

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Воронежский государственный технический университет»

Кафедра кадастра недвижимости, землеустройства и геодезии

АСТРОНОМИЯ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторных работ
для студентов направления 21.03.03 «Геодезия и
дистанционное зондирование» профиль
«Геодезическое обеспечение геоинформационных
систем» всех форм обучения

Воронеж 2025

УДК 52(07)
ББК 22.6я7

Составители: В. В. Шумейко, Н. В. Невинская

Астрономия: методические указания к выполнению лабораторных работ для студентов направления 21.03.03 «Геодезия и дистанционное зондирование» профиль «Геодезическое обеспечение геоинформационных систем» всех форм обучения / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост.: В. В. Шумейко, Н. В. Невинская.- Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2022. - 26 с.

Содержат основные понятия астрономии и даны краткие сведения различных разделов астрономии. Даны основные задачи, которые решает современная астрометрия, теоретическая астрономия, астрофизика и рассмотрены методы их решения.

Предназначены для студентов направления 21.03.03 «Геодезия и дистанционное зондирование», профиль «Геодезическое обеспечение геоинформационных систем» всех форм обучения.

Методические указания подготовлены в электронном виде и содержатся в файле МУ Астрономия 21.03.03.pdf.

Ил. 8. Библиогр.: 10 назв.

УДК 52(07)
ББК 22.6я7

Рецензент – В. А. Костылев, ст. преп. каф. кадастр недвижимости, землеустройство и геодезия ВГТУ

*Издается по решению редакционно-издательского совета
Воронежского государственного технического университета*

ВВЕДЕНИЕ

По направлению 21.03.03 «Геодезия и дистанционное зондирование» учебным планом предусматривается изучение дисциплины «Астрономия».

Цель дисциплины «Астрономия» - формирование современного мировоззрения о Вселенной на основе законов движения и эволюции небесных объектов, приобретение необходимых навыков применения астрономических методов при решении практических задач (служба времени, составление карт и планов, навигация и др.).

В ходе учебного процесса студент должен прослушать курс лекций по данной дисциплине, выполнить лабораторные работы и сдать экзамен.

Настоящие методические указания предусмотрены для выполнения лабораторных работ по астрономии с использованием звездных атласов, подвижных карт звездного неба, астрономических календарей и справочников.

Выполнение лабораторных работ направлено на решение следующих задач:

- изучение звездной карты мира в целях вычисления местонахождения светил, а также моментов времени восхода и захода их;

- получение основ построения небесных координат, систем счета времени;

- изучение методов и средств практической астрономии и астрометрии;

Знания, полученные при изучении дисциплины «Астрономия», необходимы в дальнейшем, для изучения других дисциплин.

Лабораторная работа № 1

Звездные атласы. Подвижная карта звездного неба. Астрономические календари и справочники

Цель работы: ознакомиться с содержанием звездных атласов, астрономических календарей и справочников. Использование подвижной карты при изучении звездного неба.

Оборудование: атлас звездного неба, астрономический календарь, подвижная карта звездного неба, школьный астрономический календарь. Электронные справочники и базы данных.

Задание: взять из общего каталога звезд атласа координаты (α и δ) звезды и определить ее координаты на данный год, используя таблицу прецессий за 100 лет.

Общие теоретические сведения

Небесный свод, как одно целое, со всеми находящимися на нем светилами плавно вращается около некоторой воображаемой оси, проходящей через место наблюдения. Это вращение небесного свода и светил называется суточным движением, так как одно полное обращение совершается за сутки. Вследствие суточного вращения звезды и другие небесные тела непрерывно меняют свое положение относительно сторон горизонта.

Если наблюдать суточное движение звезд в северном полушарии Земли (но не близко к ее полюсу) и при этом стоять лицом к южной стороне горизонта, то их вращение происходит слева направо, т.е. «по часовой стрелке». На восточной стороне горизонта (если наблюдать не на полюсе Земли) звезды восходят, поднимаются выше всего над южной стороной горизонта и заходят на западной стороне. При этом каждая звезда всегда восходит в одной и той же точке восточной стороны горизонта и заходит всегда в одной и той же точке западной стороны. Максимальная высота над горизонтом для каждой данной звезды и для данного места наблюдения также всегда постоянна.

Если же стать лицом к северной стороне горизонта, то наблюдения покажут, что одни звезды будут также восходить и заходить, а другие — описывать полные круги над горизонтом, вращаясь вокруг общей неподвижной точки. Эта точка называется северным полюсом мира.

Приблизительное положение северного полюса мира на небе можно найти по положению Полярной звезды (α Малой Медведицы). Расстояние Полярной звезды от северного полюса мира в настоящее время меньше 1° .

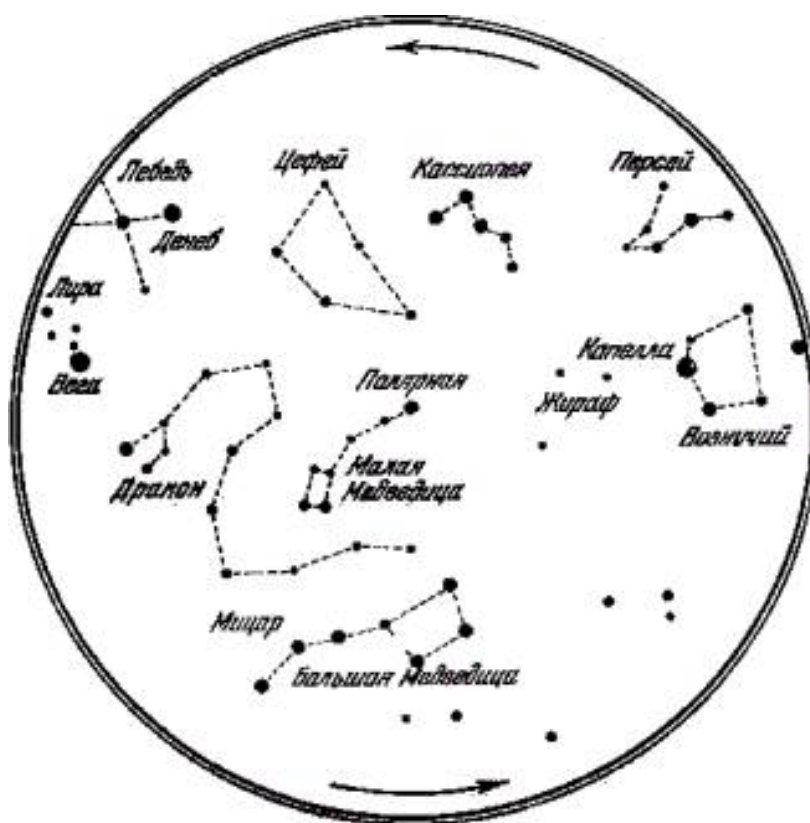


Рис. 1. Околополярные созвездия

С целью ориентировки по небу яркие звезды давно уже были объединены в группы, названные созвездиями. Созвездия обозначались названиями животных (Большая Медведица, Лев, Дракон и т.п.), именами героев греческой мифологии (Кассиопея, Андромеда, Персей и т.д.) или просто названиями тех предметов, которые напоминали фигуры, образованные яркими звездами Северная Корона, Треугольник, Стрела и т.п.).

