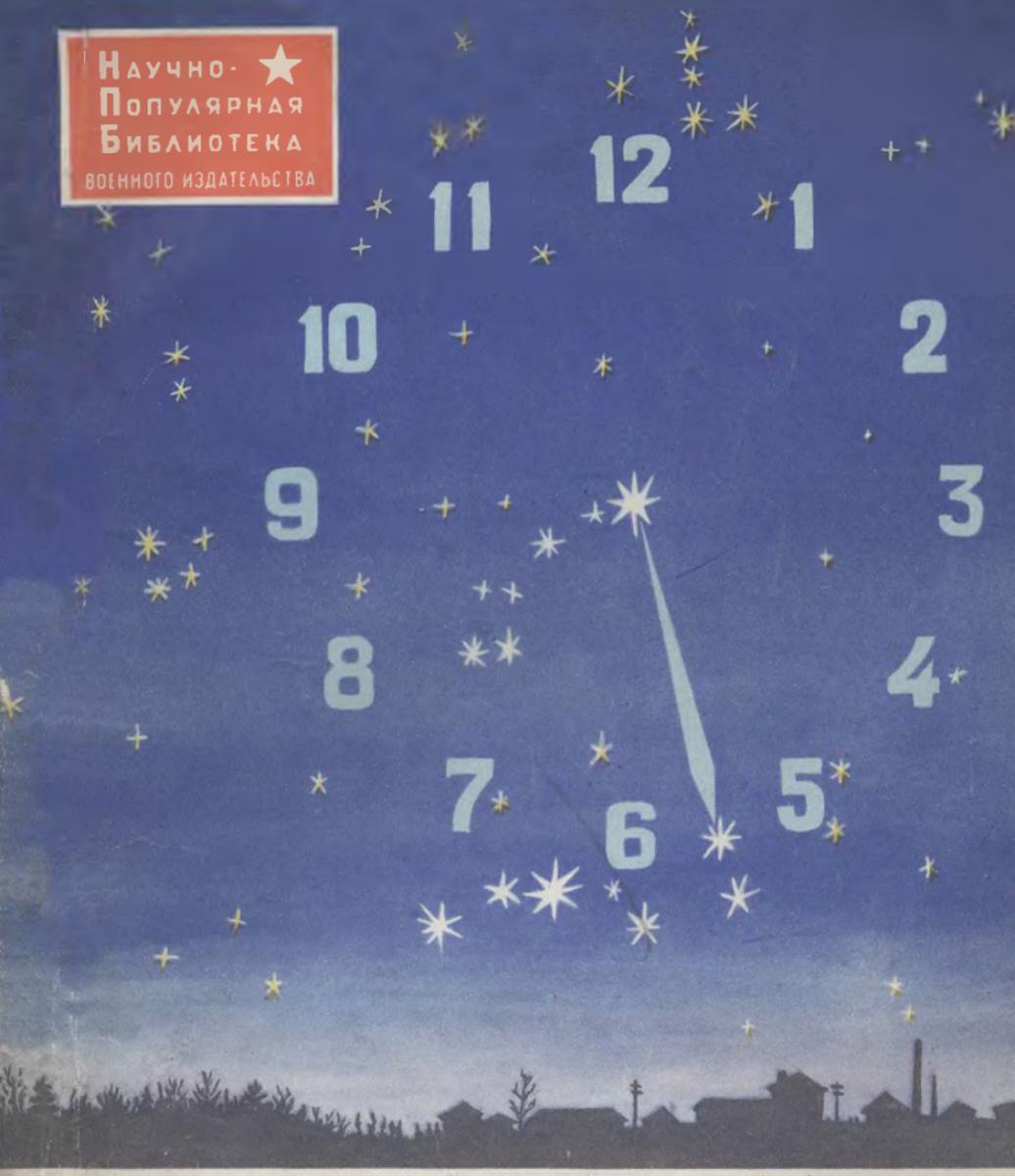


★
Научно-
Популярная
Библиотека
Военного издательства



Н Я КОНДРАТЬЕВ

ОРИЕНТИРОВКА ПО ЗВЕЗДАМ

Н. Я. КОНДРАТЬЕВ

ОРИЕНТИРОВКА
ПО ЗВЕЗДАМ

ВОЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МИНИСТЕРСТВА ОБОРОНЫ СССР
МОСКВА—1961

Н. Я. Кондратьев. Ориентировка по звездам

Блестящие достижения советской науки и техники в области космических полетов — первый в мире спутник Земли, первая ракета на Луне, первая ракета на пути к Венере, первый космический корабль-спутник и первый человек на борту космического корабля, совершившего полет во Вселенную, — привлекают все больше людей к изучению практической астрономии.

В предлагаемой вниманию читателей книге рассказывается о том, какое большое практическое значение для человека имеет ориентировка по звездам и другим небесным светилам, как самостоятельно отыскать на небе наиболее яркие созвездия и звезды, как определить время по звездам и Солнцу, а также об астрономических методах ориентировки на местности, определении курса и места самолета в полете, об ориентировке во время космического полета.

Некоторый фактический материал (общие сведения о Галактике, о движении Солнца, Луны и планет, основные системы небесных координат) расширяет общий кругозор читателя.

