МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РФ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ – ФИЛИАЛ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «УЛЬЯНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ П.А. СТОЛЫПИНА»

Кафедра «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов»

УТВЕРЖДАЮ
Заместитель директора по учебной
и воспитательной работе
____________Н.С. Семенова
«_31_»__августа__2017 г.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
по организации внеаудиторной самостоятельной работы обучающихся

БД.12 «Астрономия»

Специальность: 35.02.06 Технология производства и переработки сельскохозяйственной продукции

Уровень подготовки ___________базовый_________
(базовый, углубленный)

Квалификация выпускника ______технолог____________
(наименование квалификации)

Форма обучения ______________очная, заочная_______
(очная, заочная и др.)

Димитровград 2017 г.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

> Астрономия – основа общего образования. Изучение ее не только не представляет никаких трудностей, но наоборот, доставляет удовольствие, которое все увеличивается по мере того, как мы ближе знакомимся с чудесами мироздания… Наука о звездах и планетах… воочию показывает, что без нее человек никогда не знал бы, какое место он занимает во Вселенной; поэтому изучение ее, даже в элементарном виде, необходимо для каждого, кто хочет считать себя образованным человеком.
>
> *Камилл Фламмарион (1842 – 1925)*

Астрономия – древняя и прекрасная наука о Вселенной, безграничном и постоянно меняющемся мире, включающем в себя огромную область, доступную современным наблюдениям. Это и Солнце с планетами, и звезды, и галактики и многочисленные системы, образуемые ими, и разреженная среда, в которой все они находятся.

За свою длительную историю астрономические наблюдения были необходимы и для определения продолжительности года, времени наступления того или иного сезона, и для установки системы счета времени, и для прокладывания курса кораблей в открытом море... Сегодня многие эти проблемы решаются техническими средствами. Но современная астрономия отнюдь не оторвана от жизни. Задачи, требующие наиболее высокой точности измерений, и в настоящее время решаются с привлечением новейших методов астрономии.

Понять природу наблюдаемых тел и явлений во Вселенной, их возникновение и развитие, дать объяснения их свойствам, используя знания естественных наук, физико-математическое и философское образование – задача курса.

Согласно программе курса «Астрономия», для студентов заочного обучения предусмотрено выполнение одной контрольной работы из пяти заданий, которая будет способствовать закреплению у студентов теоретических знаний и выработке практических навыков в определении местоположения, времени и физических характеристик небесных объектов.

ПРОГРАММА КУРСА

1. Предмет и задачи астрономии

Основные этапы развития и разделы астрономии. Астрономия в древности. Практическое значение астрономии и ее связь с другими науками. Роль наблюдений в астрономии; астрономические обсерватории. Оптические и радиотелескопы.

2. Системы координат. Видимое движение светил

Небесная сфера. Основные точки, круги, линии и плоскости небесной сферы. Географические координаты. Горизонтальная система небесных координат. Экваториальные системы небесных координат. Связь между ними. Суточное вращение небесной сферы. Эклиптика. Годичное движение Солнца. Суточное движение Солнца на разных широтах. Звездное небо, его изображение на звездных картах. Созвездия.

3. Системы измерения времени

Звездное, солнечное (истинное, среднее) время. Уравнение времени. Календари. Преобразование шкал времени. Декретное и поясное время.

4. Видимое и истинное движение планет

Строение и масштаб Солнечной системы. Законы Кеплера. Элементы орбит. Синодические и сидерические периоды. Закон всемирного тяготения. Задача двух тел. Третий (уточненный) закон Кеплера. Понятие о возмущенном движении. Открытие Нептуна. Масса и размеры притягивающих тел. Приливы. Конфигурации планет.

5. Определение фигуры и размеров Земли

Определение расстояний до небесных тел. Параллакс. Радиолокационный метод. Лазерная локация Луны. Определение размеров небесных тел. Доказательства суточного вращения Земли, обращения Земли вокруг Солнца. Доказательства годичного обращения Земли вокруг Солнца. Прецессия и нутация. Неравномерность вращения Земли.

6. Видимое движение и фазы Луны

Периоды обращения Луны, либрации. Лунные и солнечные затмения. Сарос.

7. Задачи и основные разделы астрофизики

Астрофизические инструменты. Астрофотография, спектроскопия. Определение физических, химических свойств и скорости движения по спектрам. Радиоастрономия.

8. Солнечная система

Земля и Луна: физическая характеристика, движение и эволюция. Планеты земной группы. Планеты-гиганты. Малые планеты. Кометы. Метеоры, метеорные потоки, метеориты.

9. Ближайшая к нам звезда – Солнце, общие сведения

Внутреннее строение и атмосфера Солнца. Солнечная активность. Солнце и жизнь Земли.

10. Звезды

Физическая природа звезд. Расстояния до звезд. Светимость, размеры, температура. Звездные величины, абсолютные звездные величины. Спектральная классификация. Диаграмма Герцпрунга – Рессела. Цефеиды, двойные, кратные, переменные, новые, сверхновые звезды. Эволюция звезд. Черные дыры.

11. Галактика

Млечный путь. Строение и население Галактики. Звездные скопления. Вращение Галактики. Классификация галактик. Элементы внегалактической астрономии. Определение расстояний до галактик и их размеров. Физические свойства, ядра галактик. Радиогалактики. Квазары. Метагалактика.

12. Проблемы космогонии

Эволюция звезд и источники звездной энергии. Происхождение планет. Современные представления о происхождении и эволюции Солнечной системы. Возраст Земли и других небесных тел. Современные достижения космологии.

1. ЗАДАНИЕ № 1СИСТЕМЫ КООРДИНАТ. ВИДИМОЕ ДВИЖЕНИЕ СОЛНЦА

Цель: Практическое закрепление теории астрономических координат.

Методические указания: к выполнению практической работы следует приступить после изучения гл. 1 (§ 1 – 11) [1], § 10 – 17 [2] и с.15 – 22 [3].

Исходные данные для выполнения задания и справочная информация приведены в прил. 1.

Необходимые материалы:

циркуль, линейка, цветные стержни.

Содержание:

1. Нарисовать основные точки, круги и линии небесной сферы. Изобразить небесную сферу в проекциях на плоскости небесного горизонта, небесного экватора и небесного меридиана.
2. Сделать чертежи горизонтальной и экваториальных систем координат. Нанести на них астрономический объект по заданным координатам своего варианта.
3. Нанести на чертеже небесной сферы точки, где находится Солнце в дни солнцестояний и равноденствий, а также примерное расположение Солнца на дату варианта.

1.1. Основные сведения из теории

Небесной сферой называется воображаемая сфера произвольного радиуса, в центре которой находится точка наблюдения. На эту сферу проектируются положения всех небесных тел. Расстояния на небесной сфере можно измерять только в угловых единицах (например, в градусах). Для этого на ее поверхности наносятся основные линии и точки, по отношению к которым производятся измерения.

Наблюдаемое суточное вращение небесной сферы (оно происходит с востока на запад) – кажущееся явление, отражающее действительное вращение земного шара вокруг своей оси (с запада на восток). Ось видимого вращения небесной сферы называется осью мира. Она проходит через центр сферы и пересекает ее в точках P (северный полюс мира) и P′ (южный полюс мира) (рис. 1.1). Вблизи северного полюса мира в настоящее время находится α Малой Медведицы – Полярная звезда. Ось мира параллельна земной оси. Плоскость, перпендикулярная оси мира, проходящая через центр сферы, пересекается с ней по большому кругу (QWQ′E) – небесному экватору. Плоскость небесного экватора параллельна плоскости земного экватора.

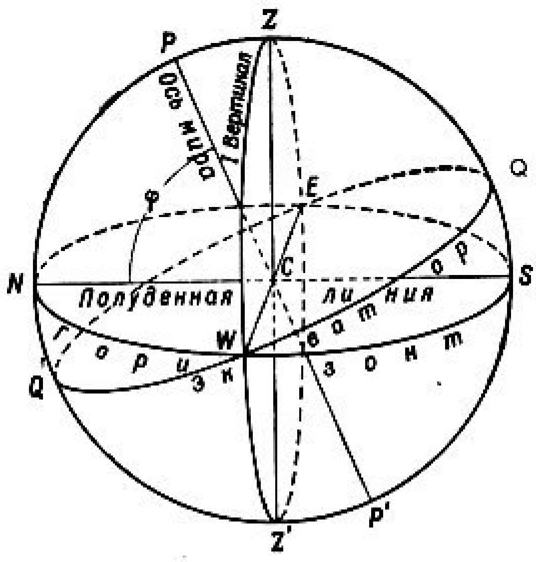

Рис. 1.1. Основные линии и точки небесной сферы

Отвесная (вертикальная) линия ZZ′ проходит через центр небесной сферы, пересекает ее в точках *зенита* (Z) и *надира* (Z′). Отвесная линия направлена вдоль вектора силы тяжести в точке наблюдения. Плоскость, проходящая через центр сферы и проведенная перпендикулярно отвесной линии, – *математический, или истинный, горизонт.*

Плоскость, содержащая отвесную линию и ось мира, называется *плоскостью небесного меридиана,* которая в сечении с небесной сферой дает круг – *небесный меридиан* PZQSP′Z′Q′N. Пересечение горизонта с меридианом происходит в точках юга (S) и севера (N), а плоскости этих кругов пересекаются по *полуденной линии* (NS). Отвесная линия перпендикулярна полуденной линии. Небесный экватор пересекается с истинным горизонтом в точках востока (E) и запада (W). Вертикальная плоскость, перпендикулярная к плоскости меридиана и горизонта, называется *плоскостью первого вертикала* и пересекается с горизонтом в точках E и W. Большой полукруг небесной сферы, проходящий через зенит, надир и точку, в которой в данный момент находится светило, называется *вертикалом, или кругом высоты.* Большой круг небесной сферы, проходящий через полюсы мира и наблюдаемое светило, называется *кругом склонения*.

Угол наклона оси мира к горизонту равен географической широте (φ) места наблюдения (т. е. высота полюса мира h_p над горизонтом равна географической широте φ места наблюдения, $h_p = \varphi$).

Небесный меридиан делит сферу на два полушария (восточное и западное). Математический горизонт SWNE делит поверхность небесной сферы на две:

- видимую для наблюдателя, с вершиной в зените Z;
- невидимую, с вершиной в надире Z′.

Небесный экватор делит небо на северное полушарие и южное.

Большой круг небесной сферы, по которому в течение года перемещается центр Солнца, называется *эклиптикой* (рис. 1.2). Эклиптика проходит через тринадцать созвездий, расположенных в пределах пояса шириной примерно

16°. Эклиптика пересекается с экватором под углом $\varepsilon \approx 23{,}5°$ в точках *весеннего* и *осеннего равноденствия*. Точка весеннего равноденствия обозначается γ и находится в настоящее время в созвездии Рыб, точка осеннего равноденствия обозначается ♎ и находится в настоящее время в созвездии Девы.

