

М.А. Черный

Авиационная астрономия

Учебное пособие

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 52
ББК 22.6
М11

M11 **М.А. Черный**
Авиационная астрономия: Учебное пособие / М.А. Черный – М.: Книга по Требованию, 2023. – 208 с.

ISBN 978-5-458-29311-2

В книге изложены основы теории авиационной астрономии. Рассмотрены принцип работы, устройство и практическое применение современных астрономических средств самолетовождения. Освещены системы измерения времени. Систематизированы и обобщены вопросы, связанные с вычислениями моментов восхода и захода Солнца, наступления рассвета и темноты, линий положения и места самолета по небесным светилам. Даны упрощенные способы определения экваториальных координат Солнца и звездного времени. Большое внимание удалено решению практических задач авиационной астрономии. Книга снабжена необходимыми для расчетов таблицами и графиками. Доп. информация: Книга предназначена для летно-штурманского состава гражданской авиации, а также может быть использована в качестве учебного пособия в училищах, школах и в учебно-тренировочных отрядах. Из введения: Астрономия — наука о строении и развитии Вселенной. Слово астрономия происходит от двух греческих слов: астрон — звезда, светило и номос — закон. Следовательно, астрономия занимается изучением законов движения, строения, происхождения и развития небесных тел и их систем. Свое начало эта наука берет в глубокой древности. Она возникла на основе практических потребностей человека. Древним людям нужно было ориентироваться на местности при передвижениях, вести счет времени и определять смену времен года. Эти первые жизненные задачи привели человека к открытию некоторых закономерностей в природе. Систематические наблюдения за небесными светилами позволили человеку установить, что с появлением на небе некоторых звезд наступает период дождей или морозов, что промежуток времени между двумя последовательными новолуниями в среднем равен 29 суткам, что в момент наибольшей дневной высоты Солнца можно точно указать, где юг и где север. Наблюдения за небесными светилами для указанных целей велись еще за 3000 лет до нашей эры. Из них и возникла наука о небесных телах — астрономия. Она развивалась вместе с развитием человеческого общества, с выдвижением все более сложных задач.

ISBN 978-5-458-29311-2

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2023
© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2023

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригиналe, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первозданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.

применять в любом месте земного шара. Особенно широкое применение они имеют при полетах в полярных районах, где пользование магнитным компасом ограничено, а иногда и полностью исключено. Точность решения навигационных задач с помощью этих средств не зависит ни от дальности, ни от продолжительности полета.

В нашей стране впервые астрономические приборы на самолетах были применены в 1913—1916 гг. Русские авиаторы использовали их в дальних полетах на самолетах «Илья Муромец» и «Русский витязь».

Большое развитие авиационная астрономия получила после Великой Октябрьской социалистической революции, когда Коммунистическая партия и Советское правительство приняли ряд мер по созданию советской авиации, авиационных научно-исследовательских учреждений и подготовке авиационных кадров. Развитие отечественного самолетостроения вызвало значительный прогресс и в развитии средств самолетовождения.

В середине 20-х годов ускоренно проводились испытания по применению астрономической ориентировки. В 1927 г. работником аэронавигационного отдела А. Н. Волоховым было впервые определено место самолета с помощью астрономических средств.

В середине 30-х годов был создан солнечный указатель курса — прототип современного астрономического компаса.

Развитие авиационной астрономии в нашей стране проходило на основе многовекового опыта мореходной астрономии. Ученые и авиационные штурманы не просто копировали методы мореходной астрономии, а творчески перерабатывали их применительно к условиям работы на самолетах. Одновременно с разработкой способов и средств самолетовождения проводилась их проверка на практике. В мае 1937 г. был выполнен полет отряда тяжелых кораблей на Северный полюс под руководством штурмана И. Т. Спирина. Отряд доставил на Северный полюс первую в мире советскую экспедицию, возглавляемую И. Д. Папаниным. Эта сложная для того времени задача мирового значения была выполнена успешно благодаря достижениям советской теории и практики самолетовождения.

В книге «Покорение Северного полюса» И. Т. Спирин указывает: «Единственно точной и неизменно безотказной мы считали лишь воздушную астрономию, и это целиком подтвердилось в перелете; только она выручала нас в трудные минуты, вела и точно привела к намеченной цели».

