**О.00 Общеобразовательный учебный цикл**

***ОУД.00Дополнительные (предлагаемые00)***

ОУД.14 Астрономия.

Предисловие 3  
**I. Введение 5**Проверочная работа 1. Астрономические наблюдения. Телескопы. Созвездия. Видимое суточное движение звезд —  
Проверочная работа 2. Эклиптика и «блуждающие» светила. Звездные карты, небесные координаты 7  
Проверочная работа повышенной трудности 9  
Контрольная работа 11  
Контрольная работа повышенной трудности 15  
**II. Строение Солнечной системы 19**Проверочная работа 1. Законы движения планет. Конфигурации и синодические периоды обращения планет —  
Проверочная работа 2. Возмущения в движении планет. Определение масс тел Солнечной системы 21  
Проверочная работа 3. Земля, ее размеры, форма и движение. Определение расстояний и размеров тел в Солнечной системе 23  
Контрольная работа 25  
Контрольная работа повышенной трудности 27  
Контрольная работа с выбором ответа (два варианта) 31  
**III. Физическая природа тел Солнечной системы 39**Проверочная работа 1. Методы изучения физической природы небесных тел —  
Проверочная работа 2. Земля. Лун 41  
Проверочная работа 3. Планеты земной группы 43  
Проверочная работа 4. Планеты-гиганты. Спутники планет 45  
Проверочная работа 5. Фазы Луны. Затмения. Рельеф Луны 47  
Проверочная работа 6. Астероиды и метеориты. Кометы и метеоры. 49  
Контрольная работа 51  
Контрольная работа повышенной трудности. 55  
**IV. Солнце и звезды. 59**Проверочная работа 1. Солнце — ближайшая звезда —  
Проверочная работа 2. Спектры, температуры, светимости звезд и расстояния до них

61  
Проверочная работа 3. Двойные и переменные звезды. Разнообразие звездных характеристик и их закономерности. 63   
Контрольная работа . 65  
Контрольная работа повышенной трудности . 67  
**V. Строение и эволюция Вселенной. 71**Проверочная работа 1. Наша Галактика. Диффузная материя —  
Проверочная работа. 2. Звездные системы — галактики и Метагалактика 73  
Итоговая контрольная работа. 75  
Итоговая контрольная работа повышенной трудности. 79  
Ответы и решения. 83

# 10 лабораторных работ для курса астрономии.

# Памятка к выполнению лабораторных работ.

Курс астрономии характеризуется тем, что в нем практически невозможно провести эксперимент в прямом смысле этого слова. Космические объекты нельзя потрогать руками, взвесить на весах, измерить с помощью измерительных инструментов. Изучая астрономию, мы можем провести лишь эксперимент с моделями или выполнить наблюдения. Да и это не практикуется обычно при изучении школьного курса из-за малого количества часов, отводимого на изучение этого предмета

Ккраткое описание лабораторных работ и комментарии к ним(методические рекомендации).

***Лабораторная работа № 1*** \_\_\_

\_***ТЕМА: «\_ ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ НЕБЕСНОЙ СФЕРЫ. СИСТЕМЫ НЕБЕСНЫХ КООРДИНАТ».***

УСЛОВИЯ ВИДИМОСТИ СВЕТИЛ НА РАЗЛИЧНЫХ ШИРОТАХ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2 Основные теоретические сведения \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

\_2 Образец заданий \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 6

Примеры выполнения некоторых заданий \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 7 ***Лабораторная работа № 2*** \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 9 **ТЕМА:«ЗВЕЗДНЫЕ АТЛАСЫ, ПОДВИЖНАЯ КАРТА ЗВЕЗДНОГО НЕБА, АСТРОНОМИЧЕСКИЕ КАЛЕНДАРИ,СПРАВОЧНИКИ»\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_** Основные теоретические сведения \_\_\_\_Образец заданий \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 12 Примеры выполнения некоторых заданий \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 13 ***Лабораторная работа № 3*** \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 14 ИЗУЧЕНИЕ СИСТЕМ СЧЕТА ВРЕМЕНИ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 14 Основные теоретические сведения \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 14

Образец заданий \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 18

Примеры выполнения некоторых заданий \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_18 ***Лабораторная работа № 4*** 20 ВИДИМОЕ ГОДОВОЕ ДВИЖЕНИЕ СОЛНЦА И ЕГО СЛЕДСТВИЯ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 20 Основные теоретические сведения \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 20 Образец заданий \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 23 Примеры выполнения некоторых заданий \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 23 Лабораторная работа № 5 \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 24 ЗАКОНЫ КЕПЛЕРА И КОНФИГУРАЦИИ ПЛАНЕТ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 24 Основные теоретические сведения \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 24 Образец заданий \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 29 Примеры выполнения некоторых заданий \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 30 Лабораторная работа № 6 \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 31 ИЗУЧЕНИЕ НЕБОЛЬШИХ ОПТИЧЕСКИХ ТЕЛЕСКОПОВ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 31 Основные теоретические сведения \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 31 Образец заданий \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 37 Лабораторная работа № 7 \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 38 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЙ И УСЛОВИЙ ВИДИМОСТИ ПЛАНЕТ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 38 Основные теоретические сведения \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 38 Образец заданий \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 40 Примеры выполнения некоторых заданий \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 41 81 Лабораторная работа № 8 \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 42 СПЕКТРЫ И СВЕТИМОСТЬ ЗВЕЗД \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 42 Основные теоретические сведения \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 42 Образец заданий \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 46 Лабораторная работа № 9 \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 48 КРАТНЫЕ ЗВЕЗДЫ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 48 Основные теоретические сведения \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 48 Образец заданий \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 52 Примерывыполнениянекоторыхзаданий \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 53 Лабораторная работа № 10 \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 55 СОБСТВЕННЫЕ ДВИЖЕНИЯ И ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ СКОРОСТИ ЗВЕЗД. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ВЗАИМНОГО РАСПОЛОЖЕНИЯ ЗВЕЗД (ВИДИМЫХ ФИГУР СОЗВЕЗДИЙ) ИЗ-ЗА СОБСТВЕННОГО ДВИЖЕНИЯ ЗВЕЗД \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 55 Основные теоретические сведения \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 55 Образец заданий \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 58 Примеры выполнения некоторых заданий \_\_\_\_\_

|  |
| --- |
|  |

### Лабораторная работа № 1. «Небесная сфера».

Цель работы: закрепить понятия и представления, с которыми учащиеся познакомились при изучении темы «Небесная сфера, видимые движения светил»; установить взаимосвязи между этими понятиями.

Наилучшим образом занятия по этой теме можно выполнить в планетарии, где размеры купола вмещает группу учащихся (см. подробнее в [1]). Но даже в том редком случае, когда это возможно, учащиеся могут работать с моделью только по очереди, поскольку экспериментальная установка одна на всех.

Для фронтального выполнения работы требовалось обеспечить каждого учащегося (или пару учащихся, сидящих за одним столом) моделями небесной сферы. В качестве моделей использовались перевернутые стеклянные блюда, которые выполняли роль «купола неба». Маркерами они рисовали основные линии и точки систем координат (стороны света и зенит, экватор и полюс мира), а также дневной путь Солнца. В качестве ластика выступала влажная губка.

Видимое движение Солнца для средних широт достаточно обсуждалось на уроке, а на подробное изучение видимости дневного светила на других широтах времени не оставалось (1 час, включая опрос домашнего задания). Нарисовав экватор и полюс мира последовательно для околополярной (Мурманск) и околоэкваториальной широт (Руанда, Африка), учащимся нетрудно прочертить и суточные пути Солнца для зимы, равноденствия и лета.

Крайне важно осмыслить учащимся полученный результат и сделать выводы. Учащиеся анализировали:

* полуденную высоту Светила, определяющую температуру в данной местности;
* длину его суточных путей, определяющих продолжительность дня в разное время года;
* угол их наклона к горизонту, по которому можно судить о продолжительности сумерек.

Различие полуденных высот Солнца над точкой юга сделала очевидным факты низких температур в северных регионах и высоких в околоэкваториальных. Как правило, вызывает удивление то, что за полярным кругом ночь и день продолжаются вовсе не по полгода (это относится только к полюсам Земли), что весной и осенью бывают периоды, когда Солнце ежедневно восходит и заходит.

Также было новостью то, что в районах близ экватора максимальная жара наступает весной и осенью, в это время Солнце может проходить через зенит, чего не происходит в средних широтах. Длины треков для разных сезонов отличаются мало, поэтому день и ночь всегда длится примерно 12 часов, из за чего, например, там не выгодно вводить переход на летнее время. А большой угол их наклона к горизонту показывает, что темнота наступает очень резко после захода Светила. К недостаткам работы можно отнести типичная неаккуратность рисования линий, которое делается от руки. В ряде случаев приходится объяснять ошибки в рисовании, что отражает недостаток понимания темы учащимися, требовать выполнения рисования заново.

Результат выполнения этой работы мы оцениваем как средний. Подобные модели не могут заменить планетария, хотя и позволяют «увидеть» осваиваемые понятия (то есть повышается наглядность), позволяет применить их для того чтобы представить движение Солнца в тех районах Земли, где учащиеся, скорее всего, еще не бывали.

Выводы:

Литература:

**ТЕМА: «КОНФИГУРАЦИИ ПЛАНЕТ. СИНОДИЧЕСКИЙ И СИДЕРИЧЕСКИЙ ПЕРИОДЫ».**

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2.Вариант 2.

**ЦЕЛЬ:** Систематизировать и углубить знания по теме, смоделировать конфигурации планет и пронаблюдать закономерности условий их наблюдений при различных конфигурациях. Вывести формулу связи синодического и сидерического периодов.

**ОБОРУДОВАНИЕ:**Модели планет и Солнца.

**ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ЗНАНИЯ:** Виды планет. Конфигурации планет. Схематическое изображение. Условия видимости при различных конфигурациях. Сидерический и синодический периоды.

**ФОРМУЛЫ:** Связь синодического и сидерического периодов.

**ХОД РАБОТЫ:**

**1.**Используя модели, смоделировать различные конфигурации. Зарисовать проекцию на плоскость орбит (считая ее общей для всех планет) и вид планеты при наблюдении с Земли.

Конфигурации внутренних планет:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| соединение | | противостояние | элонгация |
| верхнее | нижнее |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

Конфигурации внешних планет:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| соединение | противостояние | квадратура | |
| западная | Восточная |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

**2.**Продемонстрировать связь синодического и сидерического периодов. Сделать необходимые рисунки, объяснить выведение формулы.

|  |  |
| --- | --- |
| Рисунок | Выведение формулы |

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

1. Какие еще конфигурации планет вы знаете? Зарисуйте.

**ВЫВОДЫ:**

|  |
| --- |
|  |
|  |
|  |
|  |
|  |
|  |
|  |

Вопросы для самостоятельного изучения.

|  |
| --- |
| 1. Орбитальный резонанс. |
|  |
|  |
| 2. Щели Кирквуда. |
|  |
|  |