В книге в научно-популярной форме обобщены последние данные советской и зарубежной авиационной астрономии. Она написана доступным языком и рассчитана на широкий круг читателей — летный состав, курсантов и слушателей средних и высших учебных заведений ВВС, ГВФ и ДОСААФ, а также лиц, интересующихся вопросами ориентировки по небесным светилам.

ВВЕДЕНИЕ

С давних времен и до настоящего времени звезды были и остаются надежными ориентирами, по которым человек определял направление точек горизонта и свое местонахождение, т. е. ориентировался на суше и на море, а затем и в воздухе.

Еще в древнее время, наблюдая ежедневный восход и заход Солнца, его видимое движение по небесной сфере, люди замечали, что в середине дня оно достигает наивысшей точки на небе, что время восхода и захода, а также высота Солнца над горизонтом в полдень меняются в течение года. Вместе с тем меняется продолжительность светлого и темного времени. Наблюдения ночью помогли обнаружить также закономерность вращения звездного неба, закономерность движения и изменения вида Луны. Это дало возможность людям использовать наблюдения за небесными светилами для решения важнейших жизненных задач: счета времени и определения направления в пространстве.

Данные об астрономических явлениях накапливались очень медленно. Наблюдения проводились преимущественно старейшинами племен или жрецами, которые держали в тайне свои открытия, чтобы легче было поддерживать не только физическое, но и духовное порабощение народа.

Не умея объяснить причины видимых движений небесных светил, грома, молнии, ветра, люди слепо преклонялись перед этими непонятными им явлениями природы, обожествляли их. Весь мир казался им полным чудес, творимых богами.

Почитание небесных светил, религиозные заблуждения, непонимание биологических и социальных явлений, происходящих в природе, породили ложные представления о зави-

симости земных явлений от небесных светил. На этой основе возникла фантастическая вера в «счастливые звезды» и «несчастливые планиды» (планеты).

Постепенно распространение правильных научных представлений о Вселенной все более и более ограничивало область суеверий, освобождало людей от беспомощности перед силами природы, помогало им решать очень важные практические задачи.

Слово «ориентироваться», обычно употребляемое в смысле разобраться в чем-либо, связано с направлением точек горизонта. Оно происходит от латинского слова *origens*, что в переводе означает восток. С первобытных времен восток считался почитаемой стороной: с востока появлялось Солнце — источник жизни на Земле, поэтому на восток молились, обращали алтари православных церквей.

Первые записи астрономических наблюдений велись примерно за 3000 лет до нашей эры народами Африки и Азии.

Более 2000 лет назад великий древнегреческий астроном Гиппарх составил список около тысячи хорошо различных звезд. Он впервые определил яркость каждой звезды, положение ее на небе, ввел определение положения точки на земной поверхности при помощи широты и долготы.

Ф. Энгельс в «Диалектике природы», говоря о последовательности развития отраслей естествознания, указывает, что раньше начала развиваться астрономия, «которая уже из-за времен года абсолютно необходима для пастушеских и земледельческих народов».

Изучение законов Вселенной помогло также развитию математики, физики и других наук. Например, известно, что один из химических элементов — гелий вначале был открыт на Солнце спектральным анализом и только после усиленных поисков через 27 лет (в 1895 г.) его нашли и на Земле.

Помогая развитию других наук, астрономия в свою очередь широко пользовалась их данными. Так, с помощью математики производились многочисленные астрономические вычисления, физика помогала изучать законы движения, строение небесных светил.

Более ста лет назад французский ученый Леверье, анализируя уравнение движения планеты Уран, установил, что данные расчетов не совпадают с астрономическими наблюдениями. Он предположил, что существует еще одна планета, своим притяжением влияющая на планету Уран. Ле-

верье рассчитал, где должна находиться эта планета. И когда астрономы направили телескопы в указанную точку, они действительно обнаружили новую планету, впоследствии названную Нептуном.

Астрономия на протяжении всей своей долгой истории играла исключительно большую роль в развитии материалистического мировоззрения. И в настоящее время она помогает разоблачать неправильные, лженаучные, буржуазно-идеалистические представления о мире.

С возникновением и развитием торговых отношений между различными народами появилась необходимость в передвижении на значительные расстояния. Преодоление больших морских пространств вдали от берегов до появления магнитного компаса было возможно только при помощи небесных светил, наблюдение за которыми помогало мореплавателям держаться нужного направления и определять в открытом море свое местонахождение. Небесные светила служили первыми ориентирами. Но с течением времени простых наблюдений оказалось недостаточно, началось детальное изучение звездного неба и закономерностей движения небесных светил, производились более точные расчеты.

Ориентироваться на местности по звездам люди начали с тех пор, как научились определять широту места. Известно, что еще за 250 лет до нашей эры Эратосфен определил широту городов Александрии и Сиены, а по расстоянию между ними приближенно определил радиус земного шара.

В развитии методов и средств ориентировки на незнакомой местности по звездам большая роль принадлежит выдающемуся ученому-астроному Улуг-беку. Правитель могущественного государства, располагавшегося на территории нынешнего Узбекистана, внук монгольского завоевателя Тимура, Улуг-бек построил в Самарканде в первой половине XV века самую большую в то время в мире астрономическую обсерваторию. Основной задачей этой обсерватории было использование звезд для ориентировки на незнакомой местности. Создание обсерватории было вызвано жизненной необходимостью, так как, не умея ориентироваться, было трудно совершать большие переходы в пустынной местности на огромной территории государства, простиравшегося от Кавказа до Индии.