Особо важную роль астрономические средства сыграли в первых героических перелетах через Северный полюс экипажей В. П. Чкалова и М. М. Громова, выполненных ими в июне—июле 1937 г. В этих перелетах, равных которым не знала история авиации, штурманы самолетов А. В. Беляков и С. А. Данилин, используя радионавигацию и авиационную астрономию, сумели добиться высокой точности самолетовождения над незнакомыми районами Арктики.

Новый этап в развитии авиационной астрономии начался в пятидесятых годах, когда высокий уровень развития радиоэлектроники, оптики и автоматики позволил создать автоматические астрокомпасы и астроориентаторы, осуществляющие автоматическую пеленгацию небесных светил, вычисление курса и координат места самолета. Автоматизация астрономических средств повысила их роль в самолетовождении и упростила пользование ими. Появление автоматического астрокомпаса на самолете позволило объединить его с магнитными и гирокопическими средствами измерения курса в единую курсовую систему.

На протяжении всей истории развития авиационной астрономии советские ученые, штурманы и конструкторы не только разрабатывали новые образцы астрономических приборов, но и непрерывно совершенствовали методы астроориентировки.

Большие перспективы для развития авиационной астрономии раскрываются в настоящее время в связи с работами над решением проблемы пеленгации звезд в условиях дневного полета и применения искусственных спутников Земли в целях самолетовождения, а также в связи с появлением самолетного автоматического солнечного радиосекстанта. Использование приборов, позволяющих пеленговать небесные светила в любое время суток независимо от погоды, а также вычислителей для автоматического расчета элементов линии положения самолета позволит более широко применять авиационную астрономию для решения основных задач самолетовождения.

Астрономические средства, несмотря на недолгую историю своего развития, прочно вошли в комплекс средств самолетовождения, и в ближайшем будущем достижения в области точности измерений повысят их роль как автономных средств, обеспечивающих полеты на любые расстояния.

За последние годы наряду с другими средствами самолетовождения дальнейшее совершенствование и развитие получили астрономические средства. Появление таких навигационных устройств, как астроориентаторы и астроинерциальные системы, еще выше подняло значение астрономических средств.

С древнейших времен небесные светила использовались для ориентировки. Еще знаменитый Христофор Колумб, открывший в 1492 г. Америку, говорил: «Существует лишь одно безошибочное корабельное исчисление — это астрономическое; счастлив тот, кто с ним знаком».

В настоящее время небесные светила стали еще более надежными ориентирами, чем это было в эпоху великих географических открытий, когда корабли отважных мореплавателей впервые пересекали неизведанные просторы океанов. Теперь по небесным светилам научились определять курс самолета и его место над земной поверхностью, использовать их для навигации космических кораблей. Все это не может не заставить современного штурмана со всей серьезностью относиться к изучению астрономии.

Г л а в а

I

СИСТЕМЫ НЕБЕСНЫХ КООРДИНАТ

1. НЕБЕСНАЯ СФЕРА, ЕЕ ОСНОВНЫЕ ТОЧКИ, ЛИНИИ И КРУГИ

Все небесные светила находятся на необычайно больших и весьма различных расстояниях от нас. Но нам они представляются одинаково удаленными и как будто расположеными на некоторой сфере. При решении практических задач по авиационной астрономии важно знать не расстояние до светил, а их положение на небесной сфере в момент наблюдения.

Небесной сферой называется воображаемая сфера бесконечно большого радиуса, центром которой является наблюдатель. При рассмотрении небесной сферы ее центр совмещают с глазом наблюдателя. Размерами Земли пренебрегают, поэтому центр небесной сферы часто совмещают также с центром Земли. Светила на сферу наносят в таком положении, в каком они видны на небе в некоторый момент времени из данной точки наблюдения наблюдателя.

Небесная сфера имеет ряд характерных точек, линий и кругов. На рис. 1.1 кругом произвольного радиуса изображена небесная сфера, в центре которой, обозначенном точкой O , расположен наблюдатель. Рассмотрим основные элементы небесной сферы.

Вертикаль наблюдателя ZOZ' — прямая, проходящая через центр небесной сферы и совпадающая с направлением нити отвеса в точке наблюдателя. Зенит Z — точка пересечения вертикали наблюдателя с небесной сферой, расположенная над головой наблюдателя. Надир Z' — точка пересечения вертикали наблюдателя с небесной сферой, противоположная зениту.