|  |
| --- |
| 3. Сближение небесных тел. |
|  |
|  |

|  |
| --- |
| 4. Покрытие, прохождение. |
|  |
|  |

***№ 2. ЗВЕЗДНЫЕ АТЛАСЫ, ПОДВИЖНАЯ КАРТА ЗВЕЗДНОГО НЕБА, АСТРОНОМИЧЕСКИЕ КАЛЕНДАРИ И СПРАВОЧНИКИ***. Цель работы: ознакомление с содержанием звездных атласов и их ис- пользованием при изучении звездного неба. Использование подвижной карты при изучении звездного неба. Ознакомление с содержанием и использованием астрономических календарей и справочников. Оборудование: тлас звездного неба А. А. Михайлова, Астрономический календарь (постоянная и переменная части), подвижная карта звездного неба, школьный астрономический календарь. Электронные справочники и базы дан- ных. Вопросы к допуску: 1. Понятие созвездия. 2. Устройство и назначение подвижной карты звездного неба. 3. Астрономические календари. Основные теоретические сведения Звездные атласы служат пособием при изучении звездного неба и при вы- полнении научно-исследовательских работ по астрономии. На каждой карте атла- са изображен определенный участок звездного неба, спроектированный на плос- кость. Атлас звездного неба А. А. Михайлова состоит из 20 карт и содержит все звезды обоих полушарий до 6,5 звездной величины. Координаты звезд даны для эпохи 1950 года. К атласу прилагается общий каталог звезд, который содержит не только координаты звезд, но также их видимую звездную величину и тип спектра. Видимый блеск звезд различен и выражается в условных единицах, назы- ваемых звездными величинами (m). Наиболее яркие звезды считаются звездами нулевой видимой звездной величины (0m ). Звезды, блеск которых приблизительно в 2,5 раза слабее блеска звезд 0m , считаются звездами первой видимой величины (1m ). На пределе видимости невооруженным глазом находятся звезды 6-й видимой звездной величины (6m ), которые слабее звезд 1-й видимой звездной величины в 100 раз. Поправка на прецессию. Вследствие возмущающего действия, оказываемо- го на вращение Земли Луной и Солнцем, ось вращения Земли совершает в про- странстве очень сложное движение. Она медленно описывает конус, оставаясь все время наклоненной к плоскости движения Земли под углом около 66°,5. Это 10 движение называется прецессионным, период его около 26 000 лет. Оно определя- ет среднее направление оси в пространстве в различные эпохи. Вследствие изменения положения земной оси в пространстве из-за явления прецессии меняет свое положение ось мира и небесный экватор. Сетка экватори- альных координат, связанная с небесным экватором, медленно поворачивается в пространстве, изменяются экваториальные координаты звезд. Чтобы определить координаты звезд в произвольный год, нужно к коорди- натам звезды, данным в каталоге на 1950 г., прибавить изменение координат вследствие прецессии за столько лет, сколько прошло с 1950 г. до данного года. Для этой цели служит таблица прецессии за 100 лет, имеющаяся в звездном ката- логе. Поправка по прямому восхождению на 100 лет ∆α100 находится по значению α1950 и δ1950; δ1950 определяет нужную строку, α1950 нужный столбец. Поправка на данный год находится из соотношения: ∆αn = ∆α100 . n/100, где n — количество лет, прошедшее с 1950 года. Поправка по склонению на 100 лет находится по значению α1950. Дальнейшие операции аналогичны предыдущим. Подвижная звездная карта служит пособием для общей ориентировки на небе. Пользуясь ею, можно решить целый ряд задач и, в частности, определить рас- положение созвездий относительно истинного горизонта. На карте изображены: сетка небесных экваториальных координат и основные созвездия, состоящие из сравнительно ярких звезд. Карта составлена в проекции, в которой небесные парал- лели изображаются концентрическими окружностями, а круги склонения — луча- ми, выходящими из северного полюса мира, расположенного в центре карты. Рядом с ним находится звезда α Малой Медведицы, называемая Полярной звездой. Круги склонения проведены через 15 ° (1h ) и оцифрованы в часах по одной из небесных параллелей вблизи внутреннего обреза карты. Небесный экватор и три небесных параллели в 30 ° оцифрованы в точках их пересечения с начальным кругом склонения (α = 0 h) и с диаметрально противоположным ему кругом скло- нения (α = 12h ). Оцифровка кругов склонения и небесных параллелей позволяет грубо оценивать значения экваториальных координат небесных светил. Эксцен- трический овал, пересекающийся с небесным экватором в двух диаметрально про- тивоположных точках, изображает эклиптику. Область карты, заключенная внутри небесного экватора, представляет се- верную небесную полусферу. По наружному обрезу карты, называемому лимбом дат, нанесены календарные числа и названия месяцев года. Накладной круг, при- лагаемый к карте, позволяет установить вид звездного неба для любого времени суток произвольного дня года. Для этого внешний обрез круга, называемый часо- вым лимбом, разделен на 24 часа, по числу часов в сутках. Часовой лимб оцифрован в системе среднего времени. В накладном круге имеется вырез, положение которого определяется географической широтой места наблюдения. Контур овального выреза изображает истинный, или математиче- ский горизонт, на котором нанесены названия четырех его главных точек — точек 11 юга, запада, севера и востока. Прямая, соединяющая точки севера и юга, изобра- жает небесный меридиан. Положение зенита определяется точкой пересечения этой прямой с небесной параллелью, склонение которой равно широте места на- блюдения. Подвижная карта звездного неба позволяет приближенно решать ряд задач практической астрономии. Например, чтобы определить вид звездного неба в не- который момент времени заданного дня года, нужно наложить накладной круг концентрично на звездную карту, чтобы штрих часового лимба, указывающий данный момент времени, совпал со штрихом заданной даты, а небесный меридиан всегда проходил через северный полюс мира. Тогда внутри овального выреза окажутся те звезды, которые в заданный момент времени видны над горизонтом. Светила, которые окажутся на прямой, соединяющей точки севера и юга, проходят в данный момент через меридиан, т.е. кульминируют. В верхней куль- минации будут те светила, которые располагаются на этой прямой между север- ным полюсом мира и точкой юга. Те светила, которые располагаются на небесном меридиане между северным полюсом мира и точкой севера, находятся в данный момент в нижней кульминации. С помощью подвижной карты звездного неба можно получить положение Солнца на любой день года. Для этого необходимо соединить прямой полюс мира со штрихом, отмечающим заданную дату месяца. Точка пересечения этой прямой с эклиптикой и будет местом нахождения на небе Солнца в данный день года. Астрономические календари содержат сведения, необходимые для астро- номических наблюдений, их обработки и решения многих других задач. По со- держанию астрономические календари делятся на две группы. Первая содержит краткое изложение теоретических основ различных разделов астрономии, спра- вочные таблицы и сведения постоянного характера. К этой группе принадлежит “Астрономический календарь (постоянная часть) ВАГО”. Справочные сведения постоянного характера содержатся в “Справочнике любителя астрономии” П.Г. Куликовского, в различных каталогах и справочных таблицах. В последнее время появилось много электронных справочников, таблиц и баз данных. К другой группе астрономических календарей относятся астрономические ежегодники, содержащие сведения об астрономических явлениях текущего года: “Астрономический календарь-ежегодник (переменная часть) ВАГО”, “Астроно- мический ежегодник”, “Авиационный астрономический ежегодник” и др. Суще- ствует много астрономических программ для ЭВМ, позволяющих находить раз- личную информацию о небесных явлениях в нужный момент времени. Литература: 1. Астрономический календарь. Постоянная часть. М., 1981. 2. Астрономический календарь ежегодник. Переменная часть. М. 3. Бакулин П.И., Кононович Э.В., Мороз В.И. Курс общей астрономии. М., 1983. 12 4. Куликовский П.Г. Справочник любителя астрономии. М., 1918. Для получения зачета необходимо: 1. Уметь пользоваться звездным атласом. 2. Свободно владеть подвижной звездной картой при решении различных задач. 3. Уметь пользоваться астрономическими календарями и справочниками для нахождения необходимых сведений. Образец заданий 1. По картам звездного атласа определить экваториальные координаты и видимую звездную величину двух наиболее ярких звезд в созвездии Кассиопеи. 2. Выписать названия ярких созвездий, по которым проходит Млечный Путь. 3. Найти на звездной карте созвездие Малого Пса. По карте определить координаты α и δ звезды Процион (α Малого Пса). Найти эту звезду в общем каталоге звезд, определить точные координаты α и δ, звездную величину (mag) и тип спектра (sp). 4. Взять из общего каталога координаты звезды Дубхе и определить ее координаты на 2004 год, пользуясь таблицей прецессии за 100 лет. 5. Установить подвижную звездную карту на день и час занятий для Минска и ука- зать, какие созвездия будут в верхней и нижней кульминации. 6. В день 15 июля найти момент восхода, верхней кульминации и захода звезды Си- риус (α Большого Пса). 7. Определить день года, в который в 20h 30m в верхней кульминации находится звезда Альдебаран. 8. По таблицам в “Астрономическом календаре” (постоянной части) найти названия и видимую звездную величину звезд, положения которых определяются экватори- альными координатами: 1. α = 46 °38′1,”5 2. α = 151 °45′37,”5 δ = + 40 °51′38” δ = +12 °05′24” 9. Из эфемерид Солнца и Луны найти моменты времени восхода и захода этих све- тил в пункте λ = 0h , ϕ = 56 °, азимуты точек их восхода и захода, найти моменты их верхней кульминации на текущий день. 13 10.Из эфемерид Луны выписать даты и моменты времени четырех основных ее фаз в текущем месяце. 11.Найти положение и моменты времени восхода и захода планеты Юпитер в дан- ный день. Примеры выполнения некоторых заданий 4. Взять из общего каталога звезд атласа координаты (α и δ) звезды Дубхе и опре- делить ее координаты на 2004 год, используя таблицу прецессии за 100 лет. Итак, прежде всего необходимо найти примерные координаты данной звезды по звездной карте атласа для того, чтобы определить, в какой части общего каталога звезд искать заданную звезду. Но сначала определим, какому созвездию принадлежит звезда Дубхе. Ответ на- ходится в таблице «Собственные имена звезд» атласа звездного неба А. А. Михайло- ва: α UMa. Сокращенное латинское название созвездия (Uma), найденное в данной таблице, можно расшифровать с помощью следующей таблицы «Названия созвез- дий»: Uma – Большая Медведица. Здесь же находим номера карт атласа, на которых частично изображена Большая Медведица. На 4-й карте находим α Uma. По верхней и нижней дуговым шкалам определяем прямое восхождение (α ≈ 11h ), а по левой и правой – склонение (δ ≈ 62°). В общем каталоге звезд (в этом же атласе) по прямому восхождению находим α Uma и уточняем коордитнаты (α1950 = 11h 0.7м ; δ1950 = 62°1′). Данные координаты в общем каталоге звезд соответствуют равноденствию 1950 го- да. Поэтому, для уточнения их на заданный год необходимо найти разницу в годах между заданным и 1950-ым: ∆t = 2004 – 1950 = 54 года и воспользоваться таблицей прецессии за 100 лет (в конце атласа). Данная таблица состоит из двух частей: “по прямому восхождению”, где содержатся приращения координат ∆α100, и “по склоне- нию”, где – приращения координат ∆δ100 за 100 лет. В таблице “по прямому восхож- дению” по координатам (α1950 = 11h 0.7м ; δ1950 = 62°1′) находим соответствующее приращение: ∆α100 = 6.2m (4-й столбец, 8-я строка). В таблице “по склонению” по ко- ординате α1950 находим соответствующее приращение: ∆δ100 = -32′ ( 4-я строка сни- зу). Но нам необходимо приращение координат не за 100 лет, а за ∆t = 54 года, т.е. ∆α54 и ∆δ54, значения которых находим по формулам: ∆αn = (∆α100 / 100) × n и ∆δn = (∆δ100 / 100) × n.

ВЫВОД.

Таким образом, ∆α54 = 3.35m и ∆δ54 = -17.3′, а координаты на заданный год α2004 = α1950 + ∆α54= 11h 0.7m + 3.35m = 11h 3.42m ; а δ2004 = 62°1′ – 17.3′ = 61°43.7′.

Литература.

Лабораторная работа № 3 по теме:

