ ?
8. Высота звезды, находящейся на небесном экваторе, в момент её верхней кульминации, равна 30° . Какова высота полюса мира в месте наблюдения?
9. Незаходящая звезда имеет высоту 20° в нижней кульминации и 50° в верхней. Найдите склонение этой звезды и широту места наблюдения (при решении задачи выполните чертёж).
10. В каком месте Земли любой круг склонения может совпасть с горизонтом?
11. В каком часу по звёздному времени происходит нижняя кульминация звезды, имеющая прямое восхождение $158^\circ 27'$?
12. Какие созвездия будут находиться в 20.00 часов даты занятия в пределах двух часов по обе стороны от небесного меридиана?
13. Какая часть звёзд небесной сферы видна наблюдателю на полюсе с учётом рефракции?
14. Почему на экваторе нельзя увидеть все звёзды небесной сферы за промежуток времени, меньший года?
15. Определите, в каких местах Земли начинает быть видимо созвездие Южного Креста, расположенное в пределах южного склонения от -55° до -64° . В каких странах лежат эти места?

Литература

1. Кононович Э.В., Мороз В.И. Общий курс астрономии: Учебное пособие /Под ред. В.В. Иванова. Изд. 2-е, испр. – М.: Едиториал УРСС, 2004. – 544 с. (Классический университетский учебник).
2. Куликовский П.Г. Справочник любителя астрономии /Под ред. В.Г. Сурдина. Изд. 5-е, перераб. и полн. обновл. – М.: Едиториал УРСС, 2002. – 688 с.
3. Куликов К.А. Курс сферической астрономии. – М.: Наука, 1974. – 232 с.

4. Дагаев М.М. Лабораторный практикум по курсу общей астрономии. – М.: Высшая школа, 1972. – 424 с.
5. Воронцов-Вельяминов Б.А. Сборник задач и практических упражнений по астрономии. – М.: Наука, 1977 – 284 с.
6. Астрономический календарь ВАГО: постоянная часть. – М.: Наука, 1981, гл. 1. – 704 с.
7. Курышев В.И. Практикум по астрономии: Учеб. пособие для студентов физ. и мат. спец. пед. ин-тов. – М.: Просвещение, 1986. – 144 с.
8. <http://spacescience.ru/>

5 Видимое годовое движение солнца по эклиптике и его следствия

Цель работы: изучить закономерности и условия движения Солнца на небесной сфере в течение года и усвоить астрономические признаки климатических поясов Земли.

Оборудование: модель небесной сферы, звёздный глобус, звёздные карты и атласы, астрономические календари (АЕ СССР, АК ВАГО, ШАК).

Краткое теоретическое введение

Солнце совершает два типа видимых движений:

1. *суточное*, вместе с небесной сферой, в направлении от востока к западу, как следствие вращения Земли вокруг своей оси в прямом направлении (от запада к востоку);

2. *годовое* (неравномерное) по эклиптике, в направлении от запада к востоку с угловой скоростью:

$$\omega = 360^\circ / 365,25 \text{ сут} \approx 0,986^\circ / \text{сут}, \text{ т.е. } \approx 1^\circ / \text{сут},$$

как следствие годового (неравномерного) движения Земли вокруг Солнца (со средней скоростью движения по орбите, которая составляет $\approx 30 \text{ км/с}$).

Направления видимого перемещения Солнца среди звезд по эклиптике и действительного орбитального движения Земли вокруг Солнца совпадают.

При своем видимом годовом движении по небесной сфере Солнце проходит следующие основные точки эклиптики (см. таблицу 1):

Таблица 1

Названия основных точек	Примерная дата прохождения Солнцем	Экваториальные координаты	
		α	δ
Весеннее равноденствие	21 марта	0^h	0°
Летнее солнцестояние	22 июня	6^h	$23^\circ 26' = +\varepsilon$
Осеннее равноденствие	23 сентября	12^h	0°
Зимнее солнцестояние	23 декабря	18^h	$-23^\circ 26' = -\varepsilon$

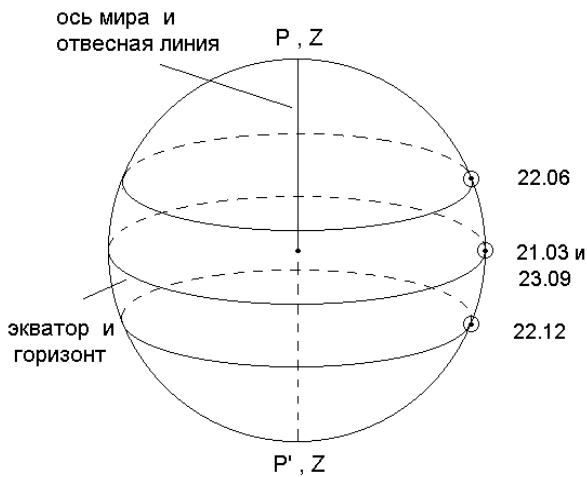


Рисунок 1а. Видимое движение Солнца в течение года на северном полюсе Земли

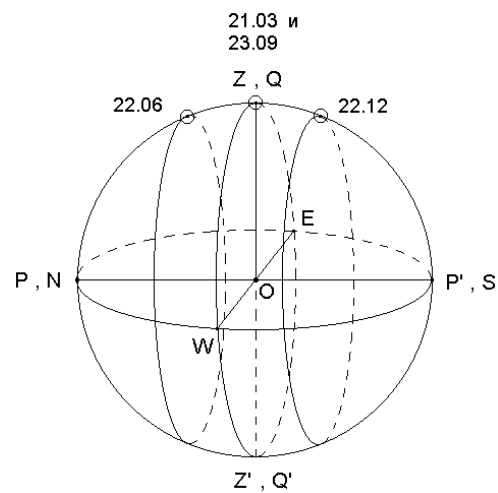


Рисунок 1б. Видимое движение Солнца в течение года на экваторе Земли

Для определения суточного пути Солнца на небесной сфере и его высоты над горизонтом в пункте с географической широтой φ (рис 1а, 1б) в заданную дату года необходимо:

1. начертить небесную сферу для заданной широты φ (изобразить круги математического горизонта, небесного экватора и эклиптики);
2. найти на эклиптике положение Солнца в заданную дату года по звёздной карте, содержащей изображение эклиптики, предварительно выписав координаты Солнца из астрономических календарей (АК ВАГО, ШАК) на эту дату;
3. провести суточную параллель, проходящую через Солнце (точку на эклиптике) параллельно небесному экватору (в любые даты года, кроме дней весеннего и осеннего равноденствий, суточные параллели Солнца есть малые круги небесной сферы).

Дуга меридиана от точки юга до точки пересечения суточной параллели Солнца с южной частью меридиана (верхняя кульминация Солнца) будет равна высоте h Солнца над горизонтом пункта с широтой φ .

Максимальная и минимальная высоты Солнца над горизонтом пункта с географической широтой φ в северном полушарии Земли в течение года будут равны:

$$h^{\max, \min} = 90^\circ - \varphi + \varepsilon.$$

Для наблюдателя на экваторе ($\varphi = 0^\circ$) в дни солнцестояний Солнце всего дальше отстоит от зенита; высота Солнца над горизонтом минимальна:

$$h(\varphi = 0^\circ) = 90^\circ - \varepsilon = 66^\circ 34'.$$

Изменение склонения Солнца ($-\varepsilon \leq \delta \leq +\varepsilon$) в связи с наклоном эклиптики к экватору на угол ε , изменение расстояния Земли от Солнца в течение года (за счёт эллиптичности орбиты) и сохранения направления земной оси в пространстве изменяют условия освещения и обогрева Солнцем

различных пунктов земной поверхности и являются причиной наличия климатических поясов Земли и смены времен года.

При рассмотрении всех вопросов смены времен года надо иметь ввиду не только обращение Земли вокруг Солнца, но и суточное вращение Земли. Нужно хорошо уяснить себе, что плоскость, делящая Землю на освещённое и неосвещённое полушария, перпендикулярна солнечным лучам и непрерывно изменяет свое направление в пространстве, поворачиваясь вокруг перпендикуляра, проведенного из центра Земли к плоскости её орбиты. Направление оси вращения Земли в пространстве остается практически неизменным, поэтому полюса Земли оказываются в различных положениях относительно границы дня и ночи (т.е. относительно терминатора).

Астрономические признаки климатических поясов:

1. В *жарком* поясе дважды в году Солнце проходит в полдень через зенит пункта наблюдения. Условие нахождения Солнца в зените:

$$\delta = \varphi.$$

Для данного пункта жаркого пояса в северном полушарии Земли (между экватором и северным тропиком) первый раз Солнце проходит в полдень через зенит в период между 21 марта и 22 июня, когда его склонение, возрастая, достигнет значения, равного широте пункта наблюдения. Вторично Солнце проходит в полдень через зенит того же пункта наблюдения в период после дня летнего солнцестояния 22 июня до дня осеннего равноденствия 23 сентября, а именно в ту дату, когда склонение Солнца, убывая, вновь примет значение географической широты места наблюдения. Для каждого пункта жаркого пояса в южном полушарии Земли (между экватором и южным тропиком) Солнце также дважды проходит через зенит в период между днем осеннего равноденствия и днем весеннего равноденствия. На экваторе Солнце бывает в зените в дни равноденствий.

2. На *границах жаркого* пояса Солнце бывает в полдень в зените по одному разу в год: на северном тропике Рака – 22 июня, на южном тропике Козерога – 22 декабря.

3. Астрономический признак *умеренных поясов* Земли (северного и южного): Солнце наблюдается весь год как светило восходящее и заходящее и в зените быть не может; наблюдается три рода сумерек, продолжительность которых зависит от склонения Солнца и от географической широты места наблюдения: сумерки тем короче, чем ближе расположен пункт наблюдения к экватору. Продолжительность ΔT сумерек вычисляется по формуле:

$$\cos(t + \Delta T) = \frac{\cos z - \sin \varphi \cdot \sin \delta}{\cos \varphi \cdot \cos \delta},$$

где t – часовой угол Солнца в момент его восхода или захода:

$$\cos t = \frac{\cos 90^\circ 51' - \sin \varphi \cdot \sin \delta}{\cos \varphi \cdot \cos \delta}.$$

Эта формула даёт два значения часового угла: $t_1 = +t$ соответствует заходу Солнца, $t_2 = -t$ – восходу Солнца; склонение Солнца берётся из

астрономических календарей на дату явления; z берётся для конца соответствующих сумерек из таблицы 2:

Таблица 2

Тип сумерек	Значения (в конце сумерек)		φ (min)
	z	δ	
Гражданские	97°	$\geq 83^\circ - \varphi$	$\geq 59^\circ 33'$
Навигационные	102°	$\geq 78^\circ - \varphi$	$\geq 54^\circ 33'$
Астрономические	108°	$\geq 72^\circ - \varphi$	$\geq 48^\circ 33'$
«Белые ночи» (смыкание гражданских вечерних сумерек с утренними)	$< 97^\circ$	$\geq 83^\circ - \varphi$	$\geq 59^\circ 33'$

Таким образом, явление «белые ночи» характеризуется гражданскими сумерками, длющимися всю ночь.

По аналогии понятия «белые ночи» можно ввести понятие «чёрного дня», когда утренние сумерки смыкаются с вечерними.

Астрономические сумерки (рис. 2) могут длиться всю ночь на географических широтах $\varphi \geq 48^\circ 33'$. Летние тёмные ночи вблизи периода солнцестояния возможны лишь на широтах $\varphi \leq 48^\circ 33'$.

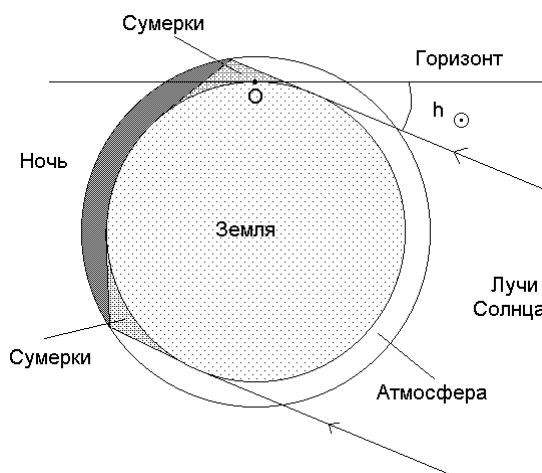


Рисунок 2. Сумерки

4. Астрономическим признаком холодных поясов Земли (северного и южного) является наличие непрерывного полярного дня (НПД) и непрерывной полярной ночи (НПН) (см. таблицу 3):

Таблица 3

Явление	Условие наступления	φ (min)
Непрерывный полярный день	$\delta \geq 89^\circ 09' - \varphi$	$\geq 65^\circ 42'$
Непрерывная полярная ночь	$\delta \geq \varphi - 90^\circ 51'$	$\geq 67^\circ 24'$

Для расчёта начала, конца и продолжительности непрерывного полярного дня и непрерывной полярной ночи в заданном пункте следует:

- воспользоваться соответствующими формулами (см. таблицы выше) и определить возможность явления на заданной широте;
- зная заданную широту, найти по астрономическому календарю (АЕ СССР, АК ВАГО) на данный год даты, в которые видимое склонение Солнца равно географической широте;

Найденные даты будут являться датами начала и конца явления, а промежуток между ними, выраженный в сутках, составит продолжительность явления.

В авиации используют термин *светлое время суток*. Это время равно сумме продолжительности дня (т.е. времени от восхода до заката Солнца) и продолжительности гражданских сумерек. А в некоторых документах вместо гражданских сумерек добавляют 30 минут до восхода и столько же после заката. Для определения времени моментов естественного освещения, пользуются так называемым календарным справочником, специальными графиками или диаграммами, ААЕ (Авиационным астрономическим ежегодником) в которых данные приведены для наблюдателя, находящегося на уровне моря.

Влияние земной рефракции увеличивает продолжительность светлой части суток (для всех широт) и длительность НПД по сравнению с НПН (на земных полюсах – почти на месяц).

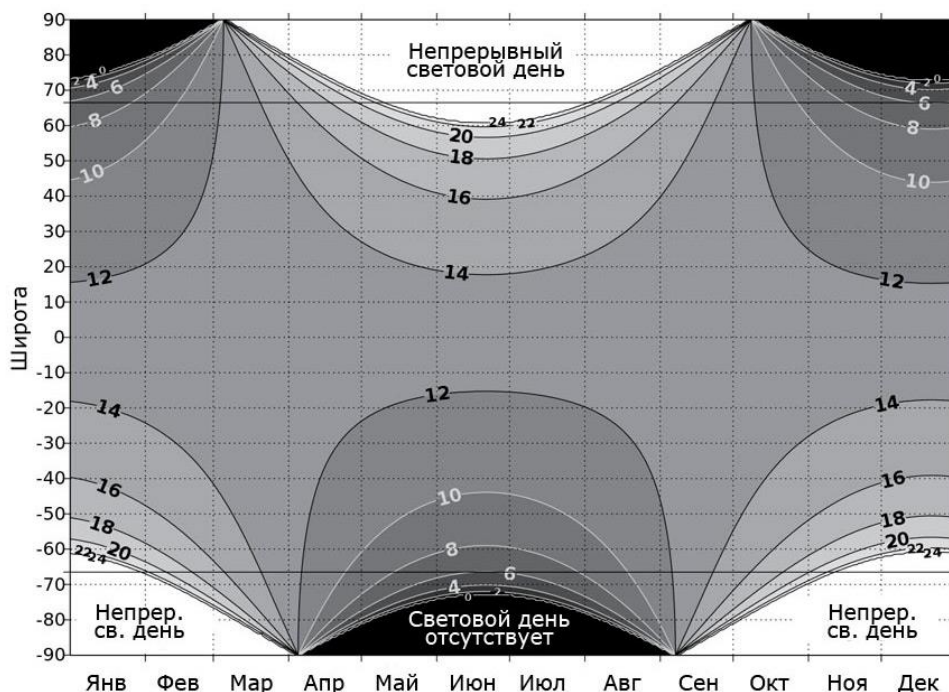


Рисунок 3. Сумерки и продолжительность светового дня в зависимости от широты и времени года

На рисунке 3 (<https://voshod-solnca.ru/articles/%D1%81hto-takoe-sumerki.html>) приведена диаграмма, с помощью которой можно проследить, в

каких широтах и в какие сезоны могут наступать сумерки, а также продолжительность (в часах) светового дня (сплошные линии и числа).

Определить длительность светового дня, а также продолжительность сумерек для города Костанай можно, в частности, с помощью ресурса <http://dateandtime.info/ru/citysunrisesunset.php?id=1519928>

Следствием неравномерного движения Земли по орбите является неравномерное видимое годичное движение Солнца по эклиптике (см. таблицы 4 и 5):

Таблица 4

Период года	Продолжительность периода	Длина дуги эклиптики, проходимой Солнцем за период	Средняя угловая скорость движения Солнца по эклиптике за сутки
весенне-летний (от 21 марта до 23 сентября)	186 ^d	180°	0°57'11"
осенне-зимний (от 23 сентября до 21 марта)	179 ^d	180°	1°01'11"
Как видно, Солнце движется быстрее зимой и медленнее летом			

Таблица 5

Положение Земли на орбите	Расстояние Земли от Солнца, км	Угловая скорость Земли на орбите в сутки	Видимый угловой диаметр Солнца
Земля в перигелии (около 2-3 января)	наименьшее, 147 000 000	наибольшая, 1°01'11"	наибольший 32'35"
Земля в афелии (около 3-5 июля)	наибольшее, 152 000 000	наименьшая, 0°57'11"	наименьший, 31'30"
Земля на среднем расстоянии от Солнца (около 3 апреля и 5 октября)	среднее, 149 600 000	средняя, 59'11"	средний, 59'11"

Ход работы

1. По подвижной карте звёздного неба определите созвездие, в котором находится Солнце в данные сутки. Проследите видимое движение Солнца по эклиптике; запишите приближённые значения экваториальных координат Солнца в дни солнцестояний и равноденствий, а также в дни 1 января, 12 апреля, 16 августа и 4 октября.

2. По астрономическому календарю проследите изменение склонения Солнца в течение года; выпишите данные с максимальным, минимальным и нулевыми значениями склонения в данный год.

3. Сравните склонения Солнца в одну и ту же дату в разные года (воспользуйтесь источниками 9 и 10 из списка литературы).
4. Проследите (пользуясь моделью небесной сферы) путь видимого суточного движения Солнца в различные времена года на различных географических широтах (около географических полюсов Земли, на экваторе, в средних широтах) (рис. 2 *a-b*).
5. Определите горизонтальные и экваториальные координаты Солнца по модели небесной сферы в заданный момент времени. По подвижной карте звёздного неба приближённо определите точки восхода и захода Солнца, продолжительность дня и ночи в данные сутки на широте пункта наблюдения. Убедитесь, что для данной широты точки восхода и захода звёзд практически неизменны, а восход и заход Солнца в течение года происходит в различных точках математического горизонта.
6. Сравните полученные данные с данными, полученными с помощью онлайн калькуляторов, доступных по адресам: <https://planetcalc.ru/300/>, <https://webtun.com/webservices/873-suncalc-kalkulyator-voshoda-i-zakata-solnca.html>, или программы GetSunRiseSet.

Задания и вопросы СРОП

1. Вычислите, при каких значениях склонения Солнца начинается полярный день и полярная ночь в Мурманске ($\varphi = +68^{\circ}58'$) и на антарктической станции «Мирный»; определите продолжительность полярного дня и ночи в этих пунктах (используйте АЕ СССР и АК ВАГО).
2. На каких широтах Солнце будет 22 июня незаходящим, а 22 декабря невосходящим?
3. На каких широтах Солнце 22 июня и 22 декабря будет в зените? Выясните условия кульминации Солнца в зените.
4. Вычислите наибольшую и наименьшую высоты Солнца над горизонтом в пункте наблюдения в течение года (без учёта и с учётом рефракции).
5. Солнце в момент весеннего равноденствия взошло в точке востока. В какой точке математического горизонта оно зайдет?
6. Когда зенитное расстояние Солнца равно 90° ? Когда его азимут равен 0° ?
7. За какое время Солнце, вследствие своего годичного движения по эклиптике, переместиться на величину своего диаметра?
8. На какой высоте видно Солнце на Южном полушарии в дни солнцестояний и равноденствий?
9. Определите наибольшую полуденную высоту, на которую может подняться Солнце в нашем городе (взять склонение Солнца из астрономического календаря).
10. Какова высота полюса мира в том месте Земли, где высота Солнца в полдень 22 июня равна $69^{\circ}38'$? Какова высота Солнца в том же месте в полдень 22 декабря?

11. Ежегодно одного ли и того же числа в марте Солнце проходит через точку весеннего равноденствия? Если нет, то почему, и в каких пределах может изменяться эта дата?
12. Какие значения принимают географические широты пунктов, для которых возможны зенитные прохождения Солнца?
13. Какого числа в г. Антананариву ($\varphi = -18^\circ$) Солнце кульминирует в зените?
14. На одной из российских островных полярных станций полярный день длится ровно 100 дней. Определите широту, на которой расположена эта полярная станция.
15. Определите продолжительность белых ночей в Санкт-Петербурге ($\varphi = +59^\circ 57'$).

Литература

1. Кононович Э.В., Мороз В.И. Общий курс астрономии: Учебное пособие /Под ред. В.В. Иванова. Изд. 2-е, испр. – М.: Едиториал УРСС, 2004. – 544 с. (Классический университетский учебник).
2. Куликовский П.Г. Справочник любителя астрономии /Под ред. В.Г. Сурдина. Изд. 5-е, перераб. и полн. обновл. – М.: Едиториал УРСС, 2002. – 688 с.
3. Куликов К.А. Курс сферической астрономии. – М.: Наука, 1974. – 232 с.
4. Дагаев М.М. Лабораторный практикум по курсу общей астрономии. – М.: Высшая школа, 1972. – 424 с.
5. Воронцов-Вельяминов Б.А. Сборник задач и практических упражнений по астрономии. – М.: Наука, 1977 – 284 с.
6. Астрономический календарь ВАГО: постоянная часть. – М.: Наука, 1981, гл. 1. – 704 с.
7. Курьшев В.И. Практикум по астрономии: Учеб. пособие для студентов физ. и мат. спец. пед. ин-тов. – М.: Просвещение, 1986. – 144 с.
8. Астрономический календарь-справочник (1901 – 2100). Справочное издание, серия «Астробиблиотека», специальный выпуск./ Составитель Козловский А.Н. – АстроКА, 2017. – 304 с.
9. Астрономический календарь на 2018 год. Справочное издание, серия «Астробиблиотека»./ Составитель Козловский А.Н. – АстроКА, 2017. – 92 с.
10. Астрономический календарь на 2019 год. Справочное издание, серия «Астробиблиотека»./ Составитель Козловский А.Н. – АстроКА, 2018. – 88 с.
11. <http://iaaras.ru/about/issues/yearbook/2018/> – сайт астрономического ежегодника.
12. <http://spacescience.ru/>

6 Время и его измерение

Цель работы: знать разновидности времени и уметь определять звёздное и солнечное время; научиться определять местное среднее солнечное время по созвездиям с помощью ПКЗН.

Оборудование: слайд (плакат) «Часовые пояса»; таблицы перевода времени из одних единиц в другие; модель небесной сферы; подвижная карта звёздного неба; астрономические календари и справочники (АЕ СССР и АК ВАГО).

Краткое теоретическое введение

Две основные единицы времени – *сутки* и *год* – даны нам природными астрономическими явлениями: вращением Земли вокруг своей оси и годичным обращением Земли вокруг Солнца. Счёт больших промежутков времени ведётся с помощью разработанных календарных систем. Части суток (часы, минута, секунда) измеряются с помощью часов и хронометров различных конструкций.

Время, основанное на движении Земли (а также на наблюдениях звёзд, Луны и планет), называется *астрономическим* (звёздным, солнечным, эфемеридным). *Атомное* время основано на измерении процессов, совершающихся в молекулах и атомах отдельных веществ. Сложность движения Земли обусловила наличие различных систем исчисления времени.

Единица времени является одной из семи основных единиц Международной системы единиц (СИ).

Секунда эфемеридная – $1/31\,556\,925,974\,7$ часть тропического года 1900 на 0 января в 12 часов эфемеридного времени, т.е. года, начавшегося в 12 часов 31 декабря 1899 года (введено в 1960 году).

Секунда атомная равна $9\,192\,631\,770$ периодам излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133 (введено в 1967 году).

Время в астрономии измеряется часовым углом избранной точки на небесной сфере:

- звёздное время s – часовым углом точки весеннего равноденствия;
- истинное солнечное время – часовым углом центра диска истинного Солнца;
- среднее солнечное время – часовым углом «среднего Солнца».

Начало звёздных суток (момент верхней кульминации точки весеннего равноденствия) в течение года приходится на различные моменты солнечных суток (см. таблицу 1):

Таблица 1

Основные даты	21 марта	22 июня	23 сентября	22 декабря
Местоположение Солнца на эклиптике в течение года	Овен	Рак	Весы	Козерог
Начало звёздных суток по времени солнечных суток	в полдень	утром	в полночь	вечером

Счёт времени звёздными сутками в обычной жизни не ведётся. Звёздные сутки, являясь фундаментальной единицей времени, применяются только для научных целей.

Местное звёздное время в данный момент численно равно прямому восхождению α светила, сложенному с его часовым углом t в этот момент времени (рис. 1):

$$s = t + \alpha .$$

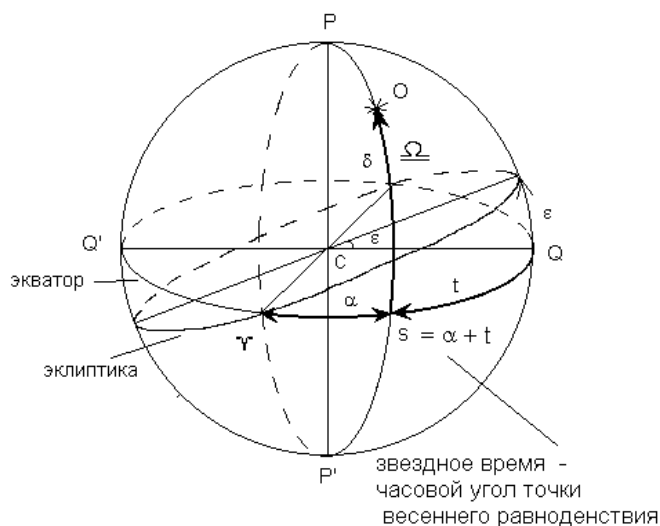


Рисунок 1. Связь звёздного времени s с часовым углом t и прямым восхождением α светила

Если часовой угол звезды равен нулю (верхняя кульминация звезды), то звёздное время в данный момент равно прямому восхождению звезды в момент её верхней кульминации. В астрономических календарях звёздное время s даётся для средней гринвичской полуночи.

Местное звёздное время в данный момент в некотором пункте наблюдения вычисляется по формуле:

$$s = S + T_0 + T_{0\mu} + \lambda ,$$

где S – звёздное время в 0 часов всемирного времени соответствующей календарной даты (берётся из астрономического календаря (АЕ ССР, таблица «Солнце», графа «Звёздное время»)); T_0 – всемирное время в заданный момент среднего солнечного времени, протекшее от начала суток; $T_{0\mu}$ – поправка на «ускорение» звёздного времени за промежуток T (находится по таблицам «Перевод среднего времени в звёздное».); λ – географическая долгота пункта, считаемая положительной к востоку от начального (Гринвичского) меридиана.

Местное звёздное время в заданный момент среднего солнечного времени T_m пункта с долготой λ можно также вычислить по формуле:

$$s = s_0 + T_m + T_{m\mu} ,$$

где s_0 – звёздное время в момент местной полуночи в пункте с долготой λ , который находится восточнее Гринвича. Оно равно:

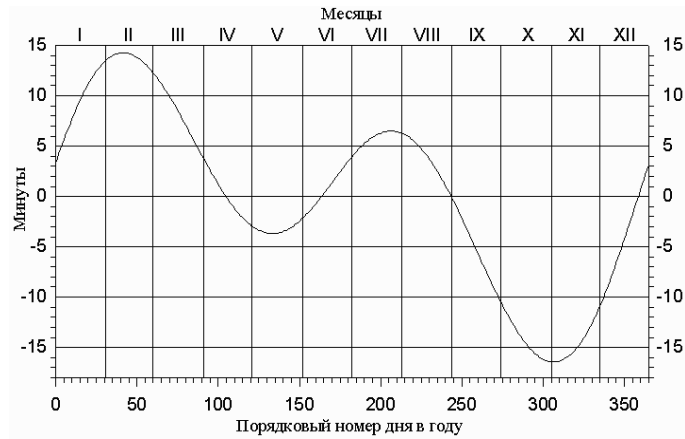


Рисунок 3. График уравнения времени для 2000 года: получен по данным программы – планетария XEphem 3.1.

Разность между средним солнечным временем и звёздным временем возрастает за одни сутки на $3^m 56^s,555$, а за один час – на $9,86^s$ звёздного времени. Момент местной полуночи отстоит от момента гринвичской полуночи на $\Delta T_m = \Delta \lambda$ (разность долгот, выраженная в часах). Следовательно, ускорение звёздного времени за промежуток времени, равный разности долгот, составит $9,86 \cdot \Delta \lambda$ с (поправка на долготу). Эту поправку при переходе от гринвичского к местному звёздному времени s_0 нужно вычесть из звёздного времени, данного в астрономических календарях, т.е.

$$s_0 = S - 9,86^s \cdot \Delta \lambda.$$

Чтобы перевести среднее солнечное время в звёздное, нужно протекший от средней полуночи интервал среднего времени перевести в единицы звёздного времени, помня, что 1^h среднего времени равен $1^h 00^m 09^s,86$ звёздного времени. Для перевода интервалов времени из одних единиц в другие можно воспользоваться вспомогательными таблицами из астрономических календарей. Однако, помня, что тропический год равен 365,2422 средних солнечных суток и 366,2422 звёздных суток, то можно установить связь среднего солнечного времени и звёздного времени через равенство:

$$365,2422 \text{ ср. суток} = 366,2422 \text{ зв. суток},$$

тогда

$$1 \text{ ср. сутки} = \frac{366,2422}{365,2422} = 1,002738 = K \text{ зв. суток},$$

$$1 \text{ зв. сутки} = \frac{365,2422}{366,2422} = 0,997270 = K' \text{ ср. суток}.$$

Все остальные единицы времени соотносятся друг с другом через эти же коэффициенты, т.е. $1 \text{ ср. час} = 1,002738 \text{ зв. часа}$, и т.д., т.е.

$$s_1 - s_2 = (T_1 - T_2) \cdot K',$$

$$T_1 - T_2 = (s_1 - s_2) \cdot K.$$

Среднее солнечное время подразделяется на местное, всемирное, поясное, декретное, эфемеридное.

Местное время относится к данному пункту наблюдения и для всех пунктов, расположенных на одном и том же географическом меридиане, одинаково. Разность местных времён (как солнечных, так и звёздных) в двух пунктах на разных меридианах в один и тот же физический момент равна разности географических долгот этих пунктов (выраженной в часовой мере).

Всемирное время – местное среднее солнечное время Гринвичского меридиана (принятого за начальный – нулевой – для отсчёта долгот и времени; долгота от Гринвича к востоку считается положительной).

Поясное время (проект 1884 года) – среднее солнечное время данного часового пояса, считаемое по местному времени осевого – среднего в поясе – меридиана. Разность между местным (средним солнечным) временем данного пункта и поясным временем, по которому живёт данный пункт, даёт номер часового пояса (число целых часов), в котором расположен данный пункт.

Декретное время – это поясное время плюс 1^h .

Летнее (сезонное) время вводится в ряде стран в последнее воскресенье марта ночью (в 2 часа) переводом часовой стрелки на один час вперёд и отменяется в последнее воскресенье сентября ночью (в 3 часа) переводом часовой стрелки на один час назад (отменено в Казахстане с 2005 года).

Ход работы

1. Произвольно выбрав на модели небесной сферы светило, покажите справедливость формулы $s = t + \alpha$.
2. Найдите на небесной сфере точку весеннего равноденствия, поставьте сферу для моментов звёздного времени: 0^h , 6^h , 12^h , 15^h , 18^h .
3. Покажите на модели небесной сферы, что солнечные сутки длиннее звёздных. Отмечая положение «среднего Солнца» на небесной сфере, покажите, на сколько часов оно будет кульминировать позже точки весеннего равноденствия 12 апреля и 22 мая, т.е. каково будет в эти дни звёздное время в средний солнечный полдень (приблизительно).
4. Определите, чему равняется звёздное время дня занятия; в 15 часов среднего солнечного времени?
5. Пользуясь подвижной картой звёздного неба покажите:
 - а) чему равно в данный момент местное звёздное время;
 - б) который час по среднему времени в данные сутки, когда звёздные часы показывают 00^h00^m ; 12^h00^m ; 18^h00^m и т.д.
6. Вычислите, чему равно звёздное время в среднюю местную полночь, предшествующую дню занятия.
7. Установите подвижную карту звёздного неба на начало и середину звёздных суток и покажите в эти моменты времени расположение созвездий: Большой Медведицы, Большого Пса, Ориона, Лиры, Возничего, Тельца, Водолея, Льва, Малой Медведицы и Кассиопеи.
8. По положению «хвоста» Б. Медведицы научитесь определять время в ночные часы в разные сезоны.

Задания и вопросы СРОП

1. Разность долгот двух мест равна разности каких времен – солнечных или звёздных?
2. Путешественники заметили, что по местному времени затмение Луны началось в 5^h13^m , тогда как по астрономическому календарю это затмение должно было состояться в 3^h51^m по гринвичскому времени. Какова долгота местности?
3. Какова будет длина звёздных суток, выраженная в среднем солнечном времени?
4. Превратите по таблице интервал $5^h32^m15^s,43$ звёздного времени в интервал среднего солнечного времени.
5. С помощью таблиц выразите интервал $10^h12^m5^s,32$ среднего солнечного времени в интервал звёздного времени.
6. Выразите 1465 звёздных суток в средних солнечных сутках.
7. В $18^h46^m23^s$ мирового времени 1 мая какое поясное время в Омске (V часовой пояс) и декретное в Якутске (IX часовой пояс), равное его поясному времени плюс один час?
8. Если при кругосветном путешествии в направлении на запад теряют одни солнечные сутки, то теряют ли также и звёздные сутки?
9. В некоторый момент часы, установленные по декретному времени, показывают в Ташкенте $T_{Д} = 15^h7^m44^s,8$. Найдите соответствующее этому моменту Всемирное время.
10. Всемирное время $TU = 22^h10^m30^s,5$. Найдите соответствующее ему декретное время в Москве.
11. В Орле по часам, идущим по Киевскому звёздному времени, в 4^h48^m наблюдалась верхняя кульминация Капеллы ($\alpha = 5^h10^m$). Какова разность долгот этих городов?
12. Когда по поясному времени Казани ($\lambda = 3^h16^m29^s$, III часовой пояс) 22 июня произойдёт верхняя кульминация Солнца, если уравнение времени в этот день равно $+1^m20^s$?
13. Пароход, покинув Владивосток в субботу 6 ноября, прибыл в Сан-Франциско в среду, 23 ноября. Сколько суток он был в пути?
14. Солнце 26 сентября в пункте с долготой $\lambda = 2^h30^m$ восходит по местному среднему солнечному времени в 5^h51^m утра, а заходит 5^h51^m вечера. Чему равно в этот день уравнение времени?
15. Полное затмение Солнца должно было произойти в пункте с долготой $\lambda = 2^h30^m$ в 9^h27^m гринвичского времени. Уравнение времени в этот день было $\eta = -9^m$. Произошло ли затмение до момента истинного полудня?

Литература

1. Кононович Э.В., Мороз В.И. Общий курс астрономии: Учебное пособие /Под ред. В.В. Иванова. Изд. 2-е, испр. – М.: Едиториал УРСС, 2004. – 544 с. (Классический университетский учебник).
2. Куликовский П.Г. Справочник любителя астрономии /Под ред. В.Г. Сурдина. Изд. 5-е, перераб. и полн. обновл. – М.: Эдиториал УРСС, 2002. – 688 с.
3. Куликов К.А. Курс сферической астрономии. – М.: Наука, 1974. – 232 с.
4. Дагаев М.М. Лабораторный практикум по курсу общей астрономии. – М.: Высшая школа, 1972. – 424 с.
5. Воронцов-Вельяминов Б.А. Сборник задач и практических упражнений по астрономии. – М.: Наука, 1977 – 284 с.
6. Астрономический календарь ВАГО: постоянная часть. – М.: Наука, 1981, гл. 1. – 704 с.
7. Курьшев В.И. Практикум по астрономии: Учеб. пособие для студентов физ. и мат. спец. пед. ин-тов. – М.: Просвещение, 1986. – 144 с.
8. Астрономический календарь-справочник (1901 – 2100). Справочное издание, серия «Астробиблиотека», специальный выпуск./ Составитель Козловский А.Н. – АстроКА, 2017. – 304 с.
9. Астрономический календарь на 2018 год. Справочное издание, серия «Астробиблиотека»./ Составитель Козловский А.Н. – АстроКА, 2017. – 92 с..
10. Климишин И.А. Календарь и хронология. – М.: Наука, 1985. – 320 с.
11. Цыбульский В.В. Календари и хронология стран мира. – М.: Просвещение, 1982. – 128 с.
12. Селешников С.И. История календаря и хронология. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1972. – 223 с.
13. Завельский Ф.С. Время и его измерение. – М.: Наука, 1977 – 287 с.
14. Бакулин П.И., Блинов Н.С. Служба точного времени. – М.: Наука, 1977. – 345 с.
15. Каменцева Е.И. Хронология. 2-е изд., испр. и доп. – М.: Аспект Пресс, 2003. – 160 с.
16. Пронштейн А.П., Кияшко В.Я. Вспомогательные исторические дисциплины. – М.: Просвещение, 1973. – 112 с.
17. <http://iaaras.ru/about/issues/yearbook/2018/> – сайт астрономического ежегодника.
18. <http://spacescience.ru/>

7 Календари

Цель: сформировать представления о структуре различных календарных систем и решить задачи.