Истинный горизонт СВЮЗ — большой круг на небесной сфере, плоскость которого перпендикулярна к вертикали наблюдателя. Истинный горизонт делит небесную сферу на две части: надгоризонтную полусферу, в которойложен зенит, и подгоризонтную полусферу, в которой расположен надир.

Ось мира PP' — прямая, вокруг которой происходит видимое суточное вращение небесной сферы. Ось мира параллельна

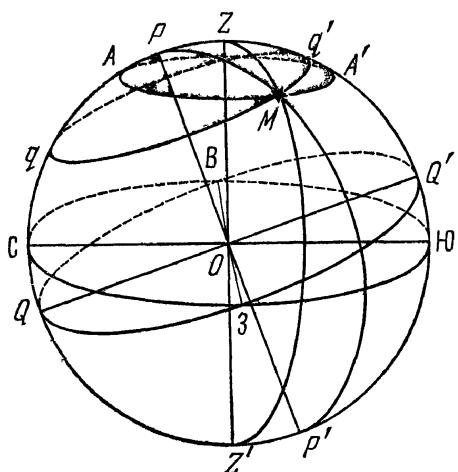


Рис. 1. 1. Основные точки, линии и круги на небесной сфере

оси вращения Земли, а для наблюдателя, находящегося на одном из полюсов Земли, она совпадает с осью вращения Земли. Видимое суточное вращение небесной сферы является отражением действительного суточного вращения Земли вокруг своей оси.

Полюсы мира — точки пересечения оси мира с небесной сферой. Полюс мира, находящийся в области созвездия Малой Медведицы, называется Северным полюсом мира P , а противоположный полюс называется Южным P' .

Небесный экватор $QBQ'Z$ — большой круг на небесной сфере, плоскость которого перпендикулярна к оси мира. Плоскость небесного экватора делит небесную сферу на северную полусферу, в которой расположен Северный полюс мира, и южную полусферу, в которой расположен Южный полюс мира.

Небесный меридиан, или меридиан наблюдателя, $PZP'Z'$ — большой круг на небесной сфере, проходящий через полюсы мира, зенит и надир. Он совпадает с плоскостью земного меридиана наблюдателя и делит небесную сферу на восточную и западную полусфера.

Точки севера и юга — точки пересечения небесного меридиана с истинным горизонтом. Точка, ближайшая к Северному полюсу мира, называется точкой севера истинного горизонта C , а точка, ближайшая к Южному полюсу мира, — точкой юга $Ю$. Точки востока и запада — точки пересечения небесного экватора с истинным горизонтом.

Полуденная линия — прямая линия в плоскости истинного горизонта, соединяющая точки севера и юга. Полуденной называется эта линия потому, что в полдень по местному истинному солнечному времени тень от вертикального шеста совпадает с этой линией, т. е. с истинным меридианом данной точки.

Южная и северная точки небесного экватора — точки пересечения небесного меридиана с небесным экватором. Точка, ближайшая к южной точке горизонта, называется точкой юга небесного экватора Q' , а точка, ближайшая к северной точке горизонта, — точкой севера Q .

Вертикаль светила, или круг высоты, ZMZ' — большой круг на небесной сфере, проходящий через зенит, надир и светило. Первый вертикаль — вертикаль, проходящий через точки востока и запада.

Круг склонения, или часовой круг светила, PMR' — большой круг на небесной сфере, проходящий через полюсы мира и светило.

Суточная параллель светила qMq' — малый круг на небесной сфере, проведенный через светило параллельно плоскости небесного экватора. Видимое суточное движение светил происходит по суточным параллелям.

Альмукантарат светила AMA' — малый круг на небесной сфере, проведенный через светило параллельно плоскости истинного горизонта.

Рассмотренные элементы небесной сферы широко используются в авиационной астрономии.