Великий узбекский поэт Алишер Навои писал, что таинственное и недоступное небо благодаря работам Улуг-

бека стало служить с большой пользой людям, что «небо стало близким и опустилось вниз».

Интересно отметить, что по звездам ориентируются не только люди, но и некоторые птицы.

В одном из зарубежных планетариев был проведен простой и убедительный опыт. Несколько небольших птиц — славков, совершающих свои перелеты по ночам, выпустили в планетарии, погасили свет и «зажгли» звезды, создав искусственную ночь. Птицы полетели в направлении, в котором они обычно совершают свои сезонные перелеты. Потом искусственное небо повернули на 180° и птицы довольно скоро заметили это и тоже развернулись в обратном направлении.

Положение звезд меняли несколько раз, и каждый раз славки правильно ориентировались и летели в ту сторону, где привыкли зимовать. Эти маленькие пернатые «штурманы», по-видимому, хорошо помнили звездную карту, и, когда намеренно искажали положение звезд на небе, они начинали беспокойно метаться по планетарию, жалобно кричать.

Исключительную роль в развитии материалистического мировоззрения, в победе материализма над идеализмом сыграли открытия в астрономии, математике и физике таких ученых, как Коперник, Кеплер, Галилей, Ньютон.

Новые знания о законах движения небесных светил меняли представление не только о небесном своде, но и о форме и размерах Земли.

Астрономия и в настоящее время служит познанию различных явлений природы. В астрономических обсерваториях регулярно ведется наблюдение за Вселенной, производятся различные измерения движений небесных светил, обработка данных, получаемых от искусственных спутников Земли и космических ракет, и т. д. Все эти данные используются в различных отраслях науки и техники, в быту.

Так, например, данные наблюдений за движением небесных светил помогают точно определять время и проверять часы. Измерение и «хранение» точного времени производит Служба времени во многих странах. У нас в СССР она находится при астрономических институтах и обсерваториях. Например, в Москве Служба времени Астрономического института им. П. К. Штернберга ведет систематические наблюдения за небесными светилами и по их положению

определяет и «хранит» время с точностью до тысячных долей секунды.

По сигналам точного времени, которые ежечасно передаются по радио, проверяются часы по всему Союзу. Эти сигналы подаются шестью точками в последние пять секунд каждого часа. Начало шестой точки соответствует началу отсчета следующего часа.

Для чего нужно знать время с точностью до долей секунды, когда в повседневной жизни люди обычно не замечают целые секунды?

Представим себе корабль в открытом море ночью. Штурману нужно определить местоположение корабля. По звездам он может вычислить широту, а для вычисления долготы необходимо точно знать время. Ошибись штурман всего на 10 сек, и ошибка в положении корабля может достигнуть в средних широтах 2—3 км.

Для составления географической карты геодезисты, наблюдая звезды, определяют на земной поверхности места опорных точек. Если при этом время будет определено с ошибкой в 1 сек, ошибка в положении точки на земле может дойти до 300—400 м. А карты крупного масштаба должны изображать местность с точностью до 10 м!

В астрономических обсерваториях при наблюдении звезд необходимо учитывать уже тысячные доли секунды, так как сигналы точного времени передаются на основе астрономических наблюдений. Не будь этих наблюдений, даже имея очень точные часы, обсерватории не могли бы определять и передавать по радио сигналы точного времени.

К наблюдениям небесных светил обращаются и воины Советской Армии при ночных переходах и маршах. Во время Великой Отечественной войны Большая Медведица, Полярная звезда, Луна не раз помогали ориентироваться в тылу врага.

В ракетных войсках и в артиллерии измерения положений небесных светил успешно применяют для определения точного направления пуска ракет и стрельбы по целям. Существуют типы крылатых ракет (например, американская ракета «Снарк»), направление полета которых автоматически корректируется астронавигационными системами управления по положению звезд.

Особенно большое применение астрономическая ориентировка нашла в морском флоте и авиации. Есть даже само-

стоятельные отрасли науки — мореходная астрономия и авиационная астрономия.

Одной из основных задач мореходной и авиационной астрономии является определение местоположения корабля или самолета по небесным светилам.

Средства и методы этих определений складывались веками. Уже древнегреческие мореплаватели применяли простейшие, весьма приближенные методы определения места корабля по небесным светилам. С течением времени астрономические приборы и методы их применения совершенствовались, особенно в эпоху великих географических открытий XV и XVI вв., когда корабли всего мира бороздили неизведанные пространства океанов.

Своего значения для кораблевождения астрономия не утратила и с появлением магнитного компаса, так как точность его показаний зависит от трудно учитываемых ошибок. Знаменитый мореплаватель Колумб, открывший в 1492 г. Америку, отмечая ненадежность работы магнитного компаса, говорил: «Существует лишь одно безошибочное корабельное исчисление — это астрономическое, счастлив тот, кто с ним знаком».

Но в то время умели находить только широту места. Поэтому, выйдя из порта, корабль обычно направлялся по меридиану до той широты, на которой находился порт назначения, а уже достигнув ее, следовал к месту назначения вдоль параллели, контролируя свое положение наблюдением Полярной звезды.