С XVII в. отдельные звезды в каждом созвездии стали обозначаться буквами греческого алфавита. Первой из них α (альфа) обозначают самую яркую звезду, а затем следуют звезды, обозначенные буквами β (бета), γ (гамма), δ (дельта), ϵ (эпсилон) и т. д.

Наиболее яркие звезды в созвездиях служат хорошими ориентирами для нахождения на небе более слабых звезд, или других небесных объектов. Поэтому необходимо научиться быстро находить то или иное созвездие непосредственно на небе.

Прежде всего надо научиться находить Полярную звезду, находящуюся на конце ручки «ковша» Малой Медведицы. Она находится на продолжении линии, проходящей через α и β Большой Медведицы (5 расстояний). Под Полярной звездой на горизонте находится точка севера. По соседству, вокруг Полярной звезды расположены созвездия: Кассиопея, Цепей, Дракон и Большая Медведица, которые называются околополярными и в средних широтах видны над горизонтом на протяжении всего года.

Большинство других созвездий лучше всего наблюдать в определенное время года. Рассмотрим сезонные треугольники, являющиеся хорошим ориентиром в звездном небе. Чтобы найти сезонные треугольники нужно стать лицом к югу.

Летом одними из первых на вечернем летнем небе появляются Вега (α *Лиры*), Денеб (α *Лебедя*), Альтаир (α *Орла*), образующие *летний треугольник*. Вега самая яркая звезда в северного неба.

Осень – удобное время для наблюдения созвездий *Пегаса* и *Андромеды*, яркие звезды которых, расположены в виде огромного ковша с ручкой, значительно превосходящего созвездие Большой Медведицы. «Ковш» представлен тремя звездами Пегаса (α , β , γ) и звездой α Андромеды.

Зимнее вечернее небо украшает группа созвездий, из которых выделяется очень красивое созвездие Орион. Над «поясом» Ориона блесит Бетельгейзе (α *Ориона*), а ниже пояса – Ригель (β *Ориона*). Представим себе спиральную линию, начинающуюся от звезды γ Ориона и проходящую через звезды α , β . Мысленно продолжая эту линию, мы будем последовательно встречать яркие звезды: Альдебаран (α *Тельца*), Капеллу (α *Возничего*), Поллукс (β *Близнецов*), Процион (α *Малого Пса*) и, наконец, самую яркую звезду неба - Сириус (α *Большого Пса*). Бетельгейзе, Процион и Сириус составляют *зимний треугольник*.

Весной легко найти на небе созвездие Льва, запомнив, что его яркие звезды образуют большую трапецию. Правая нижняя звезда трапеции – Регул (α *Льва*), а левая нижняя – Денебола. На продолжении ручки ковша Большой Медведицы мы найдем Арктур (α *Волопаса*) и Спика (α *Девы*). Три звезды Арктур, Спика и Денебола образуют *весенний треугольник*.

К отдельной группе можно отнести *зодиакальные* созвездия. Через которые проходит эклиптика (годовой путь Солнца по небесной сфере). Их число соответствует числу месяцев в году. Первые три созвездия (Рыбы, Овен, Телец) Солнце проходит в весенние месяцы, следующие три (Близнецы, Рак, Лев) - в летние, еще три следующих (Дева, Весы, Скорпион) - в осенние и, наконец, последние три (Стрелец, Козерог, Водолей) - в зимние месяцы.

Пример выполнения работы

Задание: взять из общего каталога звезд атласа координаты (α и δ) звезды Дубхе и определить ее координаты на 2004 год, используя таблицу прецессий за 100 лет.

Определим к какому созвездию принадлежит звезда Дубхе с помощью таблиц: «Собственные имена звезд» и «Названия созвездий». Латинское название звезды Дубхе- λ Има. Название созвездия Има- Большая Медведица.

На карте атласа находим λ Има и определяем экваториальные координаты: $\alpha = 11^{\text{h}}$; $\delta = 62^{\circ}$

В звездном каталоге уточним координаты: $\alpha_{1950} = 11^{\text{h}} 07^{\text{m}}$ и $\delta_{1950} = 62^{\circ} 1'$ – координаты на 1950 год.

Находим разницу в годах: $\Delta t = 2004 - 1950 = 54$ года.

Из таблицы прецессий находим: $\Delta \alpha_{100}=6,2^m$ и $\Delta \delta_{100} = -32'$
Приращение координат за 54 года:

$$\Delta \alpha_{54} = \frac{\Delta \alpha_{100}}{100} \times 54 = 3,35^m, \quad (1.1)$$

$$\Delta \delta_{54} = \frac{\Delta \delta_{100}}{100} \times 54 = -17,3', \quad (1.2)$$

Координаты звезды Дубхе на 2004 год:

$$\alpha_{2004} = \alpha_{1950} + \Delta \alpha_{54} = 11^h 3,42^m, \quad (1.3)$$

$$\delta_{2004} = \delta_{1950} + \Delta \delta_{54} = 61^\circ 43,7', \quad (1.4)$$

Лабораторная работа № 2

Основные элементы небесной сферы. Системы небесных координат. Условие видимости светил на различных широтах

Цель работы: изучение основных элементов и суточного вращения небесной сферы. Знакомство с системами небесных координат. Изучение условий видимости светил на различных широтах.

Оборудование: модель небесной сферы.

Задание: изобразить на чертеже небесную сферу и положение ее основных элементов для определенной широты и показать на ней точки с заданными координатами:

Общие теоретические сведения.

В астрономии используют различные системы координат, которые различаются между собой выбором основной (координатной) плоскости и началом отсчета.

Положение светила (точки) на небе определяется двумя величинами (центральными углами или дугами больших кругов), которые называются небесными координатами.

ГОРИЗОНТАЛЬНАЯ СИСТЕМА КООРДИНАТ

Основной плоскостью является плоскость небесного горизонта.

Началом отсчета является точка юга S и Z.

Одной координатой является высота h . Высотой h светила M называется центральный угол mOM между плоскостью небесного горизонта и направлением на светило. Отсчитывается от небесного горизонта к зениту от 0° до $+90^\circ$ и от 0° до -90° к надиру.

Иногда, вместо высоты используется зенитное расстояние z . Зенитным расстоянием z светила M центральный угол ZOM между отвесной линией и направлением на светило. Отсчитывается от 0° до 180° в направлении от зенита к надиру. Между зенитным расстоянием и высотой одного и того же светила имеется соотношение:

$$z + h = 90^\circ, \quad (2.1)$$

Азимут A светила M называется центральный угол SOm измеряющий двугранный угол между плоскостями небесного меридиана и вертикального круга светила.

Отсчитывается от точки юга S по часовой стрелке, от 0° до 360° .

В геодезии азимуты отсчитываются от точки севера N по часовой стрелке, от 0° до 360° .