2. СИСТЕМЫ НЕБЕСНЫХ КООРДИНАТ

При решении разнообразных задач авиационной астрономии приходится определять положение светил на небесной сфере. Для этого пользуются системами небесных координат. В зависимости от целей и условий измерения в авиационной астрономии применяют две системы сферических небесных координат. В одной системе светило ориентируют относительно истинного горизонта и называют эту систему горизонтальной, а в другой — относительно небесного экватора и называют экваториальной. В каждой из этих систем положение светила на небесной сфере определяется двумя угловыми величинами подобно тому, как при помощи широты и долготы определяется положение точек на поверхности Земли.

Горизонтальная система небесных координат. Основной плоскостью в этой системе небесных координат является плоскость истинного горизонта, а полюсами являются зенит и надир. Положение светила в этой системе координат определяется азимутом и высотой светила (рис. 1.2)

Азимутом светила A называется двугранный угол в плоскости истинного горизонта, заключенный между плоскостью небесного меридиана и плоскостью вертикала светила. Азимут отсчитывается от северного направления небесного меридиана по ходу часовой стрелки от 0 до 360° . Светила, находящиеся на одном вертикале, имеют одинаковые азимуты.

Положение светила на вертикале определяется другой координатой — высотой. Высотой светила h называется угол между плоскостью истинного горизонта и направлением на светило из центра небесной сферы. Высоту можно измерять также дугой вертикала от плоскости истинного горизонта до альмукантарата светила. Высота измеряется от 0 до $\pm 90^\circ$.

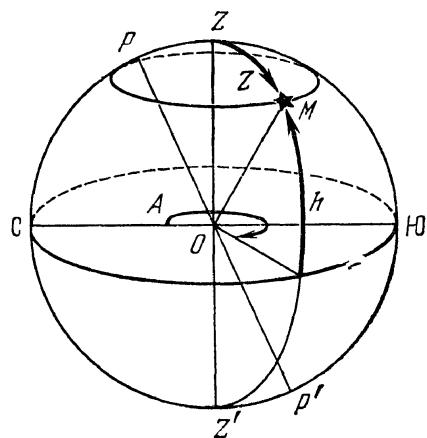


Рис. 1. 2. Горизонтальная система небесных координат

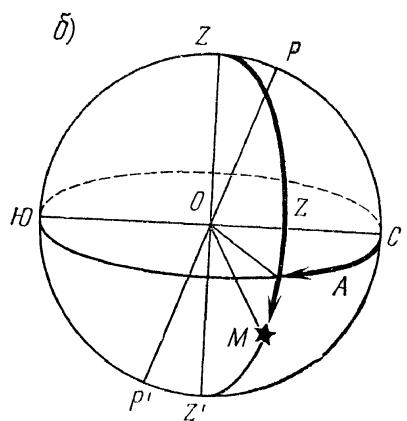
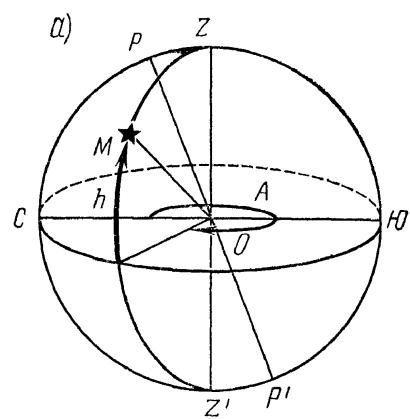


Рис. 1. 3. Положение светил на небесной сфере:

$$= +50^\circ; \quad \text{для } A = 300^\circ; \\ \text{для } A = 50^\circ; \\ Z = 120^\circ$$

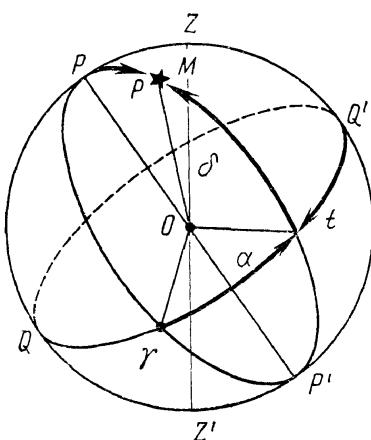


Рис. 1. 4. Экваториальная система небесных координат

Положительные высоты отсчитываются к зениту, а отрицательные к нади-ру, т. е. светила, находящиеся над горизонтом, имеют положительную вы-соту, а находящиеся под горизонтом — отрицательную. Вместо высоты свети-ла иногда пользуются другой коорди-натой — зенитным расстоянием.