Неудобство такого метода астрономической ориентировки настойчиво выдвигало требование научиться определять долготу места.

В 1514 г. было предложено определять долготу по расстоянию между звездой и Луной, но в то время истинные положения звезд и Луны определялись еще неточно и этот способ не мог найти практического применения.

Во второй половине XVII века были разработаны два способа определения долготы: сравнением измеренной величины магнитного склонения с указанной на карте магнитных склонений и по затемнениям спутников Юпитера, наблюдаемым почти ежедневно 1—3 раза. Однако и эти способы не нашли широкого применения, так как данные о положении небесных светил были неточными из-за несовершенства астрономических приборов.

Более точно определять долготу стало возможно только с созданием в 1761 г. точных часов-хронометров.

Научившись определять разность во времени на двух различных меридианах, моряки в конце XVIII века находили широту и долготу места корабля путем разновременного наблюдения высот светила.

В 1808 г. была предложена теория одновременного определения широты и долготы места, но она требовала довольно сложных вычислений.

Только в середине прошлого столетия на основе накопившегося опыта был открыт приемлемый метод определения широты и долготы места корабля в открытом море. Большие заслуги в этом принадлежат нашим соотечественникам — ученым и морякам: М. В. Ломоносову, Ф. Ф. Шуберту, Ф. П. Литке, М. А. Акимову и многим другим.

В 1849 г. морской штурман М. А. Акимов предложил близкое к современному решение задачи определения места корабля нанесением линий его положения, найденных в результате измерений высот светил и расчетов их азимутов на момент наблюдения.

Авиационная астрономия — наука относительно молодая. Она зародилась и развилась на основе многовекового опыта использования небесных светил в мореплавании и восприняла от мореходной астрономии основные методы астрономических навигационных определений, соответственно переработав их для условий полета самолета.

В авиации, как и в морском флоте, весьма важно уметь определять свое местонахождение в любой момент полета

Как морской корабль, находящийся в открытом море вдали от берегов, нуждается в точном знании своего места, чтобы взять курс для следования в назначенный пункт, так и самолет — воздушный корабль, пролетая значительные расстояния, часто при невидимости Земли, нуждается в точном определении своего места для своевременного выхода в пункт назначения.

Впервые в мире опыты астрономических измерений для определения местоположения воздушного шара в воздухе были произведены русскими воздухоплавателями в 1897—1898 гг.

Применять астрономические приборы на самолетах также впервые начали наши русские летчики при дальних полетах на тяжелых самолетах «Илья Муромец» и «Русский витязь» еще в 1913—1916 гг., намного опередив в этом зарубежную авиацию.

Наиболее быстро авиационная астрономия начала развиваться после Великой Октябрьской социалистической революции, и особенно в годы советских пятилеток.

Во время первых трансарктических перелетов через Северный полюс в 1936—1937 гг. штурманы самолетов А. В. Беляков и С. А. Данилин, умело применяя новейшие технические средства самолетовождения, блестяще выполнили поставленные задачи. Особо важную роль в этих полетах сыграли астрономические измерения, которые в условиях Арктики помогли экипажам не сбиться с намеченного пути и постоянно иметь данные о своем местонахождении.

Выдающиеся авиационные штурманы Б. В. Стерлигов, Герои Советского Союза А. В. Беляков, С. А. Данилин, И. Т. Спирин в дальних полетах добивались высокой точности самолетовождения благодаря умелому применению астрономической навигации.

А. В. Беляков, рассказывая о своем полете через Северный полюс в составе экипажа В. П. Чкалова, пишет, что до Северного полюса астрономические средства применялись вместе с другими средствами самолетовождения, момент пролета полюса определялся по высоте Солнца, которая здесь равна его склонению. На участке от Северного полюса до американского материка курс выдерживался в основном по солнечному указателю курса, а путь контролировался прокладкой астрономических линий положения самолета, определяемых по высоте светил.

«...Самый важный прибор на нашем самолете — солнечный указатель курса», — пишет А. В. Беляков в своей книге «Из Москвы в Америку через Северный полюс».

И. Т. Спирин в книге «Покорение Северного полюса» также отмечает: «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».

В период Великой Отечественной войны отважные авиационные штурманы дважды Герой Советского Союза В. В. Сенько, Герои Советского Союза С. М. Романов, Ф. С. Яловой, Н. А. Гунбин, А. П. Штепенко, В. И. Аккуратов и многие другие мастерски применяли астрономические средства самолетовождения при выполнении боевых заданий.

Большую роль в развитии отечественных астрономических методов и средств самолетовождения, в обучении лет-

ного состава астронавигации, в обеспечении полетов различными расчетным и пособиями сыграли Л. П. Сергеев, Н. Ф. Кудрявцев, Н. К. Кривонос, Р. В. Куницкий, М. Ф. Горшков, Н. А. Носов, И. Д. Жонголович, В. И. Кононенко, Н. С. Сороковик. Их труды в области авиационной астрономии внесли ценный вклад в совершенствование астрономических методов навигации.