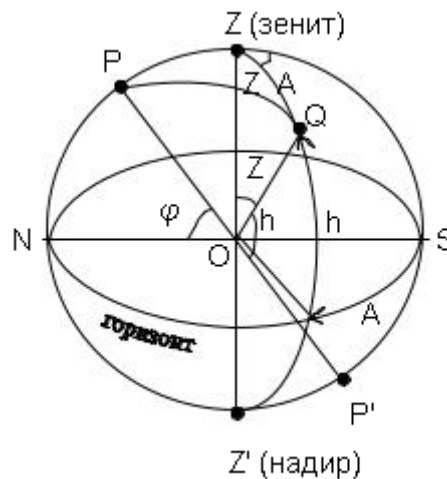


Рис. 2. Горизонтальная система координат

Горизонтальные координаты h , A непрерывно изменяются вследствие суточного вращения небесной сферы, так как они отсчитываются от неподвижных точек, не участвующих в этом вращении, а плоскости небесного экватора и небесного горизонта не параллельны друг другу.

Горизонтальная система координат используется для непосредственных определений видимых положений светил с помощью угломерных инструментов.

ПЕРВАЯ ЭКВАТОРИАЛЬНАЯ СИСТЕМА КООРДИНАТ

Основной плоскостью является плоскость небесного экватора QQ' .

Началом отсчета является верхняя точка небесного экватора Q .

Одной координатой является склонение светила δ , или центральный угол mOM между плоскостью небесного экватора и направлением на светило.

Склонения отсчитываются в пределах от 0° до $+90^\circ$ к северному полюсу мира и от 0° до -90° к южному полюсу мира. Иногда склонение δ заменяется полярным расстоянием ρ , т.е. дугой PM круга склонения от северного полюса

мира до светила или центральным углом POM между осью мира и направлением на светило. Полярные расстояния отсчитываются в пределах от 0° до 180° от северного полюса мира к южному. Очевидно:

$$p + \delta = 90^\circ, \quad (2.2)$$

Часовым углом t светила M называется центральный угол QOm измеряющий двугранный угол между плоскостями небесного меридиана и круга склонения светила.

Часовые углы отсчитываются в сторону суточного вращения небесной сферы (по часовой стрелке) от верхней точки Q небесного экватора, в пределах от 0° до 360° (в градусной мере) или от $0h$ до $24h$ (в часовой мере).

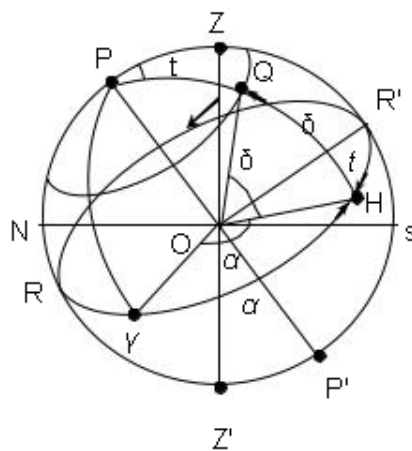


Рис. 3. Экваториальная система координат

При вращении небесной сферы склонение δ не меняется, так как суточные параллели параллельны небесному экватору. Часовой угол t непрерывно изменяется.

Первая экваториальная система используется преимущественно при определении точного времени.

ВТОРАЯ ЭКВАТОРИАЛЬНАЯ СИСТЕМА КООРДИНАТ

Основной плоскостью является плоскость небесного экватора QQ' .

Началом отсчета является точка весеннего равноденствия γ .

Одной координатой является склонение δ (реже полярное расстояние p).

Другой координатой, определяющей положение круга склонения светила, является прямое восхождение α . Прямое восхождение α светила M называется центральный угол γOm между направлением на точку весеннего равноденствия и плоскостью круга склонения светила. Точкой весеннего равноденствия γ называется точка пересечения небесного экватора с эклипкой. Точка весеннего равноденствия γ находится в созвездии Рыб. В этой точке Солнце, двигаясь по эклиптике, пересекает экватор в день весеннего равноденствия (21 марта).

Прямые восхождения отсчитываются в сторону, противоположную суточному вращению небесной сферы (против хода часовой стрелки), в пределах от 0° до 360° (в градусной мере) или от 0h до 24h (в часовой мере). Экваториальные координаты светила δ , α из-за суточного вращения небесной сферы не меняются, так как они отсчитываются от точек небесного экватора, которые сами участвуют в суточном вращении, и следовательно, положение светила относительно этих точек не изменяется.

Вторая экваториальная система является основной при решении задач фундаментальной астрометрии. В этой системе составляются списки звездных положений (звездные каталоги) и звездные карты.

Пример выполнения работы

Задание: изобразить на чертеже небесную сферу и положение ее основных элементов для широты $\varphi = -15^\circ$ и показать на ней точки со следующими координатами:

горизонтальные: $A = 135^\circ$, $h = 45^\circ$

экваториальные: $t = 2^h$, $\delta = -45^\circ$ и $a = 9^h$, $\delta = +75^\circ$

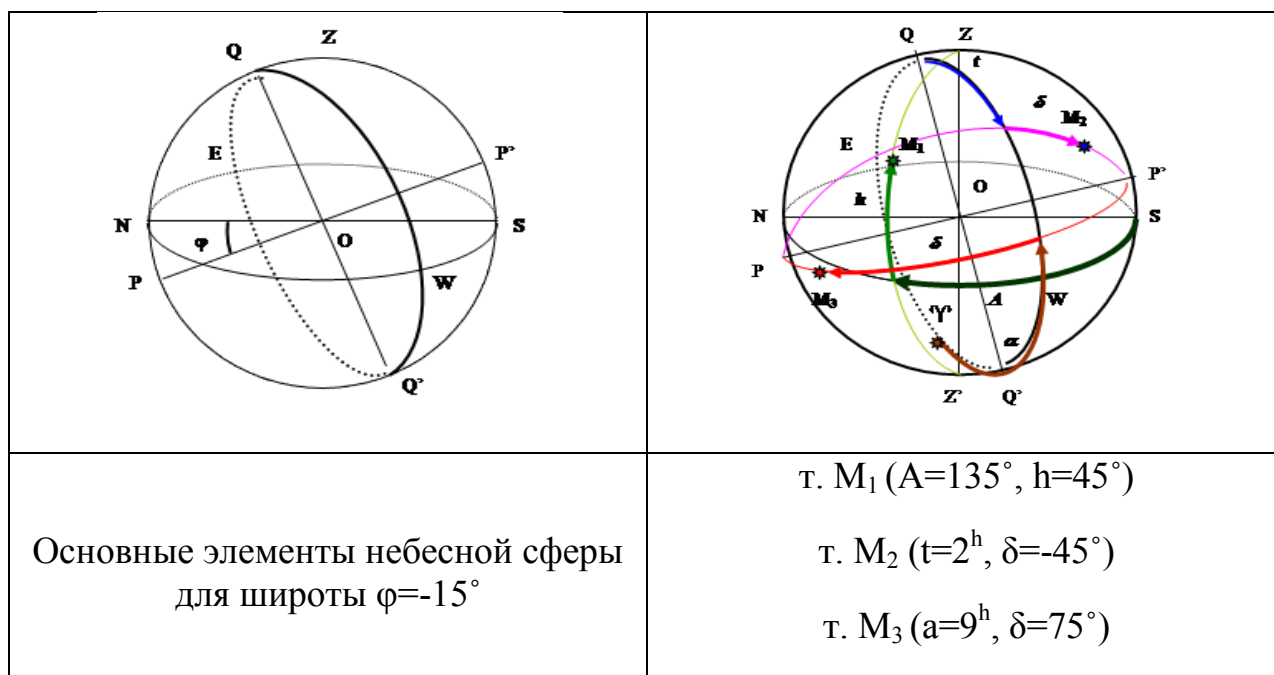


Рис. 4. Схема небесной сферы с указанием координат точек

Лабораторная работа № 3

Изучение систем счета времени

Цель работы: изучение различных систем счета времени

Оборудование: модели небесной сферы, астрономический календарь, подвижная звездная карта.