Краткое теоретическое введение

Главное назначение *календаря* – соотносить события с чередой дней. Слово «*календарь*» пришло к нам из древнего Рима. Оно происходит от

латинских слов *caleo* «провозглашать» и *calendarium* «долговая книга». В Риме начало каждого месяца провозглашалось особо, причем по первым числам каждого месяца было принято уплачивать проценты по долгам.

Все календари можно разделить на следующие типы: *солнечные*, *лунные* и *лунно-солнечные*. Все эти календари используют естественные периодические процессы – сутки, то есть смену дня и ночи, смену фаз Луны, которые происходят на протяжении месяца, или смену времен года между двумя весенними равноденствиями, то есть период так называемого тропического года.

Кочевые народы древности больше пользовались лунным календарем, в основу которого положена продолжительность лунного месяца. Народы, занимавшиеся земледелием, основывали свой календарь на продолжительности тропического года. В Древней Греции и странах Востока использовался лунно-солнечный календарь, в котором начало каждого месяца располагалось как можно ближе к новолунию, а средняя продолжительность года соответствовала промежутку времени между двумя весенними равноденствиями. Поскольку 12 лунных месяцев по продолжительности меньше 1 года, приходилось добавлять дополнительный 13 месяц. Этот процесс называется интеркаляцией.

Лунно-солнечными календарями уже в глубокой древности пользовались в Китае, Индии. Было замечено, что появление определённых звёзд на небе утром или вечером соответствуют определённому периоду в календаре. Такими звёздами-ориентирами являлись Ригель и Бетельгейзе, Антарес, Сириус. Особенно пристально в древности следили за положением созвездия Большая Медведица, за её поворотом и положением «ручки» Ковша или «хвоста Медведицы» относительно горизонта. С XXI века до н.э. месяцы в календаре Китая начинались с новолуния, а начало нового года приходилось на время между зимним солнцестоянием и весенним равноденствием. В VII в. до н.э. устанавливается продолжительность года в 365,25 суток, а в IV в. до н.э. через каждые 19 лет вставляются дополнительные месяцы. Примерно за сто лет до наступления нашей эры в Китае был введён календарь, в котором продолжительность месяца была 29,5 суток, продолжительность года – 365,2502 суток. При этом, в каждый третий, шестой, девятый, одиннадцатый, четырнадцатый, семнадцатый и девятнадцатый год надо было вставлять дополнительный 13 месяц.

В Древнем Египте было замечено, что разлив Нила начинается после первой утренней видимости звезды Сириус (Сотис). На одном из египетских храмов в Дендере есть надпись: «Сотис великая впервые блистает на небе, река Нил выходит из своих берегов». Жрецы вначале оценили длину года в 360 дней и соответственно этому разделили небесную сферу на 360 частей (это в будущем будет соответствовать 360°). Год жрецы разделили на 12 месяцев, в каждом по 30 дней. Через несколько сотен лет стало понятно, что восход Сириуса запаздывает, поэтому в систему календаря были введены дополнительные 5 дней.

Если бы календарный год был равен 365 суткам, то за полторы тысячи лет Новый год можно было бы отпраздновать в каждом сезоне. Это неудобно

для сельского хозяйства. Самый простой выход – введение високосного года, в котором 366 дней каждые четыре года. Впервые это сделал древнегреческий математик Созиген по поручению Юлия Цезаря в 45 году до н.э., поэтому календарь с високосными годами называется *юлианским*. Средняя продолжительность юлианского года оказалась больше тропического года на 0,0078 средних солнечных суток. Эта ошибка привела к тому, что примерно через 128 лет разница составила 1 сутки, а через 400 лет – 3 суток. В 1582 году расхождение составило почти 10 суток. Но, с точки зрения христианской церкви, Пасха должна наступать в первое воскресенье после первого полнолуния, следующего за днём весеннего равноденствия. Это правило было установлено на Никейском Соборе в 325 году, когда день весеннего равноденствия точно пришёлся на 21 марта. А в 1582 году день весеннего равноденствия приходился уже на 11 марта. Поскольку это вносило путаницу в определение дня Пасхи и других христианских праздников, была проведена новая реформа календаря. Её проект подготовил итальянский математик и врач Луллио, а утвердил новый, григорианский, календарь (так называемый новый стиль) папа Григорий XIII. Специальной буллой папы было предписано после 4 октября 1582 года считать не 5, а 15 октября.

Современный (григорианский) календарь, принятый в большинстве стран, является солнечным календарём. В основе его лежит год продолжительностью 365,24220 суток (очень близкий к тропическому). Поэтому григорианский календарь содержит в разные годы разное количество суток, либо 365, либо 366 суток. В этом календаре не считаются високосными годы столетий, у которых число сотен не делится без остатка на 4 (1700, 1800, 1900, 2100 и т.д.). Подобная система даст ошибку в одни сутки за 3300 лет. Новый стиль был почти сразу введён в странах, где основной религией был католицизм, то есть в Испании, Италии, Франции, Польше. Только в 1751 году григорианский календарь был введён в Великобритании. На территории России григорианский календарь был введён в 1918 году. В соответствии с декретом счёт дней был передвинут на 13 суток вперёд. Следующий день после 31 января стали считать 14 февраля.

Восточный календарь, действующий уже несколько тысяч лет во Вьетнаме, Кампучии, Китае, Корее, Монголии, Японии и в некоторых других странах Азии, был составлен во времена полуполюгендарного императора Хуанди в середине третьего тысячелетия до нашей эры. Этот календарь представляет собой 60-летнюю *циклическую систему*. Она основана на астрономических циклах Солнца, Земли, Луны, Юпитера и Сатурна. В 60-летний цикл входят 12-летний юпитерный и 30-летний сатурный циклы. Наиболее важным для жизни кочевников, а в те времена основными народами Востока были кочевые племена, считался 12-летний период Юпитера. Разделив путь Юпитера на двенадцать равных частей и, дав каждой части наименование определённого животного, народы Азии создали *солнечно-юпитерный 12-летний календарный цикл*.

Совокупность ста лет образуют *век*, а совокупность тысячи лет – *тысячелетие*. В настоящее время в большинстве стран мира применяется христианская эра.

«Точка отсчёта» годов – начало календарной *эры*. Термин «эра», как предполагают, складывается из четырёх начальных букв отдельных слов следующей фразы: «*ab exordio regni Augusti*», т.е. «от начала царствования Августа» (*aera* – эра). Такое происхождение слова объясняется тем, что в ряду различных систем летосчисления, употреблявшихся в прошлом, одно время пользовалась распространением «эра Августа» (в Александрии). В основе эр различных народов часто лежат даты каких-либо событий, имевших в своё время политическое значение, например, начальные даты правления царей или высших должностных лиц и т.д. Но эры отнюдь не обязательно должны носить *реальный характер*. Большим распространением пользовались также *фиктивные эры*, за исходный пункт которых принимались явно вымышленные мифические события, например, «сотворение мира» или основание Рима, год которого в действительности не известен. Фиктивный характер эры отнюдь не мешает точности датировки событий, реально имевших место в истории. Ведь для *правильности счёта важно лишь соблюдение точности для тех промежутков времени, которые отделяют друг от друга подлежащие датировке факты*. Но абсолютно не имеет значения достоверность или же вымышленность исходной точки, от которой ведётся счёт. Например, в Древнем Вавилоне применялась эра от начала царствования Набонассара – 747 г. до н.э., в Древней Греции – от начала первой Олимпиады – 776 г. до н.э., в Древнем Риме – от даты основания Рима Ромулом – 753 г. до н.э., а позднее – от начала правления императора Диоклетиана – 284 г. до н.э. Существует также несколько вариантов эры от «сотворения мира»: 3761 г. до н.э. по древнееврейскому календарю и 1 марта 5508 г. до н.э. – по византийскому (она называется также константинопольской или древнерусской), и «сентябрьский вариант» – 1 сентября 5509 г. до н.э.

При изучении русской хронологии следует обратить внимание на две эры (обе фиктивные): от «сотворения мира» и от «Рождества Христова». Первая система летосчисления была принята в Византии, оттуда перешла в Россию (после принятия последней христианства) и применялась в русских источниках до 1700 г. С этого времени Россия перешла на христианскую эру. Христианская эра, или система летосчисления от «Рождества Христова» была создана искусственно римским монахом Дионисием Малым в VI в. н.э. В его время была в ходу так называемая «эра Диоклетиана», т.е. счёт лет вёлся от даты вступления на престол римского императора Диоклетиана. Путём разных фантастических вычислений года рождения Христа, Дионисий отнёс это мифическое событие ко времени за 284 года до начала эры Диоклетиана, или другими словами, приравнял начальный год царствования последнего к 284 г. христианской эры. Эра Дионисия принята в настоящее время большинством культурных народов.

Исламский календарь (или *Hijri*) чисто лунный календарь. Год содержит 12 синодических месяцев и его длина только $12 \cdot 29,53 = 354,36$ дней. Календарь

основан на Коране (сура IX, 36-37) и его соблюдение – священная обязанность мусульман. Начало месяца приходится на день, когда серп Луны становится видимым после новолуния. Хотя новолуние можно предсказать вполне точно, но видимость Луны зависит от погоды и расположения наблюдателя, поэтому точное начало месяца предсказать сложно. Неделя семидневная, день отдыха – пятница. Годы отсчитываются от Хиджры (*Hijra*, арабск. «переселение») – переселения Пророка Мухаммеда и его приверженцев из Мекки в Медину, которое совершилось в сентябре 622 года по юлианскому календарю. При халифе Омаре I (634-644 гг.) этот год объявлен началом мусульманской эры. *Исходной датой для него принято 16 июля 622 года.*

Ход работы: решите задачи и ответьте на вопросы

1. Какое число средних солнечных суток и какое число звёздных суток содержит тропический год?
2. Чему равно наибольшее возможное число воскресений в феврале месяце?
3. Какова разница между григорианским и юлианским календарями за 100 лет и за 500 лет?
4. Продолжительность юлианского года 365,25 средних солнечных суток, а продолжительность тропического года составляет 365,2421988 средних солнечных суток. Определите, через сколько лет юлианский календарь отстанет от природы на одни сутки?
5. Известно, что 1962 год начался с понедельника. Какой ближайший к нему год также начинается с понедельника?
6. Если простой/високосный год начался понедельником, то каким днём недели он закончится?
7. 1 января некоторого года было во вторник. Какой день недели был 1 января предшествующего года? Последующего года? Считайте, что в данной задаче все три года простые.
8. Сколько времени удерживается на Земле любая дата, например, 1 января?
9. Сколько лет прошло от начала сотого года до нашей эры до начала сотого года нашей эры?
10. Почему римляне присоединили добавочный день в високосном году к февралю, а не к какому-нибудь другому месяцу?
11. Существует ли разница в днях недели в старом и новом стиле?
12. И. Ньютон родился 25 декабря 1642 г. по старому стилю. Какова дата его рождения по новому стилю?
13. В мусульманском календаре год содержит 12 синодических месяцев (29,5 суток), т.е. равняется 354 суткам. За начало эры считается год переселения Пророка Мухаммеда из Мекки в Медину, что приходится на 622 год от Р.Х. Определите, какие года по мусульманскому календарю были 1923, 1930, 1950 и 2000 года по григорианскому календарю.
14. 1353 год мусульманской эры начался 16 апреля 1934 года. Какой год, согласно этой эре и мусульманскому календарю, был 16 апреля 1974 г.?
15. Известно, 1227 год мусульманской эры начался 20 июля 1860 года и что 34 мусульманских лунных года равны 33 годам григорианского календаря. В

каком году нашей эры числовое название года нашей эры совпадает с таковым мусульманского календаря?

Задания и вопросы СРОП

Подготовьте краткие сообщения об особенностях календарных систем:

1. Календари майя и ацтеков.
2. Календарь французской революции.
3. Стоунхендж и календарь.
4. Календарь Древней Руси. Вруцелето.
5. Календари кочевых народов.
6. Древнегреческий календарь.
7. Буддийский календарь.
8. Еврейский календарь.
9. Вавилонский календарь.
10. Происхождение названий дней недель и месяцев у разных народов.

Литература

1. Кононович Э.В., Мороз В.И. Общий курс астрономии: Учебное пособие /Под ред. В.В. Иванова. Изд. 2-е, испр. – М.: Едиториал УРСС, 2004. – 544 с. (Классический университетский учебник).
2. Куликовский П.Г. Справочник любителя астрономии /Под ред. В.Г. Сурдина. Изд. 5-е, перераб. и полн. обновл. – М.: Едиториал УРСС, 2002. – 688 с.
3. Куликов К.А. Курс сферической астрономии. – М.: Наука, 1974. – 232 с.
4. <http://spacescience.ru/>
5. Воронцов-Вельяминов Б.А. Сборник задач и практических упражнений по астрономии. – М.: Наука, 1977 – 284 с.
6. Астрономический календарь ВАГО: постоянная часть. – М.: Наука, 1981, гл. 1. – 704 с.
7. Климишин И.А. Календарь и хронология. – М.: Наука, 1985. – 320 с.
8. Каменцева Е.И. Хронология. 2-е изд., испр. и доп. – М.: Аспект Пресс, 2003. – 160 с.
9. Волынский Б.А., Малахова Г.И., Стамейкина И.А. Задачи и упражнения по астрономии для средней школы. Пособие для учащихся. – М.: Просвещение, 1965. – 106 с.
10. Орлов В.Ф. 300 вопросов по астрономии. – М.: Просвещение, 1967. – 99 с.
11. Цыбульский В.В. Календари и хронология стран мира. – М.: Просвещение, 1982. – 128 с.
12. Селешников С.И. История календаря и хронология. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1972. – 223 с.
13. Завельский Ф.С. Время и его измерение. – М.: Наука, 1977 – 287 с.
14. Бакулин П.И., Блинов Н.С. Служба точного времени. – М.: Наука, 1977. – 345 с.
15. Пронштейн А.П., Кияшко В.Я. Вспомогательные исторические дисциплины. – М.: Просвещение, 1973. – 112 с.

8 Законы Кеплера. Закон всемирного тяготения

Цель: решить задачи на применение законов Кеплера и закона Всемирного тяготения, проанализировать особенности видимого и действительного движения небесных тел.

Краткое теоретическое введение

Звёздный или *сидерический* период обращения T планеты вокруг Солнца связан с её синодическим периодом обращения S зависимостью:

для нижних планет (Меркурий и Венера)

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

и для верхних планет (Марс, Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун):

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

где E – сидерический период обращения Земли вокруг Солнца; $E=1$ звёздному году, т.е. $E=365,26$ сут.

Обычно решение ведётся в звёздных годах, и в случае необходимости делается пересчёт на сутки.

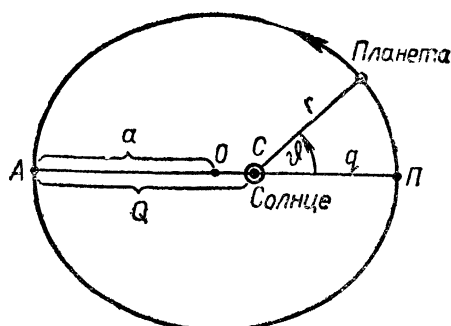


Рисунок 1. Элементы эллиптической орбиты планеты

Поскольку планеты движутся вокруг Солнца по эллипсам, то расстояние каждой планеты от Солнца периодически меняется (рис. 1). Минимальное расстояние планеты от Солнца называется *перигельным* расстоянием q , а наибольшее расстояние её от Солнца – *афелийным* расстоянием Q . Величины q и Q связаны со средним расстоянием a планеты от Солнца (т.е. с *большой полуосью* орбиты планеты) зависимостью:

$$q = a(1 - e) \text{ и } Q = a(1 + e),$$

где e – эксцентриситет орбиты планеты. Очевидно, что

$$q + Q = 2a, \text{ или } a = \frac{q + Q}{2}.$$

Для двух планет их сидерические периоды обращения T_1 и T_2 связаны с их средним расстояниями от Солнца a_1 и a_2 *третьим Законом Кеплера*:

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

Если в этой формуле период выражать в годах, а большую полуось орбиты – в астрономических единицах, то данная формула упрощается, и для каждой планеты (в сравнении с параметрами Земли)

$$T^2 = a^3.$$

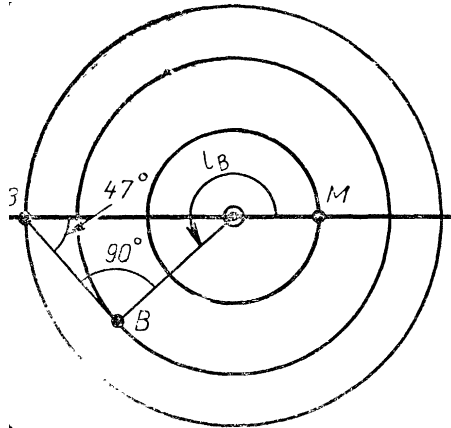


Рисунок 2. Западная элонгация Венеры

Величина *наибольшей элонгации* (т.е. видимого углового удаления внутренней планеты от Солнца) зависит от расстояния её от Солнца в момент элонгации (рис. 2). Величина наибольшей элонгации, когда планета находится в перигелии, будет меньше значения наибольшей элонгации, когда планета находится в афелии, если орбита планеты имеет значительную вытянутость (какой обладает орбита планеты Меркурий). Если расстояние Земли от Солнца есть a_3 , то для внутренней планеты

$$q = a_3 \cdot \sin A_1 \text{ и } Q = a_3 \cdot \sin A_2,$$

где A_1 – величина наибольшей элонгации, когда планета находится в перигелии; A_2 – величина наибольшей элонгации, когда планета находится в афелии.

Массы небесных тел определяются по третьему закону Кеплера, уточнённом Ньютоном (т.н. *обобщённый Закон Кеплера*):

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

где M_1 и m_1 – массы одного центрального тела и его спутника (например, массы Солнца и Земли, или массы Земли и Луны), a_1 и T_1 – большая полуось орбиты спутника и период его обращения вокруг центрального тела. Соответствующие значения имеют M_2 , m_2 , a_2 и T_2 для другого центрального тела и его спутника (например, для Юпитера и одного из его спутников).

Ускорение силы тяжести на поверхности тела, как и гравитационное ускорение, действующее с его стороны на обращающиеся вокруг него тела:

$$g = k^2 \frac{M}{r^2},$$

где M – масса тела; r – расстояние от его центра до центра притягиваемого тела; $k^2 = 6,68 \cdot 10^{-8} \text{ см}^3 / (\text{г} \cdot \text{с}^2)$ – гравитационная постоянная, здесь она дана в системе СГС.

Критическая скорость v_K на поверхности небесного тела определяется соотношением:

$$g = \frac{v_K^2}{r} = 2 \cdot k^2 \frac{M}{r^2}, \text{ т.е. } v_K = \sqrt{2 \cdot k^2 \frac{M}{r}},$$

где g – ускорение силы тяжести на поверхности тела; M – масса тела; r – радиус тела.

Примеры решения задач

Задача 1

Синодический период обращения Нептуна равен 367,5 суткам, а эксцентриситет его орбиты $e = 0,0086$. Определить сидерический период обращения Нептуна вокруг Солнца и среднее, перигельное и афелийное расстояния его от Солнца.

Решение

Поскольку Нептун является внешней планетой, то для определения сидерического периода обращения необходимо использовать формулу:

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

в которой надо положить $E = 1$, а S выразить в годах:

$$S = \frac{367,5}{365,26} = 1,0061 \text{ года.}$$

Теперь можно производить вычисления:

$$\frac{1}{1,0061} = \frac{1}{1} - \frac{1}{T} \Rightarrow \frac{1}{T} = 1 - \frac{1}{1,0061} = \frac{0,0061}{1,0061} \Rightarrow T = \frac{10061}{61} = 165 \text{ лет.}$$

Среднее расстояние находится по третьему закону Кеплера:

$$165^2 = a^3 \Rightarrow a = 30,07 \text{ а.е. (астрономических единиц).}$$

Перигельное и афелийное расстояния:

$$q = 30,07(1 - 0,0086) = 29,81 \text{ а.е.}$$

$$Q = 30,07(1 + 0,0086) = 30,33 \text{ а.е.}$$

Задача 2

Наибольшая элонгация у некоторой гипотетической внутренней планеты меняется в пределах от 16° до 30° . Определить большую полуось и эксцентриситет орбиты планеты, её перигельное и афелийное расстояния, а также сидерический и синодический периоды обращения вокруг Солнца.

Решение

По известным формулам сначала можно найти перигельное и афелийное расстояния:

$$q = 1 \cdot \sin 16^\circ = 0,276 \text{ а.е.}$$

$$Q = 1 \cdot \sin 30^\circ = 0,500 \text{ а.е.}$$

Большая полуось вычисляется как:

$$a = \frac{0,276 + 0,500}{2} = 0,388 \text{ а.е.}$$

По третьему закону Кеплера определяется сидерический период обращения планеты вокруг Солнца:

$$T = \sqrt{a^3} = 0,388 \cdot \sqrt{0,388} = 0,242 \text{ года} = 0,88 \text{ сут.}$$

По полученному значению сидерического периода обращения можно сделать вывод, что планета является внутренней (её орбита лежит внутри орбиты Земли), тогда, используя формулу для определения синодического периода обращения для внутренней планеты, получается значение S :

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{0,242} - \frac{1}{1} = \frac{1 - 0,242}{0,242} = \frac{0,758}{0,242} \Rightarrow S = 0,319 \text{ года} = 116 \text{ сут.}$$

Эксцентриситет находится по формуле:

$$e = 1 - \frac{q}{a} = 1 - \frac{0,276}{0,388} = 1 - 0,711 = 0,289.$$

По полученным численным значениям можно сделать вывод, что гипотетической планетой может являться Меркурий (если сравнить полученные значения с табличными).

Задача 3

Определить параболическую (или критическую) скорость на поверхности планеты Сатурн, если масса его в 95 раз больше массы Земли, а радиус его в 9,41 раза больше радиуса Земли.

Решение

Считаются известными масса Земли $m_3 = 5,97 \cdot 10^{27} \text{ г}$, радиус Земли $r_3 = 6370 \cdot 10^5 \text{ см}$, и гравитационная постоянная $k^2 = 6,68 \cdot 10^{-8} \text{ см}^3 / (\text{г} \cdot \text{с}^2)$.

По формуле для параболической скорости необходимо произвести вычисления:

$$v_K = \sqrt{2 \cdot 6,68 \cdot 10^{-8} \frac{95 \cdot 5,97 \cdot 10^{27}}{9,41 \cdot 6370 \cdot 10^5}} = \sqrt{2 \cdot 63204 \cdot 10^8} \approx 356 \cdot 10^4 \text{ м/с} = 35,6 \text{ км/с}.$$

Для сравнения: критическая скорость на поверхности Земли равна $v_K = 11,2 \text{ км/с}$.

Задача 4

Определить, во сколько раз масса Сатурна меньше массы Солнца, если период обращения Сатурна вокруг Солнца $T = 29,46 \text{ года}$, а большая полуось

его орбиты $a = 9,54 \text{ a.e.}$. Спутник Сатурна Титан находится на среднем расстоянии $a_1 = 1222 \cdot 10^3 \text{ км}$ от планеты и имеет период обращения $T_1 = 15,95 \text{ сут.}$

Решение

Для решения задачи используется обобщённый третий закон Кеплера:

$$\frac{T^2(M+m)}{T_1^2(m+m_1)} = \frac{a^3}{a_1^3},$$

в котором M – масса Солнца, m – масса Сатурна, m_1 – масса Титана. В этом уравнении следует пренебречь массой Сатурна m (по сравнению с массой Солнца) в числителе, и массой Титана m_1 (по сравнению с массой Сатурна) в знаменателе. Тогда:

$$\frac{T^2 M}{T_1^2 m} = \frac{a^3}{a_1^3},$$

откуда

$$\frac{m}{M} = \left(\frac{a_1}{a}\right)^3 \cdot \left(\frac{T}{T_1}\right)^2.$$

Выражая a в километрах, и T в сутках, можно производить вычисления:

$$\frac{m}{M} = \left(\frac{1222 \cdot 10^3}{9,54 \cdot 149,5 \cdot 10^6}\right)^3 \cdot \left(\frac{29,46 \cdot 365,26}{15,95}\right)^2 = \frac{1}{3500}.$$

Т.е. Сатурн легче Солнца в 3 500 раз.

Задача 5

Наилучшая вечерняя видимость Венеры была 5 февраля. Когда в следующий раз наступила видимость Венеры в тех же условиях, если её сидерический период обращения равен 225^d ?

Решение

Наилучшая вечерняя видимость Венеры наступает во время её восточной элонгации (наибольшее угловое её удаление к востоку от диска Солнца). Промежуток времени между двумя последовательными восточными (как, впрочем, и западными) элонгациями равен синодическому периоду обращения планеты. Значит, для решения данной задачи нужно воспользоваться формулой:

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{T} - \frac{1}{E} \Rightarrow \frac{1}{S} = \frac{1}{225} - \frac{1}{365} = \frac{365 - 225}{365 \cdot 225} = 587^d.$$

Значит, следующая вечерняя видимость Венеры при тех же условиях наступит через 587 дней, т.е. 14-15 сентября следующего года.

Ход работы: решите задачи и ответьте на вопросы

1. Синодический период обращения Венеры равен 584 суткам, а эксцентриситет её орбиты $e = 0,0068$. Определите сидерический период обращения планеты

вокруг Солнца и среднее, перигельное и афелийное расстояния планеты от Солнца.

2. Синодический период обращения Юпитера равен 399 суткам. Определите среднее и афелийное расстояния планеты от Солнца, сидерический период её обращения вокруг Солнца, а также эксцентриситет её орбиты, если перигельное расстояние Юпитера $q = 4,95 \text{ а.е.}$

3. Период обращения астероида Весты вокруг Солнца равен 3,6 года. Во сколько раз среднее расстояние Весты от Солнца больше, чем среднее расстояние от Земли до Солнца?

4. Найдите расстояние Меркурия от Солнца при его наибольшем удалении от Солнца, равном $23^\circ,5$, принимая орбиту планеты за окружность.

5. С каким периодом обращалась бы вокруг Солнца Земля на расстоянии 1 а.е. от него, если бы масса Солнца была вдвое больше?

6. Вычислите периоды обращения вокруг Солнца планеты Венеры и астероида Европы, у которых средние гелиоцентрические расстояния соответственно равны $0,723 \text{ а.е.}$ и $3,10 \text{ а.е.}$

7. Определите периоды обращения вокруг Солнца малой планеты Аполлона и кометы Икейи, если обе они проходят вблизи Солнца на практически одинаковых расстояниях, равных у Аполлона $0,645 \text{ а.е.}$, а у кометы Икейи – $0,633 \text{ а.е.}$, но их орбиты имеют эксцентриситеты $0,566$ и $0,9933$ соответственно.

8. На каком среднем и наибольшем гелиоцентрическом расстоянии движутся малые планеты Икар и Симеиза, если у Икара перигельное расстояние и эксцентриситет равны $0,187 \text{ а.е.}$ и $0,927$, а у Симеизы – $3,219 \text{ а.е.}$ и $0,181$? У какой из этих планет радиус-вектор изменяется в больших пределах, абсолютно и относительно?

9. Найдите средние расстояния от Сатурна его спутников Мимаса и Реи, обращающихся вокруг планеты с периодами $22^h 37^m$ и $4^d,518$. Самый крупный спутник планеты – Титан, обращается за $15^d,945$ по орбите с большой полуосью в $1221 \cdot 10^3 \text{ км.}$

10. Вычислите параболическую скорость на поверхности Солнца, если радиус Солнца равен $696 \cdot 10^3 \text{ км.}$

11. Как должна была бы мгновенно измениться масса Земли, чтобы, оставаясь на прежнем расстоянии, Луна обращалась вокруг Земли за двое суток?

12. Радиус Луны равен 1740 км , а масса её составляет $1/81$ массы Земли. Как велика длина l' секундного маятника на поверхности Луны и какую продолжительность колебания t' имел бы на Луне земной секунднй маятник? Величина ускорения силы тяжести на поверхности Земли принять равной $g = 9,81 \text{ м/с}^2$; радиус Земли $R = 6371 \text{ км}$.

13. Определите ускорение силы тяжести на поверхности Юпитера по сравнению с его величиной на Земной поверхности, зная, что масса Юпитера в 317 раз, а радиус в 11 раз больше, чем у Земли.

14. На сколько удлинился бы год, если бы масса Земли уменьшилась мгновенно в миллион раз?
15. Луна в апогее на $1/9$ дальше, чем в перигее. На сколько процентов больше в перигее приливная сила?

Задания и вопросы СРОП

1. Астероиды Лидия обычно бывает в противостоянии через каждые 469 суток, а астероид Инна – через 447 суток. Во сколько раз эти астероиды в среднем дальше от Солнца, чем Земля?
2. Известно, что 29 марта 1975 года гелиоцентрическая долгота Земли была равна 187° , Юпитера 1° и Урана 210° . Определите дату ближайшего противостояния этих планет, если среднее суточное движение Земли равно $0,986^\circ$, Юпитера $4',98$ и Урана $0',72$.
3. Определите день очередного нижнего соединения Венеры, если её наибольшая западная элонгация ($\Delta\lambda = 47^\circ$) произошла 7 ноября 1975 года. Среднее суточное движение Венеры равно $1^\circ,602$.
4. 14 апреля 1975 года на орбиту вокруг Земли был выведен спутник связи «Молния-3». Определите, в каких пределах изменялось гравитационное ускорение спутника, если известно, что он был выведен на эллиптическую орбиту с перигейным расстоянием, равным 636 км, и апогейным расстоянием, равным 40660 км (радиус Земли принять равным 6370 км).
5. Укажите расположение центра масс системы Земля-Луна. Радиус Земли принять равным 6370 км, массу Луны равной $1/81$ земной массы и расстояние между телами – 60 земным радиусам.
6. По данным предыдущей задачи (№ 5) определите положение точки равного притяжения между Землёй и Луной, в которой гравитационные ускорения от этих тел численно равны между собой, но противоположно направлены.
7. Вычислите гравитационное ускорение Луны в поле тяготения Земли и Солнца при её среднем геоцентрическом расстоянии в 384400 км. Необходимые сведения возьмите из справочного материала.

Литература

1. Кононович Э.В., Мороз В.И. Общий курс астрономии: Учебное пособие /Под ред. В.В. Иванова. Изд. 2-е, испр. – М.: Едиториал УРСС, 2004. – 544 с. (Классический университетский учебник).
2. Куликовский П.Г. Справочник любителя астрономии /Под ред. В.Г. Сурдина. Изд. 5-е, перераб. и полн. обновл. – М.: Едиториал УРСС, 2002. – 688 с.
3. Куликов К.А. Курс сферической астрономии. – М.: Наука, 1974. – 232 с.
4. Дагаев М.М. Лабораторный практикум по курсу общей астрономии. – М.: Высшая школа, 1972. – 424 с
5. Воронцов-Вельяминов Б.А. Сборник задач и практических упражнений по астрономии. – М.: Наука, 1977. – 284 с.

6. *Астрономический календарь ВАГО: постоянная часть.* – М.: Наука, 1981, гл. 1. – 704 с.
7. <http://iaaras.ru/about/issues/yearbook/2018/> – сайт астрономического ежегодника.
8. <http://spacescience.ru/>

9 Оптические системы

Цель: решить задачи на определение характеристик телескопов разных оптических систем, проанализировать условия наблюдения небесных тел с помощью телескопов.

Глоссарий к теме

Оптическая аберрация – искажение изображения в оптической системе. Существует пять геометрических (или монохроматических) аберраций и две хроматические. Полностью устранить все аберрации в одном инструменте практически невозможно, поэтому в зависимости от задач, стоящих перед ним, исправляются в большей или меньшей степени одни или другие аберрации.

Адаптивная оптика – оптическая система, позволяющая повысить угловое разрешение крупного наземного телескопа вплоть до теоретически возможного предела. Адаптивная оптика компенсирует искажения, вносимые земной атмосферой, путём введения в изображение равных по величине обратных искажений. Необходимым условием для работы системы адаптивной оптики является наличие по соседству с изучаемым объектом достаточно яркого точечного источника – *опорной звезды*. Если естественной опорной звезды нет, некоторые системы позволяют создавать «искусственную звезду» в окрестности наблюдаемого источника. Адаптивное зеркало представляет собой небольшое тонкое или сегментированное зеркало, имеющее систему *актюаторов*: его форма изменяется под управлением компьютера для компенсации искажений изображения, внесённых атмосферой.

Актюатор – элемент разгрузочной системы оптической детали, обычно большого зеркала, который может перемещаться для изменения силы, приложенной к зеркалу. Величина и знак деформируемого усилия от каждого из актюаторов контролируется компьютером, что позволяет компенсировать деформации зеркала под влиянием силы тяжести. Усилие, создаваемое актюатором, можно плавно изменять, что даёт возможность поддерживать правильную форму зеркала при любом положении телескопа.

Анастигмат – оптическая система с направленным астигматизмом.

Апертура – диаметр открытой части объектива телескопа.

Апохромат – линзовый объектив, состоящий из трёх или более линз, имеющий более высокий уровень исправления хроматической аберрации, чем стандартный ахромат.

Астигматизм – аберрация изображения, при которой лучи света, идущие в одной плоскости, имеют фокус, отличающийся от фокуса лучей, приходящих в перпендикулярной плоскости.

Астрограф – оптический телескоп, предназначенный для определения положений небесных светил. Обычно астрографами называют короткофокусные рефракторы, позволяющие фотографировать сравнительно большую часть неба.

Афокальная оптическая система – оптическая система, в которой входной пучок параллельных лучей даёт выходной пучок параллельных лучей. Все телескопы, предназначенные для визуальных наблюдений, являются афокальными системами, поскольку они обеспечивают построение изображения наблюдаемого объекта глазом наблюдателя, работающего как собирающая линза.

Ахроматический объектив – объектив, в котором хроматическая аберрация уменьшена по сравнению с одиночной линзой.

Болометр – детектор, изменяющий электрическое сопротивление под действием падающего электромагнитного излучения. Материалом для болометров служат бериллий или германий, легированный галлием.

Вторичное зеркало – дополнительное зеркало в оптической системе телескопа, обычно имеющее меньшие размеры по сравнению с главным зеркалом. Простейшей функцией вторичного зеркала является перенос фокуса в удобное положение.

Выходной зрачок – изображение объектива, создаваемое окуляром (диск Рамсдена). Диаметр выходного зрачка равен диаметру объектива телескопа.

Главное зеркало – объектив в телескопе-рефлекторе. Основное назначение главного зеркала – собрать свет и сконцентрировать его в фокусе телескопа.

Двухзвёздный фотометр – фотометр, позволяющий выполнять измерения двух звёзд одновременно. Обычно это изучаемая звезда и звезда сравнения или изучаемая звезда и фон неба.

Детектор – устройство, преобразующее приходящее излучение, частицы, и т.п. в регистрируемый сигнал: ПЗС-камеры, фотографическая эмульсия, фотодиод, болометр, радиоприёмник, детектор рентгеновских лучей, детектор нейтрино, детектор гравитационных волн.

Диафрагма – апертура в оптической системе, обычно круглой формы, ограничивающая сечение пучка лучей. Используется для уменьшения аберраций оптической системы, а также для ограничения посторонних засветок поля зрения.

Дисторсия – искажение изображения в оптической системе, вызванное наличием зависимости масштаба изображений от расстояния до оптической оси. Увеличение масштаба с увеличением расстояния от оси даёт подушкообразную дисторсию, уменьшение – бочкообразную дисторсию.

Дихроичное зеркало – зеркало, отражающее свет с одной длиной волны и пропускающее свет с другой длиной волны.

Жидкое зеркало – зеркало, образованное отражающей жидкостью, например, ртутью. Такое зеркало используется только для наблюдения объектов, близких к зениту.

Зенит-телескоп – неподвижный телескоп, направленный вертикально вверх и предназначенный для измерения точных координат звёзд, проходящих вблизи зенита, и определения поправок точного времени.

Зрительная труба – телескоп, дающий прямое изображение.

Инфракрасные окна – области в инфракрасном диапазоне, в пределах которых атмосфера Земли пропускает некоторую часть излучения из космоса. Главные инфракрасные окна расположены на длинах волн 1,25, 1,65, 2,22, 3,6, 5, 10 и 21 мкм.

Камера Шмидта – светосильная камера, используемая как для получения прямых снимков астрономических объектов, так и в качестве камеры во многих спектрографах.

Качающееся зеркало – элемент адаптивной оптики – устройство, предназначенное для частичной коррекции искажений волнового фронта, вносимых в изображение земной атмосферой.

Коллиматор – система с линзовым объективом или зеркалом, предназначенная для получения параллельного пучка лучей на выходе. Чаще всего используется как составная часть спектроскопа.

Кома – искажение внеосевого оптического изображения, присутствующее, в частности, в классических зеркальных телескопах (оптическая аберрация).

Конфокальная оптическая система – расположение двух оптических элементов, при котором расстояние между которыми равно сумме их фокусных расстояний. В визуальном телескопе объектив и окуляр расположены конфокально.

Корonoграф – инструмент для наблюдения солнечной короны (Солнечный коронограф) или слабого объекта вблизи яркого (звёздный коронограф).

Линза Барлоу – рассеивающая линза, устанавливаемая перед окуляром для увеличения эффективного фокусного расстояния телескопа, повышающая таким образом общее увеличение инструмента с данным окуляром.

Линза Фабри – линза, помещаемая перед светоприёмником и проектирующая на него изображение объектива телескопа. Линза позволяет снизить ошибки вследствие изменения качества изображения или ведения телескопа. Она является обязательным компонентом фотоэлектрических элементов.

Линзовый корректор – линзовая система, предназначенная для исправления аберраций, создаваемых остальными элементами оптической системы.