В настоящее время дальние полеты, как правило, выполняются с применением астрономических средств. Штурманы, умело применяющие эти средства, добиваются высокой точности самолетовождения в учебно-боевых полетах. Опытные авиационные штурманы В. И. Чернышев, В. А. Быхал, Н. М. Косьяненко, П. Г. Кудинов, А. В. Черкасов высоко оценивают значение астрономических средств, их простоту, надежность, независимость от времени полета и местности, над которой пролетает самолет, особенно при полетах в северных широтах.

Автору этой книги приходилось выполнять полеты над арктическими просторами нашей Родины в качестве штурмана. И можно с уверенностью сказать, что без астрокомпыаса и секстанта — основных астрономических приборов на самолете — успешное выполнение этих полетов было бы невозможно даже при совершенных радиотехнических самолетных и наземных средствах самолетовождения. В Арктике, особенно в ее центральном бассейне, а также в районах Антарктиды, где горизонтальная составляющая силы земного магнетизма мала, а распространение радиоволн подвержено сильным помехам, необходимо самое широкое использование астрономической ориентировки в полетах.

За последние годы астрономические средства самолетовождения значительно автоматизированы. Это повышает точность измерений и упрощает работу. Однако для грамотного применения астрономических средств необходимо хорошо знать эти средства и законы движения небесных светил.

Успешный запуск искусственных спутников Земли, которые тоже становятся небесными телами, дает возможность и их использовать для целей ориентировки. Искусственные спутники Земли даже имеют преимущества перед небесными светилами, так как на их борту имеются радиопередатчики. Спутники можно пеленговать в любое время суток и в любую, самую ненастную погоду.

В наше время, когда успешно изучается Вселенная, каждый грамотный человек должен уметь отыскивать на небе

наиболее яркие созвездия и звезды, понимать сущность видимых движений звезд, Солнца, Луны и планет, уметь ориентироваться относительно стран света и определять время по небесным светилам. Основное пособие — звездное небо — всегда перед глазами человека, оно представляет собой великолепное зрелище. Почаще наблюдайте его, это не только полезно, но и очень интересно! Как правило, увидев всего несколько раз фигуры созвездий, их расположение на небе, человек запоминает это на всю жизнь.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ГАЛАКТИКЕ, СОЛНЦЕ, ПЛАНЕТАХ И ЛУНЕ

Голубое дневное небо и темный ночной небосвод, усыпанный множеством мерцающих звезд, — интересное зрелище для наблюдателя. Один из философов прошлого сказал, что если бы звездное небо было видно только в каком-нибудь одном месте Земли, то к этому месту непрерывно двигались бы толпы людей, чтобы полюбоваться редкостным зрелищем. И действительно, трудно не залюбоваться своеобразными и яркими красками на небе при восходе и заходе Солнца или золотистой россыпью звезд в ясную безлунную ночь.

Окружающее нас пространство представляется нам в виде небесного свода — огромного купола, опрокинутого над нами, на котором днем мы видим Солнце, а иногда и Луну, а ночью — звезды, Луну, планеты.

Особенно много звезд видно в той части небосвода, где находится светлая, туманная полоса, как бы опоясывающая небо. Если рассматривать ее в телескоп, то можно различить здесь множество расположенных близко одна к другой слабых звездочек. Это гигантское звездное скопление образует звездную систему, называемую Галактикой, куда входит и Солнце как одна из рядовых, ничем особенно не примечательных звезд (рис. 1).

Галактика довольно хорошо изучена. Установлено, что она имеет сложный состав и структуру. Ее составляют приблизительно 150 миллиардов звезд. Значительная часть из них образует дискообразную (в форме чечевицы) систему, отдельные члены которой обращаются по почти круговым орбитам вокруг центра Галактики. Эти звезды из-за своей удаленности не различаются раздельно невооруженным глазом и создают хорошо видимую в ясные безлунные ночи

картину Млечного Пути. Не менее значительное количество звезд, по-видимому, обращается вокруг центра Галактики по вытянутым орбитам, сильно наклоненным к главной плоскости Млечного Пути. Эти звезды образуют ядро Галак-

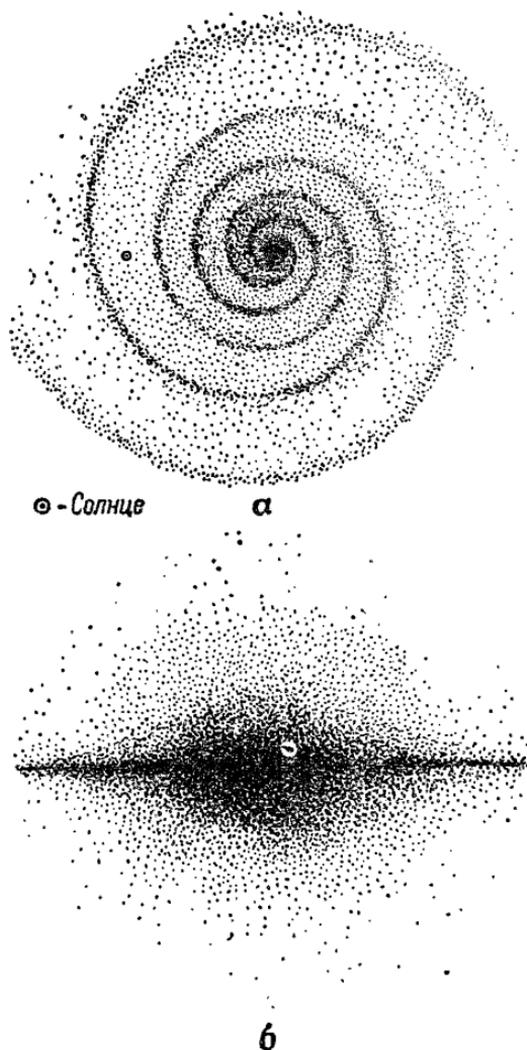


Рис. 1. Схема строения Галактики

тики, вокруг которого обращаются все остальные звезды, в том числе и Солнце.