Задание: определить с точностью до 1' момент верхней кульминации Солнца по звездному, истинному солнечному, среднему местному, поясному времени в точке Земли с известной географической долготой.

Основные теоретические сведения

Поскольку в каждой точке на земной поверхности свое местное время, пользоваться им крайне неудобно. Для устранения этого неудобства и установления единой системы счета времени на всем земном шаре было введено поясное время. В нашей стране оно было введено в 1919 году.

Счет времени ведется только на 24 основных географических меридианах, расположенных друг от друга по долготе точно через 15° (или через 1h), приблизительно посередине каждого часового пояса. Часовыми поясами называются участки земной поверхности, на которые она условно разделена линиями, идущими от ее северного полюса до южного и отстоящими приблизительно на $7^\circ,5$ от основных меридианов. Эти линии, или границы часовых поясов, точно следуют по географическим меридианам лишь в открытых морях и океанах и в ненаселенных местах суши. На остальном своем протяжении они идут по государственным, административно-хозяйственным или географическим границам, отступая от соответствующего меридиана в ту или другую сторону.

Счет поясов начинается с нулевого, средним меридианом которого является гринвичский, и возрастает с запада на восток. Основным меридиан первого часового пояса расположен от гринвичского на 15° к востоку, второго — на 30° и т. д.

Местное среднее время основного меридиана какого-либо часового пояса называется поясным временем T_n , по которому и ведется счет времени на всей территории данного часового пояса. При переходе в смежный пояс время меняется ровно на 1 час. Разность между местным временем T_m какого-либо пункта и его поясным временем T_n на основании уравнения равна:

$$T_m - T_n = \lambda - n, \quad (3.1)$$

где λ — восточная долгота пункта от Гринвича, а n — число целых часов, равное номеру часового пояса, в котором данный пункт находится.

Поясное время данного пояса n связано с всемирным временем соотношением:

$$T_n = T_0 + n, \quad (3.2)$$

Также совершенно очевидно, что разность поясных времен двух пунктов есть целое число часов, равное разности номеров их часовых поясов.

Пример выполнения работы

Задание: определить с точностью до 1' момент верхней кульминации Солнца по звездному, истинному солнечному, среднему местному, поясному времени в Палермо 2 ноября ($\lambda=13^{\circ}25'$).

Солнце в верхней кульминации истинному солнечному времени будет в полдень: $T_c = 12^h$.

Среднее солнечное время отличается от истинного на поправку:

$$\eta = T_m - T_c, \quad (3.3)$$

где $\eta_{0(2)} = -16^m$

Поэтому $T_m = T_c + \eta = 12^h00^m - 16^m = 11^h44^m$.

Поясное время T_{II} связано T_m отношением:

$$T_m - T_n = \lambda^h - n^h \rightarrow T_n = T_m - \lambda^h + n^h, \quad (3.4)$$

По таблице перевода: $1^h = 15^{\circ}$; $1^m = 15'$; $1^s = 15''$; значит $\lambda^h = 0^h53^m40^s$ поясное время:

$$T_{II} = 11^h44^m - 0^h53^m40^s + 1^h = 11^h50^m20^s; \quad (3.5)$$

Звездное время:

$$S = \alpha_c + t_c, \quad (3.6)$$

где $\alpha_c = 14^h30^m$ из астрономического ежедневника, $t_c=0$ в верхней кульминации, значит звездное время:

$$S = \alpha_c = 14^h30^m, \quad (3.7)$$

Лабораторная работа № 4

Видимое годовое движение Солнца и его следствие

Цели работы: изучение закономерностей, связанных с обращением Земли вокруг Солнца.

Оборудование: модель небесной сферы, звёздный атлас, подвижная карта звёздного неба, астрономический ежегодник.

Задание: найти азимуты точек восхода и захода Солнца на заданную дату для точки Земли с известной географической широтой.

Основные теоретические сведения

В отличие от звезд, экваториальные координаты которых остаются неизменными на протяжении многих лет, есть светила, α и δ которых непрерывно изменяются. К числу таких светил относится Солнце.

Рассматривая непрерывное изменение обеих координат Солнца, нетрудно установить, что оно перемещается среди звезд с запада к востоку по большому кругу небесной сферы, который называется эклипкой. Плоскость эклиптики $E'\gamma E$ наклонена к плоскости небесного экватора под углом $\varepsilon = 23^\circ 27'$. Эклиптика пересекается с небесным экватором в двух точках: в точке весеннего равноденствия γ и в точке осеннего равноденствия Ω . В точке весеннего равноденствия Солнце пересекает небесный экватор, переходя из северного полушария небесной сферы в южное. В точке осеннего равноденствия Солнце переходит из южного полушария в северное. Точки эклиптики, отстоящие от равноденственных на 90° , называются точкой летнего солнцестояния α (в южном полушарии) и точкой зимнего солнцестояния β (в северном полушарии).

Изменение экваториальных координат Солнца при его движении по эклиптике происходит следующим образом. Когда Солнце находится в точке весеннего равноденствия γ , его прямое восхождение $\alpha = 0$ и склонение $\delta = 0$. Затем с каждым днем α и δ Солнца увеличиваются, и когда Солнце приходит в точку летнего солнцестояния α , его $\alpha = 90^\circ$ или 6^h , а δ достигнет максимального значения $+23^\circ 27'$. После этого α Солнца продолжает расти, а δ начинает уменьшаться, а когда Солнце приходит в точку осеннего равноденствия Ω , его $\alpha = 180^\circ$ или 12^h , а $\delta = 0^\circ$. Далее, α продолжая увеличиваться, в точке зимнего солнцестояния β становится равным 270° или 18^h , а δ достигает своего минимального значения — $-23^\circ 27'$. После этого α продолжает расти и когда Солнце приходит в точку весеннего равноденствия γ , достигнув значения 360° или 24^h , обращается в нуль. А δ тоже начинает расти и в γ снова становится равным нулю.