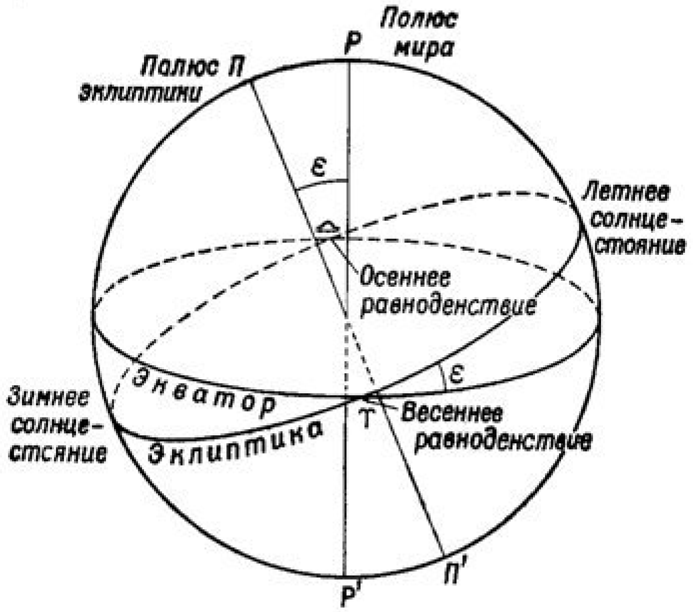

Рис. 1.2. Экватор и эклиптика

При вращении небесной сферы положение эклиптики относительно горизонта меняется, в противоположность всем остальным перечисленным линиям небесной сферы.

Положения светил на небесной сфере определяются двумя сферическими координатами. Наиболее часто в астрономии используются три системы небесных координат:

- горизонтальная;
- первая экваториальная;
- вторая экваториальная.

Горизонтальная система координат

Положение светила σ относительно горизонта и небесного меридиана определяется двумя координатами: высотой (h) и азимутом (A), которые называются *горизонтальными* (рис. 1.3). *Высота светила* – это дуга вертикального круга Мσ от горизонта до светила, или центральный угол МОσ между плоскостью горизонта и направлением на светило. *Астрономический азимут светила* определяет положение вертикального круга – дуга математического горизонта SM от точки юга S (по часовой стрелке) вдоль горизонта до его пересечения с кругом высоты, проходящим через светило, или двугранный угол SOM между плоскостью небесного меридиана и плоскостью вертикального круга, проходящего через светило. Вместо высоты h часто употребляют *зенитное расстояние* z, равное 90° - h, т. е. угловое расстояние светила от зенита. Зенитное расстояние, или высота, и азимут зависят от широты места и от момента наблюдения. Они измеряются в пределах: $-90^0 \leq h \leq +90^0$, $0^0 \leq z \leq 180^0$, $0^0 \leq A \leq 360^0$.

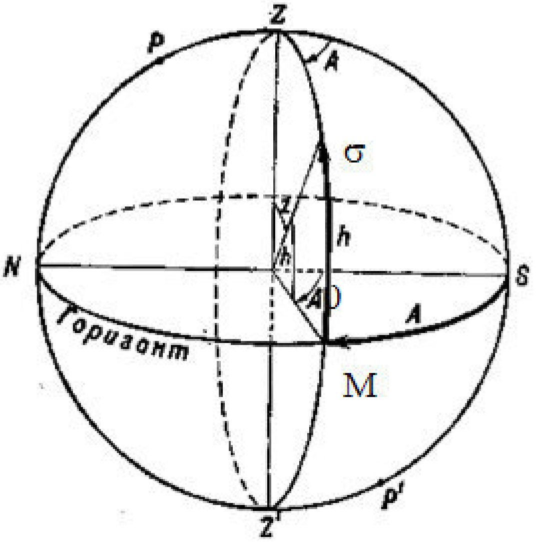

Рис. 1.3. Горизонтальная система координат

Горизонтальная система координат используется при наблюдениях в геодезии, геодезической астрономии и при ориентировании геодезических инструментов.

Первая экваториальная система координат

Склонение светила δ – дуга Mσ от небесного экватора до светила вдоль круга склонения или центральный угол MOσ между плоскостью небесного экватора и направлением на светило. Склонение выражается в градусах, минутах и секундах. В северном полушарии неба склонение положительно, в южном – отрицательно. *Часовой угол t* отсчитывается от точки Q пересечения экватора с меридианом по часовой стрелке (к западу) до пересечения экватора с кругом склонения, проходящим через светило (рис. 1.4). Часовой угол выражается в часовой мере и зависит от времени наблюдения. Исходя из того, что $24^ч = 360°$: $1^ч = 15°$; $1^м = 15'$; $1^с = 15''$; $1° = 4^м$. Склонение и часовой угол измеряются в пределах: $0^h \leq t \leq 24^h$, $-90° \leq \delta \leq +90°$. Данная система координат используется при построении систем измерения времени.

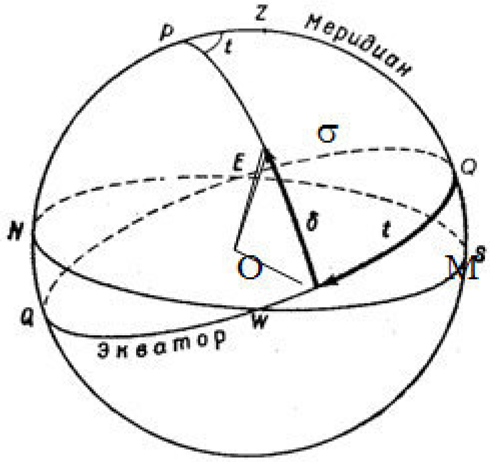

Рис. 1.4. Первая экваториальная система координат

Вторая экваториальная система координат

Склонение светила δ – та же координата, что и в первой экваториальной системе координат. *Прямое восхождение* α отсчитывается от точки весеннего равноденствия γ против хода часовой стрелки вдоль экватора до его пересечения с кругом склонения, проходящим через светило (рис. 1.5). Оно выражается обычно в часовой мере. Во второй экваториальной системе координат (δ и α) положение светила не зависит ни от суточного вращения небесной сферы, ни от места наблюдения. Склонение и прямое восхождение измеряются в пределах: $0^h \le \alpha \le 24^h$, $-90^0 \le \delta \le +90^0$.

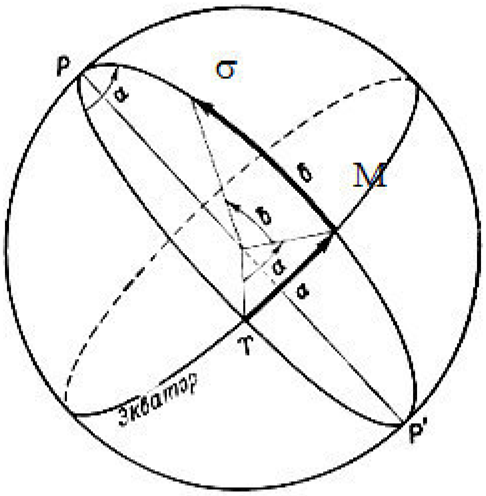

Рис. 1.5. Вторая экваториальная система координат

Данная система координат используется при составлении каталогов координат светил.

Видимое движение Солнца

Под *видимым* перемещениям по небесной сфере относительно системы координат, *движением небесных тел* подразумевают обычно их положение, наблюдаемое – с Земли, освобожденной от суточного вращения (например, экваториальной системы (α,δ)). В течение года Солнце перемещается среди звезд все время с запада на восток по *эклиптике*. Перемещение Солнца по эклиптике неравномерное; наиболее быстрое (около $1°7'$ в сутки) в первых числах января и наиболее медленное (около $57'$ в сутки) в первых числах июля.

Главные даты годичного движения Солнца:

21 марта: *день весеннего равноденствия*. Координаты центра Солнца $\alpha = 0^h$, $\delta = 0°$. Солнце пересекает экватор в точке γ, переходя из южной полусферы в северную. Долгота дня равна долготе ночи на всем земном шаре.

22 июня: *день летнего солнцестояния.* Координаты центра Солнца – $\alpha = 6^h$, $\delta = \varepsilon \approx +23{,}5°$. Солнце на максимальном удалении от небесного экватора и находится в зените в полдень на широте φ = 23,5° с.ш. (тропик Рака). В северном полушарии самый длинный день и самая короткая ночь. В южном полушарии – наоборот. Полярный день и полярная ночь с широты φ = 66,5° (φ = 90° - 23,5° = 66,5°) северной и южной широты соответственно.

23 сентября: *день осеннего равноденствия.* Координаты центра Солнца – $\alpha = 12^h$, $\delta = 0°$. Солнце пересекает экватор, переходя из северной полусферы в южную и находится в зените в полдень на экваторе. Долгота дня равна долготе ночи на всем земном шаре.

22 декабря: *день зимнего солнцестояния.* Координаты центра Солнца – $\alpha = 18^h$, $\delta = -\varepsilon \approx -23{,}5°$. Солнце на максимальном удалении от небесного экватора и находится в зените на широте φ = 23,5° ю.ш. (тропик Козерога). В южном полушарии самый длинный день и самая короткая ночь. В северном полушарии – наоборот. Полярный день и полярная ночь с широты φ = 66,5° (φ = 90° - 23,5° = 66,5°) южной и северной широты соответственно.

1.2. Пример выполнения работы

1. Задание 1 выполняется самостоятельно.

2. а) горизонтальная система координат:
A = 40°; Z = 50°.

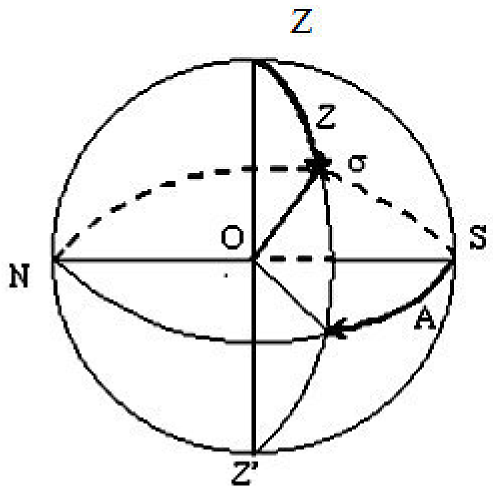

Рис. 1.6. Горизонтальная система координат

б) первая экваториальная система координат:
δ = +40°; $t = 4^h$ = 60°.