Кроме отдельных звезд, Галактика содержит звездные скопления и звездные ассоциации, планетарные и диффуз-

ные туманности, а также межзвездное вещество, состоящее из газов (главным образом водорода) и мелких частиц (космической пыли). Межзвездный газ заполняет, как предполагают, всю сферическую и плоскую составляющие Галактики, а твердые частицы располагаются лишь в плоской составляющей, для которой характерна спиральная струк-

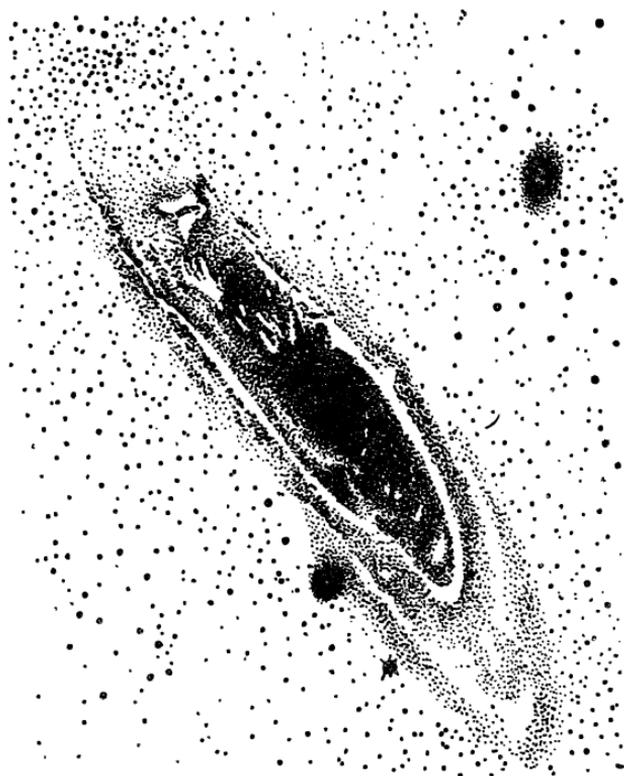


Рис. 2. Туманность (галактика) в созвездии Андромеды

тура, наблюдаемая и у множества других спиральных галактик (рис. 2).

Размеры Галактики огромны. Ее наибольший поперечник равен примерно 85 000 световых лет. Это значит, что расстояние от одного до другого края Галактики можно преодолеть со скоростью света (300 000 км/сек) за 85 000 лет.

Солнце расположено ближе к краю Галактики, чем к центру, который виден нам в направлении созвездия Стрель-

ца, одного из наиболее ярких участков Млечного Пути. На этом расстоянии от центра (23 000 световых лет) скорость обращения составляет примерно 250 км/сек, а один оборот вокруг центра Галактики Солнце завершает примерно в 185 млн. лет. И хотя оно обращается с колоссальной скоростью, во много раз превышающей скорость полета пули,

снаряда и ракеты, за полтора часа Солнце успевает пройти лишь расстояние, равное своему поперечнику.

На других расстояниях от центра Галактики скорости обращения звезд иные.

Возраст звезд Галактики, как установлено, неодинаковый. Но и самые «молодые» насчитывают сотни тысяч и миллионы лет.

Галактика не единственная звездная система Вселенной. За пределами нашей Галактики астрономы обнаружили множество подобных по своему строению звездных систем. Это другие галактики, или, как их еще называют, внегалактические туманности.

Ближайшая к нам спиральная туманность видна

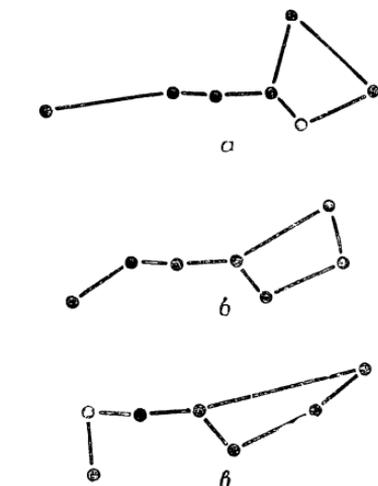


Рис. 3. Собственное движение ярких звезд созвездия Большой Медведицы:

a — вид ковш несколько десятков тысяч лет назад; *b* — в настоящее время; *в* — через несколько десятков тысяч лет

в созвездии Андромеды (рис. 2). Она находится от нас на расстоянии более миллиона световых лет и по своим размерам больше нашей Галактики.

Сейчас ученым известны миллионы галактик, целые скопления и облака галактик. Предполагают, что все видимые в настоящее время галактики составляют лишь небольшую часть более грандиозной космической системы — Метагалактики. До ее границ пока не могут проникнуть даже самые мощные телескопы.