Пример выполнения работы

Задание: найти азимуты точек выхода и захода Солнца 1 октября для Минска по формуле:

$$\cos A = -\frac{\sin \delta}{\cos \varphi}, \quad (4.1)$$

где δ – склонение Солнца,

φ – широта места наблюдения

В эфемеридах Солнца находим на 1 октября склонение Солнца $\delta = -3^\circ 4'$

широта Минска $\varphi = 53^\circ 54'$

$$\cos A = - \frac{\sin -3^0 4'}{\cos 54^0 51'} = 0.09, \quad (4.2)$$

$$A = \arccos 0.09 = \pm 84.8^0 = \pm 84^0 48', \quad (4.3)$$

Знак (+) относится к точке захода

Знак (-) – к точке восхода

$$A_{\text{восхода}} = -84^0 48' = 360^0 - 84^0 48' = 275^0 12', \quad (4.4)$$

$$A_{\text{захода}} = 84^0 48', \quad (4.5)$$

Лабораторная работа № 5

Законы Кеплера и конфигурации планет

Цель работы: изучение закономерностей в движении планет и вычисление их конфигураций с помощью модели Солнечной системы.

Оборудование: схема-модель Солнечной системы, астрономический календарь, астрономический календарь-ежегодник.

Задание: определить гелиоцентрическую долготу Земли и планет по их конфигурациям в заданную дату.

Основные теоретические сведения

Характерные взаимные расположения планет относительно Солнца и Земли называются конфигурациями планет. Конфигурации нижних и верхних планет различны.

У нижних планет это *соединения* (*верхнее* и *нижнее*), и *элонгации* (*восточная* и *западная*). В момент соединения планета находится за Солнцем или между Солнцем и Землей. В момент элонгаций планета имеет наибольшие угловые удаления от Солнца. Видимое движение нижних планет напоминает колебательное движение возле Солнца. Нижние планеты лучше всего наблюдать вблизи элонгаций (наибольшая элонгация Меркурия – 28°, а Венеры – 48°). При восточной элонгации планета видна на западе вскоре после захода Солнца, при западной – на востоке незадолго перед восходом Солнца.

Конфигурации верхних планет – это *соединение*, *противостояние* и *квадратуры* (*восточная* и *западная*). Верхние планеты лучше всего видны вблизи противостояний, когда они находятся ближе всего к Земле и к нам обращено все освещенное Солнцем полушарие планеты.

Наблюдая за планетами, можно заметить, что большую часть времени планеты медленно движутся относительно звезд с запада на восток, но иногда начинают двигаться в обратном направлении (ретроградное движение), делая при этом небольшую петлю. Объяснить это явление можно сопоставляя орбитальные линейные скорости планеты и Земли. Когда верхняя планета

находится около соединения (M_3), то ее скорость направлена в сторону, противоположную скорости Земли (T_3). С Земли планета будет казаться движущейся прямым движением, т.е. в сторону ее действительного движения, справа налево. При этом скорость ее будет казаться увеличенной. Когда верхняя планета находится около противостояния (M_1), то ее скорость и скорость Земли направлены в одну сторону. Но линейная скорость Земли больше линейной скорости верхней планеты, и поэтому с Земли планета будет казаться движущейся в обратную сторону, т.е. попятным движением, слева направо.

Подобные же рассуждения объясняют, почему нижние планеты (Меркурий и Венера) около нижнего соединения (V_1) движутся среди звезд попятным движением, а около верхнего соединения (V_3) — прямым движением.

Объяснение петлеобразного движения планет дал еще Николай Коперник (XVI век), предложив гелиоцентрическую систему мира.

Пример выполнения работы

Задание: определить гелиоцентрическую долготу Земли и планет по их конфигурациям: 21 марта – Венера в восточной элонгации, Марс в западной квадратуре.

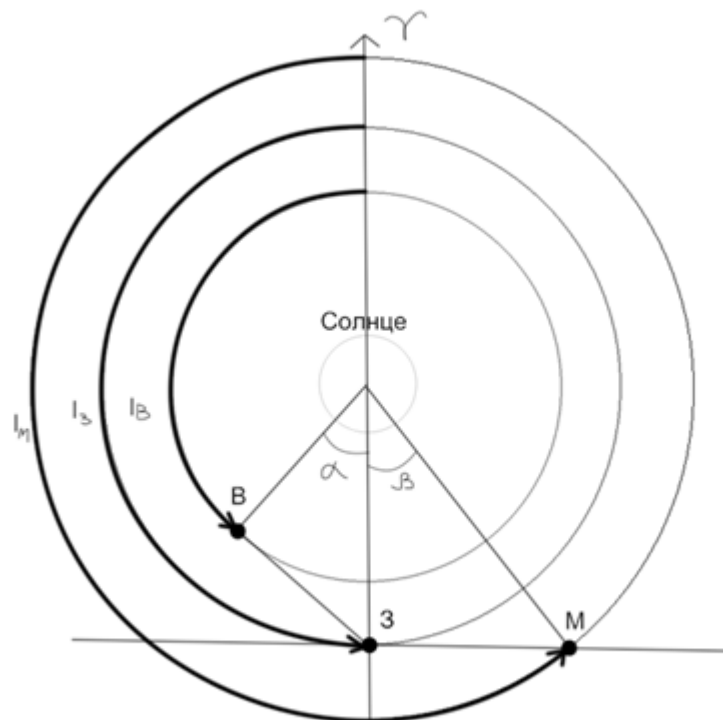


Рис. 5. Конфигурации планет

Гелиоцентрическая долгота l отсчитывается от направления на точку весеннего равноденствия γ против часовой стрелки.

$$l_3 = 180^\circ, l_B = 180^\circ - \alpha, \cos \alpha = \frac{a_B}{a_3} \quad a_B - \text{радиус орбиты Венеры,}$$

a_3 – радиус орбиты Земли

$$l_B = 180^\circ - \arccos\left(\frac{a_B}{a_3}\right) = 136.3^\circ - \text{для Венеры}$$

$$l_M = 180^\circ + \beta, \cos \beta = \frac{a_3}{a_M}$$

$$l_M = 180^\circ + \arccos\left(\frac{a_3}{a_M}\right) = 228.86^\circ - \text{для Марса}$$

Лабораторная работа № 6

Движение луны. Лунные фазы

Цель работы: изучение движения луны, смены лунных фаз.

Оборудование: калькулятор, персональный компьютер, компьютерная программа «Stellarium», астрономический календарь.

Задание: определить фазу Луны при ее различных угловых отклонениях от Солнца.

Основные теоретические сведения

Наблюдаемая с Земли освещенная часть лунного диска называется **фазой** Луны.