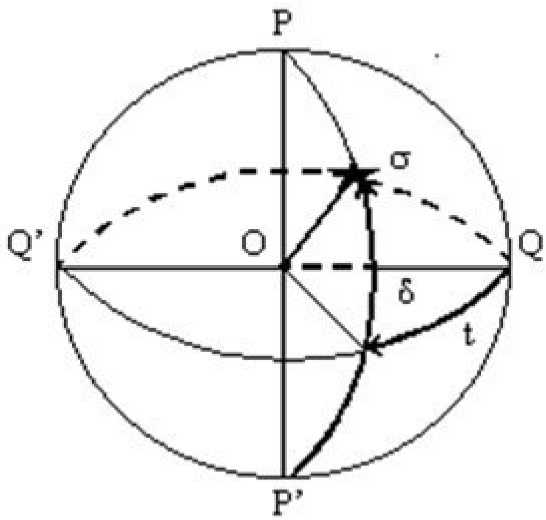

Рис. 1.7. Первая экваториальная система координат

в) вторая экваториальная система координат:
$\delta = -40^o$; $\alpha = 4^h = 60^o$.

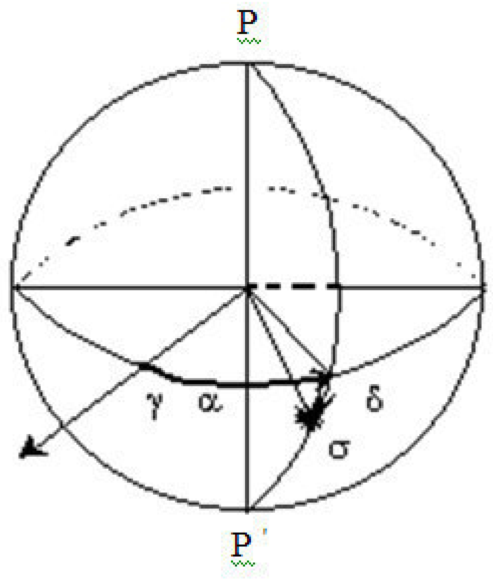

Рис. 1.8. Вторая экваториальная система координат

1.3. Контрольные вопросы

1. Что такое Зодиак? Перечислите названия двенадцати зодиакальных созвездий.
2. Где наблюдается Полярная звезда, если наблюдатель находится: на экваторе; на Северном полюсе; на широте города Новосибирска?
3. Почему в разное время года на небе появляются разные созвездия? Перечислить созвездия летнего, зимнего, весеннего и осеннего неба (в северном полушарии на средних широтах).
4. Что такое нижняя и верхняя кульминация светила? Дайте определения восходящим и заходящим светилам, незаходящим, невосходящим.
5. Чем замечательны дни равноденствий и солнцестояний?

2. ЗАДАНИЕ № 2 СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ ВРЕМЕНИ В АСТРОНОМИИ

Цель: Знакомство с различными системами измерения времени, приобретение навыков решения задач.

Методические указания: К выполнению задания следует приступить после изучения содержания гл. 1 (§ 12 – 19) [1], § 4, 5 [2].

Исходные данные для выполнения задания № 2 приведены в прил. 2.

Содержание:

Задача 1. Определить всемирное время UT, поясное время T_n и декретное время D_n, соответствующие моменту местного среднего солнечного времени m на дату d в пункте с долготой λ.

Задача 2. Определить местное среднее солнечное временя m, соответствующее декретному времени D_n на дату d в пункте с долготой λ.

2.1. Основные сведения из теории

В качестве основной единицы измерения времени принимается промежуток, в течение которого Земля совершает полный оборот вокруг своей оси относительно вспомогательной точки небесной сферы. Вспомогательными точками могут являться: точка весеннего равноденствия (γ), центр видимого диска Солнца – истинное Солнце (⦿) и среднее экваториальное Солнце.

Началом измерения интервала времени служит момент кульминации вспомогательной точки небесной сферы на истинном астрономическом меридиане.

Измерение интервала времени заключается в определении часового угла t вспомогательной точки небесной сферы, численно равного двугранному углу, заключенному между плоскостью истинного меридиана и кругом склонения вспомогательной точки.

При создании системы *звездного времени* за вспомогательную точку небесной сферы принимается точка весеннего равноденствия – точка γ. В качестве единицы измерения используются звездные сутки – промежуток времени между двумя последовательными верхними кульминациями точки γ на меридиане места наблюдения. Звездные сутки равны 24 звездным часам. За начало отсчета принимается момент верхней кульминации точки γ. Интервал времени измеряется часовым углом точки γ:

$$s = t_\gamma. \qquad (2.1)$$

Из рис. 2.1 видно, что часовой угол точки весеннего равноденствия равен:

$$t_\gamma = s = \alpha + t. \qquad (2.2)$$

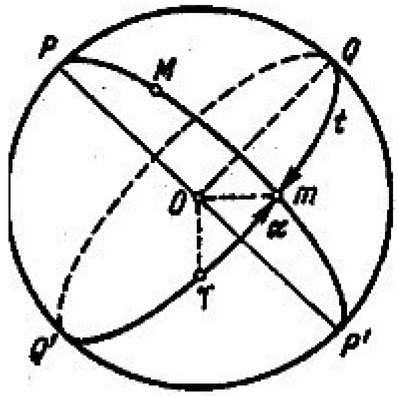

Рис. 2.1. Связь звездного времени с α и t светила

В момент верхней кульминации светила $t = 0$, тогда

$$s = \alpha, \qquad (2.3)$$

в момент нижней кульминации светила $t = 12^h$, и

$$s = \alpha + 12^h. \qquad (2.4)$$

При измерении времени по Солнцу за точку, относительно которой отсчитываются обороты Земли вокруг оси, принимается центр солнечного диска, который обычно называют *истинным Солнцем*. Промежуток времени между двумя последовательными нижними кульминациями центра истинного Солнца на меридиане места наблюдения называется истинными солнечными сутками. *Истинные солнечные сутки* равны 24 истинным солнечным часам. За начало отсчета принимается истинная полночь – момент нижней кульминации центра диска истинного Солнца. Истинное солнечное время измеряется часовым углом центра Солнца $t_{\odot}$ плюс 12^h.

$$m_{\odot} = t_{\odot} + 12^h. \qquad (2.5)$$

Продолжительность истинных солнечных суток в течение года меняется вследствие неравномерной скорости движения Солнца по эклиптике, а также благодаря наклону последней к экватору.

Для устранения этих неудобств вводится понятие о *среднем Солнце*, т. е. о воображаемой точке, равномерно движущейся по экватору и завершающей по нему полный оборот за один *тропический год*. Тропический год – промежуток времени между двумя последовательными прохождениями истинного Солнца через точку весеннего равноденствия. Тропический год равен 365.2422 средним солнечным суткам. *Средними солнечными сутками* называется промежуток времени между двумя последовательными нижними кульминациями среднего экваториального Солнца на меридиане данного пункта. Средние солнечные сутки равны 24 средним солнечным часам. За начало средних солнечных суток принята средняя полночь – момент нижней кульминации среднего Солнца. Время, прошедшее от начала средних солнечных суток до любого другого момента, выраженное в средних солнечных часах, минутах и секундах, называется средним солнечным временем и обозначается буквой m. Среднее солнечное время численно равно часовому углу среднего экваториального Солнца $t_{ср.}$ на данном меридиане, выраженному в часовой мере и увеличенному на 12^h

$$m = t_{ср.} + 12^h. \qquad (2.6)$$

Истинное солнечное время $m_\odot$ и среднее солнечное время m в любой точке земной поверхности называется, соответственно, местным звездным, местным истинным солнечным и местным средним солнечным временем этой точки.

В каждой точке земной поверхности считается свое местное время. В точках, расположенных на одном географическом меридиане, одноименное местное время, определенное в один и тот же физический момент, одинаково. Разность одноименных местных времен, определенных в один и тот же физический момент в двух пунктах А и В земной поверхности, расположенных на разных географических меридианах, можно получить, воспользовавшись теоремой, устанавливающей связь между разностью долгот пунктов земной поверхности и разностью часовых углов светила, наблюденных в этих пунктах в один и тот же физический момент времени:

$$t_A - t_B = \lambda_A - \lambda_B. \qquad (2.7)$$

Применяя формулу (2.7) к часовым углам точек, используемых для измерения времени и принимая во внимание формулы (2.2), (2.5) и (2.6), можно получить следующие соотношения:

$$\begin{aligned} s_A - s_B &= \lambda_A - \lambda_B; \\ m_A - m_B &= \lambda_A - \lambda_B; \\ m_{\odot A} - m_{\odot B} &= \lambda_A - \lambda_B. \end{aligned} \qquad (2.8)$$

Местное звездное время и местное истинное солнечное время данного меридиана получаем из астрономических наблюдений, произведенных на данном меридиане.

Особое место занимает гринвичский меридиан – начало отсчета географических долгот. Время на гринвичском меридиане обозначают большими буквами:

S – гринвичское звездное время;

$M_\odot$ – гринвичское истинное солнечное время;

M – гринвичское среднее солнечное время.

Гринвичское среднее солнечное время называют *всемирным временем* и обозначают UT.

Для пункта, расположенного на любом другом меридиане:

$$\left.\begin{aligned} s - S &= \pm\lambda \,\Big|^{E}_{W} \\ m_\odot - M_\odot &= \pm\lambda \,\Big|^{E}_{W} \\ m - UT &= \pm\lambda \,\Big|^{E}_{W} \end{aligned}\right\} \qquad (2.9)$$

Применение системы местного солнечного времени приводит к тому, что на каждом меридиане с долготой λ будет свое местное время. В целях практического удобства земной шар разбили на 24 часовых пояса через каждые 15° по географической долготе с тем, чтобы внутри каждого пояса, имеющего номер *n* (*n* изменяется от 0 до 23), часы указывали одно и то же *поясное время* T_n – среднее солнечное время географического меридиана, проходящего через середину этого пояса. При переходе от пояса к поясу в направлении с запада на восток время на границе пояса скачком увеличивается ровно на один час.

В качестве нулевого принят пояс, расположенный (по долготе) в полосе ±7,5° от гринвичского меридиана. Время этого пояса – *гринвичское или всемирное.*

Разность поясных времен двух пунктов является всегда целым числом часов, равным разности их часовых поясов:

$$T_{n_2} - T_{n_1} = n_2 - n_1 \,. \qquad (2.10)$$

Отсюда поясное время какого-либо пункта с восточной долготой λ_E вычисляется по формуле

$$\left.\begin{aligned} T_n &= UT + n, \\ T_n &= m - \lambda_E + n \end{aligned}\right\}. \qquad (2.11)$$

С 16 июля 1930 г. декретом Правительства СССР стрелки часов в нашей стране передвинуты вперед относительно поясного времени на 1 час. Такое время получило название *декретного* (D_n).