Взаимное положение звезд на небе не является неизменным. Все звезды, в том числе и наше Солнце, перемещаются в различных направлениях со скоростями в десятки и сотни километров в секунду. Угловое перемещение звезды

на небесной сфере за один год называется собственным движением звезды. Правда, изменение видимых с Земли положений звезд происходит очень медленно, так как расстояния до звезд чрезвычайно большие, и перемещение становится заметным через многие тысячелетия (рис. 3).

Собственное движение звезд в течение одного года обычно измеряется дугой в доли секунды. Однако за длительное время это перемещение увеличивается, поэтому координаты звезд со временем уточняют.

Солнце вместе со всей солнечной системой движется относительно окружающих звезд по направлению к точке, находящейся на границе созвездий Лиры и Геркулеса, со скоростью около 20 км/сек . Увлекаемая движением Солнца Земля описывает в пространстве винтовую линию.

Движение солнечной системы впервые было установлено В. Гершелем в 1783 г.

Вокруг Солнца на различных от него расстояниях под действием силы притяжения обращаются девять планет, девять больших темных шарообразных тел, одним из которых является наша Земля (рис. 4).

Каждая планета имеет свое название: Меркурий, Венера, Земля, Марс, Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун и Плутон. Предполагают, что далеко за орбитой Плутона вокруг Солнца обращается еще одна планета — Трансплутон, но пока ее еще никто не видел.

Земля находится от Солнца на расстоянии в среднем 150 млн. км . Меркурий и Венера ближе к Солнцу, чем Земля, а остальные планеты дальше. Самая дальняя планета — Плутон, она примерно в 40 раз дальше от Солнца, чем Земля. Некоторые планеты имеют свои спутники.

Между орбитами Марса и Юпитера вокруг Солнца обращается множество малых планет, называемых астероидами. К настоящему времени известно более 1800 таких астероидов. Диаметр большинства астероидов $15\text{—}75 \text{ км}$. Самый крупный из них — Церера имеет диаметр до 770 км .



Рис. 4. Движение Земли и других планет вокруг Солнца

Самые мелкие — неправильной формы глыбы диаметром около 1 км.

Космическая ракета, запущенная в Советском Союзе в январе 1959 г. на орбиту вокруг Солнца, стала первой искусственной планетой солнечной системы. Ее иногда называют «десятой планетой», хотя по размерам она несравненно меньше естественных планет. Орбита космической ракеты проходит между орбитой Земли и орбитой Марса.

Планеты различны по размерам, плотности, количеству спутников и другим данным. Примерно такими же по размеру, как Земля, являются Меркурий, Венера, Марс. У этих планет плотность значительно больше, чем плотность воды. Предполагают, что такого же типа планета Плутон. Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун — планеты значительно больших размеров. Все они имеют среднюю плотность, близкую к плотности воды.

Сравнительные размеры Солнца и планет показаны на рис. 5.

Так как размеры орбит планет различны, различны и их периоды обращения вокруг Солнца. Если Земля делает полный оборот вокруг Солнца за год, то Меркурий примерно за $\frac{1}{4}$ года, Юпитер — за 12, а Плутон — почти за 250 земных лет.

Невооруженным глазом на небе можно увидеть шесть планет: Уран, Меркурий, Венеру, Марс, Юпитер и Сатурн; для воздушной навигации применяются последние четыре. От звезд планеты отличаются яркостью. Хотя света они не излучают, но, как и Земля, освещаются Солнцем и отражают солнечные лучи, почему и становятся видимыми.

В отличие от звезд, непрерывно мерцающих и меняющих яркость, особенно морозной ночью, в ветреную погоду и после дождя, планеты всегда сияют ровным светом. Это объясняется тем, что лучи света от звезд, воспринимаемых глазом, как светящиеся точки, проходя через слои атмосферы различной плотности, претерпевают множество отклонений от прямого пути, в результате чего они приходят к нам то ослабленными, то усиленными, и свет звезд как бы вспыхивает, дрожит. Планеты же находятся к нам значительно ближе звезд и представляются нам не светящимися точками, а небольшими дисками, различные точки которых мерцают в разное время, и общая сумма света, отраженного ими, остается почти постоянной. Поэтому их свет воспринимается глазом как ровный и спокойный.

Видимое положение планет относительно звезд непостоянно. Планеты как бы «блуждают» среди звезд. Собственно, и слово планета в переводе с греческого языка означает «блуждаю». В результате сочетания обращения планет вокруг Солнца и движения Земли с движением каждой планеты это перемещение планет относительно звезд про-