Обсерватория – любое место или строение, используемое для астрономических наблюдений.

Объектив – основной оптический компонент телескопа, служащий для сбора света и построения изображения небесных объектов. Объективом

рефрактора служит система линз, в рефлекторах объективом служит вогнутое зеркало, в катадиоптрических системах функции объектива выполняет комбинация линзовых и зеркальных элементов.

Окуляр – оптическое устройство, состоящее из одной или нескольких линз, через которое рассматривается изображение объекта, построенное объективом телескопа.

Предел Дэвиса – эмпирическая величина предельного разрешения телескопа, равная $116''/D$, где D – диаметр объектива телескопа в миллиметрах.

Предельная звёздная величина – звёздная величина наиболее слабых звёзд, которые можно видеть или регистрировать с данным телескопом, или блеск слабейших объектов, внесённых в звёздный каталог или нанесённых на звёздную карту. Для случая визуальных наблюдений с телескопом, установленном в месте с низким уровнем засветки неба, предельная величина $m_{пред}$ даётся выражением $m_{пред} = 16 + 5 \lg D$, где D – диаметр объектива телескопа в метрах. Например, телескоп диаметром 20 сантиметров (8 дюймов), имеет предельную звёздную величину для визуальных наблюдений $12,5^m$.

Просветление оптики – тонкоплёночное покрытие, например, из фтористого магния, наносимое на поверхность прозрачного оптического элемента (фильтра, линзы, призмы) и позволяющее снизить отражение до трёх раз по сравнению с непросветлённой поверхностью.

Прямое изображение – «неперевернутое» изображение объекта, то есть имеющее естественную ориентацию, совпадающую с наблюдаемой невооружённым глазом. Телескопы Галилея и Грегори дают прямые изображения, но более обычными в астрономии являются системы, дающие перевёрнутое изображение; для получения прямых изображений применяются оборачивающие призмы или линзовые системы.

Система goto – возможность автоматического наведения на избранный объект, имеющаяся у многих современных телескопов, управляемых компьютером.

Сферическая абберрация – искажение изображений, создаваемых оптическими системами, в которых применяются линзы или зеркала. При наличии такой абберрации имеется различие в фокусных расстояниях системы для параксиальных и краевых лучей.

Хроматическая абберрация – недостаток изображения, поостренного линзовой оптической системой. Причиной появления хроматической абберрации является дисперсия. Вследствие этого лучи света с различной длиной волны собираются в разных фокальных плоскостях, что приводит к появлению цветовой каймы вокруг изображения.

Юстировка – процедура приведения в правильное взаимное положение оптических компонентов инструмента.

Краткое теоретическое введение

Основными характеристиками телескопа являются его *фокусное расстояние* F , *диаметр объектива* D и *относительное отверстие* A . Эти характеристики связаны друг с другом соотношением:

$$A = \frac{D}{F}.$$

Относительное отверстие часто называют *светосилой*.

Даваемое телескопом увеличение W равно:

$$W = \frac{F}{f} = \frac{\beta}{\rho},$$

где f – фокусное расстояние окуляра; ρ – угловые размеры светила при наблюдении невооружённым глазом; β – угловые размеры того же светила при наблюдении в телескоп. Кратность увеличения обычно обозначается знаком \times , проставляемым около числа в виде показателя степени; например 50^\times , 120^\times .

Наибольшее увеличение, допускаемое телескопом при хороших атмосферных условиях:

$$W_m = 2D,$$

а наименьшее или равнозрачковое увеличение

$$W_z = \frac{D}{6},$$

где D – диаметр объектива, выраженный в миллиметрах.

Разрешение (или разрешающая сила) телескопа Θ характеризуется наименьшим угловым расстоянием между двумя точечными объектами, при котором они видны рядом, не сливаясь друг с другом:

$$\Theta = \frac{140''}{D},$$

а соответствующее ему увеличение, называемое *разрешающим увеличением*:

$$W_\Theta = \frac{D}{2}.$$

Проницающая способность (сила) телескопа m_T представляет собой предельную звёздную величину звёзд, доступных наблюдениям в телескоп в тёмную, безоблачную ночь:

$$m_T = 2^m,10 + 5 \lg D.$$

(диаметр объектива выражен в миллиметрах).

Изображение светила (или расстояния между светилами) в фокальной плоскости телескопа (обычно говорят: в фокусе телескопа), в том числе и на полученных в ней фотонегативах, имеет линейные размеры:

$$d = F \cdot \operatorname{tg} \rho,$$

а при малых угловых размерах:

$$d = F \frac{\rho'}{3438'} = F \frac{\rho''}{206265''},$$

где ρ' и ρ'' – угловые размеры в минутах и секундах дуги соответственно.

Диаметр поля зрения телескопа, выраженный в минутах дуги:

$$N = \frac{2000'}{W}$$

и более точно определяется по прохождению звёзды по диаметру поля зрения телескопа:

$$N = \frac{\tau}{4} \cos \delta,$$

где τ – продолжительность прохождения звезды в секундах и δ – склонение звезды.

У радиотелескопа и радиоинтерферометра разрешение

$$\Theta = 2",51 \cdot 10^5 \frac{\lambda}{D} = 4200' \frac{\lambda}{D},$$

где λ – длина радиоволны; D – диаметр радиотелескопа или расстояние между телескопами, образующими радиоинтерферометр. λ и D берутся в одинаковых единицах измерения.

Степень реагирования радиоприёмного устройства на радиосигналы характеризуются чувствительностью:

$$\Delta T = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{T_{ш}}{\sqrt{\tau_0 \cdot \Delta \nu}},$$

которая определяется шумовой температурой $T_{ш}$, постоянной времени τ_0 , которая называется временем срабатывания записывающего устройства (в секундах) и полосой пропускания $\Delta \nu$ (в герцах).

Примеры решения задач

Задача 1

Угловой диаметр Венеры вблизи её наибольшей элонгации, равен $25''$. Какой нужно применить окуляр, чтобы при наблюдениях в телескоп с фокусным расстоянием объектива $10,8$ м Венера была видна размерами с Луну, угловой диаметр которой равен $32'$, и какой будет диаметр изображения планеты на негативе, полученном в фокусе телескопа?

Решение

Увеличение необходимо рассчитать по формуле $W = \frac{\beta}{\rho}$:

$$W = \frac{1920}{25} = 77^\times;$$

при этом угловые минуты были переведены в угловые секунды. Используя формулу $W = \frac{F}{f}$, можно определить фокусное расстояние окуляра:

$$f = \frac{F}{W} = \frac{1080}{77} = 14,0 \text{ см} = 140 \text{ мм}.$$

Диаметр изображения планеты на фотонегативе:

$$d = F \frac{\rho''}{206265''} = 1080 \frac{25''}{206265''} \Rightarrow d = 1,3 \text{ мм.}$$

Задача 2

Диаметр объектива телескопа 14 см, его разрешение при данных метеоусловиях равно 3'', диаметр зрачка глаза наблюдателя 7 мм, а разрешение глаза 2'. В каких пределах целесообразно выбирать увеличение телескопа?

Решение

Необходимо воспользоваться формулой $\Theta_{\min} = \frac{140''}{D} \Rightarrow \Theta_{\min} = \frac{140}{7} = 20$,

и $\Theta_{\max} = \frac{2'}{3''} = \frac{120}{3} = 40$. Следовательно, увеличение телескопа удобно брать в пределах от 20 до 40 раз.

Задача 3

Каково примерно теоретическое разрешение глаза, если диаметр зрачка 5 мм?

Решение

Для визуальных лучей нужно принять длину волны $\lambda = 500 \text{ нм}$. Теоретическое разрешение Θ равно отношению длины волны λ излучения к диаметру d зрачка:

$$\Theta = \frac{\lambda}{d} = \frac{5 \cdot 10^{-7}}{5 \cdot 10^{-3}} = 10^{-4} \text{ рад} = 20'',6.$$

Следовательно, человек с нормальным зрением различает детали размером 20 секунд дуги.

Задача 4

С каким разрешением работает радиотелескоп РАТАН-600 при наблюдении на волне 30 см?

Решение

Необходимо применить формулу $\Theta = \frac{\lambda}{d}$ и произвести вычисления:

$$\Theta = \frac{0,3}{600} 0,0005 \text{ рад} = 103'',14 = 1'43'',14.$$

Таким образом, РАТН-600 работает с разрешением $\Theta \approx 103''$.

Задача 5

Каково теоретическое разрешение межконтинентального радиоинтерферометра, работающего на волне 1 см, если расстояние между антеннами равно радиусу Земли?

Решение

Для решения задачи нужно использовать формулу $\Theta = \frac{\lambda}{d}$:

$$\Theta = \frac{10^{-2}}{6378 \cdot 10^3} = 16 \cdot 10^{-10} \text{ рад} = 32,32 \cdot 10^{-5}.$$

Таким образом, разрешение межконтинентального радиоинтерферометра $= 32,32 \cdot 10^{-5}$ секунды дуги.

Ход работы: решите задачи и ответьте на вопросы

1. Определите относительное отверстие, разрешение, проникающую способность, наибольшее, наименьшее и разрешающее увеличение двух телескопов, одного с объективом диаметром $37,5 \text{ см}$ и фокусным расстоянием 6 см , а другого с объективом диаметром 1 м и фокусным расстоянием 8 м .
2. Найдите увеличение и диаметр поля зрения двух телескопов, одного с объективом диаметром 30 см и светосилой $1:5$, а другого диаметром 91 см и светосилой $1:19$, при окулярах с фокусным расстоянием 40 мм и 10 мм .
3. Имеет ли смысл использовать окуляр с фокусным расстоянием 5 мм при наблюдениях в телескопы с фокусным расстоянием $1,25 \text{ м}$ и светосилой $1:5$ и с фокусным расстоянием $7,50 \text{ м}$ и светосилой $1:15$?
4. Какое минимальное угловое расстояние между компонентами двойной звезды может быть разрешено в телескопы с объективами 20 см и 1 м ?
5. Какие наименьшие угловые расстояния между компонентами двойных звёзд могут быть разрешены телескопами, одним с фокусным расстоянием и светосилой объектива 1 м и $1:10$, а другим с фокусным расстоянием и светосилой 14 м и $1:16$? Окуляры с каким фокусным расстоянием должны быть для этого применены?
6. В телескопы какого наименьшего диаметра можно видеть двойные звёзды β Лебедя ($35''$), ζ Большой Медведицы ($14''$) и γ Девы ($5'',0$) и какое при этом должно быть примерно минимальное увеличение? В скобках даны угловые расстояния между компонентами двойных звёзд.
7. Можно ли в телескопы школьного типа видеть диски планет Марса, Урана и Нептуна, если угловые диаметры этих планет в среднем противостоянии соответственно равны $18''$, $4'',0$, $2'',5$? Диаметр объектива школьного менискового телескопа равен 70 мм , а школьного телескопа-рефрактора 80 мм .
8. Угловой диаметр Юпитера при среднем противостоянии равен $49''$, а угловой диаметр Венеры в эпоху нижнего соединения – около $60''$. Какие увеличения необходимо применить для того, чтобы в телескоп диски этих планет были видны размером с Луну для невооружённого глаза, если диаметр лунного диска близок к $0^\circ,5$?
9. Сколько времени могут быть видны звёзды κ Девы, Капелла (α Возничего) и Полярная (α Малой Медведицы) в поле зрения неподвижного телескопа при

увеличении в 100 раз, если склонения этих звёзд равны соответственно $-0^{\circ}03'$, $+45^{\circ}58'$ и $+89^{\circ}02'$?

10. Звезда Ригель (β Ориона), имеющая склонение $-8^{\circ}15'$, проходит диаметр поля зрения неподвижного телескопа за 1 мин. Найдите увеличение и диаметр поля зрения телескопа при этом увеличении.

11. Звезда Сириус (α Большого Пса) со склонением $-16^{\circ}39'$ наблюдается в телескоп с диаметром объектива 20 см и светосилой 1:15. При одном окуляре эта звезда проходит диаметр поля зрения за 1 минуту 53 секунд, а при другом – за 38 секунд. Определите фокусное расстояние окуляров и диаметр поля зрения телескопа при их применении.

12. Сравните разрешающую силу шестиметрового телескопа-рефлектора и радиотелескопов с антеннами диаметром, работающих на длине радиоволны λ : 1) $D = 22$ мм, $\lambda = 65$ см; 2) $D = 100$ м, $\lambda = 10$ см; 3) $D = 1000$ м, $\lambda = 10$ м.

13. Вычислите чувствительность приёмника радиотелескопа с полосой пропускания $\Delta\nu$, постоянной времени τ_0 и шумовой температурой T_{III} : 1) $\Delta\nu = 10^5$ Гц, $\tau_0 = 10$ с, $T_{III} = 250$ К; 2) $\Delta\nu = 10^4$ Гц, $\tau_0 = 3$ с, $T_{III} = 200$ К; 3) $\Delta\nu = 10^6$ Гц, $\tau_0 = 20$ с, $T_{III} = 310$ К.

14. Определите шумовую температуру приёмника телескопа с полосой пропускания $\Delta\nu$, постоянной времени τ_0 и чувствительностью ΔT : 1) $\Delta\nu = 10^6$ Гц, $\tau_0 = 6$ с, $\Delta T = 0^{\circ},20$; 2) $\Delta\nu = 10^5$ Гц, $\tau_0 = 10$ с, $\Delta T = 0^{\circ},39$; 3) $\Delta\nu = 10^4$ Гц, $\tau_0 = 4$ с, $\Delta T = 2^{\circ},20$.

15. При окуляре с фокусным расстоянием 50 мм телескоп даёт угловое увеличение, равное 60. Какое угловое увеличение даст один объектив, если убрать окуляр и рассматривать действительное изображение, созданное объективом, невооружённым глазом с расстояния наилучшего зрения?

Задания и вопросы СРОП

Подготовьте краткие сообщения о рентгеновских, инфракрасных и радиотелескопах, нейтринных телескопах, орбитальных телескопах, а также об обсерваториях, используя рекомендуемую литературу, а также глоссарий к теме и материал сети интернет.

Ответьте на вопросы:

1. Как изменится на фотографии вид полной Луны, если закрыть правую половину объектива телескопа?
2. Муха села на объектив телескопа. Как изменится вид солнечной поверхности, наблюдаемой в этот телескоп?
3. У некоторых солнечных телескопов из трубы выкачан воздух. Зачем это сделано?
4. Видны ли днём звёзды из глубокого колодца?

5. Почему у молодой Луны хорошо видна неосвещённая Солнцем поверхность (так называемый *пепельный свет Луны*), а в момент солнечного затмения она не видна? И, кстати, почему у пиратов были чёрные паруса?
6. При наблюдении звезды в зените поглощение света в фотографической области спектра составляет $0,45^m$. Определите, каким будет поглощение у горизонта.
7. Почему при фотографировании планет никогда не удаётся зарегистрировать такие же мелкие детали на их дисках, какие заметны при визуальных наблюдениях в телескоп?
8. В 1975 году с помощью радиотелескопа в Аресибо (Пуэрто-Рико) диаметром $D = 305$ м на волне $\lambda = 21$ см был послан сигнал в сторону одного из шаровых звёздных скоплений. Была ли при этом необходимость учитывать перемещение скопления за время распространения сигнала, т.е. посылать сигнал с упреждением по углу?

Литература

1. Кононович Э.В., Мороз В.И. Общий курс астрономии: Учебное пособие /Под ред. В.В. Иванова. Изд. 2-е, испр. – М.: Едиториал УРСС, 2004. – 544 с. (Классический университетский учебник).
2. Куликовский П.Г. Справочник любителя астрономии /Под ред. В.Г. Сурдина. Изд. 5-е, перераб. и полн. обновл. – М.: Эдиториал УРСС, 2002. – 688 с.
4. Дагаев М.М. Лабораторный практикум по курсу общей астрономии. – М.: Высшая школа, 1972. – 424 с
5. Воронцов-Вельяминов Б.А. Сборник задач и практических упражнений по астрономии. – М.: Наука, 1977 – 284 с.
6. Астрономический календарь ВАГО: постоянная часть. – М.: Наука, 1981, гл. 1. – 704 с.
7. Максудов Д.Д. Астрономическая оптика. Изд. 2-е. – Л.: Наука, Ленинградское отделение, 1979. – 395 с.
8. Навашин М.С. Телескоп астронома-любителя. / под ред. В.П. Цесевича. – изд. 3-е, перераб. и доп. – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1975. – 432 с.
9. Сикорук Л.Л. Телескопы для любителей астрономии. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1990. – 368 с.

Рекомендуемые электронные ресурсы: astrogalaxy, college.ru, astro.websib.ru, info@astronet.ru, <https://aphi.kz/>, www.ionos.kz/, tesis.lebedev.ru/, <https://asd.gsfc.nasa.gov/archive/hubble/>, <http://spacescience.ru/>

10 Солнечная система

Цель: проанализировать основные характеристики объектов солнечной системы посредством изучения материала занятия, сайтов сети интернет и решения задач.

Некоторые сведения об объектах Солнечной системы

1. Журнал «Физика и астрономия». – 2006. – № 5. – с. 46 «Состав Солнечной системы: самые свежие данные» (С. Ефимов, СНС Астрофизического института им. В.Г. Фесенкова).

2. <https://www.iau.org/news/pressreleases/detail/iau0603/>

К 2006 году стало известно более 800 объектов пояса Койпера, которые делятся на следующие категории:

Классические объекты имеют приблизительно круговые орбиты с небольшим наклоном, не связаны с движением планет. Такие объекты иногда называют «кубивано» в честь первого представителя 1992 QB1.

Резонансные объекты образуют орбитальный резонанс с Нептуном 1:2, 2:3, 2:5, 3:4, 3:5, 4:5 или 4:7. Объекты с резонансом 2:3 называются плутино в честь самого яркого представителя – Плутона.

Рассеянные объекты (бродяги) имеют большой эксцентриситет орбиты и могут в афелии удаляться от Солнца на несколько сотен астрономических единиц.

Официальная резолюция МАС номер 5А «Определение планеты»:

«МАС решил, что планеты и другие тела Солнечной системы, кроме спутников, делятся на три категории следующим образом:

- 1) «Планета» – это небесное тело, которое
 - а) обращается вокруг Солнца,
 - б) имеет достаточную массу, чтобы приобрести круглую форму, и
 - с) очистило от других тел пространство вдоль своей орбиты.
- 2) «Карликовая планета» – это небесное тело, которое
 - а) обращается вокруг Солнца,
 - б) имеет достаточную массу, чтобы приобрести круглую форму,
 - с) не смогло очистить от других тел пространства вдоль своей орбиты, и
 - д) не является спутником.
- 3) Все остальные объекты, обращающиеся вокруг Солнца (кроме, естественно, спутников) называются «Малыми телами Солнечной системы».

Примечания к Резолюции 5А:

«1) В Солнечной системе 8 планет: Меркурий, Венера, Земля, Марс, Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун.

2) В спорных случаях МАС будет принимать специальное решение по присвоению статуса объектам.

3) «Малые тела Солнечной системы» включают в настоящее время большинство астероидов и транснептуновых объектов, кометы, а также другие малые тела».

Резолюция номер 6А «Определение плутоподобных объектов»:

«МАС решил:

Согласно приведённому выше определению Плутон является «Карликовой планетой». Он также является прототипом нового класса транснептуновых объектов».

В сентябре 2006 года Плутону был присвоен официальный астероидный номер – 134340.

Обновлённые сведения о Солнечной системе

1. Журнал «Физика и астрономия». – 2007. – № 1. – с. 46 «Состав Солнечной системы: самые свежие данные» (С. Ефимов, СНС Астрофизического института им. В.Г. Фесенкова).

2. <https://www.iau.org/news/pressreleases/detail/iau0603/>

В августе 2006 года Генеральная ассамблея Международного Астрономического Союза изменила число планет в Солнечной системе. Кроме того, открытия астероидов и спутников в настоящее время идут одно за другим. Даже профессиональному астроному непросто бывает ответить на простой вопрос относительно точного числа различных небесных тел. Вот что получается по состоянию на начало 2007 года:

Число *больших планет* в Солнечной системе (по новому определению – просто «планет»): 8 – Меркурий, Венера, Земля, Марс, Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун.

Число *карликовых планет*: 3 – Плутон, Церера и Эрида (в будущем это число может значительно возрасти).

Число *астероидов* (на 2 февраля 2007 года): всего – 366 291, пронумерованных (с надёжными орбитами) – 150 106, получивших собственное имя – 13 554.

Число известных *спутников* у планет: Меркурий, Венера – нет, Земля – 1, Марс – 2, Церера – 0, Юпитер – 63, Сатурн – 56, Уран – 27, Нептун – 13, Плутон – 3, Эрида – 1.

Число периодических *комет* с надёжно установленными орбитами (на 30 января 2007 года): 185; число периодических комет с ненадёжно установленными орбитами: 227.

Число астероидов с признаками комет (все входят в список астероидов): 55.

Общее число комет в 16-м издании «Каталога кометных орбит» (28.09.2005) – 2 221. Некоторые из непериодических комет могут не принадлежать Солнечной системе, а прилетать из межзвёздного пространства.

Ход работы: решите задачи и ответьте на вопросы

1. Чем отличается вид Солнца, звёзд и неба для наблюдателя, находящегося на Луне, сравнительно с земным наблюдателем? Можно ли, находясь на Луне, наблюдать полярные сияния?
2. Угловой диаметр кратера Коперник на Луне равен $40''$. Расстояние от Луны до Земли $386\,000$ км. Каков линейный диаметр кратера?
3. Все планеты из-за наличия молекул со скоростями, большими скоростей убегания, теряют свои атмосферы; так почему всё же атмосферы существуют? Почему молекулы атмосфер под действием силы тяжести не опускаются на поверхность планет?
4. Как ориентироваться на Венере по сторонам света? Что можно сказать о сезонных изменениях на Венере?
5. Зная, что сутки на Марсе продолжаются 24^h37^m и что радиус его равен 3430 км, определите линейную скорость вращательного движения точки экватора планеты.
6. Как делится на климатические пояса поверхность Марса, ось вращения которого образует с плоскостью его орбиты угол 65° ?
7. На сколько километров в час линейная скорость Белого пятна на экваторе Юпитера, имеющего период вращения 9^h50^m , больше скорости другого пятна, лежащего на той же широте, но имеющего период вращения 9^h55^m ?
8. Экваториальный диаметр Сатурна равен $120\,600$ км, а его сжатие равно $1/10$. Определите полярный радиус Сатурна.
9. Болид, замеченный на расстоянии $0,5$ км от наблюдателя, имел видимый диск вдвое меньше лунного. Определите действительный диаметр болида.
10. Как отличить при наблюдении комету без хвоста от обычной туманности?
11. Орбиты двух комет лежат в плоскости эклиптики и имеют перигелийные расстояния, равные $0,5$ и $2,0$ а.е. Каждая из комет имеет хвост длиной 150 млн.км. Может ли какая-либо из этих комет зацепить своим хвостом Землю?
12. Молекулы циана (CN) выделяются с поверхности кометного ядра при температуре $200^\circ C$ под действием нагревания солнечными лучами. Покинут ли они ядро кометы, если оно представляет собой глыбу порядка $2R = 100$ м в диаметре, имеющую плотность $\rho = 2,7$ г/см³?
13. Метеоры из потока Леонид имеют радиант с прямым восхождением 10^h и наблюдаются 14 ноября. Определите время, в которое при благоприятных погодных условиях наблюдаются Леониды.
14. Оцените примерную ширину метеорного потока Персеид в километрах, если известно, что они наблюдаются с 16 июля по 22 августа.
15. Метеор вспыхнул около Веги и потух около Альтаира. Определите длину пути этого метеора в градусах.

Задания и вопросы СРОП

1. Вычислите продолжительность сидерического месяца, зная, что средняя скорость движения Луны по орбите составляет $13^{\circ}11'$ в сутки.
2. Определите среднюю величину орбитальной скорости Луны, принимая её орбиту за круговую и зная, что среднее расстояние от Земли до Луны равно 384 400 км и что сидерический месяц содержит 27,3 сут.
3. Какова продолжительность (в земных сутках) лунного дня и лунной ночи?
4. Земной наблюдатель в разное время может увидеть порядка 60 % лунной поверхности. Какими причинами объясняется это обстоятельство?
5. Какую часть лунной поверхности может увидеть в разное время наблюдатель, находящейся на Марсе, и наблюдатель, находящейся на Венере?
6. В какой фазе находилась Луна в день летнего солнцестояния, если её прямое восхождение было равно 6^h ?
7. Можно ли, находясь в Мурманске ($\varphi = 69^{\circ}$), наблюдать в декабре месяце солнечное затмение?
8. Если на Земле наблюдается лунное затмение, то, что увидит в это время наблюдатель, находящейся на Луне?
9. Сколько всего солнечных и сколько лунных затмений произошло за время с 1900 по 1990 г., если известно, что в течение сароса совершается 43 солнечных и 29 лунных затмений?
10. В 1963 году наблюдалось два солнечных затмения: кольцеобразное – 25 января и полное – 20 июля. Вычислите приближённые даты ближайших солнечных затмений, соответствующих указанному, в новом саросе.

Литература

1. Кононович Э.В., Мороз В.И. Общий курс астрономии: Учебное пособие /Под ред. В.В. Иванова. Изд. 2-е, испр. – М.: Едиториал УРСС, 2004. – 544 с. (Классический университетский учебник).
 2. Куликовский П.Г. Справочник любителя астрономии /Под ред. В.Г. Сурдина. Изд. 5-е, перераб. и полн. обновл. – М.: Едиториал УРСС, 2002. – 688 с.
 3. Куликов К.А. Курс сферической астрономии. – М.: Наука, 1974. – 232 с.
 4. Дагаев М.М. Лабораторный практикум по курсу общей астрономии. – М.: Высшая школа, 1972. – 424 с
 5. Воронцов-Вельяминов Б.А. Сборник задач и практических упражнений по астрономии. – М.: Наука, 1977 – 284 с.
 6. Астрономический календарь ВАГО: постоянная часть. – М.: Наука, 1981, гл. 1. – 704 с.
 7. <http://iaaras.ru/about/issues/yearbook/2018/> – сайт астрономического ежегодника.
 8. <http://ziv.telescopes.ru/> – сайт журнала «Земля и Вселенная».
 9. <https://www.nkj.ru/> – сайт журнала «Наука и жизнь».
- Интернет-ресурсы: [astrogalaxy, college.ru,](http://astrogalaxy.college.ru) [astro.websib.ru,](http://astro.websib.ru) <http://www.astronet.ru/>, <http://spacescience.ru/>, <http://www.hypernova.ru>

11 Земля

Цель: решить задачи и описать физические свойства и состав геосферных оболочек Земли, используя учебную, справочную, научную, научно-популярную литературу, а также материалы сети интернет.

Глоссарий к теме

Земля – третья от Солнца планета Солнечной системы, удалённая от него на среднее расстояние 1 *а.е.*, с периодом обращения в 1 *год*. Земля отличается от всех других планет Солнечной системы наличием гидросферы и биосферы, а также большой динамической активностью коры и атмосферы.

Структура твёрдой части: кора – самая внешняя и тонкая (10–100 км) твёрдая оболочка с плотностью $2,8 \text{ г/см}^3$; мантия, которая делится на верхнюю (толщина 850–900 км) и нижнюю, в которой температура близка к точке плавления её вещества (до глубины около 3000 км); ядро, которое подразделяется на внешнее (жидкое) и внутреннее (твёрдое ядро – плотность в центре $12,5 \text{ г/см}^3$, температура 4000–5000 К).

Атмосфера Земли состоит из азота ($\approx 78\%$), кислорода ($\approx 21\%$), аргона ($\approx 0,9\%$), углекислого газа ($\approx 0,03\%$) с малыми примесями других газов и аэрозолями; средняя температура у основания 288 К. Увеличение температуры начинается с высот 20–25 км из-за фотохимической реакции разложения озона. Озон поглощает ультрафиолетовое излучение в области от 200 нм до 300 нм, что разогревает атмосферу. Над мезосферой расположен температурный минимум – мезопауза. Выше температура вновь начинает расти за счёт энергии поглощаемого ультрафиолетового излучения Солнца на высотах 150–300 км, обусловленное ионизацией атомарного кислорода. Над мезопаузой температура растёт непрерывно до высоты около 400 км, где она достигает днём в эпоху максимума солнечной активности 1800 К, а в эпоху минимума она может быть меньше 1000 К. Выше 400 км атмосфера изотермична (термосфера). Ионизированные слои атмосферы, начиная с высот 100–120 км образуют ионосферу, в которой концентрация ионов и электронов одинакова и плазма в целом нейтральна; на высоте 300 км днём она составляет около 10^6 ионов в см^3 . Плазма такой плотности отражает радиоволны длиной более 20 м и пропускает более короткие; магнитное поле у поверхности Земли около 0,5 Э. В первом приближении магнитное поле Земли представляется магнитным диполем с моментом $8,1 \cdot 10^{25} \text{ Гс} \cdot \text{см}^3$, помещённым на расстоянии 342 км от центра Земли, причём ось диполя пересекает земную поверхность в точках, которые называются *геомагнитными полюсами* (например, географические координаты геомагнитных полюсов на 1970 год: $80^\circ, 1 \text{ с.ш. } 82^\circ, 7 \text{ з.д.}$ – южный геомагнитный полюс, $76^\circ, 3 \text{ ю.ш.}, 121^\circ, 2 \text{ в.д.}$ –

северный геомагнитный полюс; данные для других лет, расположены на сайтах: <https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/GeomagneticPoles.shtml>, <http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/poles/polesexp.html>)

Магнитное поле Земли через интервалы времени от 500 тыс. до 50 млн. лет меняет направление на обратное. На больших расстояниях от Земли форма её магнитного поля искажается под действием солнечного ветра. В магнитном поле Земли удерживается огромное количество заряженных частиц, которые образуют *радиационные пояса Земли* (см. ниже).

Астроблема – (от греч. *астрон* – звезды и *blema* – рана) – геологическая структура, возникающая на месте древнего метеоритного кратера. На Земле известно около 100 астроблем.

Астроклимат – совокупность факторов, искажающих форму проходящего через атмосферу волнового фронта излучения небесных объектов. В условиях, когда волновой фронт доходит до оптического инструмента (телескопа) неискажённым, инструмент может работать с максимальной эффективностью (с разрешающей способностью, приближающейся к теоретической). Всестороннее изучение астроклимата – важная задача при выборе места установки крупных астрономических инструментов и проведения наблюдений тех или иных астрономических явлений (затмений, комет, вспышек, и т.д.). Изменение температуры воздуха на 1°C изменяет его показатель преломления на 10^{-6} , что уже сказывается на качестве изображения. На изолированных горных вершинах толщина приземного слоя воздуха со значительным перепадом (градиентом) температуры может достигать нескольких десятков метров. В долинах и на равнинных местах в ночное время этот слой значительно толще, он может составлять сотни метров. Этим объясняется выбор мест для астрономических обсерваторий на отрогах горных хребтов и на изолированных вершинах, откуда более плотный холодный воздух может стекать в долины. Важным фактором астроклимата является ветер в приземном слое атмосферы. Перемешивая слои холодного и тёплого воздуха, он вызывает появление неоднородностей плотности в столбе воздуха над инструментом. Неоднородности, размер которых меньше диаметра телескопа, приводят к дефокусировке изображения. Более крупные флуктуации плотности (несколько метров и крупнее) не вызывают резких искажений фронта волны и приводят в основном к смещению, а не к дефокусировке изображения. Низкочастотные ($0,01 \div 10 \text{ Гц}$) смещения изображения могут быть скомпенсированы автоматикой телескопа. В верхних слоях атмосферы (в тропопаузе) также наблюдаются флуктуации плотности и показателя преломления воздуха. Но возмущения в тропопаузе не влияют заметно на качество изображений, даваемых оптическими приборами, т.к. температурные градиенты там значительно меньше, чем в приземном слое. Эти слои вызывают не дрожание, а *мерцание* звёзд. Флуктуации, меняющие наклон волнового фронта (вносящие так называемые *угловые искажения*), снижают эффективность телескопов, но не сказываются заметно на работе интерференционных приборов. Изучение угловых искажений волнового фронта

(дрожание изображения) является более чувствительным методом исследования астроклимата.

Атмосферный фронт – (от др.-греч. *ατμος* – пар, и лат. *frontis* – лоб, передняя сторона) – переходная зона в тропосфере между смежными воздушными массами с разными физическими свойствами. Атмосферный фронт возникает при сближении и встрече масс холодного и теплого воздуха в нижних слоях атмосферы или во всей тропосфере, охватывая слой мощностью до нескольких километров, с образованием между ними наклонной поверхности раздела. Атмосферный фронт может находиться в стационарном состоянии или в движении. Различают тёплые, холодные фронты, а также фронты окклюзии. Основными атмосферными фронтами являются: арктические, полярные и тропические.

Аэрозоли – (приставка *аэро* – от греч. – *aeras* – воздух) – мелкие частицы твёрдого или капли жидкого вещества, находящиеся во взвешенном состоянии в газовой среде. Облака, думы, смоги и туманы состоят из аэрозолей.

Биосфера – (гр. *bios* – жизнь) – область распространения жизни на космическом теле. На Земле биосфера охватывает кроме поверхности нашей планеты, её атмосферу, гидросферу и верхнюю часть литосферы. Живые организмы, составляющие биосферу, в том числе и Человек, тесно взаимосвязаны между собой. Поэтому вымирание каких-либо из видов организмов может непредсказуемо отразиться на всей биосфере. Биосфера оказывает активное влияние на физико-химические процессы в масштабах всей нашей планеты. О существовании биосфер на других космических телах, пока не известно, но они не обязательно должны быть столь широко распространены, как на Земле.

Географические координаты (широта и долгота), определяют положение точки на земной поверхности. Географическая широта (φ) – угол между отвесной линией в данной точке и плоскостью экватора, отсчитываемый от 0° до 90° в обе стороны от экватора. Широты к северу от экватора называются северными, к югу – южными. Географическая долгота (λ) – угол между плоскостью меридиана, проходящего через данную точку, и плоскостью начального меридиана. Долготы от 0° до 180° к востоку от начального меридиана называют восточными, к западу – западными.

Геоид – (*geo* – Земля, *idos* – вид) – стереометрическая фигура, наиболее точно повторяющая форму Земли, которая несколько отличается от шара. Геоид не является правильной стереометрической фигурой. Его поверхность приблизительно совпадает с поверхностью мирового океана и продолжается на материковой части нашей планеты. «Высота над уровнем моря» какого-либо пункта на материке отсчитывается от этой поверхности.

Гидросфера – (от др.-греч. *υδωρ* – вода) прерывистая водная оболочка планеты, совокупность всех водных запасов Земли. *Океан* – насыщенный раствор атмосферных газов. Средняя глубина океана составляет 3,8 км, максимальная (Марианская впадина Тихого океана) – 10944 ± 40 м (Бездна

Челленджера). Около 97 % массы гидросферы составляют солёные океанические воды, 2,2 % – воды ледников, остальная часть приходится на подземные, озёрные и речные пресные воды. Область биосферы в гидросфере представлена во всей её толще, однако наибольшая плотность живого вещества приходится на поверхностные прогреваемые и освещаемые лучами Солнца слои, а также прибрежные зоны. В общем виде принято деление гидросферы на *Мировой океан, континентальные воды и подземные воды*. Большая часть воды сосредоточена в океане, значительно меньше – в континентальной речной сети и подземных водах. Также большие запасы воды имеются в атмосфере, в виде облаков и водяного пара. Свыше 96 % объёма гидросферы составляют моря и океаны, около 2 % – подземные воды, около 2 % – льды и снега, около 0,02 % – поверхностные воды суши. Часть воды находится в твёрдом состоянии в виде ледников, снежного покрова и в вечной мерзлоте, представляя собой *криосферу*.

Криосфера (от др.-греч. *Κρυος* – холод) – одна из географических оболочек Земли, характеризующаяся наличием или возможностью существования льда. Криосфера расположена в пределах теплового взаимодействия атмосферы, гидросферы и литосферы. Криосфера простирается от верхних слоёв земной коры до нижних слоёв ионосферы. Криосфере свойственны многочисленные криогенные образования:

- системы ледяных облаков,
- снежный покров,
- ледяной покров водоёмов,
- наледи,
- ледники гор,
- ледниковые покровы,
- сезонномёрзлые почвы,
- горные породы с подземными льдами.

Криосфера характеризуется отрицательной или нулевой температурой, при которых вода, содержащаяся в парообразном, свободном или химически и физически связанном с другими компонентами виде, может существовать в твёрдой фазе (лёд, снег, иней и др.). Температура 0°C определяет равновесие между химически чистыми льдом и водой. В естественных условиях различные примеси и растворённые вещества, а также поверхностные силы и давление понижают точку замерзания воды, в результате чего в границы криолитозоны попадает и жидкая фаза воды во временно или устойчиво охлаждённом ниже 0°C состоянии. Криолитозона включает также безводные толщи горных пород и относительно сухие воздушные массы с отрицательной температурой, в которых естественными или искусственными путями могут создаваться условия для конденсации воды, а тем самым и формирования её твёрдой фазы.

Однородная атмосфера – условная атмосфера, плотность и температура которой постоянны по всей толщине и соответствуют плотности и температуре атмосферы у поверхности планеты. Однородная атмосфера эквивалентна по массе реальной атмосфере, поэтому её высота H_0 в виде вспомогательной

константы входит во многие расчётные формулы. В частности, для однородного поля силы тяжести и атмосферы с постоянными температурой и составом барометрическую формулу можно записать в виде: $p = p_0 \cdot \exp(h/H_0)$, где p_0 – давление изотермической атмосферы у поверхности планеты, h – высота. Аналогичным образом зависит от высоты и плотность воздуха. Для земной атмосферы ($t = 0^\circ \text{C}$, $g = 980 \text{ z/cm}^2$) $H_0 = 7990 \text{ м}$.