С 1981 г. в нашей стране введено *летнее время*: в последнее воскресенье марта стрелки часов переводятся на один час вперед по сравнению с декретным временем, а в последнее воскресенье октября возвращаются обратно. С учетом этого декретное время можно вычислить по формуле

$$D_n = T_n + k = UT + (n + k) = m - \lambda_E + (n + k), \qquad (2.12)$$

где $k = 1$, если время зимнее, и $k = 2$, если время летнее.

2.2. Пример выполнения работы

Задача 1

Определить поясное время T_n и декретное время D_n, соответствующие моменту местного среднего солнечного времени $m = 7^h28^m29^s,36$ в пункте с долготой $\lambda_E = 2^h30^m39^s,60$ на дату 2 декабря.

В соответствии со значением долготы пункта наблюдения, номер пояса $n = 3$.

Для решения задачи воспользуемся формулой (2.12).

− m	$7^h28^m29^s,36$
λ_E	$2^h30^m39^s,60$
+ UT	$4^h57^m49^s,76$
n	3^h
T_n	$7^h57^m49^s,76$
+ k	1^h
D_n	$8^h57^m49^s,76$

Ответ: $D_n = 8^h57^m49^s,76$; $T_n = 7^h57^m49^s,76$.

Задача 2

Определить местное среднее солнечное время m, соответствующее декретному времени $D_n = 11^h11^m42^s,12$ в пункте с долготой $\lambda_E = 2^h30^m39^s,60$ на дату 2 декабря.

Для решения задачи воспользуемся формулой (2.12), преобразовав ее к виду: $m = D_n - (n + k) + \lambda_E$

$-D_n$	$11^h11^m42^s,12$
$(n+k)$	4^h
$+UT$	$7^h11^m42^s,12$
λ_E	$2^h30^m39^s,60$
m	$9^h42^m21^s,72$

Ответ: $m = 9^h42^m21^s,72$.

2.3. Контрольные вопросы

1. Что является причиной разницы между звездными и солнечными сутками?
2. Неравномерность вращения Земли.
3. Перечислите процессы, положенные в основу единиц измерения времени.
4. Понятие о летоисчислении (юлианский и григорианский календари).

3. ЗАДАНИЕ № 3 ДВИЖЕНИЕ ПЛАНЕТ. ЗАКОНЫ КЕПЛЕРА. ПАРАЛЛАКС

***Цель*:** Освоить методику решения задач, используя законы движения планет.

Методические указания: к выполнению задания следует приступить после изучения гл. 2, 3 § 63 – 68, гл. 10 [2], гл. 10 [1].

Исходные данные и справочная информация для выполнения задания № 3 приведены в прил. 3.

Содержание:

1. Как часто повторяются противостояния планеты, сидерический период которой известен?
2. Вычислить массу планеты, зная сидерический период обращения ее спутника и расстояние спутника от планеты.
3. За какое время планета совершает полный оборот вокруг Солнца, если известно ее расстояние от него?
4. Определить расстояние до небесного тела, если известен его горизонтальный параллакс.
5. Вычислить параболическую скорость на поверхности спутника, зная его радиус и отношение массы планеты к массе спутника.

3.1. Общие сведения из теории

Планеты движутся вокруг Солнца по эллиптическим орбитам. Вытянутость орбит мала, и при решении многих задач планетные орбиты можно считать круговыми и лежащими в плоскости эклиптики. Характерные взаимные расположения планет относительно Солнца и Земли называются *конфигурациями планет*. Планеты, орбиты которых расположены внутри земной орбиты, называются *нижними*, а планеты, орбиты которых расположены вне земной орбиты – *верхними*. Конфигурации верхних и нижних планет различны и показаны на рис. 3.1, на котором положение Земли отмечено буквой Т, а названия конфигураций надписаны. Нижние планеты лучше всего наблюдать вблизи элонгаций – наибольшего видимого углового удаления планеты от Солнца. Верхние планеты лучше всего видны вблизи противостояний, когда к Земле обращено все освещенное Солнцем полушарие планеты.

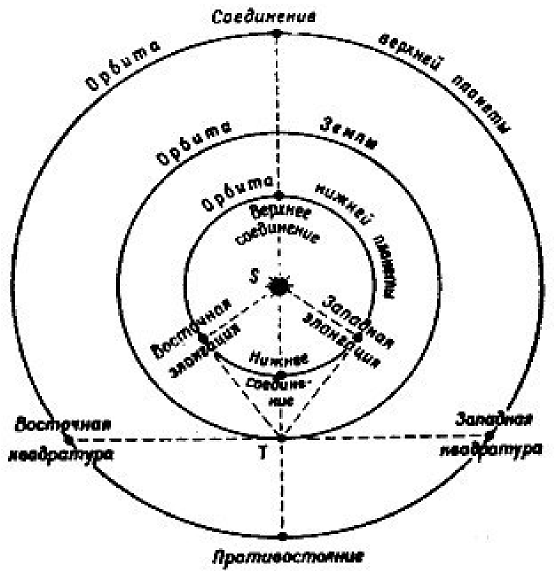

Рис. 3.1. Планетные конфигурации

Промежуток времени, в течение которого планета совершает полный оборот вокруг Солнца по орбите относительно звезд, называется *сидерическим* (или *звездным*) периодом обращения (T), а промежуток времени между двумя одинаковыми конфигурациями планеты – *синодическим* периодом (S). Планеты движутся вокруг Солнца в одном направлении, и каждая из них через промежуток времени, равный ее сидерическому периоду, совершает один полный оборот.

Через промежуток времени, равный, например, сидерическому периоду Земли ($T_\otimes$), нижняя планета обгонит Землю, а верхняя отстанет от нее, т.е. первоначальная конфигурация планет не восстановится. Следовательно, синодический период не равен сидерическому. Для нижней планеты, которая движется по орбите быстрее Земли, можно записать

$$\frac{1}{S}=\frac{1}{T}-\frac{1}{T_\otimes}, \qquad (3.1)$$

а для верхней, которая движется медленнее, чем Земля, –

$$\frac{1}{S}=\frac{1}{T_\otimes}-\frac{1}{T}, \qquad (3.2)$$

где $T_\otimes$ = 1 год (или 365.26 суток).

Формулы (3.1) и (3.2) называются уравнениями синодического движения.

Планеты вокруг Солнца движутся по *законам Кеплера*:

1. Орбита каждой планеты есть эллипс, в одном из фокусов которого находится Солнце.

2. Радиус-вектор планеты за равные промежутки времени описывает равные площади.

Квадраты сидерических периодов обращения двух планет относятся как кубы больших полуосей их орбит, или

$$\begin{cases} \dfrac{T_1^{\,2}}{T_2^{\,2}} = \dfrac{a_1^{\,3}}{a_2^{\,3}}; & (3.4) \\ \\ \dfrac{a_1^{\,3}}{T_1^{\,2}} = \dfrac{a_2^{\,3}}{T_2^{\,2}} = const. & (3.5) \end{cases}$$

Эти законы справедливы и для движений спутников вокруг своих планет.

Законы движения небесных светил являются следствием их взаимодействия по *закону всемирного тяготения* – все тела притягиваются друг к другу с силой, модуль которой прямо пропорционален произведению их масс и обратно пропорционален квадрату расстояния между ними.

Закон всемирного тяготения выражается формулой:

$$F = f\,\frac{m_1 m_2}{r^2}, \qquad (3.6)$$

где m_1 и m_2 – массы тел; r – расстояние между их центрами; f – постоянная всемирного тяготения (ее значение в системе СИ $f = 6{,}67 \cdot 10^{-11}$ м^3/кг с^2). Ньютон вывел законы Кеплера из закона всемирного тяготения.

Под действием силы тяготения одно небесное тело может двигаться по отношению к другому по кривой конического сечения – по окружности, эллипсу, параболе и гиперболе. В этом заключается *первый обобщенный закон Кеплера*. Для определения масс небесных тел важное значение имеет *обобщение третьего закона Кеплера* на любые системы обращающихся тел.

Квадраты сидерических периодов планет (T_1^2 и T_2^2), умноженные на сумму масс Солнца и планеты ($M_\odot + m_1$ и $M_\odot + m_2$), относятся как кубы больших полуосей орбит планет (a_1^3 и a_2^3).

$$T_1^2\,(M_\odot + m_1)\,/\,T_2^2\,(M_\odot + m_2) = a_1^3 / a_2^3. \qquad (3.7)$$

Обобщенный третий закон Кеплера применим и к другим системам, например, к движению планеты вокруг Солнца и спутника вокруг планеты.

Для этого сравнивают движение Луны вокруг Земли с движением спутника вокруг планеты, массу которой определяют, и при этом массами спутников в сравнении с массой центрального тела пренебрегают. Тогда масса планеты M_n вычисляется по формуле:

$$M_n = \frac{T^2}{T_1^2} \cdot \frac{a_1^3}{a^3} \cdot M, \qquad (3.8)$$

где T_1 и a_1 – период обращения и большая полуось орбиты спутника планеты.

Скорость V при движении тела массы m под действием тяготения по орбите с большой полуосью a на расстоянии r от центрального тела находится по формуле:

$$V^2 = f(M + m) \cdot \left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a}\right), \qquad (3.9)$$

где M – масса центрального тела.

Если m значительно меньше M, то его можно принять в формуле за ноль. Обозначим fM через μ..

При движении тела по кругу ($r = a$) из уравнения (3.9) следует

$$V_k = \sqrt{\frac{\mu}{a}}, \qquad (3.10)$$

где V_k – круговая скорость.

При движении тела по параболе ($a = \infty$) из уравнения (3.9) следует

$$V_П = V_К\sqrt{2} = \sqrt{\frac{2\mu}{a}}, \qquad (3.11)$$

где $V_П$ – параболическая скорость.

Скорость эллиптического движения $V_Э$ заключена в пределах

$$V_К < V_Э < V_П. \qquad (3.12)$$

Горизонтальный экваториальный параллакс

Угол ρ_0, под которым со светила, при наблюдении его на горизонте, виден экваториальный радиус Земли $R_\otimes$, называется *горизонтальным экваториальным параллаксом светила*.

Расстояние до светила D вычисляют по формуле:

$$D = \frac{R_\otimes}{\sin\rho_0}. \qquad (3.13)$$

Для Луны в среднем $\rho_0 = 57'$, для Солнца в среднем $\rho_\odot = 8.78''$.

Поскольку углы ρ_0 малы, то их синусы можно заменить самими углами

$$D = \frac{R_\otimes}{\rho_0 \sin 1''} = \frac{206265 R_\otimes}{\rho_0}, \qquad (3.14)$$

здесь параллакс ρ_0 выражен в секундах дуги.