Зенитным расстоянием Z называется угол в плоскости вертика-ла, заключенный между вертикалью наблюдалеля и направлением на светило из центра небесной сферы. Зенитное расстояние отсчитывается от точки зенита до направления на све-тило от 0 до 180° .

Между высотой и зенитным рас-стоянием светила существует следую-щая зависимость:

$$h + Z = 90^\circ, \text{ откуда}$$

$$Z = 90^\circ - h; \quad h = 90^\circ - Z.$$

Светила, находящиеся на одном альмукантаре, имеют одинаковые высоты и одинаковые зенитные рас-стояния.

Горизонтальные координаты све-тил непрерывно и неравномерно изме-няются вследствие суточного враше-ния Земли. Они изменяются также и с переменою места наблюдателя. Одна-ко горизонтальные координаты удоб-ны тем, что их можно непосредствен-но измерить с помощью специальных приборов и по ним легко можно пред-ставить положение светила на небес-ной сфере. Ниже приведены примеры гра-фического изображения положе-ния светил на небесной сфере по за-даным горизонтальным координатам.

Пример 1. Азимут светила $A = 300^\circ$; высо-та светила $h = +50^\circ$.

Пример 2. Азимут светила $A = 50^\circ$; зе-нитное расстояние светила $Z = 120^\circ$.

Положение светил на небесной сфе-ре для данных примеров показано на рис. 1.3.

Экваториальная система небесных координат. Основной плоскостью в этой системе небесных координат является плоскость небесного экватора, а полюсами являются полюсы мира. Положение светила в этой системе координат определяется склонением и часовым углом светила (рис. 1.4).

Склонением светила δ называется угол, заключенный между плоскостью небесного экватора и направлением на светило из центра небесной сферы. Склонение светила измеряется от 0 до $\pm 90^\circ$. Положительное склонение отсчитывается в направлении к Северному полюсу мира, а отрицательное — к Южному. Склонение Солнца, Луны и планет дано в Авиационном астрономическом ежегоднике (ААЕ) для каждого часа гринвичского времени (приложение 5), а навигационных звезд — в таблице экваториальных координат звезд на начало каждого года (приложение 2) ввиду изменения его за год всего на $1-2'$. Иногда вместо склонения светила пользуются другой координатой — полярным расстоянием.

Полярным расстоянием P называется угол в плоскости круга склонения, заключенный между осью мира и направлением на светило из центра небесной сферы. Полярное расстояние отсчитывается от Северного полюса мира к Южному от 0 до 180° . Между полярным расстоянием и склонением светила имеется следующая зависимость:

$$P + \delta = 90^\circ. \text{ Откуда } P = 90^\circ - \delta; \delta = 90^\circ - P.$$

Светила, находящиеся на одной суточной параллели, имеют одинаковые склонения и одинаковые полярные расстояния.

Склонение, или полярное расстояние, определяет положение светила на круге склонения.

Положение же самого круга склонения на небесной сфере определяется часовым углом светила.

Часовым углом светила t называется двугранный угол в плоскости небесного экватора, заключенный между плоскостью небесного меридиана и плоскостью круга склонения светила.

Часовой угол отсчитывается от южного направления небесного меридиана по ходу часовой стрелки (к западу) до круга склонения светила от 0 до 360° . Важно знать, что отсчет часового угла светила ведется в направлении суточного вращения небесной сферы.

При решении некоторых задач для удобства часовые углы светил отсчитывают от 0 до 180° к западу и востоку и соответственно обозначают их t_z и t_v . В Авиационном астрономическом ежегоднике даны западные часовые углы светил от 0 до 360° , а