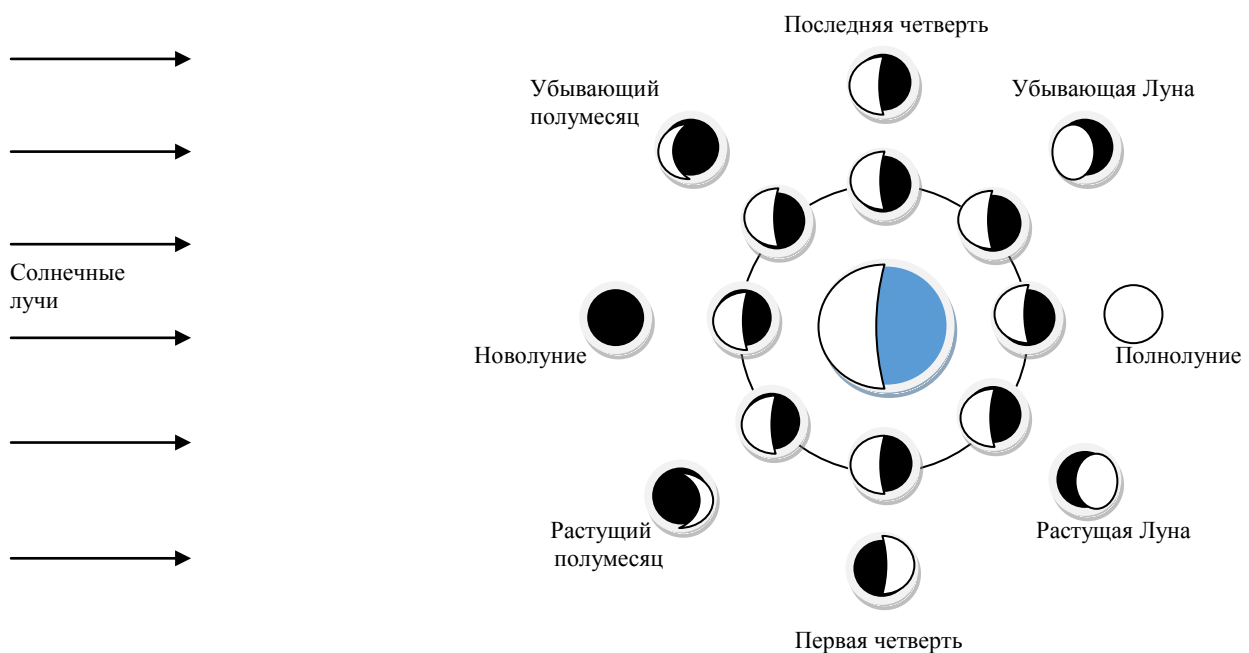


Рис. 6. Фазы Луны

Полный цикл смен лунных фаз (синодический месяц) составляет 29,5 суток. Фазы меняются в зависимости от положения Луны относительно Земли и Солнца. Всего четыре фазы: новолуние, первая четверть, полнолуние, последняя четверть.

В новолуние Луны не видно, т.к. она расположена между Землей и Солнцем. Затем Луна растет от узкого серпа (выпуклость вправо) до полудиска и наступает первая четверть. Далее, Луна растет до полного диска и наступает полнолуние, когда Луна находится за Землей. Затем Луна убывает до полудиска (последняя четверть), далее становится узким серпом (выпуклость влево) и перестает быть видимой.

Пример выполнения работы

Задание: определить фазу Луны, если угловое удаление Луны от Солнца равно 60° .

Пусть E – центр Земли, L – центр луны, γ – угол между направлением на солнце и луну,
 AB – лунный терминатор, CD – диаметр лунного диска $\perp$ лучу зрения наблюдателя.

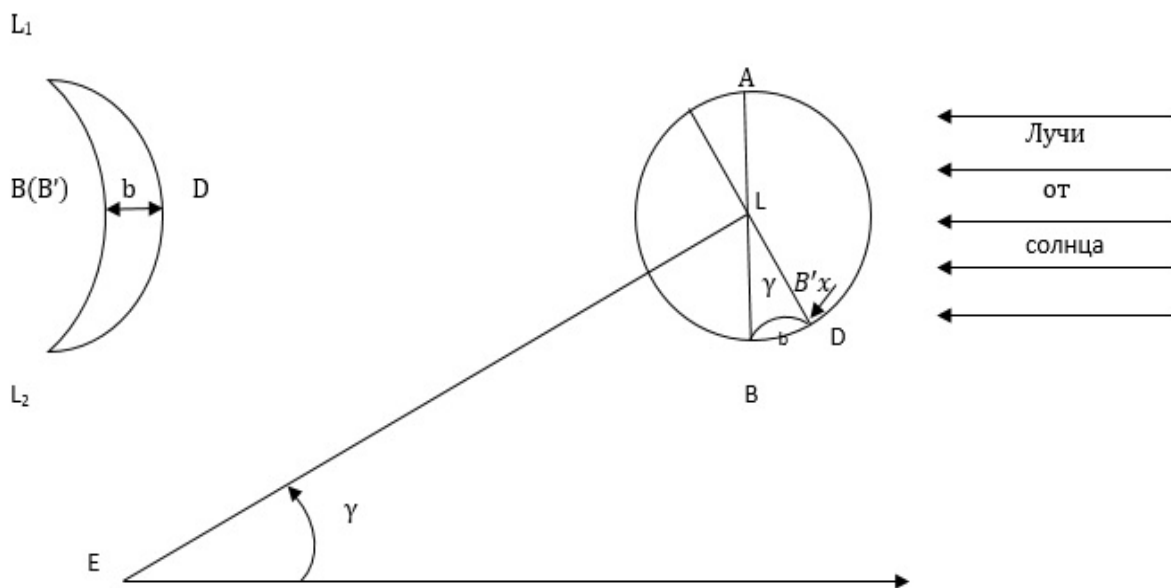


Рис. 7. Схема определения фазы Луны

Под углом γ видна освещённая часть лунного диска BLD в виде серпа, концы, его L_1 и L_2 проецируются в точку L , тогда ширина диска:

$$b = B'D, \quad (6.1)$$

Так как $CD \perp LD$ и $AB \perp$ направлению на солнце, то $\angle BLD = \gamma$ и

$$x = r \cos \gamma, \quad (6.2)$$

где $r = LB = LD$ – радиус лунного диска

$$b = r - x = r (1 - \cos \gamma), \quad (6.3)$$

Поэтому лунная фаза:

$$\Phi = \frac{b}{d} = \frac{r (1 - \cos \gamma)}{2r} = \frac{1 - \cos \gamma}{2} = \sin^2, \quad (6.4)$$

$$\Phi = \sin^2 60^\circ = 0,75, \quad (6.5)$$

Лабораторная работа № 7

Спектры светимости звёзд. Кратные звёзды

Цель работы: определение блеска светимости и расстояние между звёздами в двойной системе.

Оборудование и пособия: астрономический календарь, калькулятор.

Задание: определить общую светимость звезды, зная ее видимую звездную величину.

Основные теоретические сведения

Мы знаем, что яркость звезд не одинакова. Со времен древнегреческого астронома Геппарха (II в. До н.э.) используется понятие «звездная величина». Наиболее яркие звезды отнесли к звездам первой величины (1^m , от лат. *magritudo* – величина), а едва различимые невооруженным глазом – к шестой (6^m). Блеск звезды 1^m больше блеска звезды 6^m ровно в 100 раз. Считали, что расстояния до звезд одинаковы и чем ярче звезда, тем она больше. Сейчас мы знаем, что звездная величина характеризует не размеры звезды, а ее блеск, т.е. освещенность, которую создает звезда на Земле. Но шкала звездных величин сохранилась и получила название шкалы видимых звездных величин.