Стратосфера – (от лат. *stratum* – слой) – слой земной атмосферы, лежащий над тропосферой и начинающийся с высот 8–10 км (полярные области) и 16–18 км вблизи экватора; простирается до высот 50–55 км; температура растёт с высотой от -50°C (в экваториальных областях от -75°C) до приблизительно 0°C . Стратосфера отличается от тропосферы ничтожным содержанием водяного пара, малой турбулентностью и повышенным содержанием азота.

Тропосфера – нижние слои атмосферы планеты, примыкающие к её поверхности, в которых происходят циркуляционные и конвективные движения газов, обеспечивающие медленное уменьшение температуры с высотой и определяющие погодные и климатические явления.

Общая циркуляция атмосферы – (от лат. *circulatio* – вращение) – планетарная система воздушных течений над земной поверхностью, горизонтальные размеры которой соизмеримы с материками и океанами, а толщина составляет от нескольких километров до десятков километров. Перемещение воздушных масс происходит под влиянием неодинакового нагревания земной поверхности на разных широтах, а также над материками и океанами. Она определяется зонами высокого атмосферного давления в приполярных областях и тропических широтах и зонами низкого давления в умеренных и экваториальных широтах. Перемещение воздушных масс происходит как в широтном, так и в меридиональном направлениях. В тропосфере к циркуляции атмосферы относятся пассаты, западные воздушные течения умеренных широт, муссоны, циклоны и антициклоны.

Экзосфера – самая внешняя часть верхней атмосферы Земли и планет с низкой концентрацией нейтральных атомов. Для атомов экзосферы достаточно высока вероятность покинуть атмосферу без столкновений с другими атомами. Потеря водорода с уровня h_0 и выше в экзосфере компенсируется диффузией водорода из нижних слоёв атмосферы. Уравнение баланса (стационарности) позволяет вычислить распределение атомов водорода ниже уровня диссипации h_0 . Внешняя часть экзосферы, состоящая из несоударяющихся водородных атомов, иногда называют *водородной короной*, а для Земли часто используется термин «геокорона». Геокорона и водородные короны других планет исследуются главным образом путём наблюдения интенсивности резонансно рассеянного солнечного излучения в линии L_α ($\lambda = 1215,7 \text{ \AA}$). Геокорона населена атомами водорода с тремя типами траекторий: параболическими, эллиптическими и гиперболическими. Часть атомов с гиперболическими

траекториями навсегда теряются атмосферой. Для земной экзосферы поток диссипирующих атомов составляет 10^8 атомов / (см² · с) или $\sim 10^3$ г/с для всей Земли. С космических аппаратов экзосфера Земли прослеживается вплоть до 100 тыс. км. Экзосфера наблюдается также у Венеры и Марса. По-видимому, для Луны и Меркурия экзосфера начинается непосредственно у самой поверхности этих тел.

Ионосфера – внешние разреженные слои атмосферы планеты, ионизованные ультрафиолетовым и рентгеновским излучением Солнца, а также космическими лучами в основном солнечного происхождения.

Радиационные пояса – внешние слои атмосферы планеты, в которых, благодаря её магнитному полю, удерживаются и накапливаются заряженные частицы высоких энергий (десятки и сотни МэВ). Земное магнитное поле улавливает частицы солнечного ветра (протоны и электроны) и формирует вокруг Земли две заполненные ими тороидальные области на высотах около 4000 и 17000 км от поверхности Земли. В англоязычной литературе их нередко называют *поясами Ван-Аллена* в честь физика, приборы которого, установленные на первых американских спутниках, позволили открыть первый (внутренний) радиационный пояс. Практически одновременно его обнаружили и советские физики. Самыми мощными радиационными поясами среди планет обладает Юпитер; все планеты-гиганты обладают радиационными поясами. Исследования Меркурия, Венеры, Марса, а также Луны не выявили наличие у этих тел радиационных поясов. В 2013 году спутники миссии Van Allen обнаружили нестабильный третий пояс, который возник на несколько недель и разрушился в результате сильного выброса на Солнце.

Серебристые облака – светлые полупрозрачные облака, которые иногда видны на фоне тёмного неба летней ночью в средних и высоких широтах. Международное название – *noctilucent clouds*. Они образуются в верхних слоях атмосферы, на высоте 80–90 км и освещаются Солнцем, неглубоко опустившимся под горизонт (поэтому в Северном полушарии они наблюдаются в северной части неба, а в Южном полушарии – в южной). При формировании серебристых облаков центрами конденсации влаги, вероятно, служат частицы метеоритной пыли.

Мезосфера (от греч. *μεσο* – средний) – слой атмосферы на высотах от 40–50 до 80–90 км. Характеризуется повышением температуры с высотой; максимум (порядка +50°С) температуры расположен на высоте около 60 км, после чего температура начинает убывать до –70°С или –80°С. Такое повышение температуры связано с энергичным поглощением солнечной радиации (излучения) озоном. Термин принят Географическим и геофизическим союзом в 1951 году. Газовый состав мезосферы, как и расположенных ниже атмосферных слоев, постоянен и содержит около 80% азота и 20% кислорода. Мезосфера отделяется от нижележащей стратосферы *стратопазой*, а от вышележащей термосферы – *мезопазой*. Мезопауза в основном совпадает с *турбопазой*. Метеоры начинают светиться и, как

правило, полностью сгорают в мезосфере. В мезосфере могут появляться *серебристые облака*. Для полётов мезосфера представляет собой своего рода «мёртвую зону» – воздух здесь слишком разрежен, чтобы поддерживать самолёты или аэростаты (на высоте 50 км плотность воздуха в 1000 раз меньше, чем на уровне моря), и в то же время слишком плотен для полётов искусственных спутников на такой низкой орбите. Прямые исследования мезосферы проводятся в основном с помощью суборбитальных метеорологических ракет; в целом мезосфера изучена хуже других слоёв атмосферы, в связи с чем, учёные прозвали её «*игноросферой*».

Экзобаза – основание экзосферы, лежащее на высотах порядка 400 ÷ 800 км – верхний предел атмосферы, где взаимные соударения удерживают частицы газов, и не происходит выброс газов в космос. Выше экзобазы уже ничто не может остановить атом или молекулу, имеющие достаточную скорость для вылета в космос. Температура на высоте экзобазы Земли колеблется вблизи 1000 K, что соответствует средней скорости атомов водорода около 5 км/с. Это меньше второй космической скорости для Земли на этой высоте (10,8 км/с); но скорости атомов вокруг среднего значения распределены широко, поэтому некоторые атомы водорода имеют шанс преодолеть притяжение планеты.

Турбопауза – слой атмосферы, ниже которого доминируют турбулентные перемешивания. Слой ниже турбопаузы известен как *гомосфера*, там химический состав атмосферы остается неизменным. Слой выше турбопаузы – *гетеросфера*, там преобладает молекулярная диффузия и химический состав атмосферы изменяется, в соответствии с химическими соединениями. Турбопауза находится рядом с мезопаузой, на границе мезосферы и термосферы, на высоте примерно 100 км, резко отделяя находящуюся выше область от зоны интенсивного турбулентного перемешивания.

Литосфера (от греч. *λίθος* – камень и *σφαίρα* – шар, сфера) – твёрдая оболочка Земли. Состоит из земной коры и верхней части мантии, до астеносферы, где скорости сейсмических волн понижаются, свидетельствуя об изменении пластичности пород. В строении литосферы выделяют подвижные области (складчатые пояса) и относительно стабильные платформы. Блоки литосферы – литосферные плиты – двигаются по относительно пластичной *астеносфере*. Изучению и описанию этих движений посвящен раздел геологии о *тектонике плит*. Литосфера под океанами и континентами значительно различается. Литосфера под континентами состоит из *осадочного*, *гранитного* и *базальтового* слоёв общей мощностью до 80 км. Литосфера под океанами претерпела множество этапов частичного плавления в результате образования океанической коры, она сильно обеднена легкоплавкими редкими элементами, её толщина составляет 5–10 км, а гранитный слой полностью отсутствует. Для обозначения внешней оболочки литосферы применялся ныне устаревший термин *сиаль*, происходящий от названия основных элементов горных пород *Si* (лат. *Silicium* – кремний) и *Al* (лат. *Aluminium* – алюминий).

Астеносфера – (от др.-греч. *Asthees* – слабый) – верхний пластичный слой верхней мантии Земли называемый также *слоем Гутенберга*. Астеносфера выделяется по понижению скоростей сейсмических волн. Выше астеносферы залегает литосфера – твёрдая оболочка Земли. Граница между литосферой и астеносферой может лежать на глубине от 4 (под рифтами) до 200 (под кратонами) км. Астеносфера обладает вязкостью $\sim 3 \times 10^{20}$ Пуаз.

Мантия – часть Земли (геосфера), расположенная непосредственно под корой и выше ядра. В мантии находится большая часть вещества Земли. Мантия есть и на других планетах. Земная мантия находится в диапазоне от 30 до 2900 км. Границей между корой и мантией служит *граница Мохоровичича* или, сокращённо, *Мохо*. На ней происходит резкое увеличение сейсмических скоростей – от 7 до $8 \div 8,2$ км/с. Находится эта граница на глубине от 7 (под океанами) до 70 км (под складчатыми поясами). Мантия Земли подразделяется на *верхнюю мантию* и *нижнюю мантию*. Границей между этими геосферами служит *слой Голицына*, располагающийся на глубине около 670 км. Процессы, идущие в мантии, оказывают самое непосредственное влияние на земную кору и поверхность Земли, являются причиной движения континентов, вулканизма, землетрясений, горообразования и формирования рудных месторождений. Всё больше свидетельств того, что на саму мантию активно влияет металлическое ядро Земли.

Земная кора – внешняя твёрдая оболочка Земли (геосфера). Ниже коры находится мантия, которая отличается составом и физическими свойствами – она более плотная, содержит в основном тугоплавкие элементы. Кора есть на большинстве планет земной группы, Луне и многих спутниках планет-гигантов. В большинстве случаев она состоит из базальтов. Земля уникальна тем, что обладает корой двух типов: *континентальной* и *океанической*. Масса земной коры оценивается в $2,8 \times 10^{19}$ тонн (из них 21 % – океаническая кора и 79 % – континентальная). Кора составляет лишь 0,473 % общей массы Земли.

Океаническая кора состоит главным образом из базальтов. Согласно теории *тектоники плит*, она непрерывно образуется в срединно-океанических хребтах, расходится от них и поглощается в мантию в зонах *субдукции*. Поэтому океаническая кора относительно молодая, и самые древние её участки датируются поздней юрой. Толщина океанической коры практически не меняется со временем, поскольку в основном она определяется количеством расплава, выделившегося из материала мантии в зонах срединно-океанических хребтов. В разных географических областях толщина океанической коры колеблется в пределах $5 \div 7$ км. В рамках стратификации Земли по механическим свойствам, океаническая кора относится к *океанической литосфере*. В зонах субдукции толщина океанической литосферы достигает наибольших значений, составляя $120 \div 130$ км.

Континентальная кора имеет трёхслойное строение. Верхний слой представлен прерывистым покровом осадочных пород, который развит широко, но редко имеет большую мощность. Большая часть коры сложена под верхней

корой – слоем, состоящим главным образом из гранитов и гнейсов, обладающим низкой плотностью и древней историей. Исследования показывают, что большая часть этих пород образовались очень давно, около 3 миллиардов лет назад. Ниже находится нижняя кора, состоящая из метаморфических пород – гранулитов и им подобных.

Тектоника плит – современная геологическая теория о движении литосферы. Она утверждает, что земная кора состоит из относительно целостных блоков – плит, которые находятся в постоянном движении друг относительно друга. При этом в зонах расширения (срединно-океанических хребтах и континентальных рифтах) в результате *спрединга* (англ. *Seafloor spreading* – растекание морского дна) образуется новая океаническая кора, а старая поглощается в зонах субдукции. Теория объясняет землетрясения, вулканическую деятельность и горообразование, большая часть которых приурочена к границам плит. В теории тектоники плит ключевое положение занимает понятие *геодинамической обстановки* – характерной геологической структуры с определённым соотношением плит. В одной и той же геодинамической обстановке происходят однотипные тектонические, магматические, сейсмические и геохимические процессы.

За прошедшие десятилетия тектоника плит значительно изменила свои *основные положения*. Ныне их можно сформулировать следующим образом:

- Верхняя часть твёрдой Земли делится на хрупкую литосферу и пластичную астеносферу. Конвекция в астеносфере – главная причина движения плит.

- Современная литосфера делится на 8 крупных плит, десятки средних плит и множество мелких. Мелкие плиты расположены в поясах между крупными плитами. Сейсмическая, тектоническая и магматическая активность сосредоточена на границах плит.

- Литосферные плиты в первом приближении описываются как твёрдые тела, и их движение подчиняется теореме вращения Эйлера.

- Существует три основных типа относительных перемещений плит:

1. расхождение (дивергенция), выражено рифтингом и спредингом;

2. схождение (конвергенция) выраженное субдукцией и коллизией;

3. сдвиговые перемещения по трансформным геологическим разломам.

- Спрединг в океанах компенсируется субдукцией и коллизией по их периферии, причём радиус и объём Земли постоянны с точностью до термического сжатия планеты (в любом случае средняя температура недр Земли медленно, в течение миллиардов лет, уменьшается).

- Перемещение литосферных плит вызвано их увлечением конвективными течениями в астеносфере.

Более 90 % поверхности Земли в современную эпоху покрыто 8 крупнейшими *литосферными плитами*.

Подробнее информация расположена, в частности, на сайтах:

http://geografya.ru/litosfera/vnutrennee_stroenie_zemli/litosfernye-plity.html,

<http://www.grandars.ru/shkola/geografiya/tektonicheskie-dvizheniya.html>,

<http://popovgeo.sfedu.ru/>.

Доказательства движения Земли вокруг Солнца – это явления годичного параллакса и годичной абберации. К числу доказательств вращения Земли вокруг оси относятся: отклонение падающих тел к востоку и поворот плоскости качений свободного маятника к западу (опыт Фуко).

Величина отклонения падающих к востоку тел составляет (в миллиметрах): $0,022 \cdot h\sqrt{h} \cdot \cos \varphi$, где h – высота падения тела (в метрах), а φ – широта места наблюдения. Плоскость качений маятника Фуко поворачивается за один час на угол $\vartheta = 15^\circ \cdot \sin \varphi$.

Шарообразность Земли проявляется в увеличении расстояния D (в километрах) до линии горизонта с повышением наблюдателя над поверхностью Земли на высоту h (в метрах):

$$D = 3,57 \cdot \sqrt{h} \text{ (без учёта рефракции в земной атмосфере);}$$

$$D = 3,80 \cdot \sqrt{h} \text{ (с учётом рефракции в земной атмосфере).}$$

Видимый горизонт понижается, делаясь ниже астрономического на величину x , которая называется *понижением горизонта*:

$$x = 1',93 \cdot \sqrt{h} \text{ (без учёта рефракции в земной атмосфере);}$$

$$x = 1',80 \cdot \sqrt{h} \text{ (с учётом рефракции в земной атмосфере).}$$

Увеличение расстояния и понижение горизонта связаны с радиусом Земли пропорцией:

$$\frac{x}{360^\circ} = \frac{D}{2\pi R_3}.$$

Для определения радиуса Земли измеряют длину дуги меридиана S между точками, широты которых равны φ_1 и φ_2 , и определяют путём астрономических наблюдений (по высоте полюса мира над горизонтом):

$$\frac{S}{2\pi R} = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{360^\circ}.$$

Дугу S измеряют путём особого приёма – *триангуляции*. Из триангуляционных измерений выяснилось, что Земля сплющена у полюсов. Эта сплюсченность характеризуется величиной «сжатия», которая равна $(a-b)/b$, где a – экваториальный радиус Земли, а b – полярный радиус Земли. Это сжатие у Земли равно $1/298$, и является следствием вращения Земли и возникающей при этом центробежной силы, которая выражается формулой:

$$F_{ЦБ} = m \cdot \omega^2 \cdot r,$$

где m – масса тела, ω – угловая скорость вращения Земли, r – расстояние тела от оси вращения. Центробежная сила уменьшает вес тел, вызываемый их притяжением к центру Земли.

Ускорение силы тяжести выводят путём определения периода колебаний математического маятника, который, как известно определяется, как:

$$T = 2\pi \sqrt{l/g},$$

где l – длина нити подвеса маятника. С учётом центробежного ускорения на широте φ места наблюдения:

$$g = g_{90} - \omega^2 R \cos^2 \varphi,$$

где g_{90} – ускорение силы тяжести на полюсе. Однако этой формуле не соответствуют наблюдаемые значения ускорения силы тяжести: обнаруживается ещё большее изменение с широтой. Это происходит от изменения расстояния эллипсоидальной поверхности Земли от её центра (т.к. сила притяжения, как известно, обратно пропорциональна квадрату расстояния) и подтверждает существование сжатия ε Земли, для которого Клеро вывел формулу:

$$\varepsilon = \frac{5}{2} \frac{w_{ЦБ}}{g_0} - \frac{g_{90} - g_0}{g_0},$$

где g_0 и g_{90} – ускорения силы тяжести на экваторе и полюсе соответственно, $w_{ЦБ}$ – центробежное ускорение на экваторе.

Ход работы: решите задачи и ответьте на вопросы

1. На какой широте отклонение к востоку тела, падающего данной высоты, будет наибольшим?
2. Вычислите отклонение маятника Фуко за 1 ч на широтах 30; 60; 45; 75; 90; 0° и в городе Костанае.
3. Каковы скорости точек земной поверхности вследствие суточного движения Земли: а) на экваторе; б) на широте 53°; в) на северном полюсе, если средний радиус земного шара равен 6371 км? Как велико центростремительное ускорение тела, помещённого на земном экваторе на уровне моря? Радиус Земли считать равным 6378 км, а время её вращения 86 164 средних солнечных суток.
4. На какой широте находится место, движущееся при суточном вращении Земли вдвое медленнее Москвы ($\varphi = 56^\circ$)? Вдвое скорее Мурманска ($\varphi = 69^\circ$)?
5. Как изменились бы качественно времена года, если бы эксцентриситет земной орбиты увеличился до 0,5?
6. При каком наклоне земной оси к плоскости её орбиты южный полярный круг совпал бы с южным тропиком?
7. Как надо изменить наклонение оси вращения Земли к плоскости ее орбиты, чтобы Солнце дважды в году становилось бы полярной звездой?
8. Если бы вращалась не Земля, а небо, то какую скорость должна была бы иметь при своём суточном движении вокруг Земли звезда α Центавра, от которой свет доходит за четыре года и склонение которой равно $\delta = -60^\circ$.
9. На сколько изменится продолжительность года, если расстояние от Земли до Солнца увеличится на 1 м? Орбитальную скорость Земли считать неизменной.
10. Как велико ускорение свободного падения на экваторе, если секундный маятник имеет там длину, равную 991,03 мм?

11. На экваторе ускорение свободного падения равно $9,781 \text{ м/с}^2$. Во сколько раз быстрее должна была бы вращаться Земля, чтобы тела на экваторе были невесомыми?
12. Можно ли в ясную погоду увидеть с Эльбруса (высота 5630 м) берега Крыма, отстоящие от него на 600 км ? Какова дальность горизонта с вершины Эвереста, высота которого 8840 м ?
13. Если Землю представить глобусом диаметром 3 м , то как выразится тогда сжатие Земли?
14. Два наблюдателя в сентябре, находясь на экваторе, наблюдают заход Солнца, причём, один из них находится в шлюпке, а другой – в самолёте на высоте 10 км . Определите, на сколько позднее зайдёт Солнце для пилота самолёта.
15. В результате Лапландской и Перуанской градусных экспедиций (1736 год) и измерений Пикара во Франции (1677 год) были получены для длины одного градуса следующие значения:

Перу	$\varphi = -2^\circ$	110 578 м
Франция	$\varphi = +49^\circ$	111 213 м
Лапландия	$\varphi = +66^\circ$	111 950 м

Определите радиус кривизны Земли для указанных широт.

Задания и вопросы СРОП

- «Главная особенность (Северного) полюса та, что это единственная точка северного полушария, остающаяся неподвижной в то время, как все остальные вращаются со страшной быстротой», – говорит один из героев повести Ж. Верна «Путешествие капитана Гаттераса». В чём ошибка этого высказывания?
- Если суточное вращение Земли с течением веков постепенно замедляется, как это действительно установлено, то как будут по часам протекать астрономические явления – быстрее или медленнее, чем прежде?
- Ньютоново доказательство сжатия Земли предполагает заранее, что Земля вращается. Какие доказательства не зависят от этого предположения?
- Предположим, что два одинаковых поезда идут с одинаковыми скоростями в противоположные стороны – один с востока на запад, а другой – с запада на восток. Какой из поездов тяжелее?
- Если бы земная поверхность была лишена воды, то каково было бы влияние этого на среднюю температуру, на суточный ход температуры в каком-либо месте и ход её на всей поверхности Земли?
- Если предположить, что масса земной атмосферы уменьшилась, то каково будет влияние этого на среднюю температуру, на суточный ход её в каком-либо месте и ход её на всей поверхности Земли?
- Как изменяется центробежная сила с изменением широты места на Земле?
- Сравните отношения количеств теплоты, получаемых на единицу поверхности в каком-либо пункте с широтой φ в дни летнего и зимнего

солнцестояний и в дни прохождения Земли через перигелий и афелий. Во сколько раз влияние наклона солнечных лучей больше влияния изменения расстояния от Солнца (в пункте с широтой φ). Эксцентриситет орбиты Земли $e = 0,017$.

Литература

1. Кононович Э.В., Мороз В.И. Общий курс астрономии: Учебное пособие /Под ред. В.В. Иванова. Изд. 2-е, испр. – М.: Едиториал УРСС, 2004. – 544 с. (Классический университетский учебник).
2. Куликовский П.Г. Справочник любителя астрономии /Под ред. В.Г. Сурдина. Изд. 5-е, перераб. и полн. обновл. – М.: Едиториал УРСС, 2002. – 688 с.
3. Куликов К.А. Курс сферической астрономии. – М.: Наука, 1974. – 232 с.
4. Дагаев М.М. Лабораторный практикум по курсу общей астрономии. – М.: Высшая школа, 1972. – 424 с
5. Воронцов-Вельяминов Б.А. Сборник задач и практических упражнений по астрономии. – М.: Наука, 1977 – 284 с.
6. Астрономический календарь ВАГО: постоянная часть. – М.: Наука, 1981, гл. 1. – 704 с.
7. <http://ziv.telescopes.ru/> – сайт журнала «Земля и Вселенная».
8. <https://www.nkj.ru/> – сайт журнала «Наука и жизнь».

Интернет-ресурсы: [astrogalaxy, college.ru,](http://astrogalaxy.college.ru) [astro.websib.ru,](http://astro.websib.ru) <http://www.astronet.ru/>, <http://spacescience.ru/>

12 Физическая природа Солнца и звёзд

Цель: решить задачи на применение формулы Погсона и на определение расстояний до звёзд; сравнить характеристики Солнца и других звёзд.

Глоссарий к теме

Звёздная величина – безразмерная физическая величина, характеризующая *освещённость*, создаваемую небесным объектом вблизи наблюдателя. Субъективно её значение воспринимается как *блеск* (у точечных источников) или *яркость* (у протяжённых). При этом блеск одного источника указывают путём его сравнения с блеском другого, принятого за эталон. Такими эталонами обычно служат специально подобранные непременные звёзды. Звёздную величину сначала ввели как указатель видимого блеска оптических звёзд, но позже распространили и на другие диапазоны излучения: инфракрасный, ультрафиолетовый.

Абсолютная звёздная величина – звёздная величина, которую имело бы данное светило с расстояния 70 пк ; определяется светимостью объекта. Боллометрическая абсолютная звёздная величина Солнца $M_{\odot} = +4,7$.

Поток излучения, просуммированный по всем диапазонам спектра, даёт *боллометрическую звёздную величину* (m_b или m_{bol}) и позволяет (если известно

расстояние до источника и степень межзвёздного поглощения) вычислить *светимость* объекта.

Видимая звёздная величина (m ; часто её называют просто «звёздная величина») указывает поток излучения вблизи наблюдателя, т.е. наблюдаемую яркость небесного источника, которая зависит не только от реальной мощности излучения объекта, но и от расстояния до него.

При наблюдении глазом (невооруженным или через телескоп) измеряется *визуальная звёздная величина* (m_V).

По изображению звезды на обычной фотопластинке, полученному без дополнительных светофильтров, измеряется *фотографическая звёздная величина* (m_{pg}).

Поскольку фотоэмульсия чувствительна к синим лучам и нечувствительна к красным, на фотопластинке более яркими (чем это кажется глазу) получаются голубые звёзды. Однако и с помощью фотопластинки, используя ортохроматическую эмульсию и жёлтый светофильтр, получают так называемую *фотовизуальную шкалу звездных величин* (m_{pV}).

Фотометрическая система – набор спектральных диапазонов, удобный для фотометрии звёзд. Реализуется путём подбора светофильтров и фотоэмульсий (или иных приёмников излучения). Закрепляется в виде каталогов звёзд-стандартов. При массовом наблюдении звёзд или при использовании небольших телескопов измерение яркости звёзд в правильно разработанной фотометрической системе во многих случаях заменяет трудоёмкое исследование звёздных спектров.

Различают *широкополосные*, *среднеполосные* и *узкополосные* фотометрические системы. К широкополосным относят систему *UBV* с диапазонами шириной около 100 нм: ультрафиолетовый *U* (центрирован на 350 нм), синий *B* (435 нм) и жёлтый *V* (555 нм); это старейшая и самая популярная 3-полосная (говорят: 3-цветная) система. Позже её дополнили красным *R* (700 нм) и инфракрасным *I* (0,9 мкм) диапазонами; получилась 5-цветная система. Затем были введены инфракрасные диапазоны, ориентированные на «окна прозрачности» атмосферы. Строгого стандарта для них нет. В разных обсерваториях используют немного различающиеся системы полос в диапазоне от 1 до 45 мкм (при одинаковом их обозначении буквами от *J* до *Z*). Наиболее популярна сейчас 12-цветная система, содержащая инфракрасные полосы (в системе Вайомингской обсерватории): *J* (1,2 мкм), *H* (1,6 мкм), *K* (2,2 мкм), *L* (3,6 мкм), *M* (4,9 мкм), *N* (10,0 мкм), *Q* (19,5 мкм) при ширине самих полос от 0,2 до 5,8 мкм.

Пример среднеполосной системы даёт 4-цветная система Б. Стремгрена: *u* (350 нм), *b* (411 нм), *v* (467 нм), *y* (547 нм) при ширине полос 20 ÷ 30 нм. Наиболее развитой среднеполосной системой считается Вильнюсская 7-цветная, предназначенная для двумерной спектральной классификации звёзд.

Разработаны также десятки узкополосных и смешанных фотометрических систем.

Шкала звёздных величин – логарифмическая шкала, используемая для сравнения освещённостей (потоков излучения) от различных объектов или определённых их частей. За основание логарифма принято число 2,512..., десятичный логарифм которого в точности равен 0,4. Единицей ступени служит «1 звёздная величина»; обозначается 1^m . *Возрастание на 1^m соответствует уменьшению освещённости в $10^{0,4} = 2,512... раз$* . Начало отсчёта (нуль-пункт шкалы звёздных величин) устанавливается по специально выбранным звёздам, называемым *стандартами*.

Краткое теоретическое введение

Блеск светила E характеризуется его видимой звёздной величиной m . Одно и то же светило может иметь различную видимую звёздную величину в зависимости от способа её определения: визуальную m_V , фотографическую m_{pg} , фотовизуальную m_{pv} , фотоэлектрические звёздные величины V (жёлтую), B (синюю), U (ультрафиолетовую), болометрическую m_b и т.д.

Отношение блеска E_1 и E_2 двух светил связано с их видимой звёздной величиной m_1 и m_2 формулой Погсона:

$$\lg \frac{E_1}{E_2} = 0,4(m_2 - m_1), \text{ или } \frac{E_1}{E_2} = 2,512^{-(m_1 - m_2)}$$

Разность

$$C = m_{pg} - m_V = m_{pg} - m_{pv}$$

называется *обычным показателем цвета*, разность $(B - V)$ – *основным показателем цвета*, а разность $(U - V)$ – *ультрафиолетовым показателем цвета*, хотя часто под ним подразумевается также разность $(U - B)$.

Расстояние r до звезды, выраженное в парсеках и её годичный параллакс π , измеренный в секундах дуги ($''$), связаны соотношением:

$$r = \frac{1}{\pi''}.$$

Абсолютной звёздной величиной M звезды называется звёздная величина, которую имела бы звезда, если бы она находилась от нас на расстоянии 10 парсеков.

Единица расстояний 1 парсек ($пк$) = 3,26 световых года ($с.г.$) = 206265 астрономических единиц ($а.е.$). На расстоянии 10 $пк$ звезда имеет параллакс, равный $\pi = 0'',1$.

Параллакс, видимая и абсолютная звёздная величина, связаны друг с другом соотношением:

$$M = m + 5 + 5 \lg \pi'', \text{ или } M = m + 5 - 5 \lg r.$$

Абсолютная звёздная величина Солнца $M_{\odot} = +4,88$.

Светимостью звезды L называется величина, показывающая, во сколько раз в действительности звезда ярче Солнца. Для этого сравнивают общее излучение звезды E_* и Солнца E по их абсолютным звёздным величинам M и M_{\odot} соответственно:

$$L = \frac{E_*}{E}, \text{ или } \lg L = 0,4(M_{\odot} - M).$$

Собственным движением звезды μ называется видимое угловое перемещение звезды по небесной сфере за год, вызванное её движением в пространстве относительно Солнца, т.е. μ – проекция на небесную сферу перемещения звезды в пространстве относительно Солнца за год.

Тангенциальная скорость звезды V_{τ} – это скорость, перпендикулярная лучу зрения; она выражается формулой:

$$V_{\tau} = 4,74 \frac{\mu}{\pi} \text{ (км/с)}.$$

Полная скорость звезды в пространстве определяется формулой:

$$V = \sqrt{V_{\tau}^2 + V_r^2},$$

где V_r – лучевая скорость. Если скорость V образует в пространстве угол ϑ с направлением от нас к звезде, то: $V_r = V \cdot \cos \vartheta$ и $V_{\tau} = V \cdot \sin \vartheta$.

Линейные радиусы звёзд всегда выражаются в радиусах Солнца ($R_{\odot}=1$) и для звёзд с известными угловыми диаметрами Δ (в секундах дуги) определяются как:

$$R = 107,5 \frac{\Delta}{\pi},$$

причём $\lg \Delta = 5,444 - 0,2m_b - 2 \lg T$, где T – температура звезды (строго говоря, эффективная, но если она не известна, то цветовая), $m_b = m_v + b$ (b – болометрическая поправка, зависящая от спектрального класса и класса светимости звезды). Так как и объёмы звёзд выражаются в объёмах Солнца, то средняя плотность звёздного вещества (средняя плотность звезды) определяется как:

$$\rho = \rho_{\odot} \frac{M}{R^3},$$

где ρ_{\odot} – средняя плотность солнечного вещества.

Закон Стефана-Больцмана (так как в первом приближении можно считать, что звёзды излучают как абсолютно чёрное тело) применим для определения эффективной температуры только тех звёзд, у которых известны угловые диаметры. Если E – количество энергии, падающей от звезды (или Солнца) по нормали на площадку в 1 см^2 границы земной атмосферы за одну секунду, то при угловом диаметре Δ , выраженном в секундах дуги, эффективная температура:

$$T_e = 642,3 \cdot 4 \sqrt{\frac{E}{\sigma \cdot \Delta^2}},$$

где значение постоянной Стефана-Больцмана выбирается в зависимости от единиц измерения количества энергии, которое определяется по формуле Погсона по разности болометрических звёздных величин звезды и Солнца путём сравнения с солнечной постоянной (которая составляет порядка $2 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$). Также эффективную температуру можно определить, используя закон Стефана-Больцмана в виде:

$$T_e = 4 \sqrt{\frac{L}{\sigma \cdot 4 \cdot \pi \cdot R^2}},$$

где R – радиус звезды.

Значения фундаментальных параметров звёзд, как правило, выражают в единицах солнечных значений соответствующих величин; поэтому имеет место соотношение:

$$L_*/L_{\odot} = R_*^2/R_{\odot}^2 = T_{*e}^4/T_{\odot}^4.$$

Цветовая температура Солнца и звёзд, в спектрах которых известно распределение энергии, может быть найдено по закону Вина, в котором значение постоянной зависит от выбора единиц измерения длины волны.

Планеты и их спутники светят отражённым рассеянным солнечным светом и поэтому при полной фазе их блеск определяется по формуле:

$$E = kA \frac{d^2}{r^2 \rho^2},$$

здесь k – коэффициент, учитывающий освещённость Солнцем и систему единиц измерения, A – сферическое альbedo, d – линейный диаметр, r – гелиоцентрическое расстояние, ρ – расстояние от наблюдателя; все расстояния выражаются либо в километрах, либо в астрономических единицах.

Примеры решения задач

Задача 1

Во сколько раз видимый блеск одной звезды больше видимого блеска другой звезды и во сколько раз в действительности одна звезда ярче другой, если их видимые звёздные величины соответственно равны $m_1 = +1,36$ и $m_2 = +2,73$, а вторая звезда дальше первой в 50 раз.

Решение

Видимое соотношение блеска определяется формулой:

$$\lg \frac{E_1}{E_2} = 0,4(m_2 - m_1) = 0,4(2,73 - 1,36) = 0,4 \cdot 1,37 = 0,548.$$

По таблицам логарифмов или с помощью калькулятора видимое отношение блеска получается равным: $\frac{E_1}{E_2} = 3,53$, т.е. первая звезда представляется в 3,5 раза ярче, чем вторая.

Для сравнения действительного соотношения светимостей звёзд необходимо их поместить на одинаковом расстоянии от нас. Так как блеск

обратно пропорционален квадрату расстояния, то, удалив первую звезду на расстоянии второй, т.е. на расстояние $50r$, её блеск ослабнет в 2500 раз:

$$\frac{E_1}{E'_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2} = \left(\frac{50 \cdot r}{r} \right)^2 = 50^2 = 2500.$$

Тогда действительное соотношение светимостей звёзд будет:

$$\frac{E_2}{E'_1} = \frac{E_2}{E_1} \cdot \frac{E_1}{E'_1};$$

а так, как

$$\frac{E_1}{E_2} = 3,53, \text{ то } \frac{E_2}{E_1} = \frac{1}{3,53}, \text{ тогда } \frac{E_2}{E'_1} = \frac{1}{3,53} \cdot 2500 = 708.$$

То есть в действительности вторая звезда ярче первой в 708 раз.

Задача 2

Определить светимость звезды Процион (α Малого Пса), если её видимая звёздная величина $m = +0,48$, а годичный параллакс $\pi = 0'',291$. Абсолютная звёздная величина Солнца $M_{\odot} = +4,88$.

Решение

Сначала находится абсолютная звёздная величина Проциона по формуле:

$$M = m + 5 + 5 \lg \pi'' \Rightarrow$$

$$M = +0,48 + 5 + 5 \lg 0,291 = 5,48 - 5 \cdot 0,5361 = +2,8.$$

Светимость определяется по формуле:

$$\lg L = 0,4(M_{\odot} - M) \Rightarrow \lg L = 0,4 \cdot (4,88 - 2,80) = 0,832,$$

откуда светимость $L = 6,8$, т.е. Процион в действительности ярче Солнца в 6,8 раза.

Задача 3

Визуальный блеск звезды Вега (α Лиры) равен $m = +0,14$ и её параллакс $\pi'' = 0'',123$, а у звезды β Водолея визуальный блеск $m = +3,07$ и параллакс $\pi'' = 0'',003$. Найти отношение блеска и светимости этих двух звёзд.

Решение

По формуле $\lg \frac{E_1}{E_2} = 0,4(m_2 - m_1)$ находится отношение блеска двух

звёзд:

$$\lg \frac{E_1}{E_2} = 0,4(3,07 - 0,14) = 1,172 \Rightarrow \frac{E_1}{E_2} = 14,86.$$

Согласно выражению $\frac{L_1}{L_2} = \frac{E_1}{E_2} \cdot \frac{\pi_2^2}{\pi_1^2}$ определяется отношение светимости этих

звёзд:

$$\frac{L_1}{L_2} = 14,86 \left(\frac{0'',003}{0'',123} \right)^2 = \frac{14,86}{1681} = 113,1.$$

Следовательно, звезда Вега нам представляется ярче звезды β Водолея в 14,86 раза, а в действительности β Водолея ярче Веги в 113 раз.

Задача 4.

Определите: 1) во сколько раз Арктур больше Солнца, если его светимость (в светимостях Солнца) равна 210, а температура его поверхности равна 4600 K; б) во сколько раз Солнце больше белого карлика Сириус В, если его светимость составляет 0,026 от светимости Солнца, а температура поверхности равна 25200 K?

Решение.

1) Светимости Солнца и Арктура равны соответственно:

$$L_{\odot} = \sigma \cdot T_{\odot}^4 \cdot S_{\odot} \text{ и } L_A = \sigma \cdot T_A^4 \cdot S_A;$$

тогда $L_A = 210 L_{\odot} \Rightarrow \sigma \cdot T_A^4 \cdot S_A = 210 \sigma \cdot T_{\odot}^4 \cdot S_{\odot}$. Выразив площади поверхностей звёзд через их радиусы, можно получить отношение радиуса Арктура к радиусу Солнца. Подстановка числовых значений даёт ответ, что Арктур больше Солнца в 25 раз.

2) Решение проводится аналогично пункту 1). Ответ: Белый карлик Сириус В меньше Солнца в 109 раз.

Ход работы: решите задачи и ответьте на вопросы

1. Какой наименьший линейный диаметр должно иметь солнечное пятно для того, чтобы оно могло быть различимо невооружённым глазом (при наблюдениях через закопчённое стекло), если разрешающая способность глаза равна $1'$, а расстояние до Солнца составляет 1 a.e. ? Какой угловой диаметр должно иметь солнечное пятно, чтобы его линейный диаметр равнялся диаметру Земли (радиус Земли принять равным 6371 км)?