ИЗУЧЕНИЕ СИСТЕМ СЧЕТА ВРЕМЕНИ Цель работы: изучение различных систем счета времени. Оборудование: модель небесной сферы, астрономический календарь (постоянная и переменная части), подвижная звездная карта. Вопросы к допуску: 1. Понятие звездного времени. 2. Среднее и истинное солнечное время. 3. Уравнение времени. 4. Связь местного времени с географической долготой. Основные теоретические сведения Измерение времени основано на наблюдениях суточного вращения не- бесного свода и годичного движения Солнца, т.е. на вращении Земли вокруг оси и на обращении Земли вокруг Солнца. Вращение Земли вокруг оси происходит почти равномерно, с периодом, равным периоду вращения небесного свода. Поэтому по углу поворота Земли от некоторого начального положения можно судить о протекшем времени. За начальное положение Земли принимается момент прохождения плоскости зем- ного меридиана места наблюдения через избранную точку на небе, или, что од- но и то же, момент верхней кульминации этой точки на данном меридиане. Продолжительность основной единицы времени, называемой сутками, зависит от избранной точки на небе. В астрономии за такие точки принимаются: — точка весеннего равноденствия (звездное время), — центр видимого диска Солнца (истинное Солнце, истинное солнечное вре- мя), — среднее Солнце — фиктивная точка, положение которой на небе может быть вычислено теоретически для любого момента времени (среднее солнечное вре- мя). Для измерения длинных промежутков времени служит тропический год, основанный на движении Земли вокруг Солнца. Тропический год — промежуток времени между двумя последовательны- ми прохождениями центра истинного Солнца через точку весеннего равноден- ствия. Содержит 365,2422 средних солнечных суток. 15 Из-за медленного движения точки весеннего равноденствия навстречу Солнцу, вызванного прецессией, относительно звезд Солнце оказывается в той же точке неба через промежуток времени на 20 мин. 24 с. больший, чем тропи- ческий год. Он называется звездным годом и содержит 365,2564 средних сол- нечных суток. Звездное время. Промежуток времени между двумя последовательными одноименными кульминациями точки весеннего равноденствия на одном и том же географическом меридиане называется звездными сутками. За начало звездных суток на данном меридиане принимают момент верхней кульминации точки весеннего равноденствия. Время, протекшее от верхней кульминации точки до любого другого ее положения, выраженное в долях звездных суток, называется звездным вре- менем S . Угол, на который Земля повернется от момента верхней кульминации точки весеннего равноденствия до какого-нибудь другого момента, равен часо- вому углу точки в этот момент. S = t. Практически для установления начала звездных суток или звездного времени в какой-то момент надо измерить часовой угол t какого-либо светила М, прямое восхождение которого известно. Тогда звездное время: S = α + t, где t = (Qm, α = (m, а t = (Q = S . Звездное время в любой момент равно прямому восхождению какого- либо светила плюс его часовой угол. В момент верхней кульминации светила его часовой угол t = 0, тогда S = α. Звездное время для наблюдателей, находящихся на разных меридианах, будет разным. Разность звездного времени в двух пунктах земной поверхности в один и тот же физический момент равна разности географических долгот этих пунктов. S2 - S1 = λ2 - λ1. Истинное солнечное время. Промежуток времени между двумя после- довательными одноименными кульминациями Солнца (центра солнечного дис- ка) на одном и том же географическом меридиане называется истинными сол- нечными сутками. За начало истинных солнечных суток на данном меридиане принимают момент нижней кульминации Солнца (истинная полночь). Время, протекшее от нижней кульминации Солнца до любого другого его положения, выраженное в долях истинных солнечных суток называется истинным солнечным временем Тс . Истинное солнечное время Тс на данном меридиане в любой момент: Тс = tс + 12h , где tс – часовой угол Солнца. 16 Истинные солнечные сутки имеют различную продолжительность, так как: 1. Солнце движется не по небесному экватору, а по эклиптике, наклоненной к экватору под углом 23°26′. 2. Движение Солнца по эклиптике неравномерно. Среднее солнечное время. Чтобы получить сутки постоянной продолжи- тельности и в то же время связанные с движением Солнца, в астрономии введены понятия двух фиктивных точек — среднего эклиптического и среднего эк- ваториального Cолнца. Среднее эклиптическое Солнце равномерно движется по эклиптике со средней скоростью Солнца. Среднее экваториальное Солнце равномерно движется по экватору с постоянной скоростью среднего эклиптического Солнца и одновременно с ним проходит точку весеннего равноденствия. Промежуток времени между двумя последовательными одноименными кульминациями среднего экваториального Солнца на одном и том же географическом меридиане называется средними солнечными сутками. Продолжительность средних солнечных суток равна среднему значению продолжительности истинных солнечных суток за год. За начало средних солнечных суток на данном меридиане принимают момент нижней кульминации среднего экваториального Солнца (средняя пол- ночь). Время, протекшее от нижней кульминации среднего экваториального Солн- ца до любого другого его положения, выраженное в долях средних солнечных суток, называется средним солнечным временем Тm . Среднее солнечное время Тm на данном меридиане в любой момент: Тm = tm + 12h , где tm – часовой угол Солнца. Разность между средним и истинным солнечным временем в один и тот же момент называется уравнением времени η. η = Tm - Tc = tm - tc = αc - αm, где t – часовой угол, а α — прямое восхождение. Отсюда следует Tm = Tc + η = tc +12h + η. Уравнение времени обращается в нуль около 15 апреля, 14 июля, 1 сен- тября и 24 декабря, и четыре раза в году принимает экстремальные значения, из них наиболее значительные около 11 февраля (η = +14m ) и 2 ноября (η = -16m ). Уравнение времени публикуется в астрономических календарях - ежегодниках ВАГО для каждой средней полуночи на меридиане Гринвича. Если в календаре дан момент верхней кульминации центра истинного Солнца, то имея 17 в виду, что этот момент дан по среднему времени, и что в данный момент ис- тинное солнечное время равно 12h , получим уравнение: η = Tm - 12h . Всемирное время. Местное среднее солнечное время гринвичского ме- ридиана называется всемирным, или мировым временем Т0 . Местное среднее солнечное время любого пункта на Земле определяется: Tm = Т0 + λ h , где λ h – долгота данного пункта, выраженная в часовой мере (h). Поясное время. Местных систем счета времени бесчисленное множество, как и меридианов. В 1884 году была предложена поясная система счета среднего времени. Счет времени ведется только на 24 основных географических меридианах, расположенных друг от друга по долготе точно через 15°, приблизительно посередине каждого часового пояса. За основной меридиан нулевого пояса принят Гринвичский. Местное среднее солнечное время основного меридиана какого-либо ча- сового пояса называется поясным временем Tn. Связь поясного времени с мест- ным и всемирным выражается следующим образом: Тm - Tn = λ h − n h , Tn = Т0 + n h где n h – число целых часов, равное номеру часового пояса (долгота основного меридиана часового пояса). Декретное время. В целях более рационального распределения электроэнергии, идущей на освещение предприятий и жилых домов, в летнее время вводят летнее время. В СССР 16.07.1930г. декретом правительства стрелки часов перевели на 1 час вперед против поясного времени. Литература: 1. Астрономический календарь. Постоянная часть. М., 1981 2. Бакулин П.И., Кононович Э.В., Мороз В.И. Курс общей астрономии. М., 1983 4. Куликовский П.Г. Справочник любителя астрономии. М., 1971 Для получения зачета необходимо: 1. Уметь свободно ориентироваться в разных системах счета времени. 2. С помощью подвижной звездной карты уметь определить звездное время, зная в этот момент среднее местное время, а также уметь решать и обратную задачу. 3. Представить преподавателю оформленные вычисления, требуемые в задании. 18 Образец заданий 1. На модели небесной сферы показать взаимосвязь прямого восхождения и часового угла светила со звездным временем. 2. Найти звездное время в момент захода точки весеннего равноденствия. 3. Определить звездное время в Екатеринбурге и Минске, если в Бишкеке звездное время равно 2h 40m 25s . 4. Для того же момента времени в тех же городах вычислить часовые углы звезд Альдебаран и Спика, выразив их в угловой мере и в единицах времени. 5. По подвижной карте звездного неба определить приближенное значение звездного времени в среднюю полночь и средний полдень 25 февраля, 25 мая, 25 августа и 25 ноября. 6. По подвижной карте звездного неба определить для тех же дней приближенное значение среднего времени в момент 18h звездного времени. 7. Определить, с точностью до 1 минуты, момент верхней кульминации Солнца по звездному, истинному солнечному, среднему местному, поясному, декретному времени в Берлине 2 ноября. ( λ = 13°25′). 8. В момент кульминации звезды Ригель (α = 5h 13m ) часы, идущие точно по звездному гринвичскому времени, показывают 15h 9 m ; определить долготу данного места. Примеры выполнения некоторых заданий 1. Определить, с точностью до 1 минуты, момент верхней кульминации Солнца по звездному, истинному солнечному, среднему местному, поясному времени в Берлине 2 ноября. ( λ = 13°25′). В данном случае удобнее начать с истинного солнечного времени Тс . т. к. Солнце в верхней кульминации, то по истинному солнечному времени будет полдень, т.е. Тс = 12h . Среднее солнечное время отличается от истинного сол- нечного на поправку «уравнение времени» (η = Тm - Тс), которая содержится в эфемеридах Солнца в астрономическом календаре-ежегоднике: η0(2) = -16m . По- этому Тm = Тс + η = 12h 00m – 16m = 11h 44m . Поясное время Тп связано с местным средним солнечным Тm соотношением: Тm - Тп = λ h - n h , где λ h — географиче- ская долгота пункта, выраженная в часовой мере, а n h – номер часового пояса в часах. Откуда Тп = Тm - λ h + nh . Но прежде необходимо перевести в часовую 19 меру λ h , воспользовавшись таблицей перевода (АК, постоянная часть) или со- отношениями: 1 h = 15°, 1 m = 15′, 1m = 15′′. Итак, λ h = 0h 53m 40s . А поясное время Тп = 11h 44m - 0h 53m 40s + 1h = 11h 50m 20s . Звездное время S = αс + tс , где αс – прямое восхождение Солнца, содержится в эфемеридах Солнца в астроно- мическом календаре-ежегоднике: αс = 14h 30m . А часовой угол Солнца в верх- ней кульминации tс = 0h . Поэтому звездное время S = αс = 14h 30m . 2. В момент верхней кульминации звезды Ригель (α = 5h 13m ) в некотором гео- графическом пункте часы, идущие точно по звездному гринвичскому време- ни, показывают 15h 9 m . Определить долготу данного пункта. Звездное время на данном меридиане можно найти по координатам звезды: S= α + t. Звезда Ригель находится в верхней кульминации, значит ее часовой угол t = 0. Следовательно, в данном пункте S1 = αс = 5h 13m . А по звездному гринвичскому времени в этот момент S0 = 15h 9 m . Но известно, что S0 - S1 = λ0 - λ1, поэтому λ1 = λ0 - S0 + S1 . Для Гринвича λ0 = 0. Следовательно, λ1 = 0 - 15h 9 m + 5h 13m = - 9h 56m . (Минус показывает, что отсчет долготы происходит к западу от гринвичского меридиана). Долготу можно записать и положительной, но для этого нужно добавить 24h . То есть, 24h - 9h 56m = 14h 4 m и отсчет долготы происходит к западу от гринвичского меридиана. 20 Лабораторная работа № 4 ВИДИМОЕ ГОДОВОЕ ДВИЖЕНИЕ СОЛНЦА И ЕГО СЛЕДСТВИЯ Цель работы: изучение закономерностей, связанных с обращением Зем- ли вокруг Солнца. Оборудование: модель небесной сферы, малый звездный атлас, подвиж- ная карта звездного неба, астрономический календарь - ежегодник. Вопросы к допуску: 1. Понятие эклиптики. 2. Наклон эклиптики к экватору и его объяснение. 3. Точки равноденствий и солнцестояний. 4. Связь между видимым движением Солнца на разных широтах и границами тепловых поясов на Земле. Основные теоретические сведения Земля обращается вокруг Солнца в плоскости, которую называют плос- костью земной орбиты, и поэтому видимое годовое движение Солнца происхо- дит в этой же самой плоскости, которая пересекает небесную сферу по боль- шому кругу, называемому эклиптикой. Таким образом, плоскость эклиптики и плоскость земной орбиты идентичны. В любой момент времени Солнце видно с Земли, проецирующимся в некоторую точку небесной сферы. Эклиптика и небесный экватор пересекаются под определенным углом ε в двух диаметрально противоположных точках, называемых точками равноденствий. Эти точки носят такое название потому, что, когда в них находится Солнце, день равен ночи. Угол ε называется наклонением эклиптики к экватору. По наклонению можно вычислить угол наклона зем- ной оси к плоскости земной орбиты. Учитывая, что на всех географических широтах ϕ северного полушария Земли, удовлетворяющих условию 90° > ϕ > ε, Солнце всегда кульминирует к югу от зенита, наклонение эклиптики к экватору можно определить, используя формулу, справедливую для момента верхней кульминации, z = ϕ - δ, где z — зенитное расстояние Солнца, ϕ — широта места наблюдения, δ — склонение Солнца. В день летнего солнцестояния склонение Солнца макси- 21 мально и равно δ = ε. В этот момент его зенитное расстояние будет минимальным, т. е. zmin = ϕ - ε. Следовательно, ε = δmax = ϕ − zmin. В день зимнего солнцестояния зенитное расстояние Солнца будет максимально, а склонение мини- мально и равно δ = - ε. Экваториальные координаты Солнца α и δ содержатся в астрономических календарях - ежегодниках. Видимое движение Солнца легко уяснить на модели небесной сферы. Нужно помнить, что Солнце всегда находится на эклиптике. В дни весеннего и осеннего равноденствий продолжительность пребыва- ния Солнца над горизонтом и под горизонтом одинакова и равна 12 часам. Отсюда происходит название этих точек. При нахождении Солнца около точки летнего солнцестояния высота его над горизонтом в полдень будет максимальной в это время в северных широтах самый длинный день и самая короткая ночь. Вблизи дня зимнего солнцестояния высота Солнца над горизонтом минимальна, день самый короткий в году, а ночь самая длинная. На иных географических широтах земного шара продолжительность дня и ночи разная. На экваторе день всегда равен ночи и это соотношение не меняется в течение года. На полюсах бывает долгая полярная ночь, когда Солнце не поднимается над горизонтом в течение месяцев, и полярный день, когда Солнце не заходит. Моменты восхода и захода Солнца, а также азимуты точек восхода и за- хода его зависят от географической широты места наблюдения. Поставив не- бесную сферу на разные широты, можно проследить зависимость видимого го- дового движения Солнца от широты места. Точные значения моментов восхода, захода, а также азимуты этих точек вычисляются по соответствующим формулам сферической астрономии. В Астрономическом календаре - ежегоднике приведены значения этих величин для места с географической долготой λ = 0h 0 m 0 s и географической широтой ϕ =56°0 ’ 0 ” . Моменты даны по гринвичскому (всемирному) времени. Приближенные значения тех же величин для определения географической широты могут быть найдены по подвижной карте звездного неба и помогают уяснить закономер- ность и причину их изменения на протяжении года. O Q Q' P P' Z Z' ε 90°−ϕ ϕ N S Рис.5 Годовое движение Солнца 22 На картах звездных атласов основные точки эклиптики ничем не обозначены, но легко отождествляются по их экваториальным координатам. В зависимости от положения Солнца на эклиптике условия видимости со- звездий на протяжении года непрерывно изменяются, и одно и то же созвездие в разные времена года видно в различное время суток. Условия видимости зо- диакальных созвездий лучше всего могут быть выяснены по подвижной карте звездного неба, причем необходимо помнить, что звезды, расположенные в пределах около 15° к востоку и западу от Солнца, недоступны наблюдениям, так как темное время суток наступает не сразу после захода Солнца. Границы тепловых поясов на Земле проведены по астрономическим при- знакам. В жарком поясе, границы которого простираются по обе стороны от эк- ватора от ϕ = +23°26′ (северный тропик) до ϕ = - 23°26′(южный тропик), Солн- це всегда восходящее и заходящее светило и два раза в году (на тропиках один раз) в полдень бывает в зените в тех местах, географическая широта ϕ которых равна его склонению δ в данный день (ϕ = δ). Так как склонение Солнца не бывает больше ε = 23°26′, то и границы жаркого пояса, называемые тропиками, расположены на географических парал- лелях с такой же широтой. В умеренных поясах, лежащих между тропиками и полярными кругами (от ϕ = ±23°26′ до ϕ = ± 66°34′), Солнце каждый день восходит и заходит, но никогда не бывает в зените. Полярных дней и ночей здесь не бывает. Полгода продолжительность дня здесь больше продолжительности ночи, а полгода — наоборот. Полуденная высота Солнца всегда меньше 90° (кроме тропиков) и больше 0° (кроме полярных кругов). В холодных поясах (от ϕ = ±66°37′ до ϕ = ± 90°) Солнце может быть не- заходящим и невосходящим светилом. Полярный день и полярная ночь могут длиться от 24 часов до полугода. Литература: 1. Астрономический календарь. Постоянная часть. М., 1981. 2. Бакулин П.И., Кононович Э.В., Мороз В.И. Курс общей астрономии. М., 1983. Для получения зачета необходимо: 1. Уметь продемонстрировать на небесной сфере видимое движение Солнца на различных широтах. 2. Пользуясь подвижной картой, уметь определить местонахождение Солнца в разное время года. 3. Представить преподавателю оформленные необходимые чертежи и расчеты. 23 Образец заданий 1. Определить наклонение эклиптики по измеренному зенитному расстоянию Солнца в верхней кульминации в дни солнцестояний 22 июня — 19°23′; 22 де- кабря — 66°17′. 2. По картам звездного атласа найти основные точки эклиптики и определить их экваториальные координаты. Определить названия и границы зодиакальных созвездий, на которые проецируются эти точки. 3. Пользуясь подвижной звездной картой, указать точку эклиптики, в которой Солнце находится в текущий день. 4. Пользуясь небесной сферой, определить полуденную высоту Солнца и азимуты точек восхода и захода его в дни равноденствий и солнцестояний для Витебска. 5. Найти азимуты точек восхода и захода Солнца в день занятий для Минска по формуле: , где δ — склонение Солнца, а ϕ — широта места наблюдения. 6. Определить наклонение эклиптики около 3000 лет назад, если по наблюдениям в ту эпоху в некотором месте полуденная высота Солнца в день летнего солн- цестояния равнялась + 63°48′, а в день зимнего солнцестояния − + 16°00′ к югу от зенита. 7. Определить, на каких широтах земного шара Солнце бывает точно в зените. Примеры выполнения некоторых заданий 1. Найти азимуты точек восхода и захода Солнца в день занятий для Минска по формуле: где δ — склонение Солнца, а ϕ — широта места наблю- дения. В эфемеридах Солнца находим на указанную дату склонение Солнца. Напри- мер, 1 октября δ = -3°4′. Широта Минска 53°54′. Подставляя в формулу, получаем: cos A = -(sin (-3°4′) / cos (54°51′)) = 0.09. Находим A = arccos (0.09) = ±84°,8 = ±84°48′. Знак “+” относится к точке захода, а знак “-“ – к точке восхода. Таким об- разом, Авосхода = -84°48′ или Авосхода = 360° - 84°48′ = 275°12′, а Азахода = 84°48′. , cos sin cos ϕ δ A = − ϕ δ cos sin cos A = − 24 Лабораторная работа № 5 ЗАКОНЫ КЕПЛЕРА И КОНФИГУРАЦИИ ПЛАНЕТ Цель работы: изучение закономерностей в движении планет и вычисле- ние их конфигураций с помощью модели Солнечной системы. Оборудование: модель Солнечной системы, астрономический календарь (постоянная часть), астрономический календарь-ежегодник. Вопросы к допуску: 1. Формулировка законов Кеплера. 2. Эклиптическая система координат. 3. Конфигурации планет. Основные теоретические сведения Движение планет вокруг Солнца описывается законами Кеплера, которые были сформулированы Иоганном Кеплером так: 1. Все планеты движутся по эллипсам, в одном из фокусов которых (общем для всех планет) находится Солнце. 2. Радиус-вектор планеты в равные промежутки времени описывает равнове- ликие площади. 3. Квадраты сидерических периодов обращений планет вокруг Солнца пропор- циональны кубам больших полуосей их эллиптических орбит. 3 2 3 1 2 2 2 1 a a T T = , где Т1 , Т2 — сидерические периоды обращений планет, а1 , а2 — большие по- луоси их орбит. Если большие полуоси орбит выражать в единицах среднего расстояния от Земли до Солнца (в а.е.), а периоды обращений в годах, то для Земли а = 1, Т = 1, и период обращения любой планеты вокруг Солнца равен: Т = √а 3 . Благодаря работам И. Ньютона получены обобщенные законы Кеплера, кото- рые в настоящее время имеют вид: 1. Под действием силы притяжения одно небесное тело движется в поле тя- готения другого небесного тела по одному из конических сечений — кругу, эллипсу, параболе или гиперболе. 25 Эта формулировка подходит для описания движения всех небесных тел: спут- ников, комет, двойных звезд и др. 2. Площадь, описанная радиусом вектором за единицу времени есть величина постоянная. const dt d r = 2 θ , где θ — полярный угол (истинная аномалия). 3., индексы 1 и 2 относятся к различным парам “тело-спутник”. В данной работе предполагается проверка третьего закона Кеплера в первом приближении, при этом можно считать орбиты планет круговыми и лежащими в одной плоскости. При своём движении по орбитам планеты могут занимать различные положения относительно Солнца и Земли. Эти положения на- зываются конфигурации. Конфигурации различаются для нижних и для верхних планет. Нижними являются планеты, находящиеся бли- же к Солнцу, чем Земля, верхними - те, которые дальше. Для нижних планет выделяют конфигурации: нижнее и верхнее соединение с Солнцем, наибольшая западная и восточная элонгации. Слово элонгация оз- начает удаление. Смысл двух элонгаций заключается в том, что если мы будем наблюдать нижние планеты с Земли, то они будут находиться на самом боль- шом угловом расстоянии от Солнца. Когда планета находится в соединении, то она с Земли не наблюдается, так как максимально сближается с Солнцем и те- ряется в его лучах. Конфигурации для верхних планет несколько иные. Верхние планеты имеют соединение, противостояние (оппозицию), западную и восточную квад- ратуру. Смысл этих конфигураций можно понять аналогично, как и для нижних Рис.6 Конфигурации планет 26 планет. Соединение означает соединение с Солнцем при наблюдении планеты с Земли. Значит, во время нахождения планеты в этой конфигурации, она наблюдаться не может, так как теряется в солнечных лучах. В противостоянии, наоборот, планета будет видна лучше всего, так как противостоит Солнцу, а значит наблюдается на обратной сторо- не неба. В это время планета ближе всего подходит к Земле и видна почти всю ночь. Нижняя планета находится ближе всего к Земле в момент нижнего соединения и дальше всего в момент верхнего. Верхняя планета приближается в момент противостояния и удаляется в момент соединения. Прямые и попятные движения планет объясняются различием орбитальных линейных скоростей пла- неты и Земли, а также различными радиусами орбит планет, и могут быть поняты из рисунка. В нижней части изображена траектория движения планеты на небе, показывающая, как планета делает петлю, а в верхней части видно, что эта петлю кажущаяся, обусловленная тем, что Земля планету догоняет и перегоняет, или же наоборот, планета догоня- ет и перегоняет Землю. В движении планет вокруг Солнца выделяют синодический и сидерический периоды обращения. Синодический период обращения (S) планеты — промежуток времени между её двумя последовательными одноименными конфигурациями. Сидерический или звёздный период обращения (Т) — промежуток времени, в течение которого планета совершает один полный оборот вокруг Солнца по своей орбите. Сидерический период обращения Земли называется звёздным годом (Тз). Угловое перемещение по орбите за сутки у планеты = 360/Т, а у Земли = 360/Тз. Разность суточных угловых перемещений планеты и Земли есть види- мое смещение планеты за сутки, т.