Согласно формуле (3.14), параллакс обратно пропорционален расстоянию до светила.

При наблюдениях небесных тел Солнечной системы можно измерить угол, под которым они видны земному наблюдателю. Зная этот *угловой радиус светила* ρ и расстояние до светила D, можно вычислить линейный радиус светила R:

$$R = D\sin\rho. \qquad (3.15)$$

Учитывая формулу (3.13), получим:

$$R = \frac{\sin\rho}{\sin\rho_0} R_\otimes. \qquad (3.16)$$

Так как углы ρ и ρ_0 малы, то

$$R = \frac{\rho}{\rho_0} R_\otimes. \qquad (3.17)$$

3.2. Пример выполнения работы

Задача 1

Как часто повторяются противостояния Марса, сидерический период которого 1.9 года?

Марс – верхняя планета. Используем формулу (3.2).

Дано:	Решение:	
$T_\otimes = 1$ г.	$\frac{1}{S} = \frac{1}{T_\otimes} - \frac{1}{T}$;	
$T = 1.9$ г.	$\frac{1}{S} = \frac{T - T_\otimes}{T_\otimes * T}$;	$S = \frac{1.9}{1.9 - 1} = \frac{1.9}{0.9} \approx 2.1$ г.
Найти: S – ?	$S = \frac{T_\otimes * T}{T - T_\otimes}$.	

Ответ: Противостояния Марса повторяются примерно через 2.1 года.

Задача 2

Вычислить массу Юпитера, зная, что его спутник Ио совершает оборот вокруг планеты за 1,77 суток, а большая полуось его орбиты – 422 тыс. км.

Для решения задачи используем формулу (3.8). Сравним обращение Ио вокруг Юпитера с обращением Луны вокруг Земли. Период обращения Луны Т = 27,32 суток, а среднее расстояние Луны от центра Земли а = 384 тыс. км. Определим массу Юпитера по отношению к массе Земли. Массу Земли примем за единицу. Используем уравнение (3.8).

Дано:	Решение:
$m = M_\otimes = 1$	$M_П = \frac{T^2}{T_1^2} \cdot \left(\frac{a_1}{a}\right)^3 M_\otimes$;
$T = 27{,}32$ сут.	$M_П = \frac{(27{,}32)^2 \cdot (4{,}22 \cdot 10^5)^3}{(1{,}77)^2 \cdot (3{,}84 \cdot 10^5)^3} M_\otimes \approx 317 M_\otimes$
$a = 3{,}84 \cdot 10^5$ км $T_1 = 1{,}77$ сут. $a_1 = 4{,}22 \cdot 10^5$ км	
Найти: $M_П$ – ?	

Ответ: Масса Юпитера составляет примерно 317 масс Земли.

Задача 3

За какое время Марс, находящийся от Солнца примерно в полтора раза дальше, чем Земля, совершает полный оборот вокруг Солнца?

Для решения задачи используем третий закон Кеплера, уравнение (3.4).

Дано:	Решение:
$a_1 = 1.5$ а.е.	$\dfrac{T_1^{\,2}}{T_\otimes^{\,2}} = \dfrac{a_1^{\,3}}{a_\otimes^{\,3}}$
$a_\otimes = 1$ а.е.	$T_1 = \sqrt{\dfrac{T_\otimes^{\,2} a_1^{\,3}}{a_\otimes^{\,3}}} = \dfrac{T_\otimes a_1}{a_\otimes}\sqrt{\dfrac{a_1}{a_\otimes}}$
$T_\otimes = 1$ г.	$T_1 = \dfrac{1*1.5}{1}\sqrt{\dfrac{1.5}{1}} = 1.5\sqrt{1.5} \approx 1.9$ г.
Найти: T_1 – ?	

Ответ: Полный оборот вокруг Солнца Марс совершает примерно за 1,9 года.

Задача 4

Зная горизонтальный параллакс Луны и экваториальный радиус Земли, найти расстояние от Земли до Луны.

Для решения используем формулу (3.14).

Дано:	Решение:
$\rho_Л = 57'02''$	$D = \dfrac{206265''*R_\otimes}{\rho_Л}$;
$R_\otimes = 6378$ км	$D = \dfrac{206265''*6378\text{ км}}{3422''} \approx 384400$ км.
Найти: $D_Л$ – ?	

Ответ: Расстояние от Луны до Земли примерно 384 400 км.

Задача 5

Вычислить параболическую скорость на поверхности Луны, $R_Л$ = 0.27 радиуса Земли, $M_Л$ = 1/81 массы Земли.

Используем формулу (3.11).

Дано:	Решение:	
$R_Л = 0.27 R_\oplus$	$V_П = \sqrt{\dfrac{2\mu}{a}}$;	
$f = 6{,}67*10^{-11}$ м^3/кг с^2	$R_Л = a = 0.27 R_\oplus$;	$V_П = \sqrt{\dfrac{2 \cdot 1 \cdot 398600{,}5}{81 \cdot 6378 \cdot 0{,}27}} =$
$M_Л = 1/81\ M_\oplus$	$\mu_Л = f \cdot \frac{1}{81} M_\oplus$;	$= \sqrt{5{,}7} \approx 2{,}4$ км/с.
Найти: $V_П$ – ?	$M_Л = \frac{1}{81} \cdot 3986005$.	

Ответ: Параболическая скорость на поверхности Луны – примерно 2,4 км/с.

3.3. Контрольные вопросы

1. Сформулируйте законы, лежащие в основе небесной механики.
2. Конфигурации нижних и верхних планет.
3. Планеты земной группы.
4. Планеты-гиганты.
5. Методы определения расстояний до тел Солнечной системы и размеров этих небесных тел.
6. Малые тела Солнечной системы.

4. ЗАДАНИЕ № 4 ЗЕМЛЯ

Цель: Освоить методику решения задач по определению параметров Земли.

Методические указания: К выполнению задания следует приступить после изучения содержания гл. 3 [1], гл. 3 § 61, 62, гл. 4 [2].

Содержание:

1. Задана точность угловых измерений. Какой максимальной ошибке в километрах вдоль меридиана это соответствует?
2. Чему равна масса Земли, если угловая скорость Луны 13,2° в сутки, а среднее расстояние до нее – 384 400 км? Орбиту Луны считать круговой.
3. Определить период обращения искусственного спутника Земли, если наивысшая точка его орбиты над Землей 5000 + N км, а наинизшая – 300 + N км. Сравните движение спутника с обращением Луны (период обращения и среднее расстояние для Луны приведены в прил. 3).
4. Определить длину дуги меридиана между пунктами А и В, если в пункте А полуденное Солнце находится в зените 21 марта и 23 сентября, а в пункте В – 22 июня, считая Землю шаром. $R_{\oplus} = 6\ 371$ км.

4.1. Общие сведения из теории

Земля из космоса выглядит как шар, освещенный Солнцем, что служит современным доказательством шарообразности Земли. Точный ответ о форме и размерах Земли можно получить с помощью *градусных измерений*, т. е. измерений в километрах длины дуги в 1° в разных местах на поверхности Земли. Впервые этот способ применил греческий ученый Эратосфен в III в. до н.э. В настоящее время размеры и форму Земли определяют с большой точностью в геодезии методами *триангуляции, трилатерации, полигонометрии и спутниковыми методами.*

Земля движется вокруг Солнца по эллипсу. В перигелии она бывает около 2 января, в афелии – около 4 июля. Доказательства движения Земли вокруг Солнца – это явления годичного параллакса, годичной аберрации и смещение в спектрах звезд. Смена времен года является следствием обращения Земли вокруг Солнца и наклона оси вращения Земли к плоскости эклиптики на 66,5º. При обращении Земли вокруг Солнца ось ее остается параллельна самой себе.

К числу доказательств вращения Земли вокруг оси относятся: суточная аберрация, отклонение падающих тел к востоку и поворот плоскости качаний свободного маятника к западу (опыт Фуко).

Плоскость качаний маятника Фуко поворачивается за час на угол 15° sinφ.

Шарообразность Земли проявляется в увеличении расстояния (D) до линии горизонта с повышением наблюдателя над поверхностью Земли (на h м) по формуле

$$D = 3{,}57\sqrt{h}, \qquad (4.1)$$

или, с учетом рефракции в земной атмосфере,

$$D = 3{,}80\sqrt{h}, \qquad (4.2)$$

где D выражено в км. Вместе с тем, видимый горизонт понижается, делаясь ниже астрономического на величину x, называемую понижением горизонта:

$$x = 1{,}93' \sqrt{h}, \qquad (4.3)$$

или, с учетом рефракции,

$$x = 1{,}80' \sqrt{h}. \qquad (4.4)$$

Эти величины связаны с радиусом Земли R пропорцией

$$\frac{x}{360^0} = \frac{D}{2\pi R}. \qquad (4.5)$$

Для определения радиуса Земли R измеряют длину дуги меридиана S между точками, широты которых φ_1 и φ_2 определяют путем астрономических наблюдений. Очевидно, что

$$\frac{S}{2\pi R} = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{360^\circ}, \qquad (4.6)$$

откуда находят R.

Дугу S измеряют методом триангуляции. Из таких измерений выяснилась сплющенность Земли у полюсов. Она характеризуется величиной «сжатия», равной

$$\alpha = \frac{a - b}{a}, \qquad (4.7)$$

где a и b – экваториальный и полярный радиусы небесного тела.

У Земли сжатие равно $\alpha = 1/298$.

Это сжатие есть следствие вращения Земли и возникающего при этом центробежного ускорения, выражаемого формулой

$$a_ц = \omega \cdot D^2, \qquad (4.8)$$

где ω – угловая скорость; D – расстояние точки от оси вращения.

Центробежное ускорение уменьшает вес тел:

$$\text{Вес} = m(g - a_ц), \qquad (4.9)$$

где g – ускорение силы тяжести.

Ускорение силы тяжести g выводят путем определения периода P колебания маятника.

Для математического маятник

$$P = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}, \qquad (4.10)$$

где l – длина маятника.

С учетом центробежного ускорения на широте φ

$$g = g_{90} - \omega \cdot R^2 \cos^2 \varphi, \qquad (4.11)$$

где g_{90} – ускорение силы тяжести на полюсе.

На широте 45° на уровне моря g = 980.6 см/с^2. Наблюдаемые значения g не соответствуют указанной формуле, обнаруживая еще большее изменение с широтой. Это происходит от изменения расстояния эллипсоидальной поверхности Земли от ее центра.

Истинная фигура Земли отличается от эллипсоида вращения и представляет собой *геоид* – уровенную поверхность поля силы тяжести, проходящую через начало отсчета высот. Отличие геоида от эллипсоида достигает порядка 100 метров.