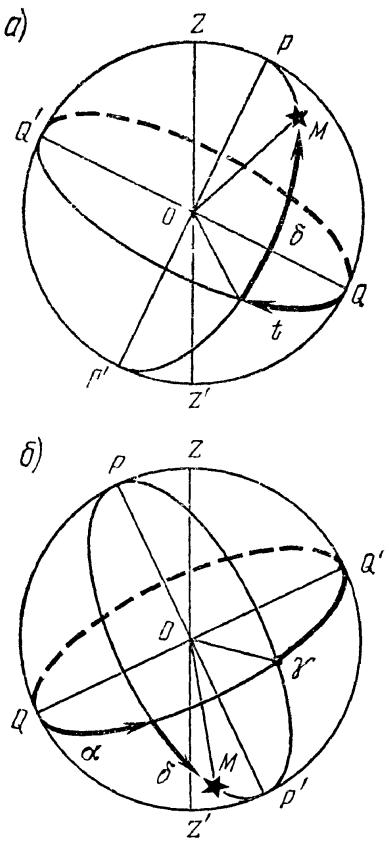


Рис. 1.5. Положение светил на небесной сфере:
 a — для $t_3 = 230^\circ$; $\delta_a = +60^\circ$.
 b — для $\alpha = 300^\circ$; $\delta = -60^\circ$

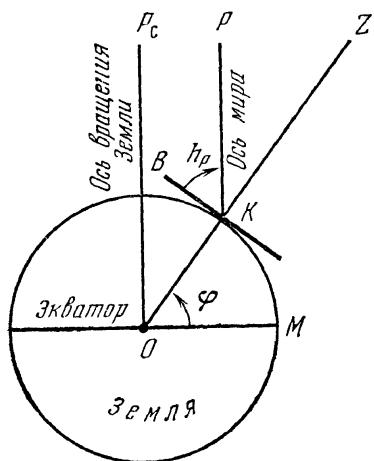


Рис. 1. 6. Зависимость между высотой полюса мира и географической широтой

от точки весеннего равноденствия против хода часовой стрелки (к востоку) до круга склонения светила от 0 до 360° . Прямое восхождение светила и его часовой угол можно измерять не только углом, но и дугой небесного экватора, а склонение и полярное расстояние светила — дугой круга склонения.

в расчетных таблицах для Солнца, Луны и планет — от 0 до 180° .

В практике авиационной астрономии важное значение имеет зависимость между часовым углом светила и долготой места наблюдателя. Выше указывалось, что часовой угол светила принято отсчитывать к западу от небесного меридиана. Так как плоскость небесного меридиана совпадает с географическим меридианом наблюдателя, то в один и тот же момент времени часовые углы одного и того же светила для наблюдателей, находящихся на разных меридианах, будут различны.

Очевидно, что в один и тот же момент времени разность местных часовых углов светила равна разности долгот наблюдателей $t_2 - t_1 = \lambda_2 - \lambda_1$. Если принять в данном соотношении $\lambda_1 = 0$, то $t_1 = t_{\text{гр}}$. Принимая $\lambda_2 = \lambda$ и $t_2 = t$, получаем $t = t_{\text{гр}} \pm \lambda^B_3$. Как видно из полученной формулы, местный часовой угол светила отличается от гринвичского на значение долготы наблюдателя. В практике часто вместо часового угла светила пользуются другой координатой — прямым восхождением светила.

Прямы́м восхождением светила α называется угол, заключенный между плоскостью круга склонения точки весеннего равноденствия (начального круга склонения) и плоскостью круга склонения светила.

Точкой весеннего равноденствия называется точка пересечения плоскости небесного экватора центром Солнца (21 марта) при его видимом годовом движении по небесной сфере. Эту точку принято обозначать символом созвездия Овен Υ, в котором она находилась в эпоху зарождения астрономии.

Прямое восхождение светила отсчитывается в плоскости небесного экватора

В авиационной астрономии экваториальная система небесных координат подразделяется на две системы.

В первой экваториальной системе положение светила на небесной сфере определяется склонением и часовым углом, а во второй — прямым восхождением и склонением светила. Первая экваториальная система берется в основу при разработке и создании астрономических компасов, а также при составлении расчетных таблиц. Вторую экваториальную систему используют для составления звездных карт и таблиц экваториальных координат звезд.

Экваториальная система небесных координат является более практической по сравнению с горизонтальной. Она имеет большое практическое значение в авиационной астрономии. С этой системой связано измерение времени и определение места самолета, т. е. решение главных вопросов практической авиационной астрономии.

Основным ее достоинством является то, что экваториальные координаты светил не зависят от места наблюдателя на земной поверхности, за исключением местного часового угла. Часовой угол светила зависит не только от долготы места наблюдателя, но и от времени наблюдения. Он непрерывно изменяется пропорционально времени, и это позволяет учитывать в астрокомпасах при помощи часовогого механизма его изменение за счет вращения Земли.