Светила, блеск которых превосходит блеск ярких звезд имеют нулевые и отрицательные звездные величины (-1^m , 0^m и т. д.). К ним относятся несколько наиболее ярких звезд и планет, а так же Солнце и Луна. Шкала звездных величин продолжается в сторону звезд, не видимых невооруженным глазом (7^m , 8^m и т. д. до 22^m). Для более точной оценки блеска звезд используются дробные звездные величины ($2,3^m$ $14,5^m$ и т. д.).

Так как звезды находятся от нас на различных расстояниях, то их видимые звездные величины ничего не говорят о светимостях (мощности излучения) звезд. Поэтому в астрономии, кроме понятия «видимая звездная величина» используется понятие абсолютная звездная величина. Абсолютными звездными величинами (M) называются звездные величины, которые имели бы звезды, если бы они находились на одинаковом расстоянии от Земли ($r_0 = 10$ пк).

Пример выполнения работы

Задание: определить общую светимость двойной звезды β Скорпиона, суммарная видимая звёздная величина которой $m = 2^m, 512$.

светимость Солнца $L_c = 1$.

Блеск звезды:

$$E = \frac{KL}{r^2}, \quad (7.1)$$

Блеск Солнца:

$$E_c = \frac{KL_c}{r_c^2}, \quad (7.2)$$

разделим на (1) на (2):

$$L = L_c \frac{Er^2}{E_c r_c^2}, \quad (7.3)$$

где $\frac{E}{E_c} = 2.512^{(m_c - m)}$ (формула Погсона).

т.к. $L_c = 1$,

$$\text{то } L = \frac{r^2}{r_c^2} 2.512^{(m_c - m)}, \quad (7.4)$$

где $m_c = -26^m$ - видимая звёздная величина Солнца

$r_c = 1 \text{ а.е}$ – расстояние до Солнца

$r = 650 \text{ св.лет}$ – расстояние до β Скорпиона

$r = 41126475 \text{ а.е}$

$$L = 41126475^2 \times 2.512^{(-26 - 2.512)} = 6651, \quad (7.5)$$

Лабораторная работа № 8

Звёздные величины. Блеск звёзд

Цель работы: определение звёздных величин на их физические характеристики.

Оборудование: астрономический календарь, калькулятор.

Задание: определить видимую звёздную величину каждого компонента трёхкратной звезды на её общей видимой звёздной величине m и соотношению блеска E между компонентами.

Основные теоретические сведения

Во время наблюдений звездного неба можно заметить, что цвет звезд различен. Цвет звезды свидетельствует о температуре ее фотосферы. Звезды голубого цвета имеют очень высокую температуру, до 50 000 К. Температура белых звезд (Спика, Сириус, Вега) порядка 10 000 – 20 000 К. Желтые звезды, к которым относится наше Солнце, имеют температуру около 6000 К. Температура красных звезд (Бетельгейзе) примерно 3000 К. Самые холодные из известных в настоящее время звезд имеют температуру менее 2000 К. Такие звезды доступны наблюдениям в инфракрасной части спектра.

По цвету, звезды сгруппированы в семь основных **спектральных классов**. Они обозначаются заглавными буквами латинского алфавита:

O — B — A — F — G — K — M

и располагаются в такой последовательности, что при переходе слева направо цвет звезды меняется от голубого (класс O), к белому (класс A), желтому (класс O), красному (класс M). В этом же направлении происходит убывание температуры звезд. Внутри каждого класса существует деление еще на десять подклассов. Например, спектральный класс F имеет такие подклассы:

F0 — F1 — F2 — F3 — F4 — F5 — F6 — F7 — F8 — F9.

Солнце относится к спектральному классу G2.

Пример выполнения работы

Задание: определить видимую звёздную величину каждого компонента трёхкратной звезды на её общей видимой звёздной величине m и соотношению блеска E между компонентами: $m=3.74^m$ первый компонент ярче третьего в 3.5 раза, второй компонент – в 1.9 раз.

$$\frac{E_1}{E_3} = 3.5 \quad \frac{E_2}{E_3} = 1.9 \Rightarrow E_1 = 3.5E_3 \text{ и } E_2 = 1.9E_3$$

по формуле Погсона:

$$\lg\left(\frac{E}{E_3}\right) = 0.4(m_3 - m), \quad m_3 = m + 2.5 \lg\left(\frac{E}{E_3}\right), \quad (8.1)$$

Суммарный блеск звезды $E = E_1 + E_2 + E_3$

$$E = 3.5E_3 + 1.9E_3 + E_3 = 6.4E_3 \Rightarrow \frac{E}{E_3} = 6.4, \quad (8.2)$$

$$m_3 = 3.74^m + 2.5 \lg 6.4 = 5.75^m, \quad (8.3)$$

Видимую звёздную величину 1-го компонента найдём:

$$\lg\left(\frac{E_1}{E_3}\right) = 0.4(m_3 - m_1) \Rightarrow m_1 = m_3 - 2.5 \lg\left(\frac{E_1}{E_3}\right), \quad (8.4)$$

$$m_1 = 5.75^m - 2.5 \lg 3.5 = 4.38^m, \quad (8.5)$$

Видимую звёздную величину 2-го компонента найдём аналогично:

$$\lg\left(\frac{E_2}{E_3}\right) = 0.4(m_3 - m_2) \Rightarrow m_2 = m_3 - 2.5 \lg\left(\frac{E_2}{E_3}\right), \quad (8.6)$$

$$m_2 = 5.75^m - 2.5 \lg 1.9 = 5.05^m, \quad (8.7)$$

Лабораторная работа № 9

Собственные движения и пространственные скорости звёзд

Цель работы: изучить характер и условия собственного движения звёзд.

Оборудование: каталог звёзд ярче 4.5^m , звёздная карта звёздного неба.

Задание: вычислить расстояние, лучевую и тангенсальную скорости в эпоху наибольшего сближения с солнцем заданной звезды.

Основные теоретические сведения

Перемещение звезды на небесной сфере за год называется собственным движением звезды. Оно выражается в секундах дуги в год и обозначается буквой μ .

Собственные движения звезд различны по величине и направлению. Наибольшим собственным движением обладает “летающая” звезда Барнарда (в созвездии Змееносца), у которой $\mu = 10,3''$. Только несколько десятков звезд

имеют собственные движения больше 1" в год. У большинства же звезд собственные движения составляют сотые и тысячные доли секунды дуги в год. Из-за малости собственных движений изменение положений звезд не заметно для невооруженного глаза. Однако, за большие промежутки времени смещение звезд становится очевидным. Подтверждением тому является изменение фигур созвездий.

Скорость, с которой звезда движется в пространстве относительно Солнца, называется пространственной скоростью. Вектор пространственной скорости, можно представить в виде суммы двух составляющих векторов, один из которых перпендикулярен лучу зрения (*тангенциальная скорость*), а другой направлен по лучу зрения (*лучевая скорость*). Тангенциальную скорость вычисляют по собственному движению звезды, а лучевую - по спектру звезды, используя при этом *эффект Доплера*. Сущность эффекта Доплера состоит в том, что линии в спектре источника, приближающегося к наблюдателю, смещены к фиолетовому концу спектра, а линии удаляющегося источника – к красному. Измерение лучевых скоростей проще и быстрее, чем тангенциальных. К настоящему времени определены пространственные скорости многих звезд.