Изучение фигуры и формы Земли – основная задача геодезии и гравиметрии.

4.2. Пример выполнения работы

Задача

Точность угловых измерений 0,1″. Какой максимальной ошибке в длине линии вдоль меридиана это соответствует?

Дано:	Решение:	
$R_{\oplus} = 6\,371$ км	$360° - 2\,R_{\oplus}\pi$	
$m = 0{,}1''$	$0{,}1'' - X$	$X = \dfrac{0{,}1'' \cdot 2 \cdot 3{,}14 \cdot 6371}{360° \cdot 3600''/°} = 0{,}003\text{км} = 3\,\text{м}$
Найти: $m_{км} = ?$	$X = \dfrac{0{,}1'' \cdot 2\pi R_{\oplus}}{360° \cdot 3600''/°}$	

Ответ: Максимальная ошибка в длине линии соответствует 3 м.

4.3. Контрольные вопросы

1. Доказательства вращения Земли вокруг своей оси.
2. Доказательства движения Земли вокруг Солнца.
3. Прецессия и нутация земной орбиты.
4. Годичная и суточная аберрация.
5. Понятие геоида.
6. Понятие о летоисчислении (юлианский и григорианский календари).

5. ЗАДАНИЕ № 5 ЗВЕЗДЫ. ГАЛАКТИКА

Цель: Освоить методику определения основных характеристик звезды и расстояний до удаленных космических объектов.

Методические указания: к выполнению задания следует приступить после изучения гл. 4, 5 [4], гл. 10 [2], гл. 10, 11 [1].

Исходные данные для выполнения задания 5 приведены в прил. 4.

Содержание:

1. Используя значения видимой и абсолютной звездных величин для своего варианта, определить расстояние до звезды в парсеках. Выразить это расстояние в световых годах и астрономических единицах. Найти параллакс звезды.
2. Известны период обращения двойной звезды, большая полуось видимой орбиты и параллакс. Определить сумму масс и массы звезд в отдельности.
3. Определить расстояние до галактики и ее диаметр. Исходными данными являются: скорость удаления галактики и видимый угловой диаметр.

5.1. Общие сведения из теории

Со времен древнегреческого астронома *Гиппарха* (II в. до н. э.) используется понятие «звездная величина». Считая, что расстояния до звезд одинаковы, предполагали, что, чем звезда ярче, тем она больше. Наиболее яркие звезды отнесли к звездам первой величины (сокращенное обозначение 1^m, от лат. magnitude — величина), а едва различимые невооруженным глазом – к шестой. В настоящее время известно, что *видимая звездная величина* характеризует не размеры звезды, а ее блеск, т. е. освещенность, которую создает звезда на Земле. *Освещенность* – световой поток, падающий на площадку в 1 см^2 поверхности.

Шкала звездных величин сохранилась и уточнена. Блеск звезды 1^m больше блеска звезды 6^m ровно в 100 раз. Следовательно, разность в 5 звездных величин соответствует различию в блеске ровно в 100 раз.

Отношение блеска двух звезд, видимые звездные величины которых известны, можно вычислить по формуле:

$$\frac{I_1}{I_2} = 2{,}512^{(m_2 - m_1)}. \qquad (5.1)$$

Светила, блеск которых превосходит блеск звезд 1^m, имеют нулевые и отрицательные звездные величины (0^m, -1^m и т. д.). К ним относятся Солнце, Луна, несколько наиболее ярких звезд и планет. Видимая звездная величина Солнца – 26,78. Шкала звездных величин продолжается и в сторону звезд, не видимых невооруженным глазом. Есть звезды 7^m, 8^m и т. д. Для более точной оценки блеска звезд используются дробные звездные величины $2{,}3^m$; $7{,}1^m$; $6{,}2^m$; $14{,}5^m$ и т. д.

Для получения представления о действительном распределении звезд в пространстве необходимо определить расстояния до них. Одним из методов определения расстояния до звезд является измерение их годичных параллаксов.

Угол *π,* под которым со звезды был бы виден средний радиус земной орбиты *a,* расположенный перпендикулярно направлению на звезду, называется *годичным параллаксом звезды* (рис. 5.1) .

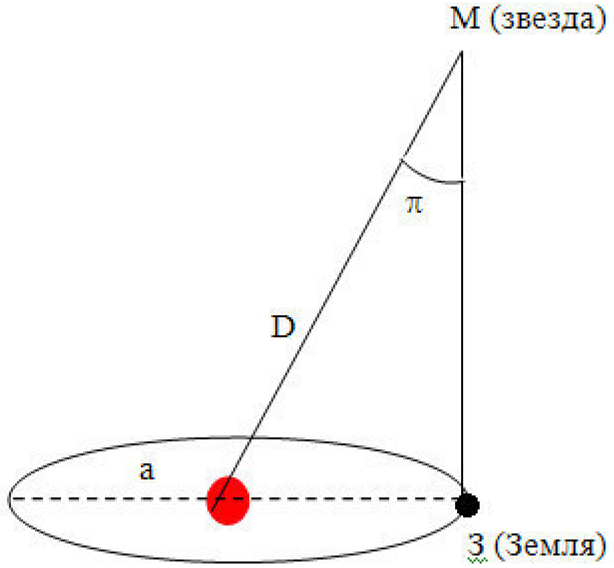

Рис. 5.1. Годичный параллакс

В тех случаях, когда удается определить значение π, расстояние D до звезды вычисляется по формуле

$$D = \frac{a}{\sin \pi}. \qquad (5.2)$$

Параллакс всегда очень мал (меньше 1"). Поэтому формулу можно записать в виде:

$$D = \frac{206265'' a}{\pi} = \frac{206265''}{\pi} \text{ а.е.} \qquad (5.3)$$

В звездной астрономии расстояния до далеких объектов измеряют в парсеках и световых годах, так как не только километр, но даже астрономическая единица (а. е.) слишком мала для измерения расстояний до звезд.

Парсек (пк) – расстояние, параллакс для которого равен 1″.

Световой год (св. г.) – расстояние, которое свет проходит за один год, распространяясь со скоростью 300 000 км/с.

1 пк = 206 265 а. е. = 3,26 св. г. = $30{,}86 \cdot 10^{13}$ км.

1 св. г. = $9{,}46 \cdot 10^{12}$ км = 63 240 а.е. = 0.3 пк.

10^3 пк = 1 кпк (килопарсек); 10^6 пк = 1 Мпк (мегапарсек).

Очевидно, что расстояние до звезды в парсеках легко вычислить по формуле:

$$D = \frac{1}{\pi}. \qquad (5.4)$$

Так как звезды находятся от нас на различных расстояниях, то их видимые звездные величины ничего не говорят о светимостях *(мощности излучения)* звезд. Поэтому в астрономии, кроме понятия «видимая звездная величина», используется понятие «абсолютная звездная величина».

Звездные величины, которые имели бы звезды, если бы они находились на одинаковом расстоянии (D0 = 10 пк), называются *абсолютными звездными величинами М*.

Соотношения светимостей двух звезд L_1 и L_2 с абсолютными звездными величинами M_1 *и* M_2 определяются формулой

$$\frac{L_1}{L_2} = 2{,}512^{(M_2 - M_1)}. \qquad (5.5)$$

Если известны видимая звездная величина и расстояние до звезды, абсолютную звездную величину можно вычислить по формуле

$$M = m + 5 - 5 \lg D, \qquad (5.6)$$

где D – расстояние до звезды в парсеках.

Если известны видимая звездная величина и значение годичного параллакса звезды, формула (5.6) примет вид:

$$M = m + 5 + 5 \lg \pi. \qquad (5.7)$$

Одной из важнейших характеристик звезды является ее масса. Массу звезды в массах Солнца можно вычислить по формуле

$$\mu / M_{\odot} = 3.89 \cdot 10^{-0.1194 \cdot M}, \qquad (5.8)$$

где μ – масса звезды; *M* – абсолютная звездная величина звезды; $M_{\odot}$ – абсолютная звездная величина Солнца.

Определение средней плотности звезды, при известной ее массе и размерах, возможно по формуле

$$\rho = \frac{3\mu}{4\pi R^3}. \qquad (5.9)$$

Размер звезды (ее радиус) можно определить по формуле

$$R = R_{\odot}\,(t/t_{\odot})^2\,(L/L_{\odot})^{1/2}, \qquad (5.10)$$

где t – температура светила, в К; $t_{\odot}$ – температура Солнца, в К; $R_{\odot}$ – радиус Солнца; $L_{\odot}$ – светимость Солнца.

Третий закон Кеплера, уточненный Ньютоном, позволяет определить массу визуально-двойной звезды, если известен ее параллакс. Если *A* – большая полуось орбиты спутника, выраженная в а.е., *T* – период обращения спутника около главной звезды, $a_з$ – большая полуось земной орбиты, $T_з$ – период обращения Земли вокруг Солнца, m_1 и m_2 – массы звезд, $M_{\odot}$ и $m_з$ –массы Солнца и Земли, то третий уточненный закон Кеплера можно выразить формулой:

$$a_з^{\,3} / (T_з^{\,2} \cdot (M_{\odot} + m_з)) = A^3 / (T^2 \cdot (m_1 + m_2)). \qquad (5.11)$$

Заменим *A* соотношением

$$A = \frac{a}{\pi}, \qquad (5.12)$$

где *a* – большая полуось орбиты, выраженная в секундах дуги; π – годичный параллакс звезды.

Так как большая полуось земной орбиты равна 1 а.е. и положив $T_з = 1$, $m_з = 0$, массы звезд, выраженные в массах Солнца, можно вычислить по формуле

$$m_1 + m_2 = \frac{a^3}{\pi^3 T^2}\ M_{\odot}. \qquad (5.13)$$

Классификация звезд. Звезды – чрезвычайно неоднородный класс астрономических объектов. Разнообразие звезд связано с двумя причинами: различием их масс и различием этапов эволюции, на которых они находятся в момент наблюдения.

Звезды можно классифицировать различными способами. Чаще используется деление звезд на спектральные классы и классы светимости.

Спектральные классы звезд определяются по особенностям звездных спектров и непосредственно связаны с температурой их поверхности. Используемая в настоящее время система насчитывает восемь спектральных классов и два ответвления:

S

|

W O B A F G K M,

|

R - N

которые охватывают 90% всех звезд.

Данную классификацию можно легко запомнить, воспользовавшись выражением: «Вообразите, Один Бритый Англичанин Финики Жевал Как Морковь. Разве Не Смешно.» Интервал между двумя спектральными классами разделяется на 10 подклассов. Спектральный класс тесно связан с цветом звезды. Зависимость спектральных классов и показателей цвета звезд от их температур представлена в таблице 5.1.