2. За какое время отвесно падающие лучи Солнца могли бы растопить слой льда, покрывающий Землю, при его толщине в 1 см , считая солнечную постоянную равной $1,94 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ и полагая, что теплота не поглощается земной атмосферой?

3. Определите величину солнечной постоянной для Марса по известному значению солнечной постоянной для Земли при расстоянии Марса от Солнца, равном $1,52 \text{ a.e.}$

4. Известно, что в процессе излучения Солнце каждую секунду теряет $4,1 \text{ млн. тонн}$ своей массы. Пользуясь соотношением $E = mc^2$, рассчитайте (в джоулях) количество энергии, излучаемой Солнцем в одну секунду.

5. Диаметр спутника Сириуса (Сириус В) в 30 раз меньше диаметра Солнца, а его масса составляет 0,9 солнечной массы. Вычислите среднюю плотность

вещества спутника Сириуса, если средняя плотность вещества Солнца равна 1400 кг/м^3 .

6. Определите: а) массу красного сверхгиганта – звезды Бетельгейзе (α Ориона), – зная, что средняя плотность вещества этой звезды равна $1,12 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$ и что радиус её в 350 раз больше радиуса Солнца; б) сколько тепла от этой звезды получает Земля в год, если его собирать зеркалом телескопа, имеющего диаметр 2,5 м? Известно, что Бетельгейзе посылает на Землю количество тепла, равное $7,7 \cdot 10^{-11} \text{ кал/см}^2$ в минуту.

7. Определите светимость звезды, поверхностная температура которой такая же, как у Солнца, а радиус звезды в 10 раз больше солнечного.

8. Поверхностные температуры двух звёзд одинаковы. Определите отношение радиусов этих звёзд, если светимость одной из них в 144 раза больше светимости другой.

9. Видимые звёздные величины Солнца и Луны (в полнолуние) равны соответственно $-26,8$ и $-12,7$. Во сколько раз видимый блеск Солнца больше видимого блеска Луны?

10. Во сколько раз видимый блеск звезды Денеб меньше видимого блеска звезды Вега и во сколько раз Денеб в действительности ярче Веги, если их видимые звёздные величины соответственно равны $+1,33$ и $+0,14$, а расстояние до Денеба в 24 раза больше, чем до Веги?

11. Определить светимость звезды Вега, если её видимая звёздная величина $m = +0,14$, а годичный параллакс $\pi = 0'',121$. Абсолютная звёздная величина Солнца $M_{\odot} = +4,88$.

12. Во сколько раз звезда Арктур ближе звезды Денеб, если параллаксы их соответственно равны $\pi_1 = 0'',085$ и $\pi_2 = 0'',005$.

13. Если бы Солнце, Ригель (визуальный блеск равен $+0^m,34$, параллакс равен $0'',003$), Толиман (визуальный блеск равен $+0^m,12$, параллакс равен $0'',751$) и его спутник Проксима (визуальный блеск равен $+10^m,68$, параллакс равен $0'',762$), находились на одинаковом расстоянии от Земли, то какое количество света в сравнении с солнечным получала бы она от этих звёзд?

14. Максимум энергии в спектре Спики приходится на электромагнитную волну длиной 1450 \AA , в спектре Капеллы – на 4830 \AA , а в спектре Поллукса – на 6580 \AA . Определите цветовую температуру этих звёзд.

15. Солнечная постоянная периодически колеблется в пределах от 1,93 до 2,00 $\text{кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$. На сколько при этом изменяется эффективная температура Солнца, если его видимый диаметр близок к $32'$? Постоянную Стефана-Больцмана принять равной $\sigma = 1,354 \cdot 10^{-12} \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{град}^4)$.

Задания и вопросы СРОП

1. В эпоху среднего противостояния Марса его спутники видны с Земли звездообразными объектами: $+11^m,6$ (Фобос) и $+12^m,8$ (Деймос). Определите

блеск спутников в эпоху Великого противостояния Марса. Среднее гелиоцентрическое расстояние Марса равно $1,524 \text{ а.е.}$, а эксцентриситет орбиты равен $e = 0,0934$.

2. Сколько звёзд нулевой видимой звёздной величины могут заменить свет, испускаемый всеми звёздами восьмой звёздной величины, число которых близко к 26 700?

3. Определите: а) отношение освещённостей, создаваемых на Земле Луной в полнолуние ($-12^m,7$) и в фазе первой четверти ($-9^m,2$); б) во сколько раз Земля получает больше света от Солнца, чем от одной из самых ярких звёзд неба Сириуса, если его видимая звёздная величина $-1^m,58$?

4. Определите радиус Антареса (α Скорпиона) в единицах радиуса Солнца, если известно, что его температура равна 3600 К , а абсолютная звёздная величина $M = -5,5^m$.

5. Вычислите угловой диаметр и видимую визуальную звёздную величину Солнца с планет Меркурия, Марса и Плутона и определите освещённость этих планет Солнцем в сравнении с освещённостью Земли. Гелиоцентрические расстояния этих планет равны $0,387 \text{ а.е.}$, $1,524 \text{ а.е.}$, $39,5 \text{ а.е.}$ соответственно. Средний видимый диаметр Солнца с Земли равен $32'$.

6. Определите эффективную температуру звёзд по измеренным их угловым диаметрам (в угловых секундах) и доходящему от них до Земли излучению:

а) Регул ($0'',0014$; $3,23 \cdot 10^{-11} \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$); б) Альтаир ($0'',0030$; $2,13 \cdot 10^{-11} \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$); в) Бетельгейзе ($0'',046$; $7,70 \cdot 10^{-11} \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$).

7. Определите радиусы и объёмы звёзд по измеренным их угловым диаметрам и параллаксам, которые указаны в скобках:

а) Вега ($0'',0035$; $0'',123$); б) Альтаир ($0'',0030$; $0'',198$); в) Ригель ($0'',0027$; $0'',003$); г) Альдебаран ($0'',0200$; $0'',048$).

8. Определите приближённое значение болометрической поправки для звёзд спектрального класса $B0Ia$, к которому принадлежит звезда ϵ Ориона, если её угловой диаметр равен $0'',0007$, а видимая визуальная звёздная величина $+1^m,75$; максимум энергии в её спектре приходится на длину волны 1094 \AA .

9. Зная, что интенсивность солнечного света на Плуtone в 1600 раз слабее, чем на Земле, и что интенсивность лунного света на Земле (в полнолуние) в 440 000 раз слабее солнечного, определите отношение интенсивностей солнечного света на Плуtone и лунного света на Земле.

10. Фобос (диаметр $d = 15 \text{ км}$) отстоит от центра Марса на $2,8$ радиуса планеты. Зная диаметр Марса и его расстояние от Солнца, а также диаметр Луны, определите, во сколько раз свет, даваемый Фобосом на Марсе во время его «полнолуния», слабее света, даваемого Луной на земле во время полнолуния, если отражательные способности поверхностей Луны и Фобоса одинаковы.

11. Вычислите температуру абсолютно чёрного шара, находящегося от Солнца на том же расстоянии, что и Меркурий, зная, что на расстоянии Земли от

Солнца на 1 см^2 поверхности, перпендикулярно его лучам, падает в минуту 1,99 малой калории.

12. На каком расстоянии надо поставить международную свечу, чтобы она создала такую освещённость, как Венера в наибольшем блеске, дающая освещённость $8 \cdot 10^{-5}$ лк ?

13. Диаметр Луны меньше земного в 3,67 раза; сферическое альbedo Земли равно 0,39, а Луны – 0,07. Как выглядит Земля и Луна по наблюдениям с Солнца? Геоцентрическое расстояние Луны принять равным 384 400 километров.

14. Пусть на некоторой планете тепловые условия аналогичны земным, но звезда, вокруг которой обращается эта планета имеет вдвое меньший угловой диаметр, чем Солнце на земном небе. Определите эффективную температуру этой звезды.

15. Белый карлик с массой, равной половине солнечной, и с поверхностной температурой в два раза больше солнечной, имеет абсолютную звёздную величину $M = +12^m$. Оцените плотность вещества этого белого карлика.

Литература

1. Кононович Э.В., Мороз В.И. Общий курс астрономии: Учебное пособие /Под ред. В.В. Иванова. Изд. 2-е, испр. – М.: Едиториал УРСС, 2004. – 544 с. (Классический университетский учебник).
2. Куликовский П.Г. Справочник любителя астрономии /Под ред. В.Г. Сурдина. Изд. 5-е, перераб. и полн. обновл. – М.: Эдиториал УРСС, 2002. – 688 с.
3. Куликов К.А. Курс сферической астрономии. – М.: Наука, 1974. – 232 с.
4. Дагаев М.М. Лабораторный практикум по курсу общей астрономии. – М.: Высшая школа, 1972. – 424 с.
5. Воронцов-Вельяминов Б.А. Сборник задач и практических упражнений по астрономии. – М.: Наука, 1977 – 284 с.
6. Астрономический календарь ВАГО: постоянная часть. – М.: Наука, 1981, гл. 1. – 704 с.
7. <http://ziv.telescopes.ru/> – сайт журнала «Земля и Вселенная».
8. <https://www.nkj.ru/> – сайт журнала «Наука и жизнь».

Интернет-ресурсы; [astrogalaxy, college.ru,](http://astrogalaxy.college.ru) [astro.websib.ru,](http://astro.websib.ru) <http://www.astronet.ru/>, <http://spacescience.ru/>, <http://www.hypernova.ru>

13 Кратные и переменные звёзды

Цель: сформировать представления о строении, структуре и развитии двойных и кратных систем и переменных звёзд различной природы; решить задачи на определение характеристик кратных и переменных звёзд.

Краткое теоретическое введение

Так как блеск каждой звезды прямо пропорционален её светимости и обратно пропорционален квадрату расстояния от наблюдателя, то отношение светимости двух звёзд:

$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{E_1}{E_2} \cdot \frac{r_1^2}{r_2^2} = \frac{E_1}{E_2} \cdot \frac{\pi_2^2}{\pi_1^2}.$$

Если имеется кратная звезда, то суммарный блеск такой звезды E равен сумме блесков звёзд, образующих кратную звезду (её компонентов):

$$E = E_1 + E_2 + \dots + E_n.$$

В этом случае блеск звезды и её компонентов сравнивают с блеском E_0 звезды нулевой величины $m_0 = 0$, тогда для звезды произвольной видимой звёздной величины m :

$$\lg E = -0,4 \cdot m.$$

В двойных и кратных системах положение спутника относительно главной звезды характеризуется измеренным угловым расстоянием ρ и его позиционным углом θ , т.е. углом, который образует направление ρ с направлением на северный полюс. Большая полуось орбиты A спутника, выраженная в километрах определяется, как:

$$a = \frac{\alpha}{\pi},$$

где α – большая полуось орбиты, выраженная в секундах дуги, π – параллакс. Сумма масс двойной звезды $m_1 + m_2$ можно выразить формулой:

$$m_1 + m_2 = \frac{a^3}{P^2} = \frac{\alpha^3}{\pi^3 P^2};$$

В этой формуле m_1 и m_2 выражены в массах Солнца, а P – период обращения в годах. Отсюда получается возможность определить так называемый *динамический параллакс* двойной звезды:

$$\pi = \frac{\alpha}{\sqrt[3]{P^2(m_1 + m_2)}}.$$

Массы звёзд в двойных системах надёжно определяются только для физически двойных звёзд.

Средняя орбитальная скорость V компонентов затменной переменной звезды может быть найдена по периодическому наибольшему смещению $\Delta\lambda$ линий (с длиной волны λ) от их среднего положения в её спектре, т.к. в данном случае можно принять:

$$V = V_r = c \frac{\Delta\lambda}{\lambda},$$

где c – скорость света в вакууме. По найденным значениям скоростей компонентов и периоду переменности P (который равен периоду обращения компонент) звезды вычисляют большие полуоси a_1 и a_2 их абсолютных орбит:

$$a_1 = \frac{V_1}{2\pi} P \text{ и } a_2 = \frac{V_2}{2\pi} P,$$

а затем – большую полуось относительной орбиты: $a = a_1 + a_2$ (в формулах для a_1 и a_2 число $\pi = 3,14$, а не паралакс!).

Задача 1

Определить видимую звёздную величину m четырёхкратной звезды, если звёздная величина её первого компонента $m_1 = +4,25$, второй компонент слабее первого в три раза, третий компонент слабее второго в два раза, а четвёртый компонент слабее первого на 2,37 звёздной величины.

Решение

Суммарный блеск звезды определяется как:

$$E = E_1 + E_2 + E_3 + E_4.$$

Так как задана звёздная величина первого и четвёртого компонентов, то блеск кратной системы E выражается через блеск первого E_1 и четвёртого E_4 компонентов. Тогда:

$$E = E_1 + \frac{E_1}{3} + \frac{E_1}{6} + E_4 = \frac{9}{6} E_1 + E_4.$$

Используя формулу $\lg E = -0,4 \cdot m$, можно найти E_1 и E_4 :

$$\lg E_1 = -0,4 \cdot m_1 = -0,4 \cdot 4,25 \Rightarrow E_1 = 0,0200;$$

$$\lg E_4 = -0,4 \cdot m_4 = -0,4 \cdot 6,62 \Rightarrow E_4 = 0,0022.$$

Тогда:

$$E = \frac{9}{6} \cdot 0,0200 + 0,0022 = 0,0322;$$

$$\lg E = -0,4 \cdot m \Rightarrow m = -\frac{\lg E}{0,4} = -\frac{\lg 0,0322}{0,4} = -\frac{-1,4921}{0,4} = +3,73.$$

Таким образом, видимая звёздная величина четырёхкратной звезды равна +3,73.

Задача 2

Новая звезда 1901 года в созвездии Персея за двое суток увеличила свой блеск с 12^m до 2^m . Во сколько раз увеличилась её яркость (создаваемая ею освещённость)?

Решение

Для решения задачи необходимо воспользоваться формулой Погсона:

$$\lg \frac{E_1}{E_2} = -0,4(m_1 - m_2) = -0,4(12 - 2) = 0,4 \cdot 10 = 4.$$

Значит, яркость звезды увеличилась в 10^4 раз.

Задача 3

Определите изменение радиуса цефеиды, если в максимуме блеска её температура равна 9000 K , а в минимуме температура составляет 7000 K ; при этом видимая звёздная величина изменяется на 2^m .

Решение

Из формулы Погсона $\lg \frac{E_1}{E_2} = 0,4(m_2 - m_1)$ получается, что

$\frac{E_1}{E_2} = 10^{0,8} = \frac{L_1}{L_2}$ (т.к. речь идёт об одной и той же звезде, то $\frac{r_1^2}{r_2^2} = 1$). Тогда:

$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{S_1 T_1^4}{S_2 T_2^4} \Rightarrow \frac{L_1 T_2^4}{L_2 T_1^4} = \frac{S_1}{S_2} = \frac{R_1^2}{R_2^2} \Rightarrow \frac{R_1}{R_2} = \frac{T_2^2}{T_1^2} \sqrt{\frac{L_1}{L_2}} = \frac{9000^2}{7000^2} \cdot \sqrt{10^{0,8}} \approx 4,14.$$

Задача 4.

В спектре звезды линия кальция с длиной волны $\lambda = 4227\text{ \AA}$ оказалась смещённой к синему концу спектра на $0,7\text{ \AA}$. Определите, с какой скоростью звезда движется по лучу зрения.

Решение.

Для проведения расчёта нужно воспользоваться формулой $V = V_r = c \frac{\Delta\lambda}{\lambda}$.

При подстановке числовых значений, получится: $V_r = 3 \cdot 10^8 \frac{0,7}{4227} \approx 49,68\text{ км/с}$.

Ход работы: решите задачи и ответьте на вопросы

1. Во сколько раз произошло усиление видимого блеска звезды Новой Орла, если до вспышки она имела видимую звёздную величину, равную $+10,5$, а в период вспышки её видимая звёздная величина достигла значения, равного $+1,0$?
2. Новая звезда 1918 года в созвездии Орла в максимуме блеска имела абсолютную величину $M = -8^m,8$. Определите: а) во сколько раз она была ярче Солнца; б) на каком расстоянии она находилась, если её видимая звёздная величина была равна $m = -1^m,1$; в) с какого расстояния она казалась бы такой же яркой, как полная Луна, видимый блеск полной Луны равен $-12^m,5$.
3. Двойная звезда Кастор состоит из звёзд, имеющих видимые звёздные величины, равные $+2,0$ и $+2,8$. Определите видимую звёздную величину Кастор.
4. Определить суммарный видимый блеск в звёздных величинах четырёхкратной звезды, если первый её компонент имеет видимую звёздную величину $m_1 = 2,72$, второй $m_2 = 3,12$, третий слабее первого в 4 раза, а четвёртый слабее второго в 5 раз.
5. Визуальный блеск Капеллы равен $m = +0^m,21$, а её спутника – $m_1 = +10^m,0$. Показатели цвета этих звёзд равны $+0^m,82$ и $+1^m,63$ соответственно.

Определите, во сколько раз визуальная и фотографическая светимость Капеллы больше соответствующей светимости её спутника.

6. Определите, во сколько раз меняется визуальный блеск переменных звёзд β Персея и χ Лебеда, если у первой звезды блеск колеблется в пределах от $2^m,2$ до $3^m,5$, а у второй – от $3^m,3$ до $14^m,2$.

7. Определите сумму масс двойной звезды Капеллы, если большая полуось их орбиты равна $0,85 \text{ а.е.}$, а период их обращения $0,285 \text{ года}$.

8. Во сколько раз изменяется радиус цефеиды, если известно, что амплитуда изменения блеска равна $1,5$ звёздные величины, а яркость единицы поверхности остаётся постоянной?

9. Если максимум звезды χ Лебеда был 20 мая, то когда был её максимум в три последующие года? Период изменения блеска звезды равен $405,6 \text{ суток}$.

10. В спектре Новой 1934 года в Геркулесе тёмные линии были смещены относительно нормального положения к синему концу. Линия H_γ длиной волны $\lambda_0 = 4341 \text{ \AA}$ оказалась смещена на $10,1 \text{ \AA}$. Определите скорость расширения оболочки звезды.

Задания и вопросы СРОП

1. Известно, что двойная звезда ε Гидры имеет период обращения $15,3 \text{ года}$, динамический параллакс $0'',020$ и угловые размеры большой полуоси орбиты $0'',23$. Определите линейные размеры большой полуоси и сумму масс компонентов.

2. Вычислите динамический параллакс двойной звезды β 7642, для которой $\alpha = 2'',87$ и $T = 317,5 \text{ года}$. Сравните полученное значение со значением тригонометрического параллакса, который равен $0'',088$ и объясните различия.

3. В спектре затменной переменной звезды, блеск которой меняется за $3,953$ суток, линии относительно их среднего положения периодически смещаются в противоположные стороны до значений в $1,9 \cdot 10^{-4}$ и $2,9 \cdot 10^{-4}$ от нормальной длины волны. Вычислите массы компонентов этой звезды.

4. В минимуме блеска визуальная звёздная величина звёзды δ Цефея равна $+4^m,3$, а звезды R Треугольника она составляет $+12^m,6$. Определите блеск этих звёзд в максимуме светимости, если она у них возрастает в $2,1$ и 760 раз соответственно.

5. Каково наибольшее расстояние между компонентами двойной звезды, при котором она может быть видима как диск в большой рефрактор, имеющий объектив диаметром в 76 см ?

6. Переменная звезда Мира Кита в максимуме блеска достигает $2,5$ величины, а в минимуме $9,2$ величины. Определите, во сколько раз она ярче в максимуме, чем в минимуме.

7. Один из минимумов Алголя пришёлся на 3 января $13^h 55^m$ всемирного времени. Вычислите момент ближайшего минимума в текущем году и месяце,

если известно, что период изменения блеска затменной переменной звезды равен 2,8673 суток.

8. Определите отношение поверхностных яркостей компонентов двойной звезды Алголь, если их блеск находится в отношении 0,93:0,07, а их радиусы составляют 0,21 и 0,24 радиуса Солнца.

9. Блеск Новой Лебеда, обнаруженной 29 августа 1975 года, был близок к $+21^m$, а в максимуме увеличился до $+1^m,9$. Если считать, что в среднем абсолютная звёздная величина новых звёзд в максимуме блеска бывает равна примерно -8^m , то какую светимость имела эта звезда до вспышки и в максимуме блеска, и на каком расстоянии эта звезда находится от Солнца?

10. Эмиссионные водородные линии $H_\beta = 4861 \text{ \AA}$ и $H_\gamma = 4340 \text{ \AA}$ в спектре Новой Орла 1918 года были смещены к фиолетовому концу на 39,8 \AA и 35,6 \AA , а в спектре Новой Лебеда 1975 года – на 40,5 \AA и 36,2 \AA . Определите значения скоростей, с которыми расширялись газовые оболочки, сброшенные этими звёздами.

Литература

1. Кононович Э.В., Мороз В.И. Общий курс астрономии: Учебное пособие /Под ред. В.В. Иванова. Изд. 2-е, испр. – М.: Едиториал УРСС, 2004. – 544 с. (Классический университетский учебник).

2. Куликовский П.Г. Справочник любителя астрономии /Под ред. В.Г. Сурдина. Изд. 5-е, перераб. и полн. обновл. – М.: Едиториал УРСС, 2002. – 688 с.

3. Шкловский И.С. Звезды: их рождение, жизнь и смерть. – 3-е изд., перераб. – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1984. – 384 с.

4. Сурдин В.Г. Рождение звёзд. – Изд. 3-е, существенно перераб. и доп. – М.: УРСС, 2001. – 264 с.

5. Звёзды (Авторский коллектив)/Ред.-сост. В.Г. Сурдин. – Изд. 2-е, испр. и доп. – М.: Физматлит, 2009. – 428 с. (Астрономия и астрофизика).

6. Воронцов-Вельяминов Б.А. Сборник задач и практических упражнений по астрономии. – М.: Наука, 1977 – 284 с.

7. <http://ziv.telescopes.ru/> – сайт журнала «Земля и Вселенная».

8. <https://www.nkj.ru/> – сайт журнала «Наука и жизнь».

Интернет-ресурсы: astro.websib.ru, <http://www.astronet.ru/>,
<http://spacescience.ru/>, <http://www.hypernova.ru>, <http://www.variable-stars.ru/db/varstars/rindex.html> – сайт, посвящённый переменным звёздам.

14 Физика звёздных систем

Цель: сформировать представления о строении, структуре и развитии звёздных скоплений и галактик посредством изучения теоретического материала и решения задач.

Глоссарий к теме

Балдж галактики – (от англ. *bulge*, вздутие) – элемент структуры спиральных галактик. Так называют внутреннюю, наиболее яркую часть сферической составляющей галактик размером от нескольких сотен парсек до нескольких килопарсек. Балджи галактик состоят преимущественно из очень старых звёзд, двигающимся в галактике по вытянутым орбитам.

Бар – (от англ. *bar*, перемычка) – элемент структуры многих спиральных и неправильных галактик; выглядит как вытянутое уплотнение из звёзд и межзвёздного газа, лежащее в плоскости диска. Центр бара обычно совпадает с центром диска. Если у галактики есть бар, то спиральные ветви начинаются от концов бара, а не из центра галактики.

Блазары – так называются мощные источники электромагнитного излучения вокруг сверхмассивных чёрных дыр в ядрах некоторых галактик. Они характеризуются непрерывным спектром во всех его диапазонах (гамма, рентгеновском, ультрафиолетовом, оптическом, инфракрасном и радио) и очень слабыми, иногда не видимыми, спектральными линиями. Для них типичны также быстрые и значительные изменения светимости во всех диапазонах спектра за период времени в несколько суток или даже часов. Свое название эти объекты получили от переменного источника VL в созвездии Ящерицы, который ранее считался переменной звездой, а потом был идентифицирован, как ядро эллиптической галактики.

Взаимодействующие галактики – две или несколько пространственно близких галактик, форма которых имеет явные признаки искажения: резко асимметричная структура, общий звёздный «туман», газовые или звёздные «хвосты» и перемычки. Основная причина искажений связана с действием гравитационных (приливных) сил между галактиками, приблизившимися друг к другу. Взаимодействие галактик часто приводит к усилению звездообразования в них и к появлению активного ядра.

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

Межзвёздный газ – разреженная газовая среда, заполняющая все пространство между звёздами. Полная масса межзвёздного газа в Галактике превышает 10 миллиардов масс Солнца, однако средняя концентрация атомов межзвёздного газа составляет менее 1 атома в $см^3$. Основная масса межзвёздного газа заключена вблизи плоскости Галактики в слое толщиной несколько сотен парсек. Химический состав газа примерно такой же, как и у большинства звёзд: он состоит из водорода и гелия (90 % и 10 % по числу атомов, соответственно) с небольшой примесью более тяжёлых элементов. В зависимости от температуры и плотности межзвёздный газ пребывает в молекулярном, атомарном или ионизованном состояниях. Наблюдаются холодные молекулярные облака, разреженный межоблачный газ, облака ионизованного водорода с температурой около 10 тыс. К. (например,

Туманность Ориона), и обширные области разреженного и очень горячего газа с температурой около миллиона кельвинов.

Неправильная галактика – галактика, имеющая асимметричную форму и клочковатую структуру, не характерную для типичных эллиптических или спиральных галактик. В различных системах морфологической классификации галактик неправильные обозначают как *I*, *Ir* или *Irr* (от англ. *irregular*, неправильный). Примером неправильных галактик служат Магеллановы Облака. По сравнению с нашей Галактикой, неправильные галактики имеют, как правило, небольшие размеры и массы, и содержат много межзвездного газа и молодых звёзд. Ядро галактики и балдж в них слабо выражены или отсутствуют.

Карликовая галактика – галактика с массой, размером и светимостью значительно ниже средних. Часто карликовые галактики являются спутниками нормальных и гигантских галактик.

Галактика низкой поверхностной яркости – галактика, центральная поверхностная яркость которой в полосе *B* слабее $23^m / \square''$ (у некоторых авторов – слабее $22^m / \square''$). В литературе галактики низкой поверхностной яркости также обозначают как *LSB*-галактики (*low surface brightness galaxies*). Темпы звездообразования в *LSB*-галактиках в среднем ниже, чем в нормальных. Они обладают в среднем более низкой поверхностной яркостью и большей шкалой диска, чем нормальные галактики той же светимости. Наблюдаются *LSB*-галактики различных морфологических типов, в основном это карликовые галактики, хотя встречаются и гигантские галактики низкой поверхностной яркости.

Сейфертовская галактика – тип спиральных галактик, обладающих активными ядрами. Названы в честь американского астронома Карла Сейферта (1911-1960), впервые детально исследовавшего такие галактики в 1940-42 гг. на обсерватории Маунт-Вилсон (США). Их характерными наблюдательными особенностями является наличие яркого звездоподобного ядра и широких спектральных линий излучения, свидетельствующих о быстрых движениях газа в ядре со скоростями в тысячи км/с. К числу сейфертовских галактик относится около 1 % наблюдаемых спиральных галактик.

Спиральная галактика – галактика, основным наблюдаемым элементом которой является вращающийся диск с выделяющимися на нём спиральными ветвями. К числу таких галактик относится наша Галактика и ближайшие крупные галактики – Туманность Андромеды (М31) и Туманность Треугольника (М33).

Эллиптическая галактика – многочисленный класс галактик, не обладающих ни ярким звёздным диском, ни спиральными ветвями. Среди эллиптических галактик находятся как самые массивные галактики (с массой до 10^{12} масс Солнца), так и самые маломассивные ($10^7 \div 10^9$ масс Солнца). Эллиптические галактики не имеют резких границ, их яркость монотонно уменьшается с удалением от центра. Такие галактики почти не содержат холодного межзвёздного газа и молодых звёзд. Звёзды в таких галактиках, как

правило, имеют возраст, превышающий 10 миллиардов лет. Ряд близких карликовых эллиптических галактик является спутниками нашей Галактики. Много эллиптических галактик высокой светимости содержится в ближайшем к нам крупном скоплении галактик в созвездии Девы.

Диск галактики – плоская звёздно-газовая подсистема вращающейся галактики. В диске сосредоточен почти весь межзвёздный газ и молодые звёзды. Их движение происходит весьма упорядоченно: они обращаются вокруг центра галактики по почти круговым орбитам, лежащим в одной плоскости. Диск галактики имеет высокую плотность по сравнению с окружающей его сферической составляющей галактики (корона, гало, балдж), населённой хаотически движущимися старыми звёздами. В дисках галактик часто наблюдаются спиральные волны («рукава»), расходящиеся от центра галактики к периферии; в них особенно высока плотность межзвёздного газа и молодых звёзд.

Галактический центр – центральная область Галактики радиусом 1 *кпк* с отличными от её остальных частей характеристиками. Галактический центр находится в направлении созвездия Стрельца (*Sagittarius*) на расстоянии 10 *кпк* от Солнца. Наличие межзвёздной пыли в галактической плоскости препятствует оптическим наблюдениям Галактического центра (поглощение света в направлении Галактического центра превышает 27^m), но практически не мешает наблюдениям в ИК-, радио-, рентгеновском и гамма-областях спектра. Все имеющиеся данные о центральной части Галактики получены путём интерпретации линейчатого и непрерывного излучения диффузной среды – газа и пыли – в ИК- и радиодиапазонах. Звёздное население в Галактическом центре непосредственно не наблюдается (в пределах области с радиусом 1 *кпк*), хотя косвенные данные указывают, что в звёздах сосредоточено более 99 % массы этой области (остальное вещество – это газ с ничтожной примесью пыли).

Гарвардская система классификации галактик – согласно этой системе классификации галактики разделены на 5 классов:

- Класс А – галактики ярче 12^m .
- Класс В – галактики от 12^m до 14^m .
- Класс С – галактики от 14^m до 16^m .
- Класс D – галактики от 16^m до 18^m .
- Класс E – галактики от 18^m до 20^m .

Также в схеме учитываются эллиптичность и концентрация галактик. Эллиптичность определяется из соотношения $10b/a$, где a – большая полуось галактики, а b – малая полуось галактики; полученное значение округляется до целого. Концентрация обозначается строчными латинскими буквами a, b, c, d, e, f в порядке возрастания степени концентрации галактики к центру. Для галактик с заметной спиральной структурой также добавляется индекс s , для галактик с нерегулярной формой или концентрацией – индекс i .

Например, *sCb10* – спиральная галактика круглой формы (т.е. видимая с ребра) $14^m \div 16^m$ с равномерной поверхностной яркостью.

Глобулы – небольшие тёмные газово-пылевые туманности, часто правильной сферической формы, видимые на фоне светлых туманностей. Ряд больших глобул, например, Угольный Мешок, виден на фоне ярких звёздных облаков Млечного Пути. Глобулы являются уплотнениями в протяжённых туманностях (обычно в зонах *НП*). Границы глобулы всегда резко очерчены, чаще всего светящимися ободками (*римами*). Поглощение света в глобулах может достигать нескольких звёздных величин; чем меньше глобула, тем поглощение в ней больше. Размеры типичных глобул заключены в пределах от долей парсека до нескольких парсек. Плотность вещества в глобуле можно оценить, предполагая, что давление более холодного газа в глобуле уравновешено давлением окружающего горячего газа. Концентрация частиц в типичных глобулах $\sim 10^4 \div 10^6 \text{ см}^{-3}$. Массы глобул $\sim 10 - 100$ масс Солнца. Глобулы часто располагаются в вершинах тёмных конусов («слоновых хоботов»), обращённых, как правило, остриём к центру материнской туманности. Накопление вещества в «слоновых хоботах» может быть следствием магнитогравитационной неустойчивости (неустойчивость Рэлея-Тейлора). Газ медленно, с характерными скоростями порядка долей *км/с*, стекает к центру туманности, при этом максимальная плотность достигается в вершине конуса, т.е. в глобуле. Если в окружающей туманности имеются горячие звёзды, ионизирующие газ, то внешнее давление горячего газа сжимает глобулу. Конденсация вещества в глобуле при дополнительном внешнем сжатии может привести к образованию в них молодых звёзд: в некоторых глобулах наблюдаются молодые звёзды типа *T* Тельца и так называемые *объекты Хербига-Аро*, которые принято считать индикаторами областей, где происходит звездообразование.

Квазаг – (от англ. *quasag* – *QUASi stellAr Galaxy*) – объекты, подобные квазарам, за исключением того, что они не обладают заметным радиоизлучением. Открыты А. Сэндиджем в 1965 г.

Квазар – (от англ. *quasar* – *QUASi stellAR radio source*, т.е. похожий на звезду радиисточник). Это класс внегалактических объектов, отличающихся очень высокой светимостью и настолько малым угловым размером, что в течение нескольких лет после открытия их не удавалось отличить от точечных источников – «звёзд». Впервые квазары обнаружили в 1960 г. как радиисточники, совпадающие в оптическом диапазоне со слабыми звездообразными объектами. Большинство учёных-астрофизиков склонны предполагать, что это чёрная дыра гигантского масштаба, поглощающая окружающее вещество. Другая гипотеза считает квазары юными галактиками в период их формирования. Существует вариант, объединяющий две версии, согласно которому, чёрная дыра поглощает зарождающиеся вещество галактики.

Зависимость Тулли-Фишера – эмпирическая зависимость между светимостью и скоростью вращения для галактик, установленная в работе Tully

и Fisher (1977). Светимость галактики связана с массой звезд в ней, а скорость вращения – с полной массой галактики (видимого и тёмного вещества). Таким образом, зависимость связывает массу видимого и тёмного вещества. Зависимость Тулли-Фишера используется при определении расстояний до галактик, а также для построения моделей образования и эволюции галактик. Зависимость между массой барионного вещества и максимальной скоростью вращения называется *барионной зависимостью Тулли-Фишера*.

Скопление – группа звёзд или галактик, составляющая устойчивую систему вследствие взаимного гравитационного притяжения. Среди скоплений звёзд различают *шаровые* и *рассеянные*; среди скоплений галактик *правильные* и *неправильные*. Рассеянные звёздные скопления и неправильные скопления галактик обычно содержат не более 1000 объектов, слабо концентрирующихся к центру скопления. Шаровые звёздные скопления и правильные скопления галактик имеют сферическую форму и часто содержат более 10 тыс. объектов, которые сильно концентрируются к центру скопления, образуя плотное ядро.

Рассеянное скопление – звёздные скопления в дисках спиральных и неправильных галактик, обычно состоящие из нескольких сотен или тысяч звёзд молодого или умеренного возраста (10-100 млн. лет). Имеют меньшую плотность и выглядят более разреженными, чем шаровые скопления. Их устаревшее название «галактические скопления» указывает на видимую концентрацию к плоскости Галактики, т.е. к Млечному Пути. Англоязычное название рассеянных скоплений (*open cluster*) иногда неверно переводят в научно-популярной литературе как «открытое скопление». Такого термина в современной русскоязычной астрономии нет. Известны десятки тысяч рассеянных скоплений. Два самых близких к нам – Плеяды и Гиады – хорошо видны невооруженным глазом в созвездии Тельца.

Звёздные ассоциации – разреженные группировки молодых звёзд, возраст которых не превышает нескольких десятков миллионов лет. Типичный размер звёздной ассоциации $50 \div 100$ пк. Количество наблюдаемых звёзд – от нескольких единиц до нескольких сотен. Ассоциации отличаются от молодых звёздных скоплений большим размером (десятки парсеков) и меньшей плотностью звёзд. Гравитационное притяжение между звёздами во многих случаях недостаточно для того, чтобы удержать звёзды вместе. Образование ассоциаций связано с рождением звёзд в комплексах молекулярных облаков. Впоследствии газ может покинуть ассоциацию, что приведёт к её медленному расширению и разлёту звёзд. Примером ассоциации является звёздная ассоциация, образуемая молодыми голубыми звёздами в созвездии Ориона. Ассоциации наблюдаются не только в нашей Галактике, но и в соседних галактиках. Различают три типа ассоциаций:

– *OB*-ассоциации содержат яркие массивные звезды спектральных классов *O* и *B*, хотя при внимательном поиске в них обнаруживаются и маломассивные звёзды;

– *T*-ассоциации их типичное население – это молодые маломассивные переменные звёзды типа *T* Тельца

– *R*-ассоциации – в них звёзды спектральных классов *B0–A2* окружены отражательными газо-пылевыми туманностями (*R* от *reflection*, отражение). В последнее время эти ассоциации перестают выделять в самостоятельный класс.

Йеркская система классификации галактик – создана в йеркской обсерватории Уильямом Морганом. В данной системе классификации учитывается интегральный спектр звёзд и морфология галактики, а также степень её концентрации к центру. В зависимости от того, звёзды каких спектральных классов дают максимальный вклад в полную светимость, галактики подразделяются на типы *a, af, f, fg, g, gk* либо *k*. По форме галактики делятся на классы *S* (спиральные), *B* (спиральные галактики с барами), *E* (эллиптические), *I* (неправильные), *E_p* (эллиптические галактики с пылью), *D* (галактики с вращательной симметрией без ярко выраженной спиральной или эллиптической структуры), *L* (галактики низкой поверхностной яркости), и *N* (галактики с небольшими компактными ядрами). Цифрами от 1 до 7 обозначается угол наклона галактики к лучу зрения, при этом 1 соответствует положению плашмя (угол наклона 0° к лучу зрения), а 7 – углу наклона 90° к лучу зрения. Например, спиральная галактика, видимая с ребра, в светимость которой максимальный вклад вносят звёзды классов *F* и *G*, будет иметь следующее обозначение: *Sfg7*.