е. 360/SДля верхних планет: − . Это уравнения синодического движения. Непосредственно из наблюдений могут быть определены только синодические периоды обращений планет S и сидерический период обращения Земли. Сидерические же периоды обращений планет вычисляются по уравнению си- нодического движения. Продолжительность сидерического периода Земли, или звёздного года равна 365,256 средних солнечных суток. Взаимное расположение планет легко устанавливается по их гелиоцентрическим эклиптическим координатам, значения которых на различные дни года публикуются в астрономических календарях-ежегодниках, в таблице под названием “Гелиоцентрические долготы планет”. Центром этой системы координат является центр Солнца, а основным кругом — эклиптика, полюсы которой П и П′ отстоят от нее на 90°. Большие круги, проведенные через полюсы эклиптики, называются кру- гами эклиптических широт, и по ним отсчитывается от эклиптики гелиоцен- трическая широта b, которая считается положительной в северном эклиптиче- ском полушарии и отрицательной — в южном эклиптическом полушарии не- бесной сферы. Гелиоцентрическая долгота l отсчитывается по эклиптике от точки ве- сеннего равноденствия против часовой стрелки до основания круга широты светила и имеет значения в пределах от 0 до 360°. Из-за малого наклонения ор- бит больших планет к плоскости эклиптики эти планеты всегда находятся вбли- зи эклиптики, и в первом приближении можно считать их гелиоцентри- ческую широту b = 0. Тогда положение планеты относительно Солнца определяется лишь одной ее гелио- центрической долготой. По гелиоцентрической долготе планет легко вычислить дни (даты) наступления различных конфигураций. Пусть в некоторый день года t1 гелиоцентрическая долгота верхней планеты есть l1. Гелиоцентрическая долгота Земли — l01, n — средняя суточная Планета, t1 Земля t1 Рис.8 Гелиоцентрические долготы планет Земля t2 Планета, t2 Солнце 28 угловая скорость планеты, n0 — средняя суточная угловая скорость Земли. Верхняя планета движется вокруг Солнца медленнее Земли (n < n0), Земля до- гоняет планету, и в какой-то день года t2, при гелиоцентрической долготе пла- неты l2 и Земли l02, наступает искомая конфигурация планеты. При этом l2 = l1 + n(t2 - t1) = l1 + n∆t. l02 = l01 + n0(t2 - t1) = l01 + n0∆t. Откуда, обозначив l2 - l1 =∆l, l02 - l01 = ∆l0, n0 - n = ∆n, получим \_\_\_\_\_\_\_= 0 1 . Тогда t2 = t1 + ∆t. Аналогично вычисляются дни наступления конфигураций нижних планет с учетом того, что нижняя планета движется быстрее Земли. Наглядно продемонстрировать и проверить расчет момента конфигураций планет можно с помощью модели Солнечной системы. Модель позволяет также осуществить проверку 3-го закона Кеплера. Планеты на модели располагаются на расстояниях, пропорциональных действительным. Относительные размеры планет также соответствуют действительным. На поверхности крышки прибора крепятся две шкалы: — временная, с указанием месяцев года, с ценой деления 5 дней. — гелиоцентрическая долгот, с ценой деления 5°. Работа прибора основана на воспроизведении гелиоцентрических движе- ний планет, что позволяет проводить демонстрации движений планет с сохра- нением их относительных синодических и сидерических периодов обращения. Включая и выключая двигатель, можно определить взаимное расположе- ние планет и их конфигурации в последующие моменты. При этом следует сравнить данные, получаемые на модели, с данными в астрономическом кален- даре - ежегоднике. Рассмотрим, например, работу с прибором при проверке уравнения сино- дического движения для Марса: 1 1 1 S Tз T = − или Ќ Ќ T T T T S − ⋅ = . Для этого, установив Марс в противостоянии с Землей, например на 1 ян- варя, включают двигатель и выключают его в тот момент, когда Марс сделает один оборот, т.е. займет прежнее положение. За один оборот Марса Земля сде- лает 1 оборот + 321 сутки и остановится на дате 17 ноября, т.е. 365 + 321 = 686 суток. Следовательно, сидерический период Марса равен 686 земных суток, или 1,88 года. Далее включают двигатель и следят, когда Марс вновь будет в противо- стоянии; в этот момент двигатель выключают. Это должно произойти 19 фев- раля, Земля к этому времени повернется на (2 х 365 + 50) = 780 суток, что со- ответствует синодическому периоду Марса. 29 Подставив данные в формулу из уравнения синодического движения, убеждаемся в ее справедливости. Эту же проверку можно осуществить с помо- щью секундомера, отмечая предварительно время одного оборота Земли, Мар- са, а затем синодический период. При этом за единицу времени следует брать время оборота Земли. Аналогично проверяется 3-й закон Кеплера. Расстояния до планет измеряются линейкой, за единицу принимается расстояние от Земли до Солнца. К зачету необходимо: 1. Знать формулировки законов Кеплера. 2. Уметь различать конфигурации планет. 3. Уметь находить условия видимости планет в различных конфигурациях. 4. Знать уравнение синодического движения. Образец заданий 1. Считая орбиты планет круговыми, определить гелиоцентрическую долготу Земли и планет по их конфигурациям: 21 марта – Меркурий в нижнем соединении, Венера в наибольшей западной элонгации, Марс в восточной квадратуре, Юпитер в соединении; 22 июня — Меркурий в верхнем соединении, Венера в наибольшей восточной элонгации, Марс в противостоянии, Юпитер в западной квадратуре. (Сделать схематические рисунки, учитывая масштаб.) 2. С помощью подвижной карты звездного неба определить созвездия, в кото- рых находятся вышеуказанные планеты на данные даты. 3. Используя модель Солнечной системы, установить заданную планету в ука- занную конфигурацию и определить ее гелиоцентрическую долготу на 1993 год (гелиоцентрическую долготу Земли взять из Астрономического календаря-ежегодника): а) 28 января Меркурий в верхнем соединении; б) 7 января Марс в противостоянии. 4. По известной дате указанной ниже конфигурации вычислить дату очередной такой же конфигурации планеты: а) 27 декабря Марс в соединении; б) 23 октября Юпитер в противостоянии. 5. Вычислить синодический период обращения астероида Офелии. а = 3.13 а.е. 6. Считая орбиты планет круговыми, определить линейную скорость движения по орбите планет Меркурий, Земля и Юпитер. 7. Определить звездный период обращения Марса, зная, что его сино- дический период равен 779.94 суток. 30 8. По точной формулировке третьего закона Кеплера определить массу Юпитера, зная, что расстояние 1-го спутника от Юпитера равно 422000 км, время его обращения вокруг Юпитера 1.77 суток, расстояние от Луны до Земли равно 384000 км, время обращения Луны вокруг Зем- ли 27.32 суток. Примеры выполнения некоторых заданий 1. Считая орбиты планет круговыми, определить гелиоцентрическую долготу Земли и планет по их конфигурациям: 21 марта – Венера в наибольшей вос- точной элонгации, Марс в западной квадратуре. а) С помощью масштабного чертежа и транспортира. б) С помощью вычислений. а) Масштабный чертеж – это изображение орбит планет в виде концентри- ческих окружностей, радиусы которых соотносятся как большие полуоси орби- данных планет. В данном случае: аВ : аЗ : аМ = 0.72 : 1 : 1.52 (рис.а). Допустим, Земля находится в точке Т, тогда Венера – в точке V (в наибольшей восточной элонга- ции), а Марс – в точке М (в запад- ной квадратуре). По условию (21 марта) направление на точку ве- сеннего равноденствия будет про- ходить через Солнце. А отсчет гелиоцентрической долготы осу- ществляется от направления на точку весеннего равноденствия по часовой стрелке. Используя транспортир, находим для Земли lз = 180°, для Венеры lв = 136°, для Марса lм = 229°. б) А теперь определим гелио- центрическую долготу Земли и данных планет с помощью вычис- лений. По чертежу видно, что для Земли lз = 180°. Для Венеры lв = 180° - α, а cos(α) = аВ / аЗ, где аВ – большая полуось орби- ты Венеры, а аЗ - большая полуось орбиты Земли. Тогда lв = 180° - arccos(аВ / аЗ). Итак, lв = 136°.3. Для Марса lм = 180° + β, а cos(β) = аЗ / аМ. Тогда lм = 180° + arccos(аЗ / аМ). Итак, lм = 228°.86T M V lM lЗ lВ Рис. а. Солнце α β 31 Лабораторная работа № 6 ИЗУЧЕНИЕ НЕБОЛЬШИХ ОПТИЧЕСКИХ ТЕЛЕСКОПОВ Цель работы: изучение характеристик небольших телескопов. Оборудование: телескоп-рефрактор школьного типа, телескопы- рефлекторы "Мицар" и "Алькор". Вопросы к допуску: 1. Назначение телескопа. 2. Виды оптических телескопов. 3. Характеристики телескопов. Основные теоретические сведения Оптические телескопы являются основными астрономическими инструментами. Они предназначены для того, чтобы: 1.Собрать как можно больше света от далекого предмета. 2.Создать вблизи от наблюдателя изображение далекого предмета и позволить таким образом различить подробности, недоступные невооруженному глазу. Существуют весьма сложные системы оптических телескопов, объеди- ненные в три группы: — линзовые телескопы-рефракторы; — зеркальные телескопы-рефлекторы; — зеркально-линзовые. В рефракторах свет собирается объективом, состоящим из линз. В рефлекторах объективом служит вогнутое зеркало, которое называется главным зеркалом. В зеркально-линзовых телескопах одновременно применяются линза и зеркало. При визуальном наблюдении в фокальной плоскости объектива устанавливает- ся окуляр — короткофокусная система линз. Вместо окуляра можно установить чувствительный приемник излучения: фо- топластинку, ФЭУ и т.д. Фокусное расстояние F. Пусть линза (рис.9) есть объектив, на который падают лучи от звезды. Прямая, проведенная через центры кривизны обеих поверхностей объектива, будет его главной оптической осью; в точке F′ рас- положен главный фокус. На рисунке 9 показаны лучи, идущие от другой звезды, находящейся в сто- роне от главной оси. Изображение этой звезды окажется в стороне от главной оси в точке F′, лежащей в фокальной плоскости. Из чертежа ясно, что если смотреть из центра объектива, то угловые расстояния между небесными тела- 32 ми (или между двумя точками одного тела) и их изображениями равны, т.к. ∠FCF′= ∠SCS′. Обозначив эти углы буквой α, мы можем написать уравнение: FF′= F′C tg α. Ввиду малости угла α: tg α = α. То- гда FF′=F′C .α, где α выражается в радианах. Из этого уравнения сле- дует, что одному и тому же угло- вому расстоянию на небе будет соответствовать тем большее изо- бражение FF′, чем большее рас- стояние F′C, т.е. фокусное расстоя- ние объектива. Фокусное расстояние F объектива можно найти, воспользовавшись формулой тонкой линзы. Поместив предмет (например, лампу накаливания) на расстоянии 5-10 м от объектива, находят изображение (например, спирали на тонком листе бумаги, расположенном в месте нахождения окуляра). Далее, изме- рив расстояния от объектива до предмета (d) b и расстояние от объ- ектива до изображения (f), под- ставляют в формулу и находят фо- кусное расстояние F. Диаметр входного отверстия D. Диаметр входного отверстия D объектива, т.е. его рабочей части, не закрытой оправой, определяет количество све- та, которое пропорционально D2 . Проницающая сила телескопа. Видимая звездная величина наиболее слабой звезды, доступной телескопу, определяет его проницающую силу. У зрачка глаза человека при наблюдении ночного неба диаметр d = 6 мм, и для человека со средним зрением доступны наблюдению звезды до 6 m ,5 видимой звездной величины. Объектив диаметром D мм собирает света в (D/d)2 раз больше, и поэтому в него видны звезды во столько же раз более слабые. Ви- димая звездная величина таких звезд определяется формулой Погсона: mt = m + 5 (lgD - lgd), откуда mt = 5 lgD + 2,1. Диаметр выражен в мм. В таблице приводятся приближенные значения прони- цающей силы телескопа с различными входными отверстиями. Фокус З Е Р К А Л О Рефлектор Фокусное расстояние Рефрактор F F′ F α α C S′ S′ S′ S S Рис. 9 33 Диаметр входного отверстия мм. 50 70 100 140 200 250 500 1000 Проницающая сила телескопа 5 m 0 10.3 11.1 11.9 12.6 13.4 13.9 16.9 Относительное отверстие A. Важнейшей величиной, характеризую- щей объектив, является отношение диаметра входного отверстия объектива к его фокусному расстоянию, которое называется относительным отверстием. A=D/F. Количество света, собранное объективом от звезды (точечного источни- ка), будет зависеть только от входного отверстия ( ~ D2 ). Иначе обстоит дело с объектами, имеющими заметные угловые размеры, например с планетами. В этом случае видимая яркость изображения будет уменьшаться, в то время как при наблюдении точечных объектов увеличивается ~ D2 . В самом деле, при увеличении фокусного расстояния F пропорционально увеличиваются и линейные размеры изображения такого светила. При этом количество света, собираемое объективом при неизменном D, остается прежним. Одно и то же количество света распределяется, следовательно, на большую площадь изобра- жения, которое растет ~ F2 . Таким образом, при увеличении F (или, что то же: при уменьшении A) вдвое, площадь изображения увеличивается вчетверо. Ко- личество света на единицу площади, которое определяет яркость изображения, уменьшается в том же отношении. Поэтому изображение будет тускнеть при уменьшении относительного отверстия. Совершенно такое же действие окажет и окулярное увеличение, понижающее яркость изображения в том же отношении, что и уменьшение относительного отверстия A объектива. Поэтому для наблюдения самых протяженных объектов (туманностей, комет) предпочтительно слабое увеличение, но, конечно, не ниже наименьшего по- лезного. Оно может быть значительно повышено при наблюдении ярких планет и в особенности Луны. Увеличение телескопа. Если обозначить фокусное расстояние объектива через F и фокусное расстояние окуляра через f, то увеличение M определится формулой: M = F/f. Увеличение, даваемое телескопом, можно оценить, глядя на предмет одним глазом через телескоп, а другим − непосредственно. Тогда увеличение телескопа: M = B / b, где В – размер изображения, b – размер предмета. Можно найти увеличение телескопа, используя метровую линейку с дециметровыми делениями. Для этого необходимо линейку поместить от телескопа на расстояние порядка 10 м и получить четкое изображение части предмета (линейки). Глядя одновременно одним глазом на изображение, другим – на предмет, выбрать на изображении несколько делений (n′) и определить, скольким делениям (n) на предмете они соответствуют. В этом случае: 34 М = n / n′. Наибольшее допускаемое увеличение при спокойном состоянии атмосферы не превышает 2D, где D — диаметр входного отверстия. Диаметр выходного зрачка. Наблюдаемый предмет виден в телескоп отчетливо лишь в том случае, если окуляр установлен на строго определенном расстоянии от фокуса объектива. Это такое положение, при котором фокальная плоскость окуляра совмещена с фокальной плоскостью объектива. Приведение окуляра в такое положение называется наводкой на фокус или фокусиров- кой. Когда телескоп наведен на фокус, то лучи от каждой точки предмета выходят из окуляра параллельными (для нормального глаза). Световые лучи от изо- бражений звезд, образованные в фокальной плоскости объектива, превращают- ся окуляром в параллельные пучки. Площадка где пересекаются световые пуч- ки звезд, называется выходным зрачком. Наведя телескоп на светлое небо, мы легко можем увидеть выходной зрачок, поднеся к окуляру экран из кусочка белой бумаги. Приближая и удаляя этот экран, мы найдем такое положение, при котором светлый кружочек имеет наименьшие размеры и в то же время наиболее отчетлив. Легко понять, что выходной зрачок есть не что иное, как изображение входного отверстия объектива, образованное окуляром. В выходном зрачке концентрируется весь свет, собираемый объективом. Поэтому, заслоняя часть выходного зрачка, мы как бы заслоняем часть объектива. Отсюда вытекает одно из важнейших правил: выходной зрачок не должен быть больше зрачка глаза наблюдателя, иначе часть света, собранная объективом, будет потеряна. Из определения выходного зрачка следует, что величина его тем мень- ше и он тем ближе к окуляру, чем короче фокусное расстояние окуляра (чем "сильнее" окуляр), и наоборот. F f d D Рис. 10 35 Определим увеличение, которое дает окуляр, образующий выходной зрачок, равный зрачку глаза (наименьшее полезное или равнозрачковое уве- личение m): m = D/δ, где δ — диаметр зрачка глаза. При рассмотрении изображения в фокусе объектива невооруженным глазом, без окуляра, с расстояния ясного зрения мы сможем использовать отверстие объектива лишь в том случае, если его относительное отверстие A не превышает 1:40, т.к. глаз будет находится на расстоянии 25 см позади фокуса объектива. В самом деле, приняв δ = 6 мм, имеем: 42 6 1 256 = = = δ f A , т.к. диаметр зрачка глаза меняется от 6-8 мм (при полной темноте) до 2 мм (при ярком дневном освещении), то наименьшее полезное увеличение будет различ- но при разных условиях и при наблюдении предметов различной яркости. По- ложим, что наблюдается слабый объект (туманность) в темную ночь в телескоп с D = 100 мм. Принимая δ = 6 мм, имеем: m = 100/6 = 16.7. При наблюдении днем, например, Венеры с тем же объективом увеличение m повысилось бы по крайней мере втрое, т.е. до 50, т.к. δ = 2 мм. Фокусное расстояние нужных в этих случаях окуляров легко найти по формулам: f A F m = = δ . Если у нашего телескопа 1/A = 15 (обычное отношение у рефракторов), то фокусное расстояние слабейшего полезного окуляра будет в случае ночного наблюдения туманности равно 15. 6 = 90 мм, а для дневных наблюдений Вене- ры 15. 2 = 30 мм. Величина поля зрения. Угол, под которым диафрагма окуляра видна на- блюдателю, называется угловым полем зрения окуляра, в отличие от углового поля зрения телескопа, представляющего угловой поперечник видимого в телескоп кружка на небе. Если бы в окуляре не было диафрагмы, то поле зрения ограничилось бы оправой его передней линзы, т.к. оправа находится не в фокальной плоскости объектива, то лучи от объектов, находящихся достаточно далеко от оптической оси, частично заслонялись бы ею и, следовательно, предметы, находящиеся у края поля зрения телескопа, выглядели бы тусклее, чем центральные. Такое частичное преграждение света, вызывающее снижение яр- кости на краю поля зрения, называется виньетированием. Во избежание этого диафрагма окуляра, называемая диафрагмой поля, помещается так, чтобы она 36 совпала с фокальной плоскостью объектива. Все, что попадает в отверстие диафрагмы, будет посылать весь свой свет в глаз наблюдателя. Величина поля зрения телескопа равна величине поля зрения окуляра, деленной на увеличение. При обычном окуляре с полем зрения в 40° при увеличении в 40 раз действительное поле зрения телескопа будет равно 1°. Телескоп с фокусным расстоянием в 1600 мм, снабженный таким окуляром с фокусным расстоянием в 20 мм, будет обладать полем зрения в 30′. Тот же окуляр, примененный к 30- дюймовому пулковскому рефрактору (F = 14,06 м), даст увеличение в 703 раза, и его поле зрения будет 40°/703 ~ 3.4′ (5 поперечников Юпитера). Разрешающая способность телескопа. Из-за явления дифракции на краях объектива звезды видны в телескоп в виде дифракционных дисков, окруженных несколькими кольцами убывающей интенсивности. Угловой диаметр дифракционного диска: Θ = λ/D, где λ — длина световой волны и D — диаметр объектива. Если диаметр объектива выражен в мм, длина волны в нм а разрешающая способность – в секундах дуги, то последняя формула примет вид: Θ = 0.25 λ / D. Два точечных объекта с видимым угловым расстоянием Θ находятся на пределе раздельной видимости, что определяет теоретическую разрешающую способность телескопа. Атмосферное дрожание снижает разрешающую способность телескопа до: Θ = 1.22 λ /D. Разрешающая способность определяет возмож- ность различить два смежных объекта на небе. Телескоп с большей разрешающей способностью по- зволяет лучше увидеть два близко расположенных друг к другу объекта, например компоненты двойной звезды. Лучше также можно увидеть детали любого одиночного объекта. Рисунок 11 иллюстрирует, как вид двух близлежащих объектов мог бы изменяться с увеличением разрешающей способности телескопа. Когда угловая разрешающая способность мала, объекты выглядят как одиноч- ное размытое пятно. С увеличением разрешающей способности два источника света станут различимыми как отдельные объекты. Рис. 11 37 Литература: 1.Астрономический календарь. Постоянная часть. М., 2018. 2. Сикорук Л.Л. Телескопы для любителей астрономии. М., 1982. 3. Цесевич В.П. Что и как наблюдать на небе. М., 2018. К зачету необходимо: 1. Знать характеристики объектива и телескопа. 2. Уметь объяснить их назначение. 3. Уметь находить увеличение, фокусное расстояние, выходной зрачок и раз- решающую способность телескопа. 4. Уметь дать сравнительный анализ возможностей телескопов: рефрактора школьного, рефлекторов "Мицар" и "Алькор". Образец заданий 1. Определить диаметр объектива данного телескопа. 2. Определить фокусное расстояние телескопа. 3. Определить относительное отверстие телескопа. 4. Определить возможные увеличения телескопа с предложенными окулярами. 5. Определить проницающую силу телескопа. 6. Определить диаметр выходного зрачка телескопа с предложенным окуляром. 7. Определить разрешающую способность телескопа для длины волны, к которой более чувствителен глаз λ = 0,555 мкм по формуле: (") 140 D θ = . 8. Определить поле зрения телескопа по формуле: M w W = , где w — поле зрения окуляра, М — увеличение телескопа.