Таблица 5.1. Зависимость спектральных классов и показателей цвета звезд от их температур

Спектральный класс	Цвет	Температура К
W	белый	100 000
O		50 000
B0		25 000
B5	голубой	15 000
A0		11 000
A5		8 700
F0		7 600
F3	желтый	6 600
G0		6 000
G5		5 520
K0		5 120
K5	красный	4 400
M0		3 600
M5		2 700

Классы светимости связаны с истинной интенсивностью излучения звезд. В пределах одного и того же спектрального класса (т. е. при одинаковых цвете и температуре поверхности) у звезд могут быть очень разные физические параметры.

Основные классы светимости:

I. Сверхгиганты.
II. Яркие гиганты.
III. Гиганты.
IV. Субгиганты.
V. Карлики главной последовательности.
VI. Субкарлики.
VII. Белые карлики.

При описании звезды класс светимости пишется справа от спектрального класса: так, Солнце – это звезда типа G2V.

Достаточно знать спектральный класс звезды и ее абсолютную звездную величину, чтобы определить все основные характеристики звезды: температуру, радиус, светимость, объем, площадь фотосферы, массу и плотность.

Галактика

В начале XX в. было доказано, что туманные пятна, видимые в телескоп в разных участках неба, представляют собой *галактики,* каждая из которых, подобно нашей, состоит из миллиардов звезд. Существует несколько методов определения *расстояний до галактик*.

Один из методов определения основан на определении видимых и абсолютных звездных величин цефеид, новых и сверхновых звезд, открываемых в других галактиках. По формуле (5.4) можно вычислить расстояние до тех галактик, в которых обнаружены цефеиды, новые и сверхновые звезды.

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

Наконец, еще один способ основан на определении величины *красного смещения.*

В XX в. человечество свыклось с еще более странным фактом: расстояния между звездными системами – галактиками, не связанными друг с другом силами тяготения, постоянно увеличивается. И дело здесь не в природе галактик: сама Вселенная непрерывно расширяется!

В 1929 г. американский астроном Эдвин Хаббл подтвердил расширение видимой части Вселенной. Линии в спектре движущегося источника смещаются на величину, пропорциональную скорости его приближения или удаления. Исследовав спектры нескольких галактик, астрономы заметили, что у большинства из них спектральные линии смещены в красную сторону. Смещение линий в сторону длинных волн в спектре, который получен от далекого космического источника (галактики, квазара), по сравнению с длинами волн тех же линий, измеренными от неподвижного источника, называется *красным смещением*.

Закон, по которому скорость удаления галактик пропорциональна расстоянию, получил название *закона Хаббла.* Если скорость невелика по сравнению со скоростью света (c = 300 000 км/с), она выражается простой формулой

$$v = H \cdot r, \qquad (5.14)$$

где v – лучевая скорость галактики, выраженная в км/с; r – расстояние до нее, выраженное в Мпк; H – постоянная Хаббла.

По современным оценкам, значение H заключено в пределах

$$50 \text{ км / (с} \cdot \text{Мпк)} < \text{H} < 100 \text{ км / (с} \cdot \text{Мпк)}.$$

5.2. Пример выполнения работы

Задача

У двойной звезды период обращения 100 лет. Большая полуось видимой орбиты $a = 2''$, а параллакс $\pi = 0{,}05''$. Определите сумму масс и массы звезд в отдельности, если звезды отстоят от центра масс на расстояниях, относящихся как 1 : 4.

Дано:	Решение:	
T = 100 лет $a = 2''$ $\pi = 0{,}05''$ $\frac{A_2}{A_1} = \frac{1}{4}$	$m_1 + m_2 = \frac{A^3}{T^2}\ M_\odot$; $A = \frac{a''}{p''}$; $\frac{m_1}{m_2} = \frac{A_2}{A_1}$.	$A = \frac{2''}{0{,}05''} = 40$ а.е.; $m_1 + m_2 = \frac{(40)^3}{(100)^2} = 6{,}4 \cdot M_\odot$; $\frac{m_1}{m_2} = \frac{1}{4}$; $\begin{cases} m_1 + m_2 = 6.4 \text{ массы Солнца} \\ 4m_1 = m_2. \end{cases}$ Отсюда $5m_1 = 6{,}4$ массы Солнца, $m_1 \approx 1{,}3$ массы Солнца, $m_2 \approx 5{,}1$ массы Солнца.
Найти: $(m_1 + m_2)$ – ? m_1 – ? m_2 – ?		

Ответ: Сумма масс двойной звезды равна 6,4 массы Солнца; $m_1 \approx 1{,}3$; $m_2 \approx 5{,}1$.

5.3. Контрольные вопросы

1. Какие единицы применяются при измерении расстояния до звезд? Каково соотношение между этими единицами?
2. Какие методы определения расстояний до звезд и галактик вы знаете?
3. Перечислите типы двойных звезд.
4. Какие способы классификации звезд вам известны?
5. Что входит в состав галактики?
6. Каково строение галактики?
7. Классификация галактик по Хабблу.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Исходные данные для выполнения задания № 1

Таблица П.1.1.

№ п/п	A, ^{o}	h, ^{o}	α, ^{h}	δ, ^{o}	t, ^{h}	δ, ^{o}	Дата
1	300	-10	18	-45	18	-45	1.01
2	330	-30	6	45	6	45	1.02
3	135	0	0	0	0	0	1.03
4	180	+45	12	+10	12	+10	1.04
5	90	-45	3	+30	3	+30	1.05
6	0	+70	9	+60	9	+60	1.06
7	225	-70	15	+80	15	+80	1.07
8	270	0	21	-10	21	-10	1.08
9	315	+10	18	-30	18	-30	1.09
10	10	+30	6	-60	6	-60	1.10
11	50	+60	0	-80	0	-80	1.11
12	90	+80	12	+45	12	+45	1.12
13	130	-10	3	0	3	0	15.01
14	170	-30	9	+45	9	+45	15.02
15	210	-60	15	-45	15	-45	15.03
16	250	-80	21	+70	21	+70	15.04
17	290	+45	5	-70	5	-70	15.05
18	0	-45	10	0	10	0	15.06
19	90	+30	15	+10	15	+10	15.07
20	180	-30	20	+30	20	15.08	15.08
21	270	0	12	+60	12	15.09	15.09
22	30	+45	3	+80	3	15.10	15.10
23	60	-45	9	+30	9	15.11	15.11
24	90	+70	15	-30	15	15.12	15.12
25	120	-70	21	0	21	7.01	7.01
26	150	0	5	+45	5	7.02	7.02
27	180	+10	10	-45	10	7.09	7.09
28	210	+30	15	+70	15	7.10	7.10
29	240	+60	20	-70	20	7.11	7.11
30	270	+80	12	0	12	7.12	7.12

Приложение 2

Исходные данные для выполнения задания № 2

Таблица П.2.1.

№ п/п	**m**	**d**	**λ**	**D_n**
1	$7^h\,23^m\,45{,}367^s$	1 марта	$2^h\,01^m\,21{,}65^s$	$9^h\,49^m\,57{,}76^s$
2	8 34 21,549	14 декабря	2 24 36,23	5 32 21,32
3	6 45 32,976	20 февраля	2 52 34,59	8 45 56,78
4	9 12 48,908	10 мая	3 21 23,87	3 23 47,78
5	13 57 32,498	22 июня	3 46 23,59	9 56 32,79
6	10 35 49,685	23 сентября	3 59 11,09	2 56 23,59
7	7 59 30,812	5 января	4 03 56,87	3 45 33,87
8	3 51 23,489	12 марта	4 15 39,69	15 48 21,56
9	15 46 50,827	11 апреля	4 22 45,12	21 11 09,45
10	21 57 39,906	9 октября	4 37 22,93	15 38 19,01
11	15 46 11,756	7 августа	4 49 51,00	11 23 39,88
12	11 56 41,781	22 июля	4 56 13,78	9 05 35,67
13	6 49 25,908	9 сентября	5 23 45,11	8 34 21,55
14	9 40 33,598	18 ноября	5 39 26,44	5 22 17,65
15	3 12 38,488	3 декабря	5 49 21,56	10 37 47,40
16	23 12 21,878	18 января	5 56 09,62	16 40 38,57
17	8 56 22,909	5 февраля	6 00 45,17	20 19 41,67
18	11 45 33,871	15 апреля	6 01 59,98	21 34 16,48
19	18 57 39,509	20 июля	6 12 03,27	4 57 39,45
20	16 46 50,827	17 апреля	5 22 45,12	20 11 09,45
21	22 57 39,906	10 октября	3 37 22,93	16 38 19,01
22	17 46 11,756	23 августа	5 49 51,00	14 23 39,88
23	14 56 41,781	2 июля	2 56 13,78	5 05 35,67
24	8 49 25,908	5 сентября	4 23 45,11	6 34 21,55
25	11 40 33,598	1 ноября	6 39 26,44	8 22 17,65
26	5 12 38,488	13 декабря	8 49 21,56	16 37 47,40
27	21 12 21,878	14 января	7 56 09,62	12 40 38,57
28	5 56 22,909	15 февраля	5 00 45,17	21 19 41,67
29	17 45 33,871	19 апреля	9 01 59,98	23 34 16,48
30	10 57 39,509	28 июля	8 12 03,27	7 57 39,45

Приложение 3

Исходные данные для выполнения задания № 3

Таблица П.3.1.