Межзвёздная пыль – примесь твёрдых микроскопических частиц в межзвёздном газе. Полная масса межзвёздной пыли составляет около 1% от массы газа. Размер частиц межзвёздной пыли от 0,01 до 0,02 *мкм*. Вероятно, пылинки имеют тугоплавкое ядро (графитовое, силикатное или металлическое), окружённое органическим веществом или ледяной оболочкой. Пыль влияет на оптическое излучение звёзд, приводя к поглощению, покраснению и поляризации света звёзд. Ослабление света, вызванное межпланетной пылью, тем сильнее, чем дальше находится источник света, и чем короче длина волны излучения. Наиболее сильное ослабление света происходит вблизи полосы Млечного Пути, поскольку концентрация межзвёздной среды там максимальна, и свет ослабляется в несколько раз на пути в 1 *кпк*. Из-за пыли наиболее плотные газовые облака выглядят совершенно непрозрачными. Свет звёзд нагревает пыль до нескольких десятков кельвинов, благодаря чему межзвёздная пыль является источником длинноволнового инфракрасного излучения.

Межзвёздное поглощение света (экстинкция) – ослабление оптического излучения, распространяющегося сквозь межзвёздную среду. Рассеяние и поглощение света в основном обязано межзвёздной пыли, поэтому оно достигает максимального значения в направлении на плотные газопылевые межзвёздные облака, сконцентрированные в диске Галактики. В окрестности Солнца в плоскости Галактики поглощение в визуальном диапазоне (фильтр *V*) составляет в среднем 2^m на 1 *кпк*. Это означает, что блеск звезды, удалённой от нас на 1 *кпк*, ослаблен межзвёздным поглощением в $2,512^2 \approx 6,3$ раза. А если звезда находится в центре Галактики, на расстоянии около 8 *кпк* от Солнца, то её блеск ослаблен межзвёздным поглощением на 16^m , т.е. в

$2,512^{16} \approx 2,5$ млн. раз. Именно поэтому мы не видим в оптических лучах центральную область нашей Галактики. Межзвёздное поглощение света носит селективный характер, т.е. его величина зависит от длины волны (цвета) излучения: чем меньше длина волны, тем сильнее поглощение. Поэтому голубые лучи поглощаются сильнее красных, и звёзды, наблюдаемые сквозь облака межзвёздной пыли, выглядят краснее, чем на самом деле.

Межзвёздные туманности – облака межзвёздного газа, видимые в телескоп как светлые пятна (светлые туманности) или тёмные пятна (тёмные туманности). Светлые туманности бывают двух типов: одни представляют собой далёкие звёздные скопления и галактики (например, туманность Андромеды), другие – облака ионизованного межзвёздного газа. В отличие от первых, они обладают линейчатым спектром. Тёмные туманности представляют собой непрозрачные газопылевые облака.

Млечный Путь – светлая неровная полоса, опоясывающая небо по большому кругу. Она связана со свечением огромного количества слабых звёзд, большинство которых не различимо по отдельности ни в какие телескопы. Таким нам представляется звёздный диск нашей Галактики, который мы наблюдаем изнутри, находясь вблизи плоскости диска. К Млечному Пути концентрируется межзвёздный газ, межзвёздная пыль и группировки молодых звёзд. Межзвёздное поглощение света значительно уменьшает яркость Млечного Пути, и является причиной кажущегося раздвоения полосы Млечного Пути в области созвездия Лебедя. Часто термин Млечный Путь используется как название всей нашей Галактики.

Звёздные населения – типы звёздного состава галактик; звёзды подразделяют на населения по ряду характерных признаков: пространственному распределению, особенностям движения, положению на диаграмме Герцшпрунга-Ресселла. К звёздному населению первого типа (населению I) относят объекты, образующие плоскую подсистему галактик и наиболее часто встречающиеся в спиральных ветвях: звёзды спектральных классов *O* и *B*, сверхгиганты, цефеиды, звёзды молодых скоплений. К населению II принадлежат звёзды эллиптических галактик, а в нашей Галактике – объекты с примерно сферически-симметричным распределением и большими (относительно Солнца) пространственными скоростями, в том числе субкарлики, переменные звёзды типа RR Лиры, шаровые звёздные скопления. Разделение населения галактик на два типа довольно условно. В действительности каждое из населений состоит из нескольких компонентов, имеющих свои характерные особенности. Так, различают молодое, промежуточное и старое населения I, экстремальное и промежуточное населения II. По современным представлениям, существование в Галактике нескольких населений обусловлено её эволюцией: население II образовалось, по-видимому, на ранней фазе развития Галактики – в сферической, медленно вращающейся и сжимающейся протогалактике. Сжатие протогалактики и диссипация энергии её газового гало привели к формированию

быстровращающегося газово-пылевого диска, в котором затем образовались звёзды населения I. В диске Галактики звездообразование продолжается.

N-галактики (NG) – внегалактические объекты, которые в оптическом диапазоне выглядят как образования с ярким звездоподобным ядром, окружённым туманной протяженной оболочкой, а в радиодиапазоне проявляют себя как сильные протяжённые радиоисточники. Своё название они получили по первой букве латинского слова *nucleus* – ядро. NG были открыты в 1958 г. Б.А. Воронцовым-Вельяминовым, к 1983 г. их было известно нескольких десятков, в то время как компактных галактик, не являющихся сильными радиоисточниками, открыто в сотни раз больше. Пространственная концентрация NG порядка 10^{-6} Mпк^{-3} , что в миллионы раз ниже концентрации нормальных галактик. Малочисленность NG роднит их с *квазарами* и мощными *радиогалактиками*. Возможно, NG являются какой-то промежуточной популяцией между квазарами и радиогалактиками или даже их промежуточной стадией эволюции. NG представляют собой гигантские эллипсоидальные звёздные системы с необычно ярким ядром.

Плазма – газ, атомы которого частично или полностью ионизованы. В состоянии плазмы находится основное количество газа во Вселенной, поскольку из плазмы состоят звёзды и значительная часть межзвёздной среды. Важной особенностью плазмы является её способность проводить электрический ток. Это приводит к тому, что характер движения плазмы зависит от значения индукции и формы линий индукции магнитного поля, в котором находится газ. Свойства намагниченной плазмы определяют многие наблюдаемые особенности различных астрономических объектов – от формы облаков межзвёздного газа до возникновения вспышек на Солнце.

Планетарная туманность – светлая туманность вокруг старой звезды, образованная верхними истекающими слоями её атмосферы; обычно это оболочка, сброшенная звездой-гигантом. Туманность расширяется и светится в оптическом диапазоне, поскольку её газ нагрет (температура составляет порядка 10^4 K) и возбуждён ультрафиолетовым излучением горячего ядра центральной звезды. Первые планетарные туманности были открыты В. Гершелем (и его сестрой Каролиной Гершель) около 1783 г. и названы так за их внешнее сходство с дисками планет. Однако далеко не все планетарные туманности имеют форму диска: многие имеют форму кольца или симметрично вытянуты вдоль некоторого направления (биполярные туманности). Внутри них заметна тонкая структура в виде струй, спиралей, мелких глобул. Скорость расширения планетарных туманностей $20 - 40 \text{ км/с}$, диаметр $0,01 - 0,1 \text{ пк}$, типичная масса около 0,1 массы Солнца, время жизни около 10 тыс. лет. Невооруженным глазом планетарные туманности не видны. Наиболее близкая планетарная туманность, называемая «Улитка» (в созвездии Водолея) имеет диаметр, примерно равный $1/4$ градуса.

Плеяды – рассеянное звёздное скопление (M45) в созвездии Тельца, 5-7 звёзд которого различимы невооруженным глазом и образуют маленький «ковшик» размером чуть больше лунного диска. В народе Плеяды часто

называют «Семь сестёр» или «Стожары». В бинокль в Плеядах видны десятки звёзд, а в телескоп можно обнаружить около 500 звёзд, принадлежащих этому скоплению. Девять ярчайших его звёзд названы в честь титана Атласа, океаниды Плеяоны и их семи дочерей: Альциона, Астеропа, Майя, Меропа, Тайгета, Целено и Электра. Плеяды – одно из ближайших к нам звёздных скоплений (410 св. лет); его возраст около 100 млн. лет.

Полость Роша – область вокруг звезды, внешней границей которой служит поверхность равного потенциала, содержащая так называемую *первую точку Лагранжа*.

Диаграмма Герцшпрунга-Рессела (Г-Р диаграмма) – диаграмма, независимо предложенная в 1910 г. астрономами Э. Герцшпрунгом (Голландия) и Г. Ресселом (США), на которой сопоставляются светимости (или абсолютные звёздные величины) звёзд с их эффективной температурой или спектральным классом. На Г-Р-диаграмме звёзды образуют отдельные группировки, именуемые *последовательностями*. Около 90 % наблюдаемых звёзд – это звёзды *Главной последовательности*, которая тянется узкой полосой от горячих звёзд высокой светимости до холодных звёзд-карликов низкой светимости, Это звёзды, которые светят за счёт ядерных реакций превращения водорода в гелий. Выделяются также последовательности звёзд-гигантов, звёзд-сверхгигантов, и некоторые другие. Положение звезды на Г-Р-диаграмме определяется её массой, возрастом и химическим составом. Г-Р-диаграмма широко используется в астрономии для определения возрастов звёздных скоплений, для сопоставления теорий эволюции звёзд с наблюдениями, а также для оценки расстояний до звёздных систем.

Радиогалактика – галактика, отличающаяся необычно сильным радиоизлучением. Обычно это крупные массивные галактики с плотной центральной областью – ядром. У наиболее мощных радиогалактик светимость в радиодиапазоне превышает оптическую светимость. Радиоисточники, связанные с радиогалактиками обычно состоят из отдельных компонент (ядро, радиогало, радиовыбросы, называемые также радиоджетами). Механизм их радиоизлучения синхротронный, т.е. связан с движением в магнитном поле энергичных электронов, выброшенных из активного ядра галактики. Ближайшие радиогалактики – Центавр А (NGC 5128) в созвездии Центавра и галактика Дева А (NGC 4486) в центре скопления галактик в созвездии Девы.

Система классификации галактик де Вокулера – в данной системе классификации, также как и в хаббловской, галактики разделены на эллиптические, линзовидные, спиральные и неправильные. Спиральные галактики без бара обозначают *SA* и называют простыми, галактики с барами обозначают *SB*, а галактики, обладающие свойствами как *SA*, так и *SB*, относят к классу *SAB*. Галактики, которые не удается точно классифицировать, обозначают просто символом *S*. Аналогично, линзовидные галактики без баров обозначают *SA0*, линзовидные галактики с барами – *SB0*, переходный тип – *SAB0*. Кольцеобразные разновидности линзовидных и спиральных галактик обозначают добавлением индекса *r*, спиральные – добавлением индекса *s*, а переходные разновидности – добавлением индекса *rs*. Наличие внешних колец

обозначается индексом R . Кроме того, указывается количество спиральных рукавов и их свойства – массивные (индекс m) и филаментарные (индекс f). Также был добавлен класс Sd и переходный к нему Scd для галактик с клочковатой структурой и слабо выраженным ядром. Неправильные галактики обозначаются как $I(m)$, карликовые галактики низкой поверхностной яркости – как dI . Например, $SA(s)_2c_m$ – спиральная галактика позднего типа с двумя массивными спиральными рукавами. Эллиптические галактики классифицируются и обозначаются так же, как и в хаббловской системе. Поздние и ранние типы не спиральных галактик обозначаются с помощью индексов $+$ и $-$. Так, E^+ – переходный класс от E к $S0$.

Скопление галактик – гравитационно-связанная система галактик, в которых число членов измеряется десятками, сотнями, а иногда и тысячами. Характерный размер скопления галактик – несколько мегапарсек. Ближайшее к нам крупное скопление галактик, насчитывающее тысячи галактик, находится в созвездии Девы и занимает на небе область с радиусом более 20° .

Шаровое скопление – звёздное скопление, отличающееся от рассеянного скопления большим количеством звёзд, их более высокой концентрацией к центру скопления и значительно большим возрастом, близким к возрасту Галактики. Обычно в шаровых скоплениях заключено 10^5 – 10^6 звёзд. В нашей Галактике обнаружено около 150 шаровых скоплений; всего их, вероятно, не более 200. Шаровые скопления относятся к сферической составляющей Галактики. В других галактиках (например, в Магеллановых Облаках) наряду со старыми, наблюдаются и молодые шаровые скопления. Маленькие галактики вообще не содержат шаровых скоплений или содержат их всего несколько. А гигантские эллиптические галактики содержат тысячи шаровых скоплений. В северном полушарии шаровые скопления невооружённым глазом не видны. Самое яркое шаровое скопление – Омега Центавра – имеющее 4-ю звездную величину, наблюдается только в южных широтах.

Спиральные ветви галактик – элемент структуры спиральных галактик. Спиральные ветви галактик выделяются повышенной яркостью на фоне галактических дисков благодаря концентрации в них звезд высокой светимости и звездных скоплений. Спиральные ветви содержат области, где концентрируются облака межзвёздного газа, и происходит рождение звёзд. Спиральные ветви наблюдаются и в нашей Галактике. В большинстве случаев ветви возникают в результате распространения гигантских по размеру волн сжатия и разряжения по газо-звёздному диску галактики.

Туманности – облака межзвёздного газа и пыли, видимые благодаря их собственному излучению, отражению или поглощению света звёзд. Раньше туманностями называли также звёздные скопления или галактики, которые не удавалось разрешить на звёзды. Все эти объекты также называют межзвёздными туманностями. Внегалактическими туманностями раньше называли светлые туманные пятна, расположенные вне полосы Млечного Пути (т.е. вне галактического пояса). Когда выяснилось, что в абсолютном большинстве это далекие звёздные системы, подобные нашей Галактике,

некоторое время их продолжали называть «внегалактическими туманностями», вкладывая в это понятие новый смысл – далёкие гигантские звёздные системы. Сейчас термин «внегалактические туманности» уже не употребляется.

Объект Хербига-Аро – эмиссионные туманности неправильной формы, открытые в 1950 г. Г. Аро и Г. Хербигом во время обзора ближайшего очага звездообразования, расположенного в созвездии Орион. Установлено, что большая часть излучения образуется в самой туманности, в возникающих в ней ударных волнах, которые сопровождают процесс звездообразования; лишь совсем небольшая часть излучения представляет собой отражённый свет звёзд. Объекты Хербига-Аро излучают в оптике, ультрафиолете, инфракрасном (и дальнем инфракрасном) и радио диапазоне; они обладают заметными собственными движениями со скоростями до 200 км/с. Центральный источник, расстояние до которого обычно около одного светового года (и меньше), представляет собой молодой звёздный объект. Несколько теорий (моделей), которые так или иначе объясняют процесс образования объектов Хербига-Аро: 1) теория «звёздных пуль»; 2) образование и взаимодействие ударных волн; 3) взаимодействие сверхзвукового звёздного ветра с окружающей средой; 4) фокусировка звёздного ветра образует объекты; 5) неоднородность распределения плотности в диске вокруг молодой звезды, который порождает потоки вещества; 6) объекты рождаются вокруг эруптивной звезды.

Ядра галактик – центральные области галактик небольшого углового размера, выделяющиеся высокой яркостью. Наблюдаются в спиральных и эллиптических галактиках с высокой светимостью. Основная масса ядра, как правило, содержится в звёздах. Очень часто в ядрах галактик наблюдаются газовые диски радиусом в сотни парсек, вращающиеся вокруг центра галактики. Многие ядра (в том числе и в нашей Галактике) являются областями интенсивного звездообразования. Для ряда сравнительно близких галактик найдена очень высокая концентрация массы в ядрах, позволяющая предположить существование там сверхмассивных чёрных дыр с массой до нескольких миллиардов масс Солнца. Несколько процентов всех спиральных и эллиптических галактик обладает активными ядрами. К ним относятся, например, сейфертовские галактики и радиогалактики. Активность галактических ядер имеет различные проявления, и связана с выделением большого количества энергии в форме мощного электромагнитного излучения, энергичных элементарных частиц и бурных движений облаков газа со скоростями в тысячи километров в секунду. Природа активности ядер до конца не разгадана. Предполагается, что она связана с накоплением межзвёздного газа в ядре и его аккрецией на сверхмассивную чёрную дыру.

Ход работы: решите задачи и ответьте на вопросы

1. Эллиптическая карликовая галактика в созвездии Печь имеет угловой диаметр $D = 60'$, видимую звёздную величину $m = +9^m$; расстояние до неё $d = 290$ кпк. Определите линейный диаметр и абсолютную звёздную величину

галактики, а также оцените, сколько звёзд в неё входят, если все звёзды такие же, как Солнце.

2. В таблице приведены характеристики трёх галактик:

Обозначение галактики	Созвездие	Видимые размеры, (угловые минуты)	Видимая звёздная величина, m	Смещение спектральных линий H и K , Å
М 101	Б. Медведица	$28' \times 28'$	8,2	6,9
М 96	Лев	$11' \times 8'$	10,0	10,3
М 88	Волосы Вероники	$9' \times 6'$	10,1	15,8

У линий ионизированного кальция длины волн равны: $H = 3968 \text{ Å}$ и $K = 3934 \text{ Å}$. Определите характеристики галактик: а) лучевую скорость; б) расстояние до галактик; в) линейные размеры галактик; г) абсолютную звёздную величину; д) светимость.

3. В 1885 году в Туманности Андромеды наблюдалась вспышка Сверхновой звезды – *S And*. Определите, когда произошла вспышка, если известно, что расстояние до галактики равно 690 кпк .

4. Почему связь между светимостью цефеид и периодом изменения их блеска была открыта по наблюдениям звёзд в Большом Магеллановом Облаке, а не в нашей Галактике Млечный Путь?

5. Сверхновая в максимуме блеска достигает абсолютной звёздной величины, равной -21^m . Как часто будут регистрироваться вспышки сверхновых, если патрулирование ведётся по всему небу до предельной видимой звёздной величины $+14^m$? Считайте, что в типичной галактике сверхновая вспыхивает в среднем один раз в 100 лет, а сами галактики распределены в пространстве с плотностью одна галактика на 10 Мпк^3 .

Задания и вопросы СРОП

Подготовьте краткие сообщения:

1. Солнечная активность.
2. Солнечно-земные связи. Теория Чижевского. Основы гелиобиологии.
3. Сверхновые звёзды I типа.
4. Сверхновые звёзды II типа.
5. Взаимодействующие галактики.
6. Радиогалактики.
7. Галактики с активными ядрами. Взрывающиеся галактики.

Литература

1. Гурштейн А.А. Извечные тайны неба. – изд. 3-е, перераб. и доп. – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1991. – 490 с.
2. Шкловский И.С. Вселенная, жизнь, разум. – М.: Наука, 1987. – 320 с.
3. Шкловский И.С. Звёзды: их рождение, жизнь и смерть. – 3-е изд., перераб. – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1984. – 384 с.

4. Сурдин В.Г. Рождение звёзд. Учебно-научная монография. – Изд. 3-е, существенно перераб. и доп. – М.: УРСС, 2001. – 264 с.
5. Звёзды (Авторский коллектив)/Ред.-сост. В.Г. Сурдин. – Изд. 2-е, испр. и доп. – М.: Физматлит, 2009. – 428 с. (Астрономия и астрофизика).
6. Сурдин В.Г. Динамика звёздных систем. – М.: МЦНМО, 2001. – 32 с.
7. Иванов Б.П. Физическая модель Вселенной. – СПб.: Политехника, 2000. – 312 с.
8. <http://earth-and-universe.narod.ru/> – сайт журнала «Земля и Вселенная».
9. <https://www.nkj.ru/> – сайт журнала «Наука и жизнь».
10. Воронцов-Вельяминов Б.А. Сборник задач и практических упражнений по астрономии. – М.: Наука, 1977 – 284 с.
11. Кононович Э.В., Мороз В.И. Общий курс астрономии: Учебное пособие /Под ред. В.В. Иванова. Изд. 2-е, испр. – М.: Едиториал УРСС, 2004. – 544 с. (Классический университетский учебник).
12. Куликовский П.Г. Справочник любителя астрономии/Под ред. В.Г. Сурдина. – Изд. 5-е, перераб. и полн. обновл. – М.: Едиториал УРСС, 2002. – 688 с.

Интернет-ресурсы: [astrogalaxy, college.ru,](http://astrogalaxy.college.ru) [astro.websib.ru,](http://astro.websib.ru) [moscowaleks.narod.ru,](http://moscowaleks.narod.ru) [allplanets.ru,](http://allplanets.ru) [znaniya-sila.narod.ru,](http://znaniya-sila.narod.ru) [info@astronet.ru.](mailto:info@astronet.ru)

15 Элементы космологии. Основы космогонии

Цель: сформировать основные представления о современных моделях строения, структуры и развития Вселенной.

Глоссарий к теме

Антропный принцип (от греч. – *anthropos* – человек) – состоит в том, что Человек наблюдает Вселенную такой, какая она есть. Если бы Вселенная была другой, то Человека не было бы, и он не мог бы ее наблюдать. В связи с этим следует отметить, что Человек является частью ныне существующей Вселенной и порождён протекающими в ней процессами. Эти процессы продолжаются, и поэтому нет оснований полагать, что Человек является конечным «продуктом» эволюции разумной материи.

Вселенная – весь окружающий нас мир. Астрономы и физики обычно подразумевают под этим ту его часть, которая в принципе доступна изучению естественнонаучными методами. *Астрономическая Вселенная*, или *Метагалактика* – это часть Вселенной, доступная наблюдениям в настоящее время или в обозримом будущем. Возраст Вселенной – время, прошедшее от начала её расширения.

Барионная асимметрия Вселенной – экстраполяция на Вселенную в целом наблюдаемого преобладания вещества над антивеществом в нашем локальном скоплении галактик.

Горячей Вселенной теория – физическая теория эволюции Вселенной, в основе которой лежит предположение о том, что до того, как в природе

появились звёзды, галактики и другие астрономические объекты, вещество представляло собой быстро расширяющуюся и первоначально очень горячую среду. Предположение о том, что расширение Вселенной началось с «горячего» состояния, когда вещество представляло собой смесь различных взаимодействующих между собой элементарных частиц высоких энергий, было впервые выдвинуто Г.А. Гамовым в 1946 г. В настоящее время теория горячей Вселенной считается общепризнанной. Двумя самыми важными наблюдательными подтверждениями этой теории является обнаружение *реликтового излучения*, предсказанного теорией, и объяснение наблюдаемого соотношения между относительной массой водорода и гелия в природе.

Вакуум (от латинского *vacuum* – пустота) – среда, содержащая газ при давлениях существенно ниже атмосферного. Вакуум характеризуется соотношением между средней длиной свободного пробега λ молекул газа и размером d , характерным для каждого конкретного процесса или прибора.

Размер видимой части Вселенной – зависит от методов и объектов наблюдений, но он не может превышать расстояние, которое излучение, распространяющееся со скоростью света, проходит за время, равное возрасту Вселенной. Этот предельный размер иногда называют *радиусом Вселенной*. При этом наблюдаемая часть Вселенной является лишь небольшой частью всей безграничной Вселенной. Наиболее далекие из наблюдаемых галактик находятся на расстояниях, превышающих 90% от предельно возможного размера видимой части.

Возраст Вселенной – под ним подразумевают время, отделяющее современную эпоху от начала расширения Вселенной из сверхплотного состояния. В.В. не должен превышать возраст отдельных объектов (звёзд, галактик и др.). Точное значение возраста Вселенной не известно. По современным представлениям 13 миллиардов 800 миллионов лет.

Горизонт видимости во Вселенной – граница, отделяющая область пространства, которую в данный момент может видеть наблюдатель, от области, принципиально для него ненаблюдаемой. Существование горизонта видимости связано с расширением Вселенной. Согласно космологической модели Фридмана, расширение Вселенной началось от сингулярного состояния 13 млрд. 800 млн. лет назад. За это время свет успевает пройти в расширяющейся Вселенной конечное расстояние $l = c \cdot t_0$, т.е. порядка $14 \cdot 10^9$ световых лет. Поэтому каждый наблюдатель в момент t_0 после начала расширения может видеть только область, ограниченную сферой, имеющую в этот момент радиус l . Объекты за этой границей, являющейся горизонтом наблюдателя, принципиально ненаблюдаемы в момент t_0 : свет от них не успел дойти до наблюдателя, даже если вышел в момент начала расширения Вселенной. Очевидно, что у каждого наблюдателя, находящегося в каком-либо месте во Вселенной, свой горизонт (подобно тому, как каждый наблюдатель на земном шаре имеет свой горизонт).

Гравитационная линза – любое массивное тело (планета, звезда) или система тел (галактика, скопление галактик), искривляющая своим

гравитационным полем направление распространения излучения, подобно тому, как искривляет световой луч обычная линза. Эффект гравитационной линзы был предсказан А. Эйнштейном, который в 1915 г. в рамках общей теории относительности впервые правильно вычислил угол отклонения луча света в гравитационном поле.

Красное смещение – смещение линий в спектре небесного тела к красному концу (в сторону большей длины волны) в результате эффекта Доплера при удалении тела, а также под действием его гравитационного поля.

Численно красное смещение обычно характеризуют величиной $z = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0}$, где

λ – длина волны спектральной линии в излучении, приходящем от космического источника; λ_0 – длина волны той же линии, измеренная в спектре неподвижного лабораторного источника. При небольших скоростях движения эффект Доплера вызывает красное смещение (или голубое, если источник приближается к наблюдателю), пропорциональное лучевой скорости (v): $z = v/c$, где c – скорость света. При скорости, порядка скорости света эта

зависимость становится сложнее: $v = c \frac{z^2 + 2z}{z^2 + 2z + 2}$.

Космологическое красное смещение – связано с удалением от нас наблюдаемых объектов из-за расширения Вселенной. У наиболее далёких галактик и квазаров наблюдается красное смещение $z > 5 \div 6$. При этом в видимой области спектра наблюдаются линии, далекого ультрафиолетового диапазона. Если излучение испущено с поверхности компактного массивного объекта, то его гравитационное красное смещение составляет $z = \frac{GM}{Rc^2}$, где M и

R – масса и радиус тела, G – постоянная тяготения.

Гравитационное линзирование – физическое явление, связанное с отклонением лучей света в поле тяжести. Гравитационные линзы объясняют образование кратных изображений одного и того же астрономического объекта (квазаров, галактик), когда на луч зрения от источника к наблюдателю попадает другая галактика или скопление галактик (собственно линза). В некоторых изображениях происходит усиление яркости оригинального источника.

Гравитационная микролинза – явление, при котором тяготеющее тело проходит вблизи луча зрения, вызывая увеличение яркости объекта.

Гамма-излучение – электромагнитное излучение астрономических объектов с длиной волны до 0,1 Å. Оно было обнаружено в 60-х годах методами внеатмосферной астрономии. Источники этого излучения имеют различную природу, но во всех случаях гамма-излучение рождается при взаимодействии высокоэнергичных частиц (ядер атомов, электронов). Самые близкие к нам источники гамма-излучения – это области солнечных вспышек. Ряд источников гамма-излучения отождествлён с нейтронными звёздами, оставшимися после вспышек сверхновых звёзд.

Космическое пространство – пространство за пределами земной атмосферы называется космическим пространством. В нём движутся космические объекты – галактики, звёзды, туманности, планеты и т.д. Космическое пространство пронизано потоками космических лучей и электромагнитным излучением. В нём действуют физические поля. Принято, что граница между атмосферой Земли и космическим пространством находится на высоте 100 километров над поверхностью геоида – так называемая *линия Кармана*. Данное обстоятельство закреплено международным правовым актом и имеет физические основания, т.к. это минимально возможная высота перигея для спутника на околоземной орбите.

Космологические модели – логически непротиворечивые схемы, основанные на современных теоретических представлениях о свойствах пространства-времени (теория гравитации) и элементарных частицах, описывающие всю совокупность известных наблюдательных фактов о Вселенной с минимумом произвольных допущений.

Космологический принцип – лежит в основе современных космологических моделей, согласно которому во Вселенной не должно быть выделенных наблюдателей. Иногда этот принцип называют «принципом Коперника», который первый в новой истории отказался от геоцентрической системы мира. Этот принцип означает, что глобальные характеристики Вселенной одинаковы для любого наблюдателя, находящегося в любой точке гиперповерхности постоянного времени.

Радиоизлучение из космоса – впервые было обнаружено в 30-х годах благодаря пионерским наблюдениям Карла Янского и Гроута Ребера (США). Радиоизлучение проходит сквозь земную атмосферу и достигает поверхности, если оно находится в интервале длин волн от 20 – 25 м до миллиметрового диапазона. Первым обнаруженным источником космического радиоизлучения был Млечный Путь в области центра Галактики. Механизм излучения источников – либо тепловой, либо синхротронный. Многие радиоисточники отождествляются с объектами, наблюдаемыми в оптическом диапазоне спектра. Наиболее яркие источники – это Солнце, источник Лебедь-А (далёкая радиогалактика в созвездии Лебедя), источник Кассиопея-А (остаток сверхновой в созвездии Кассиопея), и источник Стрелец-А (центральная часть Галактики в созвездии Стрельца). Космическое радиоизлучение рождается также и в межзвёздном пространстве, которое пронизывается космическими лучами. От холодных облаков межзвёздного газа космическое радиоизлучение приходит на строго фиксированных частотах, соответствующих длинам волн излучения нейтрального водорода (*HI*) или многочисленных молекулярных соединений.

Космогония (от греч. *kosmo* – *kosmos* – Вселенная, *gonea* – *goneas* – родитель) – раздел астрономии, занимающийся изучением происхождением и эволюцией небесных тел – звёзд (в том числе Солнца), планет (в том числе Земли), и других тел планетной системы.

Космологическая постоянная – безразмерная константа (обычно обозначаемая большой греческой буквой лямбда Λ), введённая А. Эйнштейном в 1917 г. в уравнения общей теории относительности для получения статического (не зависящего от времени) решения. Положительная космологическая постоянная в больших масштабах действует как сила отталкивания, поэтому в космологических моделях Вселенной с доминирующей космологической постоянной, возможны стадии с ускоренным расширением.

Космология – физическое учение о строении и эволюции Вселенной как единого целого. Космология находится на стыке астрономии, теории гравитации, и физики элементарных частиц. В рамках космологии учёные ищут объяснения фундаментальным свойствам наблюдаемой Вселенной и изучают ранние, дозвёздные стадии её развития.

Красное смещение – увеличение длин волн линий в спектре источника (смещение линий в сторону красной части спектра) по сравнению с линиями эталонных спектров. Известны два механизма, приводящих к появлению красного смещения. Красное смещение, обусловленное эффектом Доплера, возникает в том случае, когда движение источника света относительно наблюдателя приводит к увеличению расстояния между ними. В релятивистском случае, когда скорость движения источника сравнима со скоростью света, красное смещение может возникнуть и в том случае, если расстояние между движущимся источником и приёмником не изменяется (т.н. *поперечный эффект Доплера*). Красное смещение, возникающее при этом, интерпретируется как результат релятивистского «замедления» времени на источнике по отношению к наблюдателю. Гравитационное красное смещение возникает, когда приёмник света находится в области с меньшим (по модулю) гравитационным потенциалом φ , чем источник. В классической интерпретации этого эффекта фотоны теряют часть энергии (энергия фотона $\varepsilon = \hbar \cdot \omega$) на преодоление сил гравитации.

Критическая плотность Вселенной – плотность любого вида материи (видимое и невидимое вещество, излучение, космологическая постоянная), которая определяет глобальные геометрические свойства пространства в космологических моделях, построенных на основе общей теории относительности А. Эйнштейна. Выражается через современное значение постоянной Хаббла, и составляет около 10^{-29} г/см^3 . Если полная средняя плотность Вселенной меньше или равна критической, пространство имеет постоянную отрицательную или нулевую кривизну, расширение Вселенной неограниченно (открытая и плоская модели Вселенной). Если средняя плотность больше критической, пространство имеет постоянную положительную кривизну и расширение Вселенной должно смениться сжатием (модель закрытой Вселенной). Наблюдаемое значение средней плотности светящегося вещества менее 1 % от критической.

Ячеистая структура Вселенной – крупномасштабная неоднородность пространственного распределения галактик и скоплений галактик, большая

часть которых сосредоточена в «стенках ячеек», практически пустых внутри. Характерный размер ячеек около 100 Мпк , толщина стенок $3-4 \text{ Мпк}$. Отдельные фрагменты ячеистой структуры иногда называют *сверхскоплениями галактик*. Часто сверхскопления имеют сильно вытянутую форму, наподобие нитей, поскольку образованы пересечением стенок ячеек. Наиболее крупные и богатые скопления галактик располагаются в узлах, образованных пересечением нитей (рёбер) ячеек.

Галактическая нить (волокно, стена, комплекс сверхскоплений, филамент) – крупнейшие наблюдаемые космические структуры во Вселенной, представленные формой нитей из галактик, средняя длина которых оценивается в $50-80 \text{ Мпк}$ (т.е. $163-260$ млн. св. лет). Галактические нити простираются между *войдами* – большими пустотами, в которых почти отсутствуют галактики и скопления; вместе с войдами могут формировать так называемые «великие стены» – относительно плоские комплексы скоплений и сверхскоплений. Нити заполнены очень горячим (миллионы и десятки миллионов градусов) и очень разреженным (от одного до десяти атомов на кубический метр) газом. В представлении Стандартной модели эволюции Вселенной эти галактические нити формируются и следуют вдоль так называемых сетевидных потоков тёмной материи.

Реликтовое излучение – электромагнитное излучение, приходящее с одинаковой интенсивностью со всех областей неба и имеющее спектр, соответствующий тепловому излучению при температуре $2,73 \text{ К}$. Поскольку источник реликтового излучения лежит дальше всех известных объектов, а максимум в спектре приходится на длину волны 1 мм , его называют также *микроволновым фоновым излучением*. Существование теплового излучения с температурой в несколько кельвинов было предсказано в 1946 г. Георгием Гамовым при разработке модели горячей Вселенной, а открыли его в 1965 г. радиоастрономы Арно Пензиас и Роберт Вилсон (США). Реликтовое излучение родилось более 10 миллиардов лет назад, когда Вселенная в целом была значительно плотнее и горячее, чем в нынешнюю эпоху. Тогда это было оптическое излучение горячего газа с температурой в несколько тысяч кельвинов, однородно заполнявшего всю Вселенную. В ходе расширения Вселенной температура реликтового излучения уменьшилась примерно в тысячу раз. Реликтовое излучение характеризуется очень высокой степенью изотропии, т.е. одинаковой интенсивностью по различным направлениям. Термин «реликтовое излучение» ввёл советский астрофизик И.С. Шкловский.

Модель горячей Вселенной – предполагает, что на ранних стадиях расширения Вселенная характеризовалась не только высокой плотностью, но и высокой температурой вещества. Предложена и разработана в конце 40-х гг. XX в. Г. Гамовым и его сотрудниками (США), получила экспериментальное подтверждение после открытия А. Пензиасом и Р. Вильсоном (США) в 1965 г. в высшей степени изотропного микроволнового фонового излучения с планковским спектром и температурой $T \approx 3 \text{ К}$.

Модель инфляционной Вселенной – гипотеза о физическом состоянии и законе расширения очень ранней Вселенной (когда её температура превышала 10^{28} K). Модель инфляционной Вселенной, основанная на современной теории элементарных частиц и квантовой теории поля, привлекается для объяснения причин первоначального расширения Вселенной и свойств современного наблюдаемого мира, являющихся исходными и постулируемыми в стандартной («горячей») космологической модели.

Скрытая масса – масса вещества, излучение от которого не наблюдается. Наличие скрытой массы определяется только по её гравитационному воздействию на наблюдаемые объекты. Во многих галактиках в пределах их видимых границ скрытая масса сравнима с массой всех звёзд, вместе взятых, или даже превышает её. Основное количество скрытой массы предположительно находится в межгалактическом пространстве. О природе скрытой массы имеются лишь различные предположения.

Происхождение химических элементов – задачей теории происхождения химических элементов (нуклеосинтеза) является построение эволюционной картины формирования всего наблюдаемого в природе многообразия химических элементов. Ключом к пониманию процесса ядерной эволюции вещества от первоначальной горячей плазмы элементарных частиц до современного состояния служит относительная распространенность элементов и их изотопов в веществе наблюдаемой части Вселенной.

Радиолиния водорода 21 см – в 1945 г. голландским астрономом ван де Хюлстом была указана принципиальная возможность наблюдения радиоизлучения межзвёздного нейтрального водорода на волне 21 см. Это излучение обусловлено сверхтонким расщеплением основного уровня энергии атома водорода на два близких подуровня. Причиной расщепления является взаимодействие спинов ядра протона и электрона. Обнаружена радиолиния водорода 21 см была в 1951 г. почти одновременно Х. Юэном, Э. Перселлом (США) и К. Мюллером, Я. Оортом (Нидерланды). Радиолиния водорода 21 см является эффективным средством исследования Вселенной. Более половины массы галактического межзвёздного вещества составляет нейтральный водород в основном состоянии. Его можно исследовать только по излучению в линии 21 см. Поэтому радиолиния водорода 21 см даёт очень ценные, часто уникальные, сведения о распределении нейтрального водорода в космическом пространстве. Интенсивность излучения на волне 21 см содержит непосредственную информацию о числе атомов нейтрального водорода на луче зрения (в столбике сечением 1 см^2), а частота и профиль линии дают возможность определить движение водорода относительно наблюдателя. В соответствии с моделью дифференциального вращения Галактики, данные о движении позволяют, в свою очередь, определить расстояние до излучающих объектов, т.е. найти распределение нейтрального водорода в Галактике. Исследования радиолинии водорода 21 см позволили установить, что нейтральный водород в основном заключён в очень тонком ($\approx 220 \text{ пк}$) и ровном

слое около плоскости Галактики. Лишь по периферии, на расстояниях, превышающих 10 – 20 *кпк*, слой водорода размывается до 1 *кпк* по толщине и изгибается относительно галактической плоскости. В распределении водорода довольно отчётливо выделяются спиральные рукава, которые прослеживаются до больших расстояний. Излучение радиолиний водорода 21 *см* наблюдалось также от большого числа других галактик, что позволило установить отношение массы нейтрального водорода к общей массе галактики в зависимости от её типа. Доля нейтрального водорода увеличивается при переходе от галактик типа *Sa* к неправильным, достигая для последних десятков процентов. Минимальное количество нейтрального водорода найдено у эллиптических галактик; для подавляющего большинства из них доля нейтрального водорода по массе составляет <0,1 %. Для ряда ближайших галактик (M31, M33 и др.) с помощью радиолинии водорода 21 *см* была получена картина внутреннего распределения нейтрального водорода. Ценные данные были получены в результате определения красного смещения радиолинии водорода 21 *см* от удалённых галактик.