***Лабораторная работа № 7***

***ТЕМА: «ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЙ И УСЛОВИЙ ВИДИМОСТИ ПЛАНЕТ».***

***1. Цель работы:*** изучить положение планет на небе в заданный период времени, определить условия видимости и наблюдений заданной планеты. **2.Оборудование:** IBM - совместимый компьютер типа XT/AT 286 и выше, с монитором не хуже EGA 256 K, DOS версии не ниже 3.0, пакет программ ASTRONOM, звездная карта зодиакальных созвездий, подвижная карта звездного неба.

**3.Вопросы к допуску**: 1. Условия видимости планет. 2. Подвижная карта звездного неба. Основные теоретические сведения Мы наблюдаем движение планет Солнечной системы с движущейся вокруг Солнца Земли и это приводит к ряду особенностей в их видимых перемещениях на небе. Траектории движения планет проецируются на неподвижные звезды. Планеты, как и Солнце, движутся только по зодиакальным созвездиям, постоянно пересекая эклиптику, но никогда сильно не удаляются от нее. Хорошие условия для наблюдений имеют только те планеты, которые на- ходятся на значительном удалении от Солнца, при проекции их положений на эклиптику. Меркурий и Венера, имеющие свои орбиты внутри орбиты Земли, никогда не отходят далеко от Солнца. Меркурий может удалиться на 280, Венера − на 480. Поэтому условия для наблюдения Меркурия редко бывают благоприятными. Он почти все время теряется в лучах Солнца. Венера видна всегда перед восходом Солнца или сразу после его захода. Различают периоды утренней и вечерней видимости Венеры. Некоторые древние народы, которые слабо знали астрономию, считали, что это два разных светила и называли Венеру Утренней и Вечерней звездой, в зависимости от того, когда она наблюдалась. Внешние планеты, т.е. имеющие орбиты за орбитой Земли, удаляются от Солнца, в проекции на эклиптику, в любых пределах. Однако бывают времена, когда Солнце проходит по тем же зодиакальным знакам, где в данный момент находится та или иная планета. В этот период условия для наблюдения планеты 39 неблагоприятные, потому что она бывает на видимой части неба днем и теряет- ся в ярких лучах Солнца. Планеты обладают разной скоростью движения. Самые быстрые — Меркурий, Венера, Марс. Планеты, находящиеся далеко от Солнца, движутся медленно. К ним относятся: Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун, Плутон. Так, Меркурий имеет сидерический период обращения 87,97 суток, значит один зодиакальный знак он проходит примерно за неделю. Юпитер же, с сидерическим периодом 11,86 лет, будет двигаться по одному знаку около года. Планеты движутся прямо, в направлении движения Солнца по эклиптике, потом замедляют свой ход, останавливаются и движутся в противоположном направлении. Через какое-то время направление движения снова меняется. Эти движения называются прямыми и попятными. Древние астрономы называли планеты из-за их сложного движения "блуждающими светилами". Прямые и попятные движения планет объясняются различием орбитальных линейных скоростей планеты и Земли. При этом планеты имеют петлеобразные траектории. Размер петли зависит от отношения радиусов орбит планеты и Земли. У Юпитера угловой размер петли около 11°, а у Плутона − всего 3°. При некоторых положениях Земли и планеты, которые можно заранее вы- числить, диск планеты проектируется на яркий диск Солнца. Происходит явление прохождения планеты по диску Солнца. У Меркурия такие про- хождения бывают часто, в среднем одно за 15 лет. У Венеры прохождения по диску Солнца случаются реже. Ближайшее произойдет в 2004 году. Сведения о прохождениях даются в астрономических календарях. Фаза планеты измеряется отношением площади освещенной части видимого диска ко всей его площади. Угол между направлением с планеты на Солнце и Землю называется фазовым углом. При фазовом угле ψ = 180° планета находится между Солнцем и Землей, фаза равна нулю, планета не освещена совсем. Рис.12 Фазовый угол планеты к Солнцу к Земле ψ Рак Путь Марса Эклиптика Лев Регул 40 При фазовом угле ψ = 0° Земля и Солнце находятся по одну сторону от плане- ты, фаза равна 1, видимый диск планеты освещен полностью. Связь между фазой и фазовым углом: 2 cos 2 Ψ Φ = . Для нижних планет фазовый угол изменяется от 0 до 180°. Для Марса — не более 48°,3, для Юпитера — 11°, для остальных меньше 11°. Для верхних планет фаза близка к 1. В среднем планета становится видимой при удалении от Солнца на угол не менее 10° в весеннее и осеннее время и на угол 15° – в зимнее и летнее время года. Поэтому в первом приближении, считая орбиты планет круговыми, можно рассчитать угловое удаление планеты от Солнца, т.е. будет планета наблюдаема в данный момент или нет. Литература: 1. Бакулин П.И., Кононович Э.В., Мороз В.И. Курс общей астрономии. М., 1983. 2. Уипл Ф.Л. Семья Солнца. М., 1984. 1. Цесевич В.П. Что и как наблюдать на небе. М., 1979.

***Образец заданий*** 1. С помощью программного пакета ASTRONOM определить экваториальные координаты Меркурия (15-20 опорных точек) с 1 октября по 1 декабря 1999 года и Юпитера с 1 августа 1999 года по 1 декабря 2000 года.

2. Нанести по полученным координатам опорные точки на звездную карту зо- диакальных созвездий и построить траекторию видимого движения планеты, отмечая даты нахождения планеты в данных точках.

3. Провести анализ полученной траектории. Отметить: даты прямого и попят- ного движения; созвездия и яркие звезды, среди которых лежит путь плане- ты, даты максимального углового удаления от Солнца.

4. Определить, в каких конфигурациях находится планета в указанный период.

5. С помощью масштабного чертежа, считая орбиты планет круговыми, определить, наблюдаемы ли 20 декабря планеты, если они ранее были в следую- щих конфигурация: а) 15 июня Венера в нижнем соединении; б) 10 мая Юпитер в противостоянии. 41 M1 V1 Рис. а. Солнце T1 T2 M2 V2

6. С помощью подвижной карты звездного неба определить, в какое время суток и в каком направлении наблюдаема Венера в наибольшей восточной элонгации.

. Используя программный пакет ASTRONOMY LAB, определить даты наи- лучшей видимости вышеуказанных планет с 1 сентября по 31 декабря теку щего года. Найти для данных дат моменты восхода и захода планет, угловое удаление от Солнца, расстояние от Земли и видимую звездную величину. ***Примеры выполнения некоторых заданий***

***1***. С помощью масштабного чертежа, считая орбиты планет круговыми, определить, наблюдаемы ли 1 сентября планеты, если они ранее были в следующих конфигурациях: а) 1 декабря Венера в верхнем соединении; б) 1 декабря Марс в западной квадратуре. Определить, будут ли наблюдаемы 1 сентября планеты, можно при помощи масштабного чертежа и транспортира. Чертеж в масштабе обозначает изображение орбит планет в виде концентрических окружностей, радиусы которых соотносятся как большие полуоси орбит данных планет (рис.а). Допустим, 1 декабря Земля находилась в точке Т1, тогда Венера – в точке V1, а Марс – в точке М1. Спустя 9 месяцев (точнее 274 суток) Земля пройдет по своей орбите (l = n × ∆t, где n – средняя угловая скорость орбитального движения, ∆t – время движения.) 0°.9856 × 274 ≈ 270° и окажется в точке Т2, Венера пройдет 1°.6021 × 274 ≈ 439° (точка V2), а Марс – 0°.524 × 274 ≈ 143°.5 (точка М2). Теперь, измерив угол ∠V2T2S (∆λV) и угол ∠M2T2S (∆λM), можно в первом приближении говорить о видимости этих планет на данную дату.

Итак, ∆λV ≈ 34°, а ∆λM ≈ 65°, т.е. в данном случае обе планеты наблюдаемы. ***Лабораторная работа № 8***

Тема: «***СПЕКТРЫ И СВЕТИМОСТЬ ЗВЕЗД».***

**1.Цель работы:** изучение классификации звездных спектров, диаграммы Герцшпрунга-Рессела, определение светимостей звезд. Оборудование и пособия: IBM - совместимый компьютер типа XT/AT 286 и выше, с монитором не хуже EGA 256 K, DOS версии не ниже 3.0, пакет программ ASTRONOM, астрономический календарь (постоянная часть), щеле- вые спектрограммы звезд.