№ п/п	*ЗАДАЧА 1*		*ЗАДАЧИ 2, 5*		*ЗАДАЧА 3*	*ЗАДАЧА 4*
	1		2		3	4
	Планета	T, г.	Планета	Спутник	Планета	$\rho_л$
1	Меркурий	0.24	Земля	Луна	Меркурий	53′ 54.6″
2	Венера	0.61	Марс	1. Фобос	Венера	*54 09.8*
3	Уран	84.04		2. Деймос	Уран	*54 25.0*
4	Марс	1.88	Юпитер	1. Ио	Марс	*54 40.2*
5	Юпитер	11.86		2. Европа	Юпитер	*54 55.4*
6	Сатурн	29.49		3. Ганимед	Сатурн	*55 10.6*
7	Уран	84.04		4. Каллисто	Уран	*55 25.8*
8	Нептун	164.8		5. Амальтея	Нептун	*55 41.0*
9	Плутон	247.7		6. Гималия	Плутон	*55 56.2*
10	Меркурий	0.24		7. Элара	Меркурий	*56 11.4*
11	Венера	0.61		8. Пасифе	Венера	*56 26.6*
12	Марс	1.88		9. Синопе	Марс	*56 41.8*
13	Юпитер	11.86		10. Лизистея	Юпитер	*56 57.0*
14	Сатурн	29.49		11. Карме	Сатурн	*57 12.2*
15	Уран	84.04	Нептун	1. Тритон	Уран	*57 27.4*
16	Нептун	164.8	Сатурн	1. Мимас	Нептун	*57 42.6*
17	Плутон	247.7		2. Энцелад	Плутон	*57 57.8*
18	Уран	84.04		3.Тефия	Уран	*58 13.0*
19	Марс	1.88		4. Диона	Марс	*58 28.2*
20	Юпитер	11.86		5. Рея	Юпитер	*58 43.4*
21	Сатурн	29.49		6. Титан	Сатурн	*58 58.6*
22	Уран	84.04		7. Гиперион	Уран	*59 13.8*
23	Нептун	164.8		8. Япет	Нептун	*59 29.0*
24	Плутон	247.7		9. Феба	Плутон	*59 44.2*
25	Юпитер	11.86		10. Янус	Юпитер	*59 59.4*
26	Уран	84.04	Уран	1. Ариэль	Уран	*60 14.6*
27	Венера	0.61		2. Умбриэль	Венера	*60 29.8*
28	Марс	1.88		3. Титания	Марс	*60 45.0*
29	Юпитер	11.86		4. Оберон	Юпитер	*60 59.2*
30	Сатурн	29.49		5. Миранда	Сатурн	*61 14.4*

Таблица П.3.2

Таблица П.3.2. Основные сведения о планетах

Название планеты, ее обозначение	Среднее расстояние от Солнца, а.е.	Сидери-ческий период, годы	Орби-тальная скорость, км/ч	Средний радиус, км	Период вращения	Масса, в массах Земли ($M_{\oplus} = 6*10^{24}$ кг)
Меркурий	0.39	0.24	47.9	2440	$58.7^{\partial *}$	0.06
Венера	0.72	0.61	35.0	6050	243.1^{∂}	0.82
Земля, ⊕	1.00	1.00	29.8	6371	$23^h56^m4^s$	1.00
Марс	1.52	1.88	24.1	3397	$24^h37^m22^s$	0.11
Юпитер	5.20	11.86	13.1	69900	9^h50^m	318
Сатурн	9.54	29.46	9.6	58000	10^h14^m	95.20
Уран	19.19	84.02	6.8	25400	10^h49^m	14.60
Нептун	30.07	164.78	5.4	24300	15^h48^m	17.20
Плутон	39.52	247.70	4.7	1140	6.4^{∂}	0.002

*примечание: ∂ – обозначения суток

Таблица П.3.3. Спутники планет

Планеты	Спутник	Среднее расстояние от центра планеты, 10^3 км	Сидерический период обращения в сутках	Отношения массы планеты к массе спутника	Диаметр, км
1	2	3	4	5	6
Земля	Луна	384.4	27.321661	81.3	3474
Марс	1. Фобос	9.4	0.318910	$62.5 \cdot 10^6$	27
	2. Деймос	43.5	1.262441	$33 \cdot 10^7$	16
Юпитер	1. Ио	421.8	1.769138	$24 \cdot 10^3$	3640
	2. Европа	671.4	3.551181	$4 \cdot 10^4$	3050
	3. Ганимед	1071	7.154553	$1 \cdot 10^4$	5270
	4. Каллисто	1884	16.689018	$2 \cdot 10^4$	5000
	5. Амальтея	181	0.498179	$\sim 5 \cdot 10^8$	240
	6. Гималия	11500	250.62	$\sim 1.2 \cdot 10^9$	170
	7. Элара	11750	259.8	$\sim 1 \cdot 10^{12}$	80
	8. Пасифе	23500	738.9	$\sim 1.4 \cdot 10^{12}$	36
	9. Синопе	23700	755	$\sim 6.7 \cdot 10^{11}$	28
	10. Лизистея	11750	260	$2.5 \cdot 10^{10}$	24
	11. Карме	22500	696	$\sim 5 \cdot 10^{10}$	30
	12. Ананке	21000	625	$\sim 1.4 \cdot 10^{11}$	20

Окончание табл. П.3.3

1	2	3	4	5	6
Сатурн	1. Мимас	185.7	0.942422	$\sim 1.5 \cdot 10^7$	360
	2. Энцелад	238.2	1.370218	$\sim 8 \cdot 10^6$	500
	3. Тефия	294.8	1.887802	$\sim 8.7 \cdot 10^5$	1400
	4. Диона	377.7	2.736916	$\sim 6 \cdot 10^5$	1000
	5. Рея	527.5	4.517503	$\sim 2.5 \cdot 10^5$	1600
	6. Титан	1223	15.945452	4150	5800
	7. Гиперион	1484	21.276665	$\sim 5 \cdot 10^6$	220
	8. Япет	3563	79.33082	$\sim 1 \cdot 10^5$	1450
	9. Феба	12950	550.45	$\sim 20 \cdot 10^6$	240
	10. Янус	157.5	0.749	$\sim 33 \cdot 10^6$	200
Уран	1. Ариэль	191.8	2.52038	$\sim 6.7 \cdot 10^4$	800
	2. Умбриэль	267.3	4.14418	$\sim 1.7 \cdot 10^5$	550
	3. Титания	438.7	8.70588	$\sim 2 \cdot 10^4$	1000
	4. Оберон	586.6	13.46326	$\sim 3.5 \cdot 10^4$	900
	5. Миранда	130.1	1.414	$\sim 1 \cdot 10^6$	300
Нептун	1. Тритон	353.6	5.87683	700	4400
	2. Нереида	6000	500	$\sim 3 \cdot 10^6$	300
Плутон	1. Харон	17	6.3467	15.9	1000

Приложение 4

Исходные данные для выполнения задания № 5

Таблица П.4.1.

№ п/п	Название	m	M	Sp	T, г.	a, ″	π, ″	$\frac{m_1}{m_2}$	m	v, км/с	d, ″
1	Сириус	-1.5	+1.4	A1	0.87	6.0	0.076	1/8	12	9 000	70
2	Канопус	-0.9	-4.6	F0	61.2	0.3	0.018	1/5	15	8 000	120
3	α Центавра	+0.1	+4.7	G5	61.1	0.3	0.082	1/4	10	4 000	50
4	Вега	+0.1	+0.6	A1	840	2.2	0.014	1/5	11	7 000	55
5	Капелла	+0.2	-0.5	G2	420	6.2	0.014	1/3	13	9 000	40
6	Арктур	+0.2	0.0	K0	15.8	0.2	0.058	1/4	10	7 000	20
7	Ригель	+0,3	-6.2	B8	22.4	0.1	0.041	1/4	10	8 000	20
8	Процион	+0,5	+2.8	F4	1168	2.8	0.008	1/3	12	15000	40
9	α Эридана	+0,6	-1.7	B6	1000	6.6	0.001	1/4	14	16000	50
10	β Центавра	+0,9	-3.1	B2	15.6	0.2	0.008	1/8	10	10000	85
11	Альтаир	+0,9	+2.4	A6	1922	8.2	0.006	1/5	13	17000	100
12	Бетельгейзе	+0,9	-5.6	M2	53.8	0.2	0.001	1/4	14	19000	100
13	α Южного Креста	+1,1	-2.8	B1	59.6	0.9	0.058	1/4	17	18000	110
14	Альдебаран	+1,1	-0.5	K5	0.789	3.0	0.045	1/3	13	3 000	40
15	Поллукс	+1,2	+1.0	G9	150	4.9	0.013	1/4	12	18000	90
16	Спика	+1,2	-2.2	B2	172	3.7	0.003	1/8	18	20000	120
17	Антарес	+1,2	-2.4	M1	480	12	0.004	1/5	12	10000	120
18	Фомальгаут	+1,3	+2.1	A3	15.0	0.2	0.012	1/3	12	11000	30
19	Денеб	+1,3	-5.2	A2	420	6.3	0.002	1/4	15	15000	90
20	Регул	+1,3	-0.7	B8	3190	9.6	0.005	1/5	10	12000	80
21	τ Кита	+3.7	+6.0	G5	1137	7.3	0.003	1/5	12	15000	80
22	ε Индейца	+4.7	+7.0	K5	480	12	0.011	1/4	8	3 000	20
23	ε Эридана	+3.8	+6.2	K2	1120	5.9	0.006	1/7	13	12000	50
24	61 Лебедя	5.4	+7.7	K3	670	7.3	0.002	1/3	11	14000	45
25	Звезда Барнарда	9.5	+13.1	M5	560	0.4	0.001	1/2	13	15000	30
26	Спутник Сириуса	8.5	+11.4	A5	62	0.5	0.006	1/3	8	8 000	20
27	Спутник Проциона	+10.8	+13.1	G4	22.9	0.4	0.012	1/5	12	3 000	60

Пояснения к данным:

m – видимая звездная величина; M – абсолютная звездная величина; Sp – спектральный класс; T – период обращения; a – большая полуось орбиты, выраженная в секундах дуги; π – параллакс; v – скорость удаления галактики; d – видимый диаметр галактики, выраженный в секундах дуги.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение самостоятельной работы

6.1 Основная литература:

1. Кононович Э.В. Общий курс астрономии (Текст)/ Э.В. Кононович, В.И. Мороз-М.: Едиториал УРСС, 2001.-544 с.
2. Бакулин П.И. Курс общей астрономии (Текст)/ П.И. Бакулин, Э.В. Кононович, В.И. Мороз-5-е изд. – М.: Наука, 1983.-512 с.
3. Астрономический календарь (постоянная часть) (Текст)/ - М.: Наука, 1981. – 703 с.
4. Левитан Е.П. Астрономия (Текст)/ Е.П. Лебвитан – М.: Просвещение, 1980. – 238 с.
5. Воронцов-Вельяминов Б.А. Сборник задач по астрономии (Текст)/ Б.А. Воронцов-Вельяминов – М.: Просвещение, 1977. – 272 с.
6. Атлас звездного неба. (Текст)/ - М.: ВАГО, 1991.
7. Куликовский П.Г. Справочник любителя астрономии (Текст)/ П.Г. Куликовский – М.: Наука, 1971 – 234 с.
8. Дагаев М.М. Наблюдение звездного неба (Текст)/М.М. Дагаев–М.: Наука, 1988. – 198 с.
9. Астрономический календарь (переменная часть) (Текст)/ - М.: Наука, 1989. – 320 с.

Автор:
Дмитриев О.А., ст. преподаватель «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» ____________
(подпись)

Рецензент: Ротанов Е.Г., к.т.н., доцент кафедры «Эксплуатация мобильных машин и технологического оборудования»______________
(подпись)

Заседание кафедры «ЭТТМиК» «30» 08 2017 г. протокол № 1

Зав кафедрой «ЭТТМиК» ___________________ С.Н. Петряков
(подпись)

Согласовано:
Заместитель начальника отдела
информационного и библиотечного
обеспечения Наумова М.В. ____________
(подпись)