Расширение Вселенной – увеличение средних расстояний между галактиками или их скоплениями. Проявляется в том, что далёкие галактики обладают красными смещениями, свидетельствующими об их удалении от наблюдателя, причём скорости удаления (для не слишком больших красных смещений) пропорциональны расстояниям до объектов. Расширение Вселенной не затрагивает отдельные галактики или их системы, где объекты связаны друг с другом гравитационными силами. Расширение Вселенной описывается космологическими теориями как проявление нестационарности Вселенной.

Тёмная материя – термин астрономии и космологии – форма материи, которая не испускает электромагнитного излучения и не взаимодействует с ним напрямую, что делает невозможным её прямое наблюдение. По современным представлениям составляет порядка 22 % всего состава Вселенной.

Тёмная энергия – (*dark energy*) – термин инфляционной космологии, который объединяет уравнения состояния вещества, способные вызвать инфляцию (инфляционное расширение Вселенной). В эту группу попадают Λ -член и квинтэссенция. По современным представлениям составляет порядка 74 % всего состава Вселенной.

Сопутствующая система отсчёта в космологии – называют систему, движущуюся (расширяющуюся) вместе с совокупностью всех галактик и их скоплений, т.е. такую систему, относительно которой галактики покоятся. Важность понятия системы отсчёта показала теория относительности, которая установила, что нет абсолютного пространства и абсолютного времени, их свойства зависят от относительного движения тел. Вдали от тяготеющих тел, когда поле тяготения слабо, справедлива специальная (частная) теория относительности. В более общем случае, когда поле тяготения велико и меняется с течением времени, геометрические свойства пространства не евклидовы и меняются с течением времени. Это означает, что каркас системы отсчёта не может быть жёстким (в противоположность системам отсчёта в

СТО), он деформируется с течением времени из-за изменения геометрии пространства. В этом случае систему отсчёта можно представить в виде произвольного деформирующегося каркаса, задаваемого системой воображаемых движущихся частиц. Выбор системы отсчёта произволен. Обычно выбирают систему отсчёта, наиболее удобную для рассматриваемого случая. В грандиозных масштабах Вселенной, содержащей миллиарды галактик, отдельные галактики или даже скопления галактик можно рассматривать как частицы, а их совокупность – как непрерывную среду. Систему отсчёта, «приклеенную» к этой среде, называют в космологии *сопутствующей*. Скопления галактик удаляются друг от друга вследствие космологического расширения. Следовательно, сопутствующая система отсчёта, рассматриваемая в космологии, расширяется.

Фоновое излучение Вселенной – электромагнитное излучение Вселенной, не искаженное ближайшими источниками (атмосферой Земли, излучением Галактики и т.п.). Именно фоновое излучение Вселенной должны были бы воспринимать приборы с широким полем зрения, вынесенные в пространство между галактиками. К сожалению, такой эксперимент невозможен. Астрономы изучают фоновое излучение Вселенной, используя наземные и внеатмосферные приборы. В связи с этим отделение фонового компонента от диффузного (рассеянного) излучения локальной и галактической природы является трудной задачей. Часто фоном называют все помехи, затрудняющие выделение сигнала от дискретного объекта: собственные шумы прибора, отсчёты рентгеновских счётчиков, вызванные наличием космических лучей, диффузное излучение, попадающее в поле зрения прибора (в частности, это может быть и фоновое излучение Вселенной при наблюдении источников с малыми угловыми размерами), и т.п.

Хаббла закон – зависимость между скоростью удаления v внегалактических источников, вызванного расширением Вселенной, и расстоянием до них R : $v = H \cdot R$, где т.н. *постоянная Хаббла* имеет значение $H = 50 \div 100$ (км/с)/Мпк (как правило, используется значение $H = 75$ (км/с)/Мпк). Эта зависимость была установлена американским астрономом Э. Хабблом (1929 г.) по данным наблюдений. Она указывает на расширение Вселенной. Согласно теории расширяющейся Вселенной, все внегалактические удаляются друг от друга по закону Хаббла. Выражение закона справедливо для любого момента времени, но значение H зависит от времени t . Так как сила тяготения замедляет расширение Вселенной, то в прошлом H была больше. Значение H характеризует скорость расширения Вселенной в современную эпоху и по порядку величины определяет время $T \approx 1/H$, протекшее с начала расширения до сегодняшнего момента. Для многих далеких внегалактических объектов закон Хаббла служит единственным достаточно надежным способом оценки расстояний. Определение значения H из наблюдений является чрезвычайно трудной задачей. Для этого необходимо каким-либо другим методом измерить расстояние R хотя бы до ближайших к нам скоплений галактик, участвующих в

общем космологическом расширении. Скорости удаления v по красному смещению определяются сравнительно легко, в результате из данных о v и R находят H . Эти методы позволяют определить расстояния до ближайших скоплений галактик (до 15 – 20 Mpc). Определение столь больших расстояний связано с неизбежными ошибками. К этому надо добавить, что галактики и скопления галактик обладают ещё собственными движениями, накладывающимися на общее расширение Вселенной. Поэтому экспериментально определенное значение H может считаться известным с точностью $\approx 50\%$. Если принять $H = 75 (км/с)/Mpc$, то расширение Вселенной началось приблизительно 13 млрд. 800 млн. назад. Для очень больших расстояний необходимо учитывать эффекты общей теории относительности и формула $v = H \cdot R$ теряет свой простой смысл, поскольку меняются понятия скорости и расстояния. В этом случае эту формулу лучше записывать в виде: $H = \frac{1}{R} \frac{dR}{dt}$, где R – масштаб, определяемый, например,

расстоянием между любыми двумя скоплениями галактик в фиксированный момент в расширяющейся Вселенной. Данная формула показывает, что относительное изменение масштабов в расширяющейся Вселенной не зависит от масштаба, т.е. является постоянной величиной (*постоянной Хаббла*). Часто закон Хаббла называют «законом расширения Вселенной», но это не означает, что по такому закону расширяются все без исключения предметы или космические системы. Напротив, связанные гравитационными силами тела (планеты, звёзды, и т.п.) или их системы (Солнечная система, Галактика, скопления галактик), не расширяются по закону Хаббла. Свободно разлетающиеся друг от друга галактики и их скопления в результате взаимного притяжения постепенно уменьшают скорость взаимного удаления. Увеличение взаимного расстояния и снижение скорости разлета галактик приводит к тому, что со временем изменяется значение постоянной Хаббла, поэтому её нельзя считать мировой константой, неизменной во все эпохи (как, например, постоянная тяготения, заряд и масса электрона, и т.п.). Её значение, измеренное в нынешнюю эпоху, отмечают индексом «ноль» у величины H_0 . Универсальность же закона Хаббла состоит в том, что он одинаково справедлив для наблюдателя, расположенного в любой из галактик и проводящего измерения в любом направлении; т.е. этот закон указывает, что *расширение Вселенной происходит однородно и изотропно*.

У галактик и квазаров *собственное меридианное движение* $\mu = 0$ (размерности: секунда времени в год или угловая секунда в год), поэтому у них определяется только лучевая скорость, а т.к. эта скорость велика, то скоростью Земли можно пренебречь.

Для сравнительно близких галактик ($z \leq 0,1$): $V_r = c \cdot z$ и, согласно закону Хаббла, расстояние определяется, как: $r = V_r / H$ (H – постоянная Хаббла).

Для далёких галактик и квазаров ($z > 0,1$) необходимо пользоваться релятивистской формулой:

$$V_r = \frac{(1+z)^2 - 1}{(1+z)^2 + 1} \cdot c,$$

а оценка расстояний зависит от принятой космологической модели Вселенной:

а) в модели закрытой пульсирующей модели Вселенной:

$$r = \frac{c}{H} \cdot \frac{z}{z+1};$$

б) в открытой модели Эйнштейна-де Ситтера:

$$\frac{2c}{H} \cdot \left(1 - \frac{1}{\sqrt{1+z}}\right).$$

Ход работы: решите задачи и ответьте на вопросы

1. В галактике, удаляющейся от нас со скоростью $V_r = 10000 \text{ км/с}$, вспыхнула Сверхновая звезда, видимая звёздная величина которой равна $m = +18^m$. Определите: а) расстояние до галактики; б) абсолютную звёздную величину Сверхновой; в) светимость Сверхновой. Все величины рассчитайте для двух значений постоянной Хаббла: $H_1 = 50 \text{ км/(с} \cdot \text{Мпк)}$ и $H_2 = 100 \text{ км/(с} \cdot \text{Мпк)}$.
2. В спектре квазара, СТА 102 (блеск $17^m,3$), смещение эмиссионных линий превышает соответствующую длину волны в 1,037, а в спектре квазара PKS 0237-23 (блеск $16^m,6$) – в 2,223 раза. Определите расстояния до квазаров и их светимость. Задачу решите по двум космологическим моделям.
3. Определите расстояние, линейные размеры и светимость квазара ЗС 48, если его угловой диаметр равен $0'',56$, блеск $16^m,0$, а линия ионизированного магния ($\lambda = 2798 \text{ \AA}$) в его спектре до положения $\lambda = 3832 \text{ \AA}$.
4. У одного из наиболее удалённых квазаров красное смещение составляет 3,53 нормальной длины спектральных линий. Определите лучевую скорость квазара и оцените расстояние до него.
5. Если явление красного смещения в спектрах далёких галактик и квазаров интерпретировать как эффект Доплера, то какой лучевой скоростью обладают эти объекты при красном смещении, составляющем соответственно 0,1, 0,5, и 2 длины волны спектральных линий?

Задания и вопросы СРОП

Подготовить сообщения по темам:

1. Геоцентрическая система мира.
2. Борьба за гелиоцентризм: идеи Н. Кузанского, Дж. Бруно, И. Кеплера.
3. Представление о Вселенной у кочевых народов.
4. Гипотеза Канта о строении и развитии Вселенной.
5. Гипотеза Лапласа.
6. Теория Большого Взрыва.
7. Модели Вселенной.

8. Фотометрический парадокс: стационарная Вселенная, расширяющаяся и пульсирующая Вселенная.
9. Гравитационный парадокс.
10. Термодинамический парадокс.
11. Крупномасштабная структура Вселенной.
12. Тёмная материя и тёмная энергия.

Литература

1. Гурштейн А.А. Извечные тайны неба. – изд. 3-е, перераб. и доп. – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1991. – 490 с.
2. Шкловский И.С. Вселенная, жизнь, разум. – М.: Наука, 1987. – 320 с.
3. Шкловский И.С. Звезды: их рождение, жизнь и смерть. – 3-е изд., перераб. – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1984. – 384 с.
4. Сурдин В.Г. Рождение звёзд. Учебно-научная монография. – Изд. 3-е, существенно перераб. и доп. – М.: УРСС, 2001. – 264 с.
5. Звёзды (Авторский коллектив)/Ред.-сост. В.Г. Сурдин. – Изд. 2-е, испр. и доп. – М.: Физматлит, 2009. – 428 с. (Астрономия и астрофизика).
6. Сурдин В.Г. Динамика звёздных систем. – М.: МЦНМО, 2001. – 32 с.
7. Иванов Б.П. Физическая модель Вселенной. – СПб.: Политехника, 2000. – 312 с.
8. <http://earth-and-universe.narod.ru/> – сайт журнала «Земля и Вселенная».
9. <https://www.nkj.ru/> – сайт журнала «Наука и жизнь».
10. Воронцов-Вельяминов Б.А. Сборник задач и практических упражнений по астрономии. – М.: Наука, 1977 – 284 с.
11. Кононович Э.В., Мороз В.И. Общий курс астрономии: Учебное пособие /Под ред. В.В. Иванова. Изд. 2-е, испр. – М.: Едиториал УРСС, 2004. – 544 с. (Классический университетский учебник).
12. Куликовский П.Г. Справочник любителя астрономии/Под ред. В.Г. Сурдина. – Изд. 5-е, перераб. и полн. обновл. – М.: Эдиториал УРСС, 2002. – 688 с.

Интернет-ресурсы: [astrogalaxy, college.ru,](http://astrogalaxy.college.ru) [astro.websib.ru,](http://astro.websib.ru) [moscowaleks.narod.ru,](http://moscowaleks.narod.ru) [allplanets.ru,](http://allplanets.ru) [znaniya-sila.narod.ru,](http://znaniya-sila.narod.ru) <http://www.astronet.ru/>, <http://www.modcos.com/index.php>

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Астрономические постоянные

XIV съездом МАС в 1976 г. утверждена *новая система астрономических постоянных*. Решено принять для астрономической единицы значение 49597870 км (вытекающее из современных радиолокационных измерений межпланетных расстояний), что соответствует параллаксу Солнца 8",794 и постоянной абберации 20",496. По данным движения ИСЗ отношение массы Земли к массе Луны принимается равным 81,30. Длину радиуса земного экватора приняли равной (6 378 40 ± 10) м. Сплюснутость земного эллипсоида 1/298,257 (очень близко к сплюснутости эллипсоида Красовского).

Основные постоянные

Гауссова гравитационная постоянная	$k = 0,017\,202\,098\,95$
Эфемеридная секунда (1900 г.)	$s = 1/345\,569\,25,974\,74$ (тропического года)
Экваториальный радиус Земли	$R_e = 6378140$ м
Геоцентрическая гравитационная постоянная	$GE = 3,986\,005 \cdot 10^{14}$ м ³ /с ²
Постоянная тяготения (Кавендиша)	$G = 6,6742 \cdot 10^{-11}$ м ³ · кг ⁻¹ · с ⁻²
Отношение масс Земли и Луны	$1/\mu = 81,30$
Отношение масс Луны и Земли	$\mu = 0,012\,300\,02$
Скорость света	$c = 299\,792,458$ м/с
Наклон эклиптики к экватору (2000 г.)	$\varepsilon = 23^\circ 26' 21",448$
Постоянная нутации (2000 г.)	$N = 9",2109$
Динамический коэффициент сплюснутости Земли («форм-фактор»)	$J_2 = 0.001082\,63$
Общая прецессия в долготе за юлианское столетие (2000 г.)	$p = 5029",0966$
Световое время для астрономической единицы	$\tau_A = 499^s,004\,782 = 8^m,316\,746 = 0^h,138\,6244 = 0^d,005\,7700 = \sim 500$ с

Данные о Земле

Экваториальный радиус	$a = 6378,140 \text{ км}$
Полярный радиус	$b = 6356,755 \text{ км}$
Средний радиус	$R_3 = 6371,755 \text{ км}$
Сплюснутость эллипсоида	$\alpha = (a - b) / a = 1/298,257$
Эксцентриситет земного меридиана	$e = 0,081820$
Поверхность Земли	$509\,494\,365 \text{ км}^2$
Поверхность суши	29,2 % всей поверхности Земли
Водная поверхность	70,8 % всей поверхности Земли
Объём Земли	$1,083\,209 \cdot 10^{12} \text{ км}^3 \approx 1,1 \cdot 10^{27} \text{ см}^3$
Масса Земли	$5,973 \cdot 10^{27} \text{ г} \approx$ трём миллионным массы Солнца
Средняя плотность Земли	$5,574 \text{ г/см}^3$
Средняя плотность земной коры	$2,80 \text{ г/см}^3$
Угловая скорость вращения Земли	$15'',041 \text{ с}^{-1} = 0,000\,072\,921 \text{ с}^{-1}$
Средняя скорость движения Земли по орбите	$29,765 \text{ км/с} \approx 100\,000 \text{ км/ч}$
Скорость в перигелии	$30,287 \text{ км/с}$
Скорость в афелии	$29,291 \text{ км/с}$
Ускорение силы тяжести на Земле (стандартное)	$g_0 = 980,665 \text{ см/с}$
Ночное излучение Земли (в ясную ночь)	$70 \div 140 \text{ Дж/(м} \cdot \text{с)}$
Ускорение Земли к Солнцу	$0,59 \text{ см/с}^2$

Примечания:

1. Около 0,1 суши Земли покрыто вечными снегами и льдом.
2. Около 0,024 % массы Земли составляет вода во всех её формах; масса атмосферы Земли $(5,158 \pm 0,001) \cdot 10^{21} \text{ г}$.
3. Длина 1° географической долготы $(111,321 \cdot \cos \varphi - 0,094 \cdot \cos 3\varphi) \text{ км}$.
4. Длина 1° географической широты $(111,143 \cdot \cos \varphi - 0,562 \cdot \cos 2\varphi) \text{ км}$, где φ – географическая широта местности

Данные о Солнце

Среднее расстояние до Солнца	$1 \text{ a.e.} = 4,85 \cdot 10^{-6} \text{ пк}.$
Диаметр Солнца	$D = 1392000 \text{ км} \approx 14 \cdot 10^{10} \text{ см}.$
Поверхность Солнца	$608,7 \cdot 10^{10} \text{ км}^2 = 6087 \cdot 10^{22} \text{ см}^2.$
Объём Солнца	$V = 1,412 \cdot 10^{18} \text{ км}^3 = 1,412 \cdot 10^{33} \text{ см}^3.$
Наибольший видимый угловой диаметр	$32' 35",78.$
Наименьший видимый угловой диаметр	$31' 59",26.$
Масса Солнца	$M = (1989,1 \pm 0,002) \cdot 10^{33} \text{ г}.$
Средняя плотность Солнца	$\rho = 1,408 \text{ г/см}^3.$
Плотность в центре Солнца	$\sim 98 \text{ г/см}^3.$
Ускорение силы тяжести на поверхности Солнца	$g = 2,738 \cdot 10^4 \text{ см/с}^2.$
Синодический период вращения точки экватора	$27,275 \text{ сут} (13^\circ,199 \text{ в сутки}).$
Сидерический период вращения точки экватора	$25,380 \text{ сут} (14^\circ,184 \text{ в сутки}).$
Наклон экватора Солнца к эклиптике	$7^\circ 15' 00".$
Среднее значение <i>солнечной постоянной</i> (мощность солнечного излучения)	$0,1388 \text{ Дж/(с} \cdot \text{см)} \text{ на высоте } 65 \text{ км}.$
Мощность общего излучения Солнца	$374 \cdot 10^{21} \text{ кВт}.$
Сила света Солнца	$302 \cdot 10^{25} \text{ кд}.$
Средняя яркость поверхности солнечного диска	$202000 \text{ сб}.$
Спектральный класс Солнца	$G5 V.$
Освещённость от Солнца (вне атмосферы)	$137000 \text{ лк}.$
Эффективная температура поверхности Солнца	$5807 \pm 29 \text{ К}.$
Расстояние Солнца от центра Галактики	$\sim 10000 \text{ пк} \sim 30000 \text{ св.лет}$
Расстояние от галактической плоскости	$15 \text{ пк} \text{ к северу}$

Скорость движения Солнца вокруг центра Галактики	$\sim 250 \text{ км/с}$
Период обращения Солнца вокруг центра Галактики	$\sim 200 \text{ млн. лет}$
Средняя продолжительность полного солнечного цикла солнечной активности	$(22,11 \pm 0,6) \text{ года}$
Скорость движения Солнца относительно окружающих его звёзд по направлению к созвездию Геркулеса	$19,5 \text{ км/с} = 4,2 \text{ а.е. в год}$

Данные о Луне

Среднее расстояние от Луны до Земли	$(384\,401 \pm 1) \text{ км} \approx 0,002\,57 \text{ а.е.}$
Наибольший видимый угловой диаметр Луны	$33' 32''$
Наименьший видимый угловой диаметр Луны	$29' 20''$
Диаметр Луны	3476 км
Объём Луны	$2199,1 \cdot 10^7 \text{ км}^3$
Поверхность Луны	$3,791 \cdot 10^7 \text{ км}^2$
Масса Луны	$7,35 \cdot 10^{25} \text{ г}$
Средняя плотность Луны	$3,341 \text{ г/см}^3$
Ускорение силы тяжести на поверхности Луны	$1,622 \text{ м/с}^2$
Средний эксцентриситет лунной орбиты	$0,054\,90$
Наклон лунной орбиты к эклиптике	$5^\circ 8' 43'',4$
Либрация по долготе	$\pm 7^\circ 54'$
Либрация по широте	$\pm 6^\circ 50'$
Параллактическая либрация	около 1°
Средняя видимая угловая скорость движения Луны	$12^\circ,15 \text{ в сутки}$
Средняя скорость движения Луны по орбите	$1,023 \text{ км/с}$
Сидерический месяц	$27^d 7^h 43^m 11^s,47$

Синодический месяц	$29^d 12^h 44^m 2^s,78$
Средняя яркость полной Луны	$0,251 \text{ сб}$
Температура в подсолнечной точке	$+130^\circ \text{ C}$
Температура ночной стороны поверхности Луны	$(-150 \div -160)^\circ \text{ C}$
Поток от Луны на Землю – « <i>Лунная постоянная</i> »	$1/54000 \text{ Дж}$.

Примечания:

1. Невидимая с Земли часть поверхности Луны составляет 0,410 всей поверхности Луны; 0,180 всей поверхности Луны то видимы, то невидимы.
2. Среднее расстояние Луны от Земли меняется от 356 400 до 406 700 км.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Международный астрономический союз

(официальный сайт: <https://www.iau.org/>)

В конце XIX – начале XX вв. рост международных научных связей среди астрономов и интересы развития науки сделали необходимым создание организации, которая координировала бы и планировала совместные исследования. Первая такая организация – *Международный союз по сотрудничеству в солнечных исследованиях* был учрежден в сентябре 1904 года, когда по инициативе Дж.Э. Хейла. 15 учёных, представлявших 14 научных обществ 9 стран, собрались в Сент-Луисе (США), где проходил Международный научный конгресс, приуроченный ко Всемирной выставке. Среди собравшихся были Ч.Г. Аббот, С.А. Аррениус, О.А. Баклунд, Л. Больцман, Я.К. Кантейн, У.У. Кэмпбелл, Ч.Д. Перрайн, А. Пуанкаре, Г.Х. Тёрнер, Э.Б. Фрост. Президентом союза был избран Хейл, вице-президентом – Пуанкаре, секретарём – Перрайн. В задачи союза входили организация больших кооперативных программ, выполнение которых было не под силу отдельным обсерваториям, обеспечение обмена необходимыми данными и результатами исследований, а также поощрение оригинальных, новых исследований. Работа союза протекала успешно. В 1905 году в Оксфорде состоялся второй съезд союза, третий – в 1907 году в Медоне, четвёртый — в 1910 году в обсерватории Маунт-Вилсон, пятый – в 1913 году в Бонне. На последнем съезде присутствовало уже около 100 учёных из многих стран мира. На съезде в Маунт-Вилсоне поле деятельности союза было расширено – в него включили астрофизические исследования звёзд.

Первая мировая война прервала работу Международного союза по сотрудничеству в солнечных исследованиях, и только после окончания войны возобновились нормальные международные научные связи. В 1918 году на двух конференциях представителей академий наук нескольких стран, которые состоялись в Лондоне и Париже, был создан *Международный исследовательский совет* (с 1931 года он называется *Международным советом научных союзов*). Исполнительный комитет этого совета, в состав которого входили Э. Пикар (Парижская АН), А. Шустер (Лондонское королевское общество), Дж.Э. Хейл (Национальный исследовательский совет США), В. Вольтерра (Национальная академия деи Линчей, Италия) и представитель Бельгии *Лекуанит*, разработал план организации двух международных научных союзов – астрономического и геофизического. В июле 1919 года в Брюсселе на организационном съезде Международного исследовательского совета был основан *Международный астрономический союз* (МАС). Первым президентом МАС был избран директор Парижской обсерватории Э.Б. Байо, первым генеральным секретарем – А. Фаулер.

В 1922 году в Риме состоялся I съезд МАС. После I съезда в МАС входило 19 стран, в нем состояло 207 членов. В настоящее время в МАС входят 49 государств, а число его членов превышает 5200. Советский Союз стал членом МАС в 1935 году.

Основной задачей МАС, как и его предшественника – Международного союза по сотрудничеству в солнечных исследованиях, является содействие развитию всех отраслей астрономии посредством международной кооперации, а также защита интересов астрономии в других международных научных организациях.

Руководство работой МАС осуществляется генеральными ассамблеями (съездами), которые собираются регулярно раз в три года в одной из стран – членов МАС.

В 1973 году в Варшаве состоялась Чрезвычайная Генеральная ассамблея МАС, посвященная 500-летию со дня рождения *Н. Коперника*.

Генеральные ассамблеи на общих собраниях заслушивают обзорные доклады по актуальным проблемам астрономии, утверждают отчёты об астрономических исследованиях, рекомендуют программы международных кооперативных исследований, обсуждают финансовые и юридические проблемы МАС. Генеральные ассамблеи

избирают Исполнительный комитет МАС, состоящий из президента, шести вице-президентов, генерального секретаря и его помощника. Исполнительный комитет осуществляет решения генеральной ассамблеи и ведет дела союза в промежутках между двумя генеральными ассамблеями.

Рабочими органами МАС являются комиссии по отдельным проблемам астрономии. Членами комиссий являются все те члены МАС, которые активно работают в области, относящейся к ведению комиссии; президент комиссии – обычно ведущий учёный в данной области. Комиссии ведут основную координационную работу, в частности путём организации международных конференций, симпозиумов, коллоквиумов. К настоящему времени под эгидой МАС проведено около 120 симпозиумов и более 90 коллоквиумов. Члены комиссий собираются для обсуждений во время съездов МАС.

Теперь в составе МАС работают следующие комиссии:

- № 4 «Эфемериды»
- № 5 «Документация и астрономические данные»
- № 6 «Астрономические телеграммы»
- № 7 «Небесная механика»
- № 8 «Позиционная астрономия»
- № 9 «Астрономические инструменты»
- № 10 «Солнечная активность»
- № 12 «Излучение и строение солнечной атмосферы»
- № 14 «Атомные и молекулярные данные»
- № 15 «Физика комет, малых планет и метеоритов»
- № 16 «Физика планет и спутников»
- № 19 «Вращение Земли»
- № 20 «Положения и движения малых планет, комет и спутников»
- № 21 «Свечение ночного неба»
- № 22 «Метеоры и межпланетная пыль»
- № 24 «Фотографическая астрометрия»
- № 25 «Звёздная фотометрия и поляриметрия»
- № 26 «Двойные и кратные звёзды»
- № 27 «Переменные звёзды»
- № 28 «Галактики»
- № 29 «Звёздные спектры»
- № 30 «Лучевые скорости»
- № 31 «Время»
- № 33 «Строение и динамика Галактики»
- № 34 «Межзвёздное вещество»
- № 35 «Внутреннее строение звёзд»
- № 36 «Теория звёздных атмосфер»
- № 37 «Звёздные скопления и ассоциации»
- № 38 «Международные связи астрономов»
- № 40 «Радиоастрономия»
- № 41 «История астрономии»
- № 42 «Тесные двойные звёзды»
- № 44 «Астрономические наблюдения за пределами земной атмосферы»
- № 45 «Спектральная классификация»
- № 46 «Преподавание астрономии»
- № 47 «Космология»
- № 48 «Астрофизика высоких энергий»
- № 49 «Межпланетная плазма и гелиосфера»
- № 50 «Охрана существующих и возможных мест для астрономических наблюдений»
- № 51 «Поиски внеземной жизни»

На правах комиссии в состав МАС входит рабочая группа по планетной номенклатуре, которая занимается разнообразными проблемами, связанными с наименованиями для различных образований на поверхности Луны, планет Солнечной системы и их спутников.

Многие комиссии МАС создают рабочие группы для решения отдельных, частных задач.

Трудно переоценить значение деятельности МАС по развитию международного сотрудничества в астрономии. Можно упомянуть лишь некоторые фундаментальные проблемы, решение которых оказалось возможным только благодаря совместным усилиям обсерваторий многих стран, – создание астрографического каталога «Карта неба», изучение строения Галактики путем исследований звёзд в избранных площадках по планам *Я.К. Кантейна* и *П.П. Паренаго*, комплексное непрерывное изучение Солнца, создание эфемерид тел Солнечной системы, исследование и каталогизация переменных звёзд. МАС содействует ведению международных постоянных служб – времени, широты, он участвовал в проведении Международного геофизического года, Международного года спокойного Солнца и других подобных мероприятий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Конец XX начало XXI века ознаменовалось крупными научными событиями, в том числе в области астрономии; например: регистрация гравитационных волн, которые образовались в результате слияния двух чёрных дыр или двух нейтронных звёзд, обнаружение воды на Марсе, посадка космических аппаратов и их работа на поверхностях комет и астероидов, открытие большого числа экзопланет, выход за пределы солнечной системы автоматических межпланетных станций «Вояджер-1» и «Вояджер-2» и др.

Новые данные о строении и свойствах объектов Вселенной позволили по-новому оценить процессы, которые формировали и продолжают формировать структуры самых различных масштабов – от отдельных звёзд и планет, до скоплений галактик и вплоть до крупномасштабной структуры Вселенной. В XXI веке учёные продолжают открывать всё новые объекты мегамира и изучать необычные свойства этих объектов.

Лабораторные занятия по астрономии, которые проводятся в различных видах – лабораторные, семинарские и практикумы по решению задач – позволяют наиболее полно освоить материал, который освещён в имеющихся учебниках для студентов ВУЗов, и тем самым сформировать у будущих учителей физики адекватное понимание явлений и процессов окружающего мира.

Подготовка к занятиям предполагает не только обработку лекционного материала, решение задач, и работу с учебной и справочной литературой, но и составление электронных презентаций для докладов, а также обработку материала, находящегося на научных и научно-популярных сайтах сети интернет (к уже упоминавшимся, можно прибавить: <http://www.astrokaz.ru/>, <http://www.sai.msu.su/EAAS/index.htm>, – казахстанский портал для любителей астрономии <http://www.solar-climate.com/geo/amo.htm>, – климат Земли, http://images.astronet.ru/pubd/2018/01/07/0001395921/nebosvod_content_2006_2_017.pdf – архив журнала «Небосвод»).

Таким образом, систематическая работа по выполнению практических заданий, способствует дальнейшему формированию информационной грамотности, а также формированию профессиональных умений и навыков будущих специалистов, способных творчески подходить к решению самых разнообразных задач.

Тесты для самоконтроля

Тема: Основы сферической и практической астрономии

1. Большой круг на поверхности Земли, плоскость которого перпендикулярна отвесной линии, называется:
А) южным тропиком. В) северным тропиком. С) земным экватором. D) полуденной линией. E) линией математического горизонта.
2. Линия, лежащая в плоскости математического горизонта, и соединяющая точки севера и юга, называется:
А) южным тропиком. В) северным тропиком. С) земным экватором. D) полуденной линией. E) линией математического горизонта.
3. Проекцией небесного меридиана на плоскость математического горизонта является:
А) отвесная линия. В) линия первого вертикала. С) земной экватор. D) полуденная линия. E) линия математического горизонта.
4. Плоскость небесного меридиана пересекается с плоскостью первого вертикала по прямой, которая называется:
А) небесным экватором. В) отвесной линией. С) земным экватором. D) полуденной линией. E) линией математического горизонта.
5. Отвесная линия перпендикулярна плоскости...
А) ...небесного меридиана. В) ...первого вертикала. С) ...математического горизонта. D) ...эклиптики. E) ...небесного экватора.
6. Плоскости небесного меридиана и первого вертикала для наблюдателя, находящегося на экваторе Земли расположены друг относительно друга...
А) ...перпендикулярно друг другу. В) ...совпадают друг с другом. С) ...под углом φ (географической широте места наблюдения). D) ...под углом $23^{\circ}26'$. E) ...под углом $90^{\circ} - \varphi$.
7. Малый круг небесной сферы, проходящий через светило и параллельный небесному экватору, называется:
А) альмуантаратом светила. В) вертикалом светила. С) суточной параллелью светила. D) часовым кругом светила. E) кругом склонения светила.
8. Суточные параллели светил для наблюдателя, находящегося на полюсе Земли...
А) ...параллельны математическому горизонту. В) ...перпендикулярны математическому горизонту. С) ...расположены под углом $23^{\circ}26'$. D) ...расположены под углом $90^{\circ} - 23^{\circ}26'$. E) ...расположены под углом $66^{\circ}34'$.
9. Высота полюса мира над горизонтом на экваторе Земли равна:
А) 0° . В) 90° . С) $23^{\circ}26'$. D) $66^{\circ}34'$. E) $53^{\circ}13'$.
10. Светила, находящиеся на одном альмуантарате имеют одинаковые...
А) ...склонения. В) ...астрономические азимуты. С) ...часовые углы. D) ...высоты. E) ...прямые восхождения.

11. Линия небесного экватора пересекается с линией математического горизонта в точках:
 А) севера и юга. В) запада и востока. С) северного и южного полюса мира. D) зенита и надира. E) северного и южного полюсов эклиптики.
12. Альмукуантарат светила и линия математического горизонта для наблюдателя, находящегося на экваторе Земли расположены...
 А) ...параллельно друг другу. В) ...перпендикулярно друг другу. С) ...под углом $23^{\circ}26'$.
 D) ...под углом $90^{\circ} - \varphi$. E) ...под углом φ (географическая широта места наблюдения).
13. Для наблюдателя, находящегося на нашей широте местности азимут Солнца равен нулю...
 А) ...в момент верхней кульминации. В) ...в момент нижней кульминации. С) ...в момент восхода. D) ...в момент захода. E) ...в моменты весеннего и осеннего равноденствий.
14. Если светило в верхней кульминации находится между зенитом и северным полюсом мира, то его азимут A будет равен:
 А) 0° . В) 60° . С) 90° . D) 180° . E) 270° .
15. Для наблюдателя, находящегося на экваторе Земли, северный полюс мира будет находиться в точке...
 А) ...зенита. В) ...севера. С) ...запада. D) ...юга. E) ...востока.
16. Суточные параллели светил и линия небесного экватора расположены...
 А) ...параллельно друг другу, и их взаимное расположение не зависит от широты места наблюдения. В) ...перпендикулярно друг другу, и их взаимное расположение не зависит от широты места наблюдения. С) ...под углом $23^{\circ}26'$, и их взаимное расположение не зависит от широты места наблюдения. D) ...под углом, равным широте места наблюдения.
 E) ...под углом $66^{\circ}34'$, и их взаимное расположение не зависит от широты места наблюдения.
17. Момент пересечения светилом небесного меридиана называется:
 А) кульминацией светила. В) восточной элонгацией светила. С) западной элонгацией светила. D) звёздной абберацией. E) суточным параллаксом светила.
18. Склонение δ звёзд, которые в любом месте Земли могут быть видимы на горизонте равно:
 А) $\delta = 0^{\circ}$. В) $\delta = +66^{\circ}34'$. С) $\delta = -66^{\circ}34'$. D) $\delta = +23^{\circ}26'$. E) $\delta = -23^{\circ}26'$.
19. Часовой угол t и азимут A зенита равны:
 А) $t = 0^h$, азимут не определён. В) $t = 0^h$, $A = 180^{\circ}$. С) $t = 12^h$, азимут не определён. D) $t = 18^h$, $A = 0^{\circ}$. E) $t = 0^h$, $A = 0^{\circ}$.
20. Часовой угол t светила через 3 часа после её нижней кульминации будет равен:
 А) 0^h . В) 3^h . С) 12^h . D) 18^h . E) 15^h .
21. Любой круг склонения может совпасть с линией математического горизонта...
 А) ...на полюсах Земли. В) ...на экваторе Земли. С) ...на северном и южном тропиках. D) ...на северном и южном полярном кругах. E) ...в любой точке земного шара.

22. Разность истинного и среднего времени называется:
 А) всемирным временем. В) поясным временем. С) уравнением времени. D) истинным звездным временем. E) средним звездным временем.
23. Небесная сфера, центр которой находится на поверхности Земли, называется...
 А) ...топоцентрической. В) ...геоцентрической. С) ...объектоцентрической. D) ...гелиоцентрической. E) ...барицентрической.
24. Угол между плоскостью земного экватора и отвесной линией в данной точке поверхности Земли, называется...
 А) ...географической долготой. В) ...геодезическим азимутом. С) ...геодезической широтой. D) ...геоцентрической широтой. E) ...географической широтой.
25. Для получения эталонных единиц времени используются процессы:
 1) вращение Земли вокруг своей оси; 2) вращение Земли вокруг Солнца; 3) вращение Луны вокруг Земли; 4) излучение или поглощение электромагнитных волн атомами или молекулами при определённых условиях.
 А) 1 и 2. В) 1, 2 и 3. С) 4. D) 3 и 4. E) 1, 2, 3 и 4.
26. Фиктивная точка, равномерно движущаяся по экватору со скоростью движения истинного Солнца за год по эклиптике, называется:
 А) ...истинным эклиптическим Солнцем. В) ...средним эклиптическим Солнцем. С) ...средним Солнцем. D) ...истинным Солнцем. E) ...квазиистинным Солнцем.
27. Звёздное время s точки весеннего равноденствия в момент верхней кульминации равно:
 А) $s = 24^h$. В) $s = 0^h$. С) $s = \alpha$. D) $s = t$. E) $s = \alpha + 12^h$.
28. Прямое восхождение некоторого светила $\alpha = 3^h 15^m 24^s$. Звёздное время этого светила, если оно находится на математическом горизонте в точке запада, равно:
 А) $s = 3^h 15^m 24^s$. В) $s = 0^h$. С) $s = 19^h 15^m 24^s$. D) $s = 12^h$. E) $s = 15^h 15^m 24^s$.
29. Вершинами параллактического треугольника являются:
 А) северный полюс эклиптики, северный полюс мира, светило. В) северный полюс эклиптики, зенит, светило. С) северный полюс мира, точка запада, центр небесной сферы. D) северный полюс мира, зенит, точка востока. E) северный полюс мира, зенит, светило.
30. Склонение Полярной звезды в течение года...
 А) ...не изменяется и не зависит от широты места наблюдения. В) ...меняется и зависит от широты места наблюдения. С) ...меняется в пределах от $+23^\circ 26'$ до $-23^\circ 26'$ и не зависит от широты места наблюдения. D) ...меняется в пределах от $+23^\circ 26'$ до 0° и не зависит от широты места наблюдения. E) ...не изменяется, но зависит от широты места наблюдения.
31. Значения астрономических азимутов восхода и захода звёзд...
 А) ...не изменяются в течение года и не зависят от широты места наблюдения.
 В) ...меняются в течение года, но не зависят от широты места наблюдения.
 С) ...не изменяются в течение года, но зависят от широты места наблюдения.
 D) ...меняются в течение года и зависят от широты места наблюдения.
 E) ...меняются в течение месяца и зависят от широты места наблюдения.