***Вопросы к допуску:*** 1. Гарвардская классификация звездных спектров. 2. Диаграмма Герцшпрунга-Рессела.

**Основные теоретические сведения** Спектральная классификация. Звездные спектры позволяют изучать физические характеристики звезд и судить о процессах, происходящих в их не- драх. Звезды имеют непрерывные спектры, на которые накладываются темные и яркие спектральные линии. Различия спектров звезд заключаются в количест- ве и интенсивности наблюдаемых спектральных линий, а также в распределе- нии энергии в непрерывном спектре. Часть лучей, проходящих через атмосферу звезды, поглощается, причем это поглощение может быть непрерывным, когда ослабляется некоторый более или менее протяженный участок спектра, и избирательным, когда поглощаются узкие участки спектра. Спектры большинства звезд удалось расположить в виде последователь- ности, вдоль которой линии одних химических элементов постепенно ослабе- вают, а других — усиливаются. Сходные между собой спектры объединяются в спектральные классы. Тонкие различия между ними позволяют выделить под- классы. Звезды, принадлежащие различным спектральным классам, отличаются своими температурами. Эта классификация была впервые применена на Гарвардской обсерватории в начале ХХ века. Позднее Гарвардская классификация дополнялась, видо- изменялась и сегодня — это сложная схема с множеством индексов и подразде лов. В результате работы гарвардских астрономов появился “Каталог Генри Дрэпера”, содержащий спектральные характеристики 225 320 звезд северного и 43 южного полушария неба и включающий практически все звезды до 9 зв. величины. В Гарвардской классификации спектральные типы обозначены буквами латинского алфавита WN C R - N Q - P - W - O - B - A - F - G - K - M . WC S Класс О. Большая интенсивность ультрафиолетовой области свидетель- ствует о высокой температуре. Свет этих звезд кажется голубоватым. Наи- более интенсивны линии ионизованного гелия и, многократно ионизован- ных, углерода, кремния, азота, кислорода. Есть слабые линии нейтрального гелия и водорода. Температура фотосферы - 30 000 К. Класс В. Наибольшую интенсивность имеют линии нейтрального гелия. Хорошо видны линии водорода. Цвет го- лубовато-белый. Температура - 20 000 К. Типичная звезда — Спика. Класс А. Линии водорода достигают наибольшей интенсивности. Хорошо видны линии ионизованного кальция. Цвет белый. Температура — 10 000 К. Типичные звезды — Вега, Сириус. Класс F. Линии водорода ослабевают. Усиливаются линии ионизованных металлов (кальция, железа, титана). Цвет желтоватый. Температура — 7 000 К. Типичная звезда — Процион. Класс G. Очень интенсивны линии ионизованного кальция. Цвет желтый. Тем- пература — 6 000 К. Типичная звезда — Солнце. Класс K. Фиолетовый конец ослаблен, что свидетельствует о сильном умень- шении температуры. Цвет красноватый. Температура — 4 000 К. Типичные звезды — Арктур, Альдебаран. Класс М. Линии металлов ослабевают. Спектр пересечен полосами поглоще- ния молекул окиси титана и других молекулярных соединений. Цвет красный. Температура — 3 000 К. Типичная звезда — Бетельгейзе (альфа Ориона). Водород Гелий Углерод Гелий Железо Кальций Кислород Железо Натрий Магний Кислород Окись титана метила дин Рис. 13 Спектры 44 Кроме основных классов есть ответвления от классов G и К, представляющие собой звезды с аномальным химическим составом, отличающимся от химического состава большинства других звезд. Класс С. Содержит углеродные звезды. В спектрах выделены линии поглоще- ния атомов и полос поглощения молекул углерода. Класс S. Циркониевые звезды. Вместо полос окиси титана присутствуют поло- сы окиси циркония. В классах R и N заметны различные молекулярные соединения. Буквой Q обозначаются спектральные классы новых звезд. Буквой Р обозначаются спектральные классы спектров планетарных ту- манностей. Буквой W обозначаются спектры звезд типа Вольфа-Райе — очень горячие звезды, в спектрах которых много эмиссионных линий. В спектрах звезд WN видны спектральные линии азота. В спектрах звезд WС видны спектральные линии углерода. Температуры фотосфер этих звезд очень высоки: от 60 000 до 100 000 К. Внутри каждого спектрального класса можно установить плавную после- довательность подклассов, переходящих из одного в другой. Каждый класс (кроме О) делится на 10 подклассов, обозначаемых цифрами от 0 до 9, которые ставятся после буквы. Спектральный класс О делится на подклассы от О4 до О9,5. После таких обозначений ставятся разные значки, если спектр обладает особенностями. Если присутствуют эмиссионные линии, ставится буква е. Звезды-сверхгиганты часто отличаются глубокими узкими линиями. Это отме- чается буквой с (сF0). Давление газа в той области звездной оболочки, где образуются спектральные линии, влияет на их ширину. При малой плотности и малом давлении спектральные линии тонкие и резко очерченные. Эта особенность указывает на высокую светимость. Интенсивность избранных линий поглощения позволяет судить о свети- мости звезды, является она гигантом или карликом. В первом случае перед спектральным классом ставится индекс g (гигант), во втором — d (карлик). Другие особенности, нетипичные для данного класса обозначаются буквой p (pecular) — пекулярные спектры (А5p). Осевое вращение звезд приводит к расширению и размыванию спек- тральных линий. Поэтому введены индексы n — диффузные линии, и s — резкие линии, они пишутся рядом с обычным символом спектрального класса. Сравнивая спектрограмму звезды со стандартными звездными спектрами, можно установить подкласс звезды и приближенно оценить ее температуру. Различия в деталях спектров одного и того же подкласса позволяют оценить светимость звезд. Светимостью называется поток энергии, излучаемый звездой по всем направлениям. lg(Lз /Lс) = 0,4 (Мс - Мз), 45 где Мс и Мз — абсолютные звездные величины Солнца и любой звезды соот- ветственно, а Lс и Lз — их светимости. Обычно светимость Солнца принимает- ся равной единице и светимости звезд выражаются в единицах светимости Солнца. Тогда: lgLз = 0,4 (Мс - Мз). Абсолютную звездную величину звезды можно найти по формуле. М = m + 5 - lg r. А если она известна, можно найти расстояние до звезды. lgr m M = − + 5 1 Разность между фотографической и визуальной звездными величинами называется показателем цвета С. С = mфот - mвиз = Mфот - Mвиз. Температура может быть найдена по формуле: T C = m + 7200 0 64 0 , . Помимо Гарвардской классификации была разработана еще спектральная классификация звезд по светимостям. Она называется Йеркская классификация или “классификация МКК” по имени разработчиков — Моргана, Кинана и Колльмана. В этой классификации оставлены спек- тральные классы Гарвардской классифика- ции, но введено понятие о классе светимости, который определяется по виду и отно- сительной интенсивности некоторых из- бранных для этой цели спектральных линий. Класс светимости — это характери- стика абсолютной звездной величины. Ia — яркие сверхгиганты (светимость около 10 000). Iab — промежуточные сверхгиганты. Ib — слабые сверхгиганты (светимость 5 000). II — яркие гиганты. III — слабые (нормальные) гиганты. IV — субгиганты. V — главная последовательность (до спек- трального класса F – гиганты, после – карлики). VI — субкарлики. VIIa и VIIb — белые карлики. с в е т и м о с т ь Температура фотосферы Спектральная классификация Белые карлики Красные карлики Солнце Главная последовательность Сверхгиганты Рис.14 Диаграмма Герцшпрунга-Рассела 46 Диаграмма Герцшпрунга-Рассела. В 1905 году Эйнар Герцшпрунг и в 1910 году Генри Рассел установили существование зависимости между видом спектра и светимостью звезд. Эта зависимость иллюстрируется графиком, по одной оси которого от- кладывается спектральный класс, по другой — абсолютная звездная величина. Эта диаграмма называется диаграммой спектр-светимость или диаграммой Герцшпрунга-Рассела. Положение каждой звезды на диаграмме определяется ее физической природой и стадией эволюции. Поэтому на диаграмме запечатлена вся история рассматриваемой системы звезд. Диаграмма позволяет выделить различные группы звезд, объединенные общими физическими свойствами, и установить зависимость между некоторыми их физическими характеристиками. С помощью диаграммы можно исследовать химический состав и эволюцию звезд. Верхняя часть диаграммы соответствует звездам большой светимости, которые при данном значении температуры отличаются большими размерами. Здесь располагаются гиганты и сверхгиганты. Нижняя часть диаграммы занята звездами малой светимости. Здесь находятся карлики. В левой части располагаются горячие звезды более ранних спектральных классов, а в правой — более холодные звезды, соответствующие более поздним спектральным классам. Диагональ идущая слева вниз направо, называется главной последова- тельностью. Вдоль нее расположены звезды, начиная от самых горячих до наи- более холодных.

***Литература:*** 1. Астрономический календарь. Постоянная часть. М. 2018. 2. Бакулин П.И., Кононович Э.В., Мороз В.И. Курс общей астрономии. М., 2018. 3. Цесевич В.П. Что и как наблюдать на небе. М., 2018. Для получения зачета необходимо: 1. Знать основные спектральные классы звезд. 2. Уметь работать с диаграммой Герцшпрунга - Рассела. 3. Выполнить задания. Образец заданий 1. Классифицировать сфотографированные щелевым спектрографом предложенные спектры звезд. 47 2. Вычислить расстояние, абсолютную визуальную и фотографическую величину предложенных звезд по формулам, приведенным в описании. 3. Найти значения абсолютной звездной величины и светимости предложенных звезд с помощью программного пакета ASTRONOM. 4. Изучить положение этих звезд на диаграмме Герцшпрунга-Рассела, определить, к каким классам светимости они относятся. 5. Перейти к диаграмме “спектр-масса”, найти значение массы, радиуса и плотности. 6. Пользуясь нижеприведенной таблицей, построить график зависимости между показателем цвета и температурой звезд, указав на том же графике основные спектральные классы. Шкала эффективных температур звезд Спект р Показатель цвета

***Лабораторная работа № 9 КРАТНЫЕ ЗВЕЗДЫ***

**1.Цель работы:** определение блеска, светимости и расстояния между звез- дами в двойной системе.

**2.Оборудование и пособия:** астрономический календарь (постоянная часть), калькулятор.

**Вопросы к допуску:** 1. Типы кратных звездных систем. 2. Характеристики затменно-переменных и спектрально-двойных звездных систем. Основные теоретические сведения Двойные и кратные звезды. Наблюдения показывают, что некоторые звезды объединены в физически связанные между собой.

### .Лабораторная работа № 8 «В мире звезд».

Цель работы: обобщить и структурировать знания о параметрах звёзд, их взаимосвязях.

Быть может, было бы интереснее и полезнее, если измерение параметров звезд (видимая звездная величина, спектральный класс, параллакс) выполнялась под звездным небом у телескопа. Но в рамках одного урока представляется возможным лишь почерпнуть эти данные из таблиц. Первые два параметра, скорее всего, учащиеся не раз оценивали «на глаз»: все наблюдали звезды различного блеска, оценивали цвета ярчайших из них. То есть за основу берутся параметры, наблюдаемые с Земли.

Астрономы измеряют и расстояния до звезд, что не в состоянии сделать глазомер человека. Именно отсутствие «видения» данного параметра не позволят нам представить мир звезд в объеме (3D). Нам кажется, что небесные светила расположены на одинаково далеком расстоянии, как будто на большом куполе.

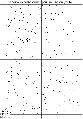
Данная работа, как нам кажется, позволит несколько отойти от этого представления, как будто заглянуть за границы «купола» подобно персонажу знаменитой иллюстрации астронома XIX века К. Фламмариона. При помощи проведенных вычислений физических параметров звезд (светимость, радиус) оценить, каковы эти звезды там, «вблизи», гигант это или карлик, звезда на основном этапе жизни или умирающая звезда. Полеты к звездам пока невозможны, но силой знания мы может представить, что мы бы увидели в космических далях.

Обсуждаются некоторые парадоксы. Например, с помощью соответствующих вопросов подводим учеников к выводу, что практически все оранжевые и красные звезды, которые мы видим на небе – гиганты (потому что карлики слабые), и что среди ближайших к Солнцу звезд нет гигантов, иначе бы мы могли видеть звезду, сравнимой по блеску с полной Луной! Чтобы сделать такой вывод, учащиеся «помещают» Бетельгейзе на расстояние близкого Сириуса.

Результат выполнения этой работы мы оцениваем как хороший. Для выполнения работы требуются инженерные калькуляторы, которые не всегда оказываются в наличии.

### Лабораторная работа № 3. "Линза Гершеля: открытие нашей Галактики".

***Цель работы*** – методом подсчета звезд в заданных участках неба с разделением по звездным величинам (методом «черпаков») придти к выводу об ограниченности звездной системы – Галактики, а также сделать выводы о ее форме. Ученики работают с распечатками карт (использовалась программа Guide 8) двух участков неба – участка из созвездия Стрельца, лежащего в Млечном пути, и участка из созвездия Большой Медведицы, удаленной от Млечного пути, на которых отмечены звезды до 9, 10, 11, 12, 13, 14 звездной величины. Требуется посчитать по картам количество звезд по ступеням звездных величин.

* [](http://letopisi.org/index.php/%D0%A4%D0%B0%D0%B9%D0%BB:Strelec.gif)

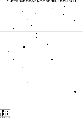
* [](http://letopisi.org/index.php/%D0%A4%D0%B0%D0%B9%D0%BB:Uma.gif)

Рис. 2. Карты участков из созвездий Стрельца и Б. Медведицы до 14m.

Как это сделать? Как посчитать количество звезд, например, между 8m и 9m? Так как все атласы и фотографии изображают звезды от самой яркой до заданной, сделать это просто, если даны два изображения одного участка: до 8m и 9m. Нужно посчитать количество звезд в обоих и вычесть из одного другое. Затем вычисляется количество звезд 9-й величины (т.е. между 9m и 10m), 10-й и т.д. для обоих участков.

Начиная с 12m считать по всему участку становится утомительно, поэтому для облегчения работы используем следующий прием: считаем в одном из 8-ми квадратов, затем умножаем на их количество. Так как в работе важно сделать оценки, небольшие ошибки здесь картины не испортят. Учащиеся считают количество звезд на каждой полученной распечатке участка неба и заполняют таблицу.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Диапазоны зв. величин** | **Кол-во звезд в участке в Стрельце** | **Кол-во звезд в участке в Б.Медведице** |
| 9-е (9m-10m) | ... | ... |
| ... | ... | ... |  |
| 14-е(14m-15m) | ... | ... |  |

Под теоретической зависимостью мы подразумеваем следующее. Предполагается, что до огромных расстояний плотность звезд была бы такой же, какая в окрестностях Солнца. Ученые подсчитали, что при этом каждая новая, все более слабая ступень, будет в 4 раза больше предыдущей. Качественно это видно невооруженным гласом: слабых звезд на небе больше, чем ярких. Для размеров данных участков на ступени 8-х звездных величин получается 1 звезда (это грубая оценка). Тогда для 9-х получится 4 звезды и т.д.