Склонение и прямое восхождение светил, как это будет подробнее рассмотрено дальше, также изменяются со временем, но значительно медленнее, чем изменяются горизонтальные координаты. Их изменение происходит вследствие того, что небесный экватор и точка весеннего равноденствия непрерывно изменяют свое положение в пространстве из-за прецессии оси вращения Земли. Ниже приведены примеры графического изображения положения светил на небесной сфере по заданным экваториальным координатам.

Пример 1. Западный часовой угол светила $t_3 = 230^\circ$; склонение светила $\delta = +60^\circ$.

Пример 2. Прямое восхождение светила $\alpha = 300^\circ$; склонение светила $\delta = -60^\circ$.

Положение светил на небесной сфере для данных примеров показано на рис. 1.5.

3. ЗАВИСИМОСТЬ МЕЖДУ ВЫСОТОЙ ПОЛЮСА МИРА И ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ШИРОТОЙ

Вид звездного неба зависит от положения наблюдателя на поверхности Земли. Но по общему виду звездного неба трудно определить географическую широту места наблюдателя. Наиболее просто широту места наблюдателя можно определить по высоте полюса мира. Зависимость между высотой полюса мира и географической широтой можно легко установить на рис. 1.6.

Наблюдатель, находясь на поверхности Земли в точке K , увидит полюс мира в точке P . Ось мира и ось вращения Земли параллельны, так как расстояние до полюса мира бесконечно большое. Угол MOK является широтой места, а угол BKP — высотой полюса мира. Угол MOK равен углу BKP , как углы с взаимно перпендикулярными сторонами. Следовательно, географическая широта места наблюдателя равна высоте полюса мира, т. е. $\phi = h_p$. Это равенство имеет большое практическое значение. Оно позволяет по измеренной высоте полюса мира определять широту места самолета. В Северном полушарии это практически производят по Полярной звезде, которая расположена от Северного полюса мира на расстоянии менее 1° . Измерив высоту этой звезды и введя в ее значение некоторую поправку, учитываящую положение Полярной звезды на небесной параллели в момент измерения, получают географическую широту места наблюдения.

4. ГРАФИЧЕСКОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ НЕБЕСНЫХ КООРДИНАТ

В практике часто приходится преобразовывать координаты светил из одной системы в другую. При решении учебных задач преобразование небесных координат наиболее просто и быстро можно произвести графическим способом.

Пример 1. Широта места наблюдателя $\varphi_c = 60^\circ$; экваториальные координаты светила: $t_3 = 30^\circ$; $\delta = +40^\circ$. Определить горизонтальные координаты светила A и h .

Решение 1. Построим с помощью циркуля небесную сферу в виде окружности произвольного радиуса (рис. 1.7).

2. Проведем вертикаль наблюдателя и в точках ее пересечения с небесной сферой обозначим точки зенита и надира.

3. Нанесем плоскость истинного горизонта.

4. Проведем ось мира под углом к плоскости истинного горизонта, равным широте места, и обозначим полюсы мира.

5. Нанесем плоскость небесного экватора.

6. Обозначим точки севера и юга, востока и запада на плоскости истинного горизонта и точки севера и юга на плоскости небесного экватора.

7. Отложим на глаз в плоскости небесного экватора от южного направления меридиана наблюдателя заданный часовой угол светила.

8. Через полученную точку на небесном экваторе проведем круг склонения светила и отложим заданное склонение светила.

9. Обозначим положение светила на небесной сфере и проведем через него вертикаль светила.

10. Определяем на глаз азимут и высоту светила: $A = 250^\circ$; $h = +50^\circ$.

Пример 2. Широта места наблюдателя $\varphi_c = 45^\circ$; горизонтальные координаты светила: $A = 120^\circ$; $h = +60^\circ$. Определить экваториальные координаты светила δ и t .

Решение. 1. Построим небесную сферу и нанесем на нее основные точки, линии и круги (рис 1.8).

2. Отложим на глаз в плоскости истинного горизонта от северного направления меридиана наблюдателя заданный азимут светила.

3. Через полученную точку на плоскости истинного горизонта проведем вертикаль светила и отложим заданную высоту светила.