Анализируя спектры звезд, выявили, что *звезды вращаются вокруг своих осей*. Некоторые звезды (относящиеся к спектральным классам О и В) вращаются с очень большой скоростью, достигающей на экваторе 200—400 км/с, т. е. в 100—200 раз быстрее Солнца.

Пример выполнения работы

Задание: вычислить расстояние, лучевую и тангенсальную скорости в эпоху наибольшего сближения с солнцем звезды Денеб (созвездие Лебедь).

Определим угол θ по формуле:

$$\operatorname{Tg} \theta = \frac{V_{t1}}{V_{r1}}; \quad (9.1)$$

Где $V_{t1} = 4.74 \frac{M_1}{\pi_1}$, значит:

$$r_2 = r_1 * \sin(\operatorname{arctg}(\frac{4.74 \frac{M_1}{\pi_1}}{V_{r1}})); \quad (9.2)$$

$$r_2 = \frac{1}{\pi_1} * \sin(\operatorname{arctg}(\frac{4.74 \frac{M_1}{\pi_1}}{V_{r1}})); \quad (9.3)$$

$$r_2 = \frac{1}{0.005} * \sin(\operatorname{arctg} \frac{4.74 * 0.004}{0.005 * 3}) = 156.8(\text{пс}); \quad (9.4)$$

Т.к. пространственная скорость V остаётся постоянной, то в т.2 лучевая скорость $V_{r2} = 0$, а тангенсальная скорость:

$$V_{t2}=V=\sqrt{V_{t1}^2+V_{r1}^2}=\sqrt{\left(4.74 * \frac{0.004}{0.005}\right)^2 + (-3)^2}; \quad (9.5)$$

Из формулы (9.5) следует, что $V_{t2}=4.835 \frac{\text{км}}{\text{с}}$.

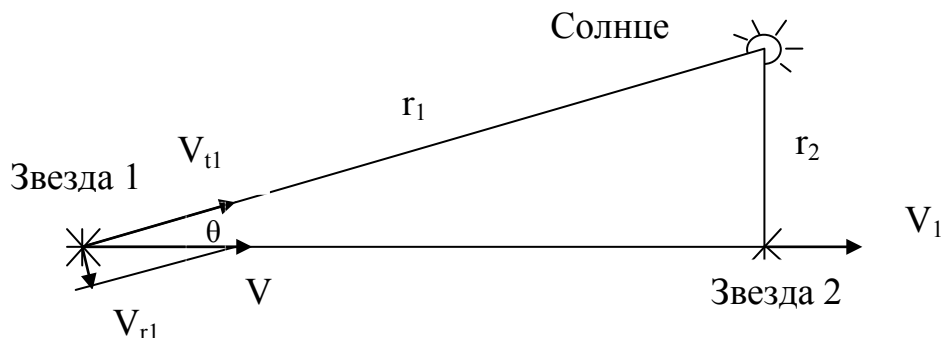


Рис. 8. Схема лучевой и тангенсальной скоростей звезды

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Геодезия: учебник под. ред. Т. С. Спирина / Б. Н. Дьяков, В. А. Вальков, А. А. Кузин. – М: Лань, 2020. – 296 с. – URL: <https://e.lanbook.com/reader/book/111205/#1>
2. История Земли: От звездной пыли — к живой планете: Первые 4 500 000 000 лет [Электронный ресурс] / Роберт Хейзен ; пер. Т. Казакова. — Электрон. текстовые данные. — М. : Альпина нон-фикшн, 2019. — 351 с. — 978-5-91671-365-7. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/82870.html>
3. Прием и обработка данных дистанционного зондирования Земли с космического аппарата TERRA [Электронный ресурс] : методические указания к выполнению лабораторной работы №1 / В. И. Майорова, Д. А. Гришко, В. П. Малашин, С. С. Семашко. — Электрон. текстовые данные. — М. : Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, 2014. — 28 с. — 978-5-7038-3922-5. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/31616.html>
4. Поклад, Геннадий Гаврилович. Геодезия [Текст] : учеб. пособие : рек. УМО. - М. : Академический проект : Парадигма, 2011 (Ульяновск : ОАО "Обл. тип. "Печатный двор", 2011). - 537 с.
5. Практикум по геодезии [Текст] : учеб. пособие : рек. УМО / под ред. Г. Г. Поклада ; Воронеж. гос. аграрный ун-т им. К. Д. Глинки. - М. : Академический проект : Трикта, 2011 (Ульяновск : ОАО "Обл. тип. "Печатный двор", 2010). - 485 с.
6. Полежаева Е.Ю. Современный электронный геодезический инструментарий (Виды, метод и способы работы) [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Полежаева Е.Ю. – Электрон. текстовые данные. – Самара: Самарский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2010. – 108 с. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/20520>.
7. Автоматизация высокоточных измерений в прикладной геодезии. Теория и практика [Электронный ресурс]/ В.П. Савиных [и др.].— Электрон. текстовые данные.— М.: Академический Проект, Альма Матер, 2016.— 400 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/60080.html>.— ЭБС «
8. Тугутов Л. Ведическая астрономия и космография. Год издания: 2008. Формат: mp3. Издат.: Лекция. Страниц: 185 мин. Размер: 31,2 МБ. /knigka.nfo/.
9. Кранц П. Сферическая тригонометрия. Год издания: 2007. Формат: pdf. Издат.: ЛКИ. Страниц: 98. Размер: 3,5 МБ. /knigka.nfo/.
10. Кондрашов А. П. Новейшая книга фактов. Том 1. Астрономия и астрофизика. География и другие науки о Земле. Год издания: 2008. Формат: pdf. Издат.: Рипол Классик. Страниц: 440. Размер: 6,3 мб. Язык: Русский. /knigka.nfo/.

Оглавление

Введение.....	3
Лабораторная работа № 1. Звездные атласы. Подвижная карта звездного неба. Астрономические календари и справочники.....	4
Лабораторная работа № 2. Основные элементы небесной сферы. Системы небесных координат. Условие видимости светил на различных широтах.....	7
Лабораторная работа № 3. Изучение систем счета времени.....	11
Лабораторная работа № 4. Видимое годовое движение Солнца и его следствие.....	12
Лабораторная работа № 5. Законы Кеплера и конфигурации планет.....	14
Лабораторная работа № 6. Спектры светимости звёзд. Кратные звёзды.....	16
Лабораторная работа № 7. Звёздные величины. Блеск звёзд.....	18
Лабораторная работа № 8. Собственные движения и пространственные скорости звёзд.....	20
Лабораторная работа № 9. Движение луны. Солнечные и лунные затмения.....	21
Библиографический список.....	24

АСТРОНОМИЯ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторных работ
для студентов направления 21.03.03 «Геодезия и
дистанционное зондирование» профиль
«Геодезическое обеспечение геоинформационных
систем» всех форм обучения

Составители:

Шумейко Вячеслав Владиславович Невинская
Надежда Владимировна

Компьютерный набор В.В. Шумейко

Издается в авторской редакции

Подписано к изданию 09.03.2022. Уч.-изд. л. 1,6.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический
университет»
394006 Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84