Далее учащиеся по данным второй таблицы строят три диаграммы распределения количества звезд (по оси y) по ступеням звездных величин (по оси x) в порядке ослабления для участков в Стрельце и в Большой Медведице и график теоретической зависимости. Результат выглядит так:

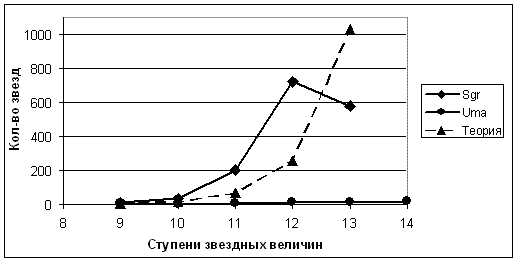
[](http://letopisi.org/index.php/%D0%A4%D0%B0%D0%B9%D0%BB:Grafik.gif)

Рис. 3. Диаграммы распределения количества звезд по ступеням зв. величин.

График участка на Млечном пути резко идет вверх, более резко, чем теоретическая зависимость. Это означает, что чем дальше от Солнца, тем звезды плотнее, к центру Галактики они и должны быть плотнее. Но потом идет спад. Объясняется это наличием облака темной пыли, т.н. «угольного мешка». На участке около галактического полюса наблюдается относительно мало слабых звезд. Значит, звезды в том направлении редеют и в какой-то момент должны закончиться. То есть здесь близок край Галактики.

Результаты очень эффектны! Когда просто смотришь невооруженным глазом, кажется, что везде звезды, и вроде как более-менее с одинаковой интенсивностью. Это потому что видим преимущественно близкие звезды. Такое очень грубое допущение о том, что чем слабее звезды, тем они дальше, не помешало астроному начала XX века Я. Коптейну приближенно оценить форму и размеры Галактики. Дальние звезды становятся все плотнее в сторону созвездия Стрельца в и выглядит так, как будто на небе «разлито молоко». Учащиеся убеждаются, что подобный светлый фон состоит из звезд, делают попытки построить пространственную форму нашего звездного острова. Млечный путь опоясывает все небо, делается вывод, что Галактика имеет форму линзы, в которой находится и Солнце. Но наша звезда находится не в центре, потому что есть участки, где звезды еще плотнее. Здесь учащиеся вспоминают, что в направлении созвездия Стрельца находится центр Галактики.

В науке первым подобную оценку сделал английский астроном рубежа XVIII-XIX веков В. Гершель. Учащиеся не просто изучают историю астрономии, хронологию открытий, но и сами в упрощенной форме повторяют исследования ученых.

Результат проведения работы хороший. Как показала практика, это работа оказалась самой интересной для учеников. С каким удовольствием они считали звезды! К тому же смогли, работая с реальными картами, сделать вывод о строении Галактики, то есть на практике убедиться в верности теоретических (полученных на уроках) знаний.

Отметим, что перед выполнением работ учащиеся должны быть теоретически подготовлены (материал должен быть объяснен учителем на предыдущем уроке и повторен по теоретическому введению в распечатках заданий), перед ними должна быть поставлена исследовательская задача и в общих чертах обрисован результат, который должен быть получен. После выполнения работы (обычно на следующем уроке) обязательно должно происходить коллективное обсуждение результатов и сделанных учениками выводов.

***Лабораторная работа № 9*** . ***КРАТНЫЕ ЗВЕЗДЫ .***

***1.Цель работы:*** определение блеска, светимости и расстояния между звез- дами в двойной системе.

2. ***Оборудование и пособия:*** астрономический календарь (постоянная часть), калькулятор.

3. ***Вопросы к допуску:*** 1. Типы кратных звездных систем.

2. Характеристики затменно-переменных и спектрально-двойных звездных систем. Основные теоретические сведения Двойные и кратные звезды. Наблюдения показывают, что некоторые звезды объединены в физически связанные между собой пары. Они называются физическими двойными звездами. Существуют также случайные объединения звезд, когда кажется, что звезды образуют пару вследствие эффекта проекции двух физически не связанных объектов. Такие пары называются **оптическими.**

Двойные звезды встречаются очень часто. Их изучение важно для выяснения природы звезд и для космогонических проблем происхождения и эволюции звезд. Оба компонента пары сильно притягиваются друг к другу, но сила притяжения уравновешивается центробежной силой вращения. Это приводит к орбитальному движению вокруг общего центра масс. Скорость этого движения и форма орбиты несут информацию о массах небесных тел. Двойные системы очень многообразны. Существуют пары настолько близкие друг к другу, что их поверхности почти соприкасаются. Приливное взаимодействие приводит к тому, что компоненты приобретают форму эллипсоидов и с их поверхностей вещество перетекает с одного компонента на другой или даже постепенно выбрасывается за пределы системы. Периоды обращения таких систем составляют несколько часов. Двойственность тесной системы обнаруживается с помощью спектрографа, а также путем изучения взаимных затмений, вызывающих переменность блеска. Эти звезды нельзя увидеть раздельно. Такие системы называются спектрально-двойными или фотометрическими двойными, в зависимости от того, с помощью спектрографа или фотометра устанавливается двойственность.

Когда два компонента разделены сильнее, на расстояние в несколько сотен радиусов, их можно различить в телескоп. Такие пары называют визуально- двойными. Расстояния между компонентами этих пар могут быть столь велики, что притяжение других звезд способно разрушить двойную систему. Компоненты могут быть одинаковыми и совсем разными. Иногда одна из звезд настолько мала, что не видна и выдает свое присутствие, вызывая аномалии в движении главной звезды. Такие системы называются астрометрическими двойными. Часто встречаются кратные звездные системы, состоящие из нескольких звезд. При этом такие пары могут быть одновременно визуально-двойными, спектрально-двойными и иметь невидимые спутники. Например, звезда Альфа Центавра. Затменно-переменные звезды. Кривые блеска, определение орбит компонент и физических характеристик. Затменными переменными называются такие неразрешимые в телескопы тесные пары звезд, видимая зв. величина ко- торых меняется вследствие периодически наступающих для земного наблюда- теля затмений одного компонента системы другим. В этом случае звезда с большей светимостью называется главной, а с меньшей — спутником. Типичные примеры — Алголь (β Персея) и β Лиры.

Вследствие регулярно происходящих затмений главной звезды спутни- ком, а также спутника главной звездой, суммарная видимая зв. величина меня- ется периодически. График, изображающий изменение потока излучения звезды со временем называется кривой блеска. Момент времени, в который звезда имеет наименьшую видимую звездную величину, называется эпохой максимума, а наибольшую — эпохой минимума. График изменения блеска затменно-двойной звезды . Разность звездных величин в минимуме и максимуме называется амплитудой, а промежуток времени между двумя последовательными максимумами или минимумами — периодом переменности. По характеру кривой блеска затменной переменной звезды можно найти элементы орбиты одной звезды относительно другой, относительные размеры компонентов, представление об их форме. На кривой блеска видны два минимума — глубокий, соответствующий затмению главной звезды, и слабый, возникающий, когда главная звезда затме вает спутник. На основании детального изучения кривых блеска можно получить следующие данные о компонентах затменных переменных звезд:

1. Характер затмений определяется наклонением и размерами звезд.

Когда диск одной звезды полностью перекрывается диском другой, соответствующие области кривой блеска имеют плоские участки, что говорит о постоянстве излучения системы в течение некоторого времени. Если затмения частные — минимумы острые. Если звезды примерно равны по размерам, минимумы и максимумы кривой примерно одинаковы, если одна звезда значительно меньше, то максимум сильно превосходит минимум. 2. На основании продолжительности минимумов находят радиусы компонентов выраженные в долях большой полуоси орбиты, так как продолжительность затмения пропорциональна диаметрам звезд. 3. Если затмение полное, то по отношению глубин минимумов можно найти отношение светимостей, а при известных радиусах — отношение эффективных температур звезд. 4. Плавное изменение кривой блеска говорит об эллипсоидальности, вызванной приливным воздействием очень близких компонентов двойных звезд. В настоящее время известно около 4000 затменных звезд различных ти- пов. Минимальный известный период — около часа, максимальный более 57 лет. Спектрально-двойные звезды. В спектрах некоторых звезд наблюдаются периодическое раздвоение или колебание положения спектральных линий. Если эти звезды являются затменными переменными, то колебания линий происходят с тем же периодом, что и изменение блеска. При этом в моменты соединений, когда обе звезды движутся перпендикулярно лучу зрения, отклонение спектральных линий от среднего положения равно 0. Если наблюдаемый спектр принадлежит только одной звезде, то вместо раздвоения линий наблюдается их смещение то в красную, то в синюю область спектра. Зависимость от времени лучевой скорости, определенной по смещениям линий, называется кривой лучевых скоростей. В настоящее время известно около 2500 звезд, двойственная природа которых установлена только на основании спектральных наблюдений. Для 750 из 51 них получены кривые лучевых скоростей, позволяющие найти периоды обращения и форму орбиты. Так как энергия, получаемая нами от кратной звезды равна сумме энергий от каждой из компонент, то блеск Е кратной звезды равен сумме блеска ее ком- понентов: Е = Е1 + Е2 + ..., и поэтому ее видимая m и абсолютная М звездные величины всегда меньше звездной величины mi и Mi любого компонента. Вычисление суммарной звездной величины легче всего произвести, пользуясь соответствующими таблицами. Если видимую звездную величину более яркого компонента обозначить через m1, а более слабого − через m2, то m2 > m1, и по разности ∆m = m2 - m1 в таблицах отыскивается поправка ∆m′, позволяющая определить m = m1 - ∆m′. Этот табличный метод может быть последовательно применен к компо- нентам звезды любой кратности. Согласно формуле Погсона отношение блеска двух звезд Е1 и Е2 связано с их звездными величинами m1 и m2 , Таким образом, зная видимые звездные величины компонент кратной звезды, можно вычислить отношение блеска этих звезд. Энергия, проходящая в единицу времени через замкнутую поверхность, окружающую данный источник излучения, называется его светимостью. Следовательно, блеск звезды пропорционален ее светимости и обратно пропорцио- нален квадрату расстояния до нее. Обозначим светимость буквой L, расстояние до звезды − буквой r, а коэффициент пропорциональности − k. Для двух звезд имеем 2Деля первое равенство на второе, получим. Если две звезды составляют физически двойную звезду, то расстояние до этих звезд практически одинаково: r1 = r2. Тогда получим: Отношение блеска двух звезд системы равно отношению их светимостей. Линейное расстояние между компонентами физически двойной звезды может быть вычислено только в том случае, если известны годичный параллакс π и наклонение i орбиты компонента — спутника к картинной плоскости, т.е. к плоскости, перпендикулярной к лучу зрения наблюдателя. Эта плоскость касательна к небесной сфере в той ее точке, в которой находится звезда.

Если i не известно, то можно установить лишь проекцию между звездами на картинную плоскость. Пусть компоненты двойной звезды видны под углом ρ”, параллакс двой- ной звезды равен π“, расстояние между компонентами d, проекция этого рас- стояния на картинную плоскость — dn, расстояние от Земли до Солнца равно одной через r, получим: dn = r sin ρ”; a0 = r sin π“; так как ρ” и π“ очень малы, то " " sin ρ " = ρ .Следовательно, dn / a0 = ρ”/ π“. Но a0 = 1 а.е. Тогда dn = ρ”/ π“. В таком случае dn вычисляется в астрономических единицах. Образец заданий 1. По кривой изменения блеска затменной переменной звезды определить: а) характеристики звезд пары: размеры относительно друг друга и относительно их орбиты; составляет ли блеск спутника заметную долю блеска главной звезды; б) форму, характер затмения (полное, частное или кольцеобразное); в) период обращения звезд; г) продолжительность затмения. 2. Вычислить проекцию на картинную плоскость линейного расстояния между компонентами, отношение их светимостей и суммарную видимую звездную величину (приняв, что если m0 = 0, то Е0 = 1), двойных звезд: а) β Скорпиона б) γ Девы 3. Определить по таблице общую видимую звездную величину двойных звезд:

а) γ Девы б) γ Дельфина .

4. Определить общую светимость, приняв светимость Солнца = 1, двойной звезды β Скорпиона.

5. Определить видимую звездную величину каждого компонента трехкратной звезды по ее общей видимой звездной величине m и соотношению блеска Е между компонентами: m = 3m , первый компонент ярче третьего в 3.5 раза; второй компонент ярче третьего в 1.9 раза. ***Примерывыполнениянекоторыхзаданий***

1. Вычислить проекциюна картиннуюплоскость линейного расстояниямежду компонента- ми и суммарную видимую звездную величину (приняв, что если m0 = 0, то Е0 = 1), двойной звезды: β Скорпиона. Проекцию на картинную плоскость линейного расстояния dn между компонентами двойной звездыможновычислить, зная угловое расстояние между омпонентамиρ″игодичныйпа- раллакс π″ этой звезды. Угловое расстояние ρ″ взять из таблицы «Двойные и кратные звезды» астрономического календаря (напр. Школьного) ρ″= 14″, а годичный параллакс π″можно най- ти, знаярасстояние (из тойже таблицы) доданнойдвойнойзвездывпарсекахr(пс). Втаблицеr может быть дано в световых годах, как в данном случае: r =650 св. лет. Переведем в парсеки, зная, что 1пс = 3.26 св.лет. Получим: r = 650 / 3.26 =199.4 пс. Тогда годичный параллакс π″ = 1/r(пс), т. е. π″=1/ 199.4 = 0″.005 . А проекция на картинную плоскость линейного расстояния в астрономическихединицахdn = ρ″/ π″.Т. е. dn= 14 / 0.005 = 2791 а.е.. Суммарную видимую звездную величину m можно найти, используя формулу Погсона (приняв, что если m0 = 0, тоЕ0 = 1), записаннуюдля логарифмаотношенияблескаданнойдвой- нойкблескузвездыспараметрами m0 = 0 иЕ0 = 1, т.е. lg(E / E0) = 0.4(m0 - m) ⇒ lgE = -0.4m. От- кудасуммарнаявидимаязвезднаявеличинаm = -2.512 lgE(\*), гдеE– суммарныйблескдвойной звезды. КакизвестноE = E1 + E2, гдеE1 – этоблескпервогокомпонента, аE2– этоблесквторого компонента. Блеск отдельных компонентов можно найти по формулам Погсона, записанным дляотношенияблескаданногокомпонентакблескузвездыспараметрами m0 = 0 иЕ0 = 1, т.е. E1 / E0 = 2.512(m0 - m1) и E2 / E0 = 2.512(m0 -m2) , где m1 и m2 – видимые звездные величиныкомпонентов двойнойзвезды, данныевтаблице. Учитывая m0 = 0 иЕ0 = 1, получаемE1 = 2.512(- m1) иE2 = 2.512(- m2) . Длянашей звездыm1 = 2m .6иm2 = 4m .9.ПоэтомуE1 = 2.512(-2.6) = 0.09иE2 = 2.512(-4.9) = 0.01. ДалееE = E1 + E2 = 0.1. Подставляяв (\*), получаемm = -2.512 lg(0.1) = 2m .512. 54 2. Определить, приняв светимость Солнца Lc = 1, общую светимость двойной звезды β9Скорпиона. Суммарнаявидимаязвезднаявеличинаэтойзвезды m = 2m .512. Известно, что блеск звезды пропорционален ее светимости и обратно пропорционален квадратурасстояниядонее: E = k L / r2 . ТожеможнозаписатьидляСолнца: Eс = k Lс / rс 2 .Разде- лимпервоевыражениенавтороеивыразимсветимостьзвезды: ОтношениеE / EcпоформулеПогсона: СучетомLс = 1, получаем: Видимая звездная величина Солнца mc = -26m , расстояние до Солнца rc = 1 а.е., видимая звездная величинаβСкорпиона m = 2m .512, арасстояниедонее r = 650 св. лет. Выразивr ва.е., получимr = 41126475 а.е.. Подставляявформулу, получаем: L = 411264752 × 2.512(-26-2.512) = 6651. 3. Определить видимую звездную величину каждого компонента трехкратной звезды по ее общей видимой звездной величине m и соотношению блеска Е между компонентами: m = 3 m ,74 первыйкомпонентярчетретьегов 3.5 раза; второйкомпонентярчетретьегов 1.9 раза. Сначала запишемотношения блескамеждукомпонентами, данные в условии: E1 / E3 = 3.5, E2 / E3 = 1.9. Отсюда E1 = 3.5E3, E2 = 1.9 E3. Видимую звездную величину каждого компонента трехкратной звезды по ее общей видимой звездной величине m можно определить, используя формулу Погсона, записанную для логарифма отношения блеска данного компонента к сум- марному (общему) блескузвезды: например, lg(E / E3) = 0.4(m3 - m).Отсюдаm3 = m+ 2.5 lg(E / E3) (\*). Суммарный (общий) блеск звезды: E = E1 + E2 + E3. ПодставивE1 = 3.5E3 и E2 = 1.9E3, полу- чимE = 3.5E3 + 1.9E3 + E3 = 6.4E3. Следовательно, E / E3 = 6.4. Подставив в (\*), и в итоге будем иметьm3 = 3m .74 + 2.5 lg(6.4) = 5m .75. Видимую звездную величину первого компонента найдем, используя формулу: lg(E1 / E3) = 0.4(m3 – m1).Отсюдаm1 = m3 – 2.5 lg(E1 / E3).ПодставивE1 / E3 = 3.5иm3, получимm1 = 5m .75– 2.5 lg(3.5) = 4m .38. Видимуюзвезднуювеличинувторогокомпонентанайдем, используяформулуlg(E2 / E3) = 0.4(m3 – m2). Отсюдаm2 = m3 – 2.5 lg(E2 / E3).ПодставимE2 / E3 = 1.9иm3, получимm1 = 5m .75– 2.5 lg(1.9) = 5m .05. . 2 2 c r r Ec E L = Lc ( ) .2 512 . m m Ec E c− = ( ) .2 512 . 2 2 m m r r L c c − = 55 ***Лабораторная работа № 10***