32. Высота Солнца над горизонтом в верхней кульминации...
- ...не изменяется в течение года и не зависит от широты места наблюдения.
 - ...меняется в течение года, но не зависит от широты места наблюдения.
 - ...не изменяется в течение года, но зависит от широты места наблюдения.
 - ...меняется в течение года и зависит от широты места наблюдения.
 - ...меняется в течение месяца и зависит от широты места наблюдения.
33. Если орбитальный период Луны принять равным 27,3 суток, то за одни сутки Луна сместиться по небесной сфере примерно на:
- 1° . B) 13° . C) 15° . D) $23^\circ 26'$. E) 53° .
34. Если зенитное расстояние светила в нижней кульминации в данном месте наблюдения меньше 90° , то такое светило является...
- ...невосходящим. B) ...незаходящим. C) ...восходящим. D) ...неподвижным. E) ...кульминирующим.
35. При суточном вращении небесной сферы первый вертикал пересекают...
- ...все светила. B) ... светила, у которых $\delta > \varphi$. C) ...незаходящие светила. D) ...светила, у которых $\delta = 0$. E) ...светила, у которых $\delta < \varphi$.

Тема: Развитие взглядов на строение мира. Кинематика солнечной системы

- Продолжительность сумерек зависит от...
 - ...широты места наблюдения. B) ...высоты положения Солнца над горизонтом. C) ...широты места наблюдения и от склонения Солнца. D) ...состояния атмосферы на данный момент времени. E) ...склонения Солнца.
- Конец гражданских вечерних сумерек наступает, когда Солнце опускается под горизонт на...
 - 6° . B) 12° . C) 18° . D) $23^\circ 26'$. E) высоту, равную широте местности.
- Если светило находится на горизонте, то суточный параллакс его принимает свое максимальное значение и называется...
 - ...годовым параллаксом. B) ...горизонтальным экваториальным параллаксом. C) ...параллактическим смещением. D) ...вековым параллаксом. E) ...горизонтальным параллаксом.
- Прецессионное движение определяет:
 - истинное направление оси мира в пространстве в различные эпохи. B) взаимное расположение магнитных полюсов и географических полюсов. C) угол наклона оси мира к полуденной линии. D) среднее направление оси мира в пространстве в различные эпохи. E) положение истинного экватора и истинной точки весеннего равноденствия.
- Полюс мира, обладающий и прецессионным и нутационным движением, называется:
 - истинным полюсом мира. B) средним полюсом мира. C) мгновенным полюсом мира. D) фиксированным полюсом мира. E) главным полюсом мира.
- Рефракция...
 - ...возникает вследствие движения всей солнечной системы в пространстве, которое происходит со скоростью $v \approx 19,5 \text{ км/с}$. B) ...является следствием вращения Земли

вокруг своей оси. С) ...является следствием вращения Земли вокруг Солнца. D) ...это явление преломления лучей на границе двух материальных сред. E) ...это малый угол при светилах, лежащий при светилах, лежащий против базиса при условии, что базис перпендикулярен к направлению от наблюдателя к светилу.

7. Перенесение начала координат в центр Солнца называется:

A) ...суточной аберрацией. B) ...учётом суточного параллакса. C) ...учётом годичного параллакса. D) ...годичной аберрацией. E) ...вековым параллаксом.

8. Доказательством вращения Земли вокруг Солнца является...

A) ...наличие годичных параллаксов у светил. B) ...наличие суточных параллаксов у светил. C) ...наличие суточной аберрации. D) ...наличие годичной аберрации. E) ...наличие астрономической рефракции.

9. Расстояние до светила обратно пропорционально...

A) ...константе годичной аберрации. B) ...склонению светила. C) ...прямому восхождению светила. D) ...вековому параллаксу светила. E) ...зенитному расстоянию светила.

10. Промежуток времени между двумя последовательными одноимёнными конфигурациями планеты, называется:

A) сидерическим периодом обращения. B) синодическим периодом обращения. C) средним периодом обращения. D) возмущённым периодом обращения. E) нормальным периодом обращения.

11. Фаза планеты измеряется отношением...

A) ...площади освещённой части видимого диска ко всей его площади. B) ...площади освещённой части видимого диска к площади неосвещённой части. C) ...всей площади видимого диска к площади освещённой части. D) ...площади неосвещённой части видимого диска ко всей его площади. E) ...площади неосвещённой части видимого диска к площади освещённой его части.

12. Звёздный период обращения Урана вокруг Солнца составляет 84 года. Большая полуось орбиты (в астрономических единицах) Урана равна:

A) 19,2. B) 84. C) 1. D) 34,5. E) 5.

13. Луна находится в фазе неомнии. Её можно наблюдать на небе...

A) ...всю ночь. B) ...в период с позднего вечера до второй половины ночи. C) ...в период со второй половины ночи до утра. D) ...поздним утром в восточной части неба. E) ...ранним вечером в западной части неба.

14. Параллакс планеты уменьшился в 3 раза. Это произошло вследствие того, что расстояние до неё:

A) увеличилось в 3 раза. B) уменьшилось в 3 раза. C) увеличилось в 9 раз. D) уменьшилось в 9 раз. E) уменьшилось в 6 раз.

15. Отношение квадратов периодов обращения двух планет вокруг Солнца равно 8; следовательно, отношение больших полуосей орбит этих планет равно:

A) 8. B) 4. C) 16. D) 2. E) 64.

16. Гелиоцентрическая система объясняет петлеобразное движение планет:
А) различием скоростей движения Земли и планет по орбитам. В) суточным вращением Земли. С) сочетанием движения Солнца по эклиптике и движения планет вокруг Солнца. D) изменением скорости движения планеты по орбите. E) взаимным притяжением планет.
17. Если планеты перечислить в порядке возрастания их расстояния от Солнца, то этот порядок будет соответствовать увеличению:
А) периода вращения планет вокруг своих осей. В) эксцентриситета орбит. С) периода обращения вокруг Солнца. D) размеров планет. E) их видимой яркости.
18. Закономерность в отношении чисел, выражающих средние относительные расположения планет от Солнца, известна под названием:
А) закона Всемирного тяготения. В) первого закона Кеплера. С) второго закона Кеплера. D) третьего закона Кеплера. E) правила Тициуса-Боде.
19. На время наступления солнечного затмения Луна должна быть в фазе:
А) первой четверти. В) последней четверти. С) в любой фазе. D) полнолуния. E) новолуния.
20. Луна прошла три четверти своей орбиты вокруг Земли. Для наблюдателя на Земле она видна в фазе...
А) ...новолуния; с Земли ненаблюдаема. В) ...первой четверти. С) ...последней четверти. D) ...полнолуния. E) ...неомении; с Земли наблюдаема ранним вечером.
21. Промежуток времени между двумя последовательными возвращениями Луны в перигей лунной орбиты, называется:
А) сидерическим месяцем. В) синодическим месяцем. С) драконическим месяцем. D) тропическим месяцем. E) аномалистическим месяцем.
22. Первую и последнюю четверти Луны называют:
А) квадратурами. В) элонгацией. С) параллактической либрацией. D) физической либрацией. E) сизигиями.
23. Неровная, зазубренная линия, отделяющая освещённую часть лунного диска от неосвещённой, называется:
А) линией рогов. В) терминатором. С) лимбом. D) альбедо. E) либрацией.
24. Луна обращена к наблюдателю всегда одной стороной потому, что:
А) Луна не вращается вокруг своей оси. В) период обращения Луны вокруг своей оси равен периоду обращения Луны вокруг Земли. С) Луна притягивается не только Землей, но и Солнцем. D) Луна вращается вокруг Земли с постоянной скоростью. E) угловая скорость Луны не меняется со временем.
25. Силой, возмущающей движение Луны, является сила...
А) ...солнечного притяжения. В) ...земного притяжения. С) ...притяжения со стороны других планет. D) ...притяжения со стороны Юпитера. E) ...притяжения со стороны Венеры.
26. У этой планеты угол наклона экватора к плоскости орбиты составляет около 98° :
А) Меркурий. В) Плутон. С) Земля. D) Уран. E) Марс.

27. Западные и восточные элонгации наблюдаются у: 1) Меркурия; 2) Венеры; 3) Урана; 4) Марса.
 А) 1, 2, 4. В) 2, 3. С) 1, 2. D) 1, 2, 3, 4. E) Только 2.
28. У этой планеты сидерический период вращения вокруг оси составляет $23^h 56^m 04^s$:
 А) Земля. В) Венера. С) Марс. D) Юпитер. E) Нептун.
29. Эта планета делает один оборот вокруг своей оси за $243^d,16$, причём вращается она в обратную сторону:
 А) Меркурий. В) Венера. С) Марс. D) Юпитер. E) Нептун.
74. У орбиты этой планеты самый маленький эксцентриситет орбиты:
 А) Меркурий. В) Венера. С) Уран. D) Юпитер. E) Нептун.
30. Наклон экватора этой планеты к её орбите составляет $3^\circ,08$:
 А) Меркурий. В) Венера. С) Уран. D) Юпитер. E) Нептун.
31. Среди перечисленных нижними являются планеты: 1) Юпитер; 2) Сатурн; 3) Венера; 4) Меркурий.
 А) 1, 2. В) 3, 4. С) 1, 2, 3. D) 1, 2, 3, 4. E) 2, 4.
32. Конфигурация верхней планеты, когда Земля расположена между Солнцем и планетой называется...
 А) ...верхним соединением. В) ...нижним соединением. С) ...квадратурой. D) ...элонгацией. E) ...противостоянием.
33. Конфигурация Венеры, когда она наблюдается утром и находится на некотором угловом расстоянии от Солнца к западу называется...
 А) ...восточной квадратурой. В) ...западной квадратурой. С) ...восточной элонгацией. D) ...западной элонгацией. E) ...противостоянием.
34. Явление, обусловленное колебанием Луны вокруг положения равновесия в связи со смещённым центром тяжести и с действием приливных сил со стороны Земли, называется...
 А) ...оптической либрацией. В) ...физической либрацией. С) ...восточной элонгацией. D) ...западной элонгацией. E) ...параллактической либрацией.
35. Наблюдатель, находящийся на Марсе, может наблюдать прохождения по диску Солнца для:
 А) Земли и Венеры. В) Юпитера и Сатурна. С) Юпитера, Сатурна, Урана и Нептуна. D) Меркурия, Венеры и Земли. E) Меркурия.
36. Нижние планеты при благоприятных условиях наблюдаются...
 А) ...только в утренние и вечерние часы. В) ...только утром. С) ...утром, вечером и в течение всей ночи. D) ...только вечером. E) ...только в ночные часы.
37. Конфигурации Сатурна: 1) элонгации; 2) квадратуры; 3) нижнее и верхнее соединения; 4) противостояние и соединение.
 А) 1 и 2. В) 3 и 4. С) 1 и 3. D) 2 и 4. E) 1.

38. Факторы, связанные с изменением положения светила на небесной сфере: 1) суточный и годичный параллакс; 2) суточная и годичная абберация; 3) собственное движение звёзд; 4) гравитационное отклонение света.

A) 1. B) 2. C) 3. D) 4. E) 1, 2, 3 и 4.

39. Факторы, связанные с изменением ориентировки в пространстве координатных осей: 1) движение земных полюсов; 2) прецессия; 3) нутация; 4) собственное движение звёзд.

A) 1. B) 2 и 3. C) 1, 2 и 3. D) 4. E) 1, 2, 3 и 4.

40. Абберация обусловлена:

A) движением наблюдателя относительно небесного объекта. B) конечностью скорости света. C) удалённостью небесного объекта от наблюдателя. D) наличием атмосферы. E) неоднородностью атмосферы.

41. Факторы, обуславливающие мерцание звёзд: 1) вращение Земли вокруг оси; 2) флуктуации атмосферы; 3) большое расстояние; 4) прецессия земной оси.

A) 1 и 2. B) 2 и 3. C) 3 и 4. D) 4. E) 1, 2, 3 и 4.

42. Планетная абберация обуславливается: 1) движением планеты по орбите за время распространения света от планеты до Земли; 2) движением Земли по орбите; 3) прецессионным движением оси Земли; 4) движением всей солнечной системы в пространстве со скоростью примерно равной 19,5 км/с.

A) 1 и 2. B) 2 и 3. C) 3 и 4. D) 4. E) 1, 2, 3 и 4.

43. Один парсек – это...

A) ...среднее расстояние от Земли до Солнца. B) ...средний размер солнечной системы. C) ...расстояние от Солнца о ближайшей звезды. D) ...средний диаметр Солнца. E) ...расстояние, с которого радиус земной орбиты виден под углом $1''$.

44. Прецессионное движение земной оси обуславливается: 1) влиянием Луны; 2) влиянием Солнца; 3) шарообразностью Земли; 4) вращением Земли вокруг своей оси.

A) 1 и 2. B) 3 и 4. C) 4. D) 1, 2 и 4. E) 3.

45. Изменение направления на объект при прохождении света вблизи больших масс называется...

A) ...параллактическим смещением. B) ...абберационным смещением. C) ...гравитационным отклонением света. D) ...рефракцией. E) ...прецессией земной оси.

Тема: Основы небесной механики. Закон Всемирного тяготения

1. Среди перечисленных параметров определяют положение плоскости орбиты планеты в пространстве: 1) большая полуось; 2) гелиоцентрическая долгота восходящего узла; 3) наклонение; 4) радиус-вектор планеты.

A) 1, 4. B) 2, 3. C) 1, 2, 3. D) 1, 2, 3, 4. E) Только 2.

2. Центр тяжести двойной планеты (например, системы Земля-Луна) называется...

A) ...апексом. B) ...эксцентриситетом. C) ...перигеем. D) ...восходящим узлом. E) ...барицентром.

3. Невозмущённая орбита планеты характеризуется:
 А) постоянной долготой перигелия. В) постоянной скоростью движения планеты по орбите. С) совпадением с плоскостью эклиптики. D) малым эксцентриситетом. E) малым углом наклона к эклиптике.
4. Планета солнечной системы, открытая «на кончике пера» Леверье – это...
 А) ...Юпитер. В) ...Плутон. С) ...Уран. D) ...Нептун. E) ...Меркурий.
5. Для орбиты, имеющей форму гиперболы, эксцентриситет e принимает значения:
 5. Для орбиты, имеющей форму параболы, эксцентриситет e принимает значения:
 А) $e = 1$. В) $0 < e < 1$. С) $e > 1$. D) $e > 0$. E) $e = 0$.
6. Эксцентриситет орбиты (a – большая полуось, b – малая полуось) определяется как:
 А) $e = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a}$. В) $e = \frac{a - b}{a}$. С) $e = \frac{\sqrt{a - b}}{b}$. D) $e = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a^2}$. E) $e = \frac{\sqrt{a - b}}{a}$.
7. Форму и размеры орбиты планеты определяют: 1) большая полуось; 2) гелиоцентрическая долгота восходящего узла; 3) эксцентриситет; 4) радиус-вектор планеты.
 А) 1, 2, 3. В) 1, 3. С) 1, 4. D) 2, 3, 4. E) 2, 4.
8. Точки пересечения линии орбиты планеты с линией эклиптики называются:
 А) точками весеннего и осеннего равноденствия. В) восходящим и нисходящим узлами. С) зенитом и надиром. D) точками летнего и зимнего солнцестояния. E) перигелием и апогелием.
9. Линия орбиты планеты, совпадающая с большой осью, называется:
 А) радиус-вектором. В) апсидой. С) эклиптикой. D) большой полуосью. E) малой полуосью.
10. Наиболее близкая к Солнцу точка эллиптической орбиты называется:
 А) восходящим узлом. В) нисходящим узлом. С) эфемеридой. D) перигелием. E) афелием.
11. Колебания географических полюсов приводит к...
 А) ...изменению конфигураций звёзд в созвездиях. В) ...потеплению климата. С) ...малым ледниковым периодам. D) ...изменению длины суток. E) ...периодическим изменениям географических широт и долгот..
12. Самые короткие сутки приходятся на...
 А) ...июль-август. В) ...декабрь. С) ...март. D) ...июнь. E) ...сентябрь.
13. Замедление скорости вращения Земли вызывается...
 А) ...гравитационным воздействием Солнца на Землю. В) ...магнитными бурями. С) ...изменением расстояния от Луны до Земли. D) ...тормозящим действием лунных и солнечных приливов. E) ...движением материков.
14. Причиной смены времён года на Земле является:
 А) различие перигелийного и афелийного расстояний. В) наклон Земной оси к плоскости орбиты и постоянство этого наклона. С) вращение Земли вокруг своей оси. D) наличие у Земли естественного спутника. E) прецессионное движение Земной оси.

15. Для тела, находящегося в поле тяготения Земли, скорость, равная 11,2 км/с, называется...
- A) ...средней орбитальной скоростью.
 - B) ...первой космической скоростью.
 - C) ...второй космической скоростью.
 - D) ...третьей космической скоростью.
 - E) ...скоростью убегания.
 - F) ...параболической скоростью.
 - G) ...гиперболической скоростью.
 - H) ...скоростью захвата.

Тема: Инструменты и методы астрофизики и радиоастрономии

1. Радиотелескопы являются приёмниками волн длиной...
- A) ...0,1-100 Å. B) ...3900-7600 Å. C) ...0,76-15 мкм. D) ...15 мкм-1 мм. E) ...длиннее 1 мм.
2. Земная атмосфера прозрачна для радиоволн в диапазоне...
- A) ...0,1-100 Å. B) ...3900-7600 Å. C) ...0,76-15 мкм. D) ...примерно от 1 см до 20 м. E) ...примерно от 30 м до 100м.
3. Величина, показывающая во сколько раз в действительности звезда ярче Солнца, называется...
- A) ...абсолютной звёздной величиной. B) ...светимостью звезды. C) ...видимая звёздная величина. D) ...параллаксом звезды. E) ...фотометрическая звёздная величина.
4. Освещённость...
- A) ...пропорциональна квадрату расстояния от источника. B) ...пропорциональна расстоянию от источника. C) ...обратно пропорциональна квадрату расстояния от источника. D) ...обратно пропорциональна расстоянию от источника. E) ...пропорциональна кубу расстояния от источника.
5. На расстоянии 10 парсек звезда имеет параллакс, равный...
- A) 0",1. B) 1". C) 10". D) 10°. E) 15°.
6. Объективом рефлектора служит...
- A) ...вогнутое зеркало. B) ...система линз. C) ...собирающая линза. D) ...комбинация линзовых и зеркальных элементов. E) ...плоское зеркало.
6. Проницающая способность телескопа...
- A) ...характеризуется наименьшим угловым расстоянием между двумя точечными объектами, при котором они видны рядом, не сливаясь друг с другом. B) ...представляет собой предельную звёздную величину звёзд, доступных наблюдениям в телескоп в тёмную, безоблачную ночь. C) ...называется светосилой. D) ...это наибольшее увеличение, допускаемое телескопом, при хороших атмосферных условиях. E) ...представляет собой равнозрачковое увеличение.
7. Диаметр зрачка 5 мм; для визуальных лучей принять длину волны $\lambda = 500 \text{ нм}$. Теоретическое разрешение глаза примерно равно (в радианах):
- A) 10^{-4} . B) $25 \cdot 10^{-2}$. C) 10^{-1} . D) $5 \cdot 10^{-1}$. E) $25 \cdot 10^{-1}$.

8. Зависимость чувствительности приёмника излучения от длины волны называется...
- А) ...порогом чувствительности. В) ...спектральной характеристикой. С) ...кривой видности. D) ...диаграммой направленности. E) ...угловой дисперсией.
9. Зависимость чувствительности радиотелескопа от положения точечного источника радиоизлучения по отношению к антенне, называется...
- А) ...порогом чувствительности. В) ...спектральной характеристикой. С) ...кривой видности. D) ...диаграммой направленности. E) ...угловой дисперсией.
10. В среднем глаз наблюдателя наиболее чувствителен к излучению с длиной волны...
- А) ...0,1-100 Å. В) ...3900 Å. С) ...5550 Å. D) ...7600 Å. E) ...длиннее 1 мм.

Тема: Физика Солнечной системы

1. Слои Солнца, из которых излучение может беспрепятственно уходить, называются...
- А) ...конвективной зоной. В) ...зоной лучистого равновесия. С) ...ядром. D) ...фотосферой. E) ...радио гало.
2. К солнечной активности относятся: 1) солнечные пятна; 2) протуберанцы; 3) спикюлы; 4) факелы:
- А) 1, 2, 3. В) 1, 3. С) Только 4. D) 1, 2, 3, 4. E) 2, 4.
3. Солнечную атмосферу составляют: 1) конвективная зона; 2) фотосфера; 3) хромосфера; 4) корона.
- А) 1, 2, 4. В) 1, 3. С) Только 4. D) 2, 3. E) 2, 3, 4.
4. Спектральный класс солнечной фотосферы:
- А) A0. В) G2. С) F5. D) O4. E) M3.
5. Температура Солнечной короны.
- А) 4500 K. В) 13 млн. K. С) 6000 K. D) 2 млн. K. E) 10000 K.
6. Эффективная температура – это температура...
- А) ...ядра Солнца. В) ...конвективной зоны. С) ...хромосферы. D) ...фотосферы E) ...солнечной короны.
7. Место выхода в солнечную атмосферу сильных магнитных полей, уменьшающих поток энергии, идущий от недр звезды к фотосфере, является...
- А) ...грануляцией. В) ...солнечным пятном. С) ...вспышкой. D) ...протуберанцем. E) ...солнечной короной.
8. Наиболее существенным в недрах Солнца является:
- А) *r*-процесс. В) *s*-процесс. С) протон-протонный цикл. D) CNO-цикл. E) К-захват.
9. Тонкий слой между зоной лучистого равновесия и конвективной зоной называется...
- А) ...фотосферой. В) ...хромосферой. С) ...радиогало. D) ...тахоклином. E) ...солнечной короной.
10. Не имеют естественных спутников:
- А) Меркурий и Венера. В) Уран и Нептун. С) Земля и Марс. D) Марс и Юпитер. E) Сатурн и Плутон.

11. Атмосфера этой планеты почти полностью состоит из углекислого газа:
А) Земля. В) Меркурий. С) Юпитер. D) Венера. E) Марс.
12. На этой планете температура поверхности днём и ночью в течение всего года остаётся практически постоянной и очень высокой:
А) Венера. В) Меркурий. С) Марс. D) Юпитер. E) Нептун.
13. Это единственная планета солнечной системы, о которой ещё до полётов в космос было известно, что она обладает мощным магнитным полем:
А) Венера. В) Марс. С) Юпитер. D) Сатурн. E) Уран.
14. У этих из нижеперечисленных планет, помимо спутников, имеются кольца: 1) Юпитер; 2) Сатурн; 3) Уран; 4) Нептун.
А) 1, 2, 4. В) 2, 3. С) 1, 2. D) 1, 2, 3, 4. E) Только у 2.
15. Эта планета характеризуется наименьшей средней плотностью по сравнению с остальными планетами:
А) Меркурий. В) Сатурн. С) Уран. D) Юпитер. E) Нептун.
16. В группу карликовых планет входят: 1) Церера; 2) Плутон; 3) Эрида; 4) Меркурий.
А) 1, 2. В) 3, 4. С) 1, 2, 3. D) Только 1. E) Только 2.
17. В состав Солнечной системы входят: 1) Солнце. 2) Белые карлики. 3) Звёзды. 4) Пульсары.
А) 1 и 2. В) 2 и 3. С) 1, 2, 4. D) 1 и 4. E) Только 1.
18. В состав малых тел Солнечной системы входят: 1) Планеты земной группы; 2) Солнце; 3) Астероиды; 4) Кометы.
А) Только 4. В) 1, 2. С) 1, 2, 3. D) 3, 4. E) Только 3.
19. Период обращения этой планеты вокруг Солнца наибольший:
А) Меркурий. В) Венера. С) Земля. D) Марс. E) Нептун.
20. Наименьшее число спутников имеет...
А) ...Меркурий. В) ... Земля. С) ...Марс. D) ...Венера. E) ...Нептун.
21. Происходят сезонные изменения у перечисленных планет: 1) Венера. 2) Марс. 3) Юпитер. 4) Уран.
А) Только у Юпитера. В) Только у Урана. С) У Венеры и Юпитера. D) У Марса и Урана. E) Только у Марса.
22. Поглощение света небесных светил в земной атмосфере называется...
А) ...атмосферной экстинкцией. В) ...астрономической рефракцией. С) ...звёздной абберацией. D) ...дисперсией. E) ...нутацией.
23. Период прецессии земной оси вращения равен:
А) 365,25 солнечных суток. В) 26 000 лет. С) 18 лет и 11 дней. D) 23 часа 56 минут. E) 29 суток.
24. Слой земной атмосферы, в котором содержится около 80% массы всей атмосферы, почти вся вода и пыль, взвешенные в атмосфере, называется:
А) тропосферой. В) стратосферой. С) мезосферой. D) ионосферой. E) экзосферой.

25. Область, где магнитное поле Земли ещё настолько велико, что определяет движение заряженных частиц, называется...
- А) ...первым радиационным поясом Земли. В) ...вторым радиационным поясом Земли. С) ...ионосферой Земли. D) ...магнитопаузой. E) ...магнитосферой Земли.
26. Следствием прецессионного движения земной оси является...
- А) ...смена времён года. В) ...изменение положения географических полюсов Земли на её поверхности. С) ...изменение положения геомагнитных полюсов Земли на её поверхности. D) ...перемещение точек равноденствия среди звёзд к западу. E) ...изменение географических координат.
27. Совокупность факторов, искажающих форму проходящего через атмосферу волнового фронта излучения небесных объектов, называется...
- А) ...астроблемой. В) ...магнитопаузой. С) ...астроклиматом. D) ...магнитным экватором. E) ...радиационным поясом.
28. Границей между земной корой и мантией служит слой, который называется...
- А) ...гомосферой. В) ...гетеросферой. С) ...слоем Голицына. D) ...астеносферой. E) ...слоем Мохоровичича.
29. Поверхность Земли, которая приближённо совпадает с поверхностью Мирового океана, называется...
- А) ...сфероидом. В) ...эллипсоидом. С) ...геоидом. D) ...земной корой. E) ...гидросферой.
30. Значение ускорения свободного падения принимает наибольшее значение на...
- А) ...географических полюсах. В) ...магнитных полюсах. С) ...экваторе. D) ...южном и северном тропиках. E) ...южном и северном полярных кругах.
31. Эта карликовая планета было открыта в 1930 году американским астрономом Томбо:
- А) Плутон. В) Эрида. С) Церера. D) Хаумеа. E) Макемаке.
32. Эта планета, открытая в 1801 году, сначала рассматривалась как полноценная планета солнечной системы; в 180 году она классифицировалась как астероид, а в 2004 году была отнесена к классу карликовых планет:
- А) Плутон. В) Эрида. С) Церера. D) Хаумеа. E) Макемаке.
33. Эта комета является первой в своём классе, для которой была определена периодичность:
- А) Чурюмова-Герасименко. В) ИСОН. С) Хиякутаке. D) Галлея. E) Шумейкеров-Леви.
34. Классификацию кометных хвостов разработал:
- А) Ньютон. В) Галилей. С) Галлей. D) Кеплер. E) Бредихин.
35. На поверхность этой кометы сделал посадку модуль «Филэ», доставленный космическим аппаратом «Розетта»:
- А) Чурюмова-Герасименко. В) ИСОН. С) Хиякутаке. D) Галлея. E) Шумейкеров-Леви.
36. Эти планеты относятся к классу ледяных гигантов: 1) Юпитер; 2) Сатурн; 3) Уран; 4) Нептун.
- А) 1 и 2. В) 3 и 4. С) 1, 2, 3 и 4. D) 3. E) 2.

37. Область солнечной системы от орбиты Нептуна до расстояния около 55 а.е. от Солнца называется...

А) ...облаком Оорта. В) ...внутренним поясом астероидов. С) ...поясом Эджворта-Койпера. D) ...пределом Чандрасекара. E) ...сферой Шварцшильда.

38. Радиант метеорного потока находится в созвездии Водолея. Поток называется:

А) Леониды. В) Тауриды. С) Драконида. D) Аквариды. E) Урсиды.

39. В образовании кометных хвостов играют роль следующие факторы:

А) вращение ядра кометы.
В) обращение кометы вокруг Солнца.
С) притяжение кометы со стороны Юпитера.
D) увлечение частиц ядра кометы солнечным ветром.
E) увлечение ионизированных молекул солнечным ветром.
F) бомбардировка ядра кометы галактическими космическими лучами.
G) бомбардировка ядра кометы внегалактическим излучением.
H) световое давление.

40. Зодиакальный свет –

А) это свечение атмосферы Земли.
В) это полярное сияние в зодиакальных созвездиях.
С) это равномерно светящаяся полоса Млечного Пути, расположенная вдоль эклиптики.
D) наблюдается в безлунные периоды полярных ночей в полярных широтах.
E) это результат вспышечной активности Солнца.
F) это рассеяние солнечного света частицами метеорной пыли.
G) его яркость испытывает колебания соответственно колебаниям солнечной активности.
H) наблюдается в безлунные ночи в южных широтах.

Тема: Звёзды

1. После стадии красного гиганта наше Солнце будет представлять собой:

А) красный карлик. В) белый карлик + планетарную туманность. С) пульсар. D) пульсар или чёрную дыру + туманность. E) чёрную дыру.

2. Эти три звезды составляют астеризм «Летний треугольник»:

А) Регул, Кастор, Поллукс. В) Беттельгейзе, Беллатрикс, Ригель. С) Антарес, Альдебаран, Альтаир. D) Вега, Денеб, Альтаир. E) Дубхе, Мерак, Фекда.

3. «Северным крестом» называют часть созвездия:

А) Рыб. В) Льва. С) Лебедя. D) Малого Пса. E) Эридана.

4. Угол, который образует угловое расстояние между спутником и главной звездой с направлением к северному полюсу мира и отсчитывается против часовой стрелки, называется...

А) ...позиционным углом. В) ...телесным углом. С) ...проективным углом. D) ...параллактическим смещением. E) ...центральный углом.

5. Быстро вращающаяся нейтронная звезда называется:

А) чёрной дырой. В) квазаром. С) сверхгигантом. D) затменно-переменной. E) пульсаром.

6. После взрыва сверхновой звезда представляет собой:
 А) красный карлик. В) белый карлик + планетарную туманность. С) пульсар. D) пульсар или чёрную дыру + туманность. E) чёрную дыру.
7. Звезда находится на главной последовательности диаграммы Герцшпрунга-Рессела, если:
 А) температура её поверхности достигает 6 000 К. В) масса звезды сравнима с массой Солнца. С) она является главным компонентом в двойной системе. D) светимость звезды сравнима со светимостью Солнца. E) в недрах звезды происходят термоядерные реакции, в результате которых водород превращается в гелий.
8. На месте вспышки красного гиганта остаётся:
 А) ...белый карлик и планетарная туманность. В) ...нейтронная звезда. С) ...красный карлик и туманность. D) ...пульсар и туманность. E) ...чёрная дыра.
9. Изменение блеска цефеид объясняется...
 А) ...процессами, происходящими в атмосфере Земли. В) ...периодическим изменением размеров и температуры звезды. С) ...периодическим изменением расстояния от Земли до звезды. D) ...изменением химического состава звезды. E) ...периодическим изменением температуры звезды.
10. Обозначения основных спектральных классов звёзд в порядке от горячих бело-голубых звёзд к красным холодным звёздам:
 А) $O - B - A - F - G - K - M$. В) $O - B - M - F - G - A - K$. С) $F - O - K - M - G - A - B$. D) $M - K - G - F - A - B - O$. E) $G - B - M - K - O - F - A$.
11. Скопление Плеяды в созвездии Тельца представляет собой:
 А) шаровое звёздное скопление. В) рассеянное звёздное скопление. С) неправильную галактику. D) спиральную галактику. E) эллиптическую галактику.
12. Медленный s -процесс реализуется...
 А) ...в ядрах звёзд главной последовательности. В) ...в оболочках белых и голубых сверхгигантов. С) ...в оболочках красных гигантов. D) ...при взрывах новых и сверхновых. E) ...в белых карликах.
13. При взрывах сверхновых реализуются процессы...
 А) ...горения гелия. В) ...протон-протонный цикл. С) ... CNO -цикл. D) ... s -процесс. E) ... r -процесс.
14. Быстрый последовательный захват большого количества нейтронов, опережающий β -распад, является:
 А) r -процессом. В) s -процессом. С) протон-протонный циклом. D) CNO -циклом. E) K -захватом.
15. Процессами нуклеосинтеза являются: 1) Протон-протонный цикл. 2) CNO -цикл. 3) r -процесс. 4) s -процесс.
 А) Только 1. В) 1, 2, 3, 4. С) 1, 2. D) 3, 4. E) Только 4.

16. Эруптивные переменные звёзды, у которых хотя бы однажды наблюдалось внезапное и резкое увеличение светимости (вспышка) не менее чем на 7-8 звёздных величин, называются:

А) новыми звёздами. В) сверхновыми звёздами. С) звёздами типа Солнца. D) нейтронными звёздами. Е) белыми карликами.

17. Неразрешимые в телескопы тесные двойные пары звёзд, видимая звёздная величина которых меняется вследствие периодически наступающих для земного наблюдателя затмений одного компонента системы другим, называется:

А) визуально-двойными звёздами. В) затменными переменными звёздами. С) спектрально-двойными звёздами. D) оптически двойными звёздами. Е) фотометрически двойными звёздами.

18. Звёзды, близкое расположение которых является лишь проекцией на поверхность небесной сферы, называются:

А) визуально-двойными звёздами. В) затменными переменными звёздами. С) спектрально-двойными звёздами. D) оптически двойными звёздами. Е) фотометрически двойными звёздами.

19. Спектральные классы, к которым принадлежат горячие бело-голубые звёзды:

А) $O - B$. В) $K - M$. С) $F - O$. D) $G - A$. Е) $A - F$.

20. Параллакс π светила и расстояние r до него связаны соотношением:

А) $r = \frac{1}{\sin \pi}$. В) $r \approx \sin \pi$. С) $\pi = \frac{1}{\sin r}$. D) $r = \frac{1}{\cos \pi}$. Е) $\pi = \frac{1}{\cos r}$.

21. Ближайшей к Солнечной системе звездой является:

А) Солнце. В) Полярная. С) Проксима Центавра. D) Сириус. Е) Вега.

22. Для северного полушария небесной сферы околополярными являются созвездия: 1) Жираф. 2) Рысь. 3) Орион. 4) Телец.

А) 1 и 2. В) Только 3. С) 3 и 4. D) Только 1. Е) Только 4.

23. Ярчайшая звезда в созвездии Малого Пса называется:

А) Бетельгейзе. В) Процион. С) Фомальгаут. D) Сириус. Е) Вега.

24. В зодиакальный круг 13-м входит созвездие:

А) Большая Медведица. В) Кит. С) Единорог. D) Орион. Е) Змееносец.

25. Незаходящей для нашей широты места наблюдения является:

А) Альтаир. В) Сириус. С) Фомальгаут. D) Регул. Е) Капелла.

26. Отношение блеска двух звёзд при разности в пять звёздных величин равно:

А) 2,5. В) 10. С) 50. D) 100. Е) 1000.

27. Звёздная величина, соответствующая 1 люксу, равна (вне атмосферы Земли):

А) -27 . В) -14 . С) $-4,5$. D) -1 . Е) 1.

28. Единицы измерения светимости:

А) джоуль. В) люкс. С) безразмерная величина. D) ватт. Е) кандела.

29. Характеристика звезды, зависящая от расстояния до наблюдателя:
А) блеск. В) масса. С) радиус. D) химический состав. E) температура.
30. Если давление, обеспечивающееся тепловым движением частиц, уравновешивается гравитационным сжатием, то такая звезда называется...
А) ...нормальной звездой. В) ...белым карликом. С) ...нейтронной звездой. D) ...чёрной дырой. E) ...пульсаром.
31. Максимальное значение видимой звёздной величины этого объекта равно $-4,4^m$:
А) Солнца. В) Луны. С) Венеры. D) Юпитера. E) Марса.
32. Звёзды, изменяющие свой блеск в силу взрывных процессов, происходящих в их поверхностных слоях, называются...
А) ...пульсирующими переменными звёздами. В) ...эруптивными переменными звёздами. С) ...новыми звёздами. D) ...сверхновыми звёздами. E) ...пульсарами.
33. Процессы, замедляющие звездообразование: 1) турбулентность; 2) вращение облаков газа, 3) магнитное поле; 4) звёздный ветер.
А) 1, 2, 3, 4. В) 1, 2 и 3. С) 2 и 4. D) 1 и 3. E) 4.
34. Сверхновые второго типа встречаются: 1) преимущественно в спиральных рукавах галактик; 2) преимущественно в сферической подсистеме спиральных галактик; 3) в неправильных галактиках; 4) во всех типах галактик.
А) 1 и 2. В) 2. С) 3. D) 4. E) 1.
35. Субзвёздный объект, недостаточно массивный для поддержания стабильного горения водорода в ядре, называется...
А) ...нормальной звездой. В) ...белым карликом. С) ...нейтронной звездой. D) ...коричневым карликом. E) ...пульсаром.