ТЕМА: «СОБСТВЕННЫЕ ДВИЖЕНИЯ И ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ СКОРОСТИ ЗВЕЗД. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ВЗАИМНОГО РАСПОЛОЖЕНИЯ ЗВЕЗД (ВИДИМЫХ ФИГУР СОЗВЕЗДИЙ) ИЗ-ЗА СОБСТВЕННОГО ДВИЖЕНИЯ ЗВЕЗД».

***1. Цель работы:*** изучить характер и условия собственного движения звезд.

***2.Определить*** как изменятся фигуры созвездий через длительные промежутки времени.

***3.Оборудование:*** каталог звезд ярче 4m ,5 в системе V, (находящийся в компьютерной базе данных или в Астрономическом календаре (постоянной части)), ПЭВМ, звездная карта, содержащая необходимый для работы участок неба.

***4.Вопросы к допуску:*** 1. Собственные движения звезд, их причина и характеристика. 2. Созвездия и их построение. 3. Карта звездного неба, звездные каталоги, экваториальная система координат, изменение координат ***звезд.***

***5.Литература:*** 1. Астрономический календарь. Постоянная часть. М., 2018. 2. Бакулин П.И., Кононович Э.В., Мороз В.И. Курс общей астрономии. М., 2018

3. Ефремов Ю.Н. В глубины Вселенной. М., 2018

4. Цесевич В.П. Что и как наблюдать на небе. М., 2018.

Основные теоретические сведения Сравнение экваториальных координат одних и тех же звезд, определенных через значительные промежутки времени, показало, что α и δ меняются с течением времени. Значительная часть этих изменений вызывается прецессией, нутацией, аберрацией и годичным параллаксом. Если исключить влияние этих причин, то изменения уменьшаются, но не исчезают полностью. Оставшееся смещение звезды на небесной сфере за год называется собственным движением звезды µ. Оно выражается в секундах дуги в год. Для определения этих движений сравниваются фотопластинки, отснятые через большие промежутки времени, составляющие 20 и более лет. Поделив полученное смещение на число прошедших лет, исследователи получают движение звезды в год. Точность определения зависит от величины промежутка времени, прошедшего между двумя снимками. Собственные движения различны у разных звезд по величине и направлению. Только несколько десятков звезд имеют собственные движения больше 1” в год. Самое большое известное собственное движение у “летящей” звезды Барнарда µ = 10”,27. Основное число звезд имеет собственное движение, рав ное сотым и тысячным долям секунды дуги в год. Лучшие современные определения достигают 0",001 в год. За большие промежутки времени, равные десяткам тысяч лет, рисунки созвездий сильно меняются. Собственное движение звезды происходит по дуге большого круга с постоянной скоростью. Прямое движение изменяется на величину µα, называемую собственным движением по прямому восхождению, а склонение — на величину µδ, называемую собственным движением по склонению. Если известно собственное движение звезды за год и расстояние до нее r в парсеках, то нетрудно вычислить проекцию пространственной скорости звез- ды на картинную плоскость. Эта проекция называется тангенциальной скоро- стью Vt и вычисляется по формуле: Vt = 4,74 µ/ π = µ”r/206265” пс/год = 4,74 µ r км/с, где r — расстояние до звезды, выраженное в парсеках. Чтобы найти пространственную скорость V звезды, необходимо знать ее лучевую скорость Vr , которая определяется по доплеровскому смещению линий в спектре и Vt , которая определяется по годичному параллаксу и µ. Поскольку Vt и Vr взаимно перпендикулярны, пространственная скорость звезды равна: Солнце Звезда θ Рис. 16. Пространственная скорость звезды. V Vr Vτ r 57 V = √(Vt 2 + Vr 2 ). Для определения V обязательно указывается угол θ, отыскиваемый по его функциям: sin θ = Vt /V, cos θ = Vt /V. Угол θ лежит в пределах от 0 до 180°. Направление собственного движения вводится позиционным углом ψ, от- считываемым против часовой стрелки от северного направления круга склонения звезды. В зависимости от изменения экваториальных координат звезды, позиционный угол ψ может иметь значения от 0 до 360° и вычисляется по формулам: sin ψ = µα/µ, cos ψ = µδ/µ, с учетом знаков обеих функций. Про- странственная скорость звезды на протя- жении многих столетий остается практи- чески неизменной по величине и направлению. Поэтому, зная V и r звезды в настоящую эпоху, можно вычислить эпоху наибольшего сближения звезды с Солнцем и определить для нее расстояние rmin, параллакс, собственное движение, компоненты пространственной скорости и видимую звездную величину. Расстояние до звезды в парсеках равно r = 1/π, 1 парсек = 3,26 св. года. Знание собственных движений и лучевых скоростей звезд позволяет судить о движениях звезд относительно Солнца, которое тоже движется в пространстве. Точка на небесной сфере, к которой направлен вектор скорости Солнца, называется солнечным апексом, а противоположная точка — антиапексом. Апекс Солнечной системы находится в созвездии Геркулеса, имеет координаты: α = 2700 , δ = +300 . В этом направлении Солнце движется со скоростью около 20 км/с, относительно звезд, находящихся от него не далее 100 пс. В течение года Солнце проходит 630 000 000 км, или 4,2 а.е. Для получения зачета необходимо: 1. Знать теоретический материал по теме лабораторной работы. 2. Выполнить задания. Система α Центавра Солнечная система 1 пс 1,3 пс Истинное движение в пространстве V Vr Vt Рис.17 Движение системы α Центавра 58 Образец заданий 1. С использованием "Каталога звезд ярче 4m,5 в системе V", находящегося в компьютерной базе данных или в Астрономическом календаре (1) найти годовые изменения координат µα, µδ указанной группы звезд. 2. Найти значение координат звезд через указанный промежуток времени. 3. Нанести на звездную карту новые координаты данной группы звезд и указать стрелками направления движения.

4. Сравнить фигуру созвездия, которая наблюдается сейчас с будущей через заданное количество лет. 5. Вычислить расстояние, параллакс, собственное движение, видимую звездную величину, лучевую и тангенциальную скорости в эпоху наибольшего сближения с Солнцем, а также время, через которое наступит эпоха наибольшего сближения (удаления) звезды Денеб. Примеры выполнения некоторых заданий 1. Вычислить расстояние, видимую звездную величину, лучевую и тангенциальную скорости в эпоху наибольшего сближения с Солнцем звезды Денеб.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Звезда | α1 | δ1 | m | π | µ | Vr |
| Денеб | 20h 41m | 45°11.7’ | 1.26 | 0″.005 | 0″.004 | -3km/s |

Для выполнения задания необходимо сделать схематический рисунок.

Звезда 2. V1 Vr1

угол θ звезда1

Vτ1

Солнце

Итак, чтобы вычислить расстояние в эпоху наибольшего сближения r2 = r1 sin(Θ) , необходимо знать угол Θ, который можно найти так: tg(Θ)= Vt1 / Vr1. В свою очередь Vt1 = 4.74 µ1 / π1. Следовательно, r2 = r1 sin(arctg((4.74 µ1 / π1) / Vr1 )). А также r1 = 1/ π1 .

Итак: E1: E2 = r22  : r12 Следовательно: lg (r22  : r12 )= 0,4\*(m2- m1). r 1=1: π=1: 0,005=200 (пс).

2. Видимую звездную величину m2 в точке 2 можно вычислить через абсолютную звездную величину M.

M = m 1+ 5 −5 lgr1= m2 + 5 −5 lg r2 . Откуда

m2= m1 − 5 lg (200:156,8)= 0 m. .73. Вычисляя, получаем 0 m. .73.

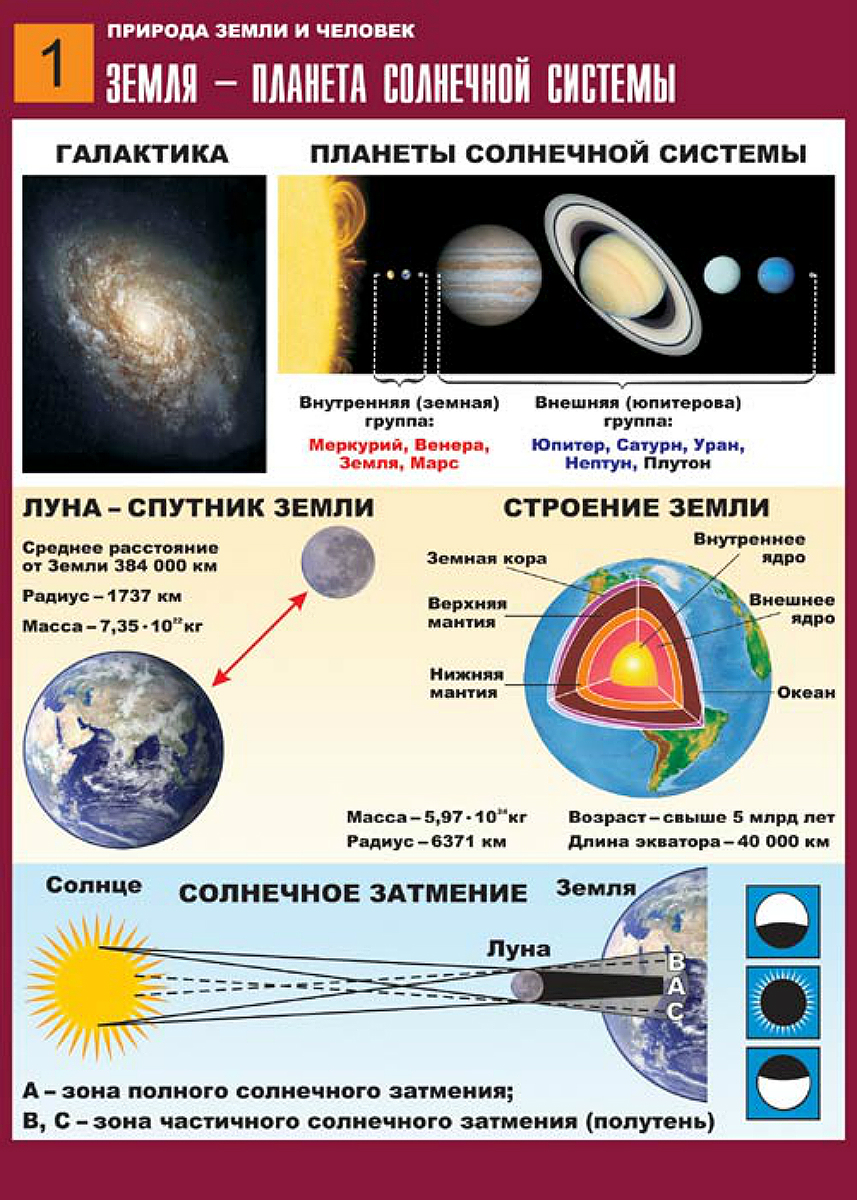
Справочная таблица Название Звезды Обозначение α h m δ ° ′ m µ vr км/с Альдеб ран- α Тельца 4 34.48 16 27.62 +0.86 0”,205 0”,051 +54 Альтаир- α Орла 19 49.56 8 48.07 +0.76 0,659 0,205 -25 Антарес- α Скорпио- на 16 27.87 -26 22.68 +1.08 0,032 0,014 -3 Арктур- α Волопаса 14 14.52 19 18.72 -0.05 2,287 0,087 -5 Ахернар- α Эридана 1 36.78 -57 28.82 +0.47 0,083 0,034 +19 Бетельгейзе α Ориона 5 53.32 7 24.22 +0.42 0,032 0,011 +21 Вега- α Лиры 18 36.09 38 45.57 +0.03 0,348 0,121 -14 Денеб- α Лебедя 20 40.58 45 11.42 +1.26 0,004 0,005 -3 Канопус- α Киля 6 23.40 -52 40.90 -0.73 0,022 0,018 +20 Капелла- α Возничего 5 14.84 45 58.45 +0.08 0,439 0,071 +30 Кастор- α Близнецов 7 33.00 31 56.65 +1.2 0,201 0,070 +2 Поллукс- β Близнецов 7 43.79 28 5.27 +1.15 0,623 0,098 +3 Процион- α Малого Пса 7 37.99 5 17.40 +0.37 1,242 0,291 -3 Регул- α Льва 10 07.04 12 05.40 +1.36 0,244 0,042 +3 Ригель- β Ориона 5 13.33 -8 13.77 +0.08 0,005 0,006 +24 Сириус- α Большого Пса 6 44,04 -16 40,85 -1.5 1,315 0,377 -8 Спика- α Девы 13 23.87 -11 01.88 +0.96 0,051 0,017 +1 Фомальгаут-α Южной Рыбы 22 56.27 -29 45.32 +1.16 0,367 0,145 +6 61.

## Литература

1. Клыков Д.Ю., Клыкова В.В., Кондакова Е.В., Ромашова Г.А. Методика преподавания темы "Видимое движение светил" в курсах астрономии для школ и педвузов // Современная астрономия и методика ее преподавания: материалы IV Всероссийской научно-практической конференции. 24-26 марта 2018; СПб., 2018. 152 с. С. 55-62.<http://www.astronet.ru/db/msg/1197730/17.html>







МЕНТАЛЬНАЯ КАРТА.