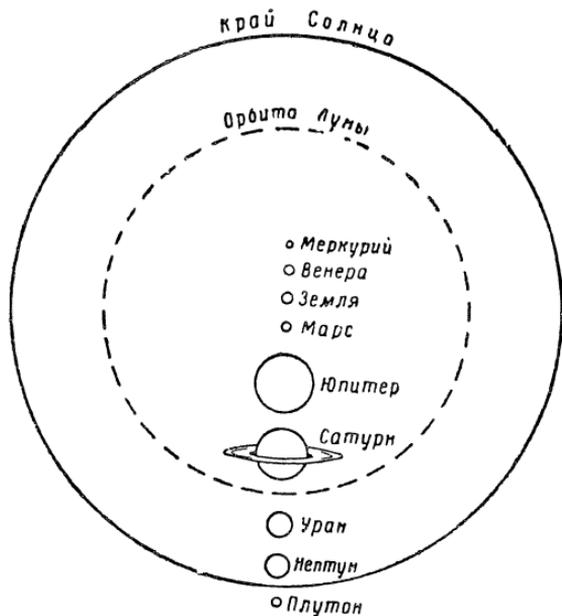


Рис. 5. Сравнительные размеры Солнца и планет

исходит то быстрее, то медленнее, то оно направлено в сторону суточного вращения небесной сферы, то в противоположную сторону. Движение планет среди звезд может казаться нам и петлеобразным, так как мы наблюдаем его с Земли, которая сама обращается вокруг Солнца.

Все планеты совершают свой видимый путь вблизи эклиптики, в области так называемого пояса Зодиака. Видимое перемещение планет, как и Солнца, среди звезд происходит в направлении с запада на восток.

На рис. 6 показана схема перемещений по звездному небу планеты Венеры с начала января до 15 августа 1961 г. Как видно из этой схемы, Венера в первой половине января проходит созвездие Водолей, затем в феврале проходит южнее созвездия Пегас и с начала марта до 15 мая совершает петлеобразный путь между созвездиями Андромеды и Кита. В середине июня Венера видна южнее созвездия

Овен, в июле проходит через созвездие Тельца, а в августе — через созвездие Близнецы.

В истории развития познаний о планетах большое значение имело открытие немецким ученым Иоганном Кеплером в начале XVII века трех законов движения планет,

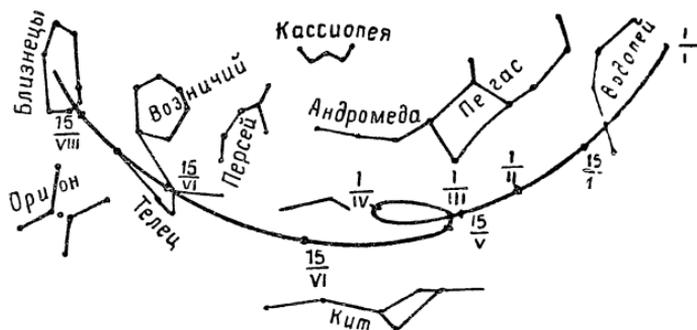


Рис. 6. Схема перемещения по звездному небу планеты Венера с 1.1 по 15.8 1961 г.

ставших основой теоретической астрономии. Путем вычислений он доказал, что, во-первых, каждая планета движется по эллипсу, в одном из фокусов которого находится Солнце. Отсюда следует, что расстояние между планетой и Солнцем меняется. Ближайшую к Солнцу точку орбиты называют перигелием, а самую отдаленную — афелием.

Во-вторых, Кеплер нашел, что скорость движения планеты вокруг Солнца не всегда одинакова: подходя ближе к Солнцу, планета движется быстрее, а отходя дальше от него — медленнее.

В-третьих, Кеплер установил зависимость между временем обращения планет и их расстоянием от Солнца: квадраты периодов обращения любых двух планет относятся между собой, как кубы их средних расстояний от Солнца. Следовательно, зная из наблюдений периоды обращения планет, можно определить большие полуоси орбит планет и расстояния планет от Солнца.

При движении планет их взаимное расположение все время меняется. Например, внутренняя по отношению к Земле планета, т. е. более близкая к Солнцу, чем Земля, может быть между Землей и Солнцем или за Солнцем. Планеты, находящиеся за Солнцем и между Землей и Солнцем на одной линии, с Земли не видны, так как они скрываются в лучах Солнца.

Условия наблюдения планет зависят от угла между направлением на Солнце и на планету: чем больше угол, тем лучше условия для наблюдения. Для внешних планет этот угол может быть от 0 до 180° в обе стороны от Солнца. У внутренних планет — Меркурий, Венера — эти углы не превышают 28° для Меркурия и 48° для Венеры.

Внутренние планеты имеют относительно небольшие угловые расстояния от Солнца, поэтому они и наблюдаются или перед восходом Солнца, или вскоре после его захода в зависимости от того, с какой стороны от Солнца находится планета. Вид таких планет меняется в зависимости от освещения Солнцем, подобно тому как меняется вид Луны.

Для наблюдения за внешней планетой (Марс, Юпитер и др.) наилучшим является время, когда она находится в стороне, противоположной Солнцу. В это время планета ближе всего к Земле и видна в течение почти всей ночи. Такое положение планеты называется **противостоянием**. Из-за вытянутости орбит планет в периоды противостояний они бывают то ближе, то дальше от Земли. Противостояние планет с наиболее близким расстоянием от Земли называют **великим**.

Когда Земля и один из ближайших наших космических соседей Марс расположены с разных сторон от Солнца, расстояние между ними около 400 млн. км, когда же Марс находится в противостоянии, он приближается к Земле на расстояние от 56 до 101 млн. км. Противостояния Марса повторяются через каждые два года и пятьдесят дней, но великие противостояния Марса, когда он находится от Земли на расстоянии 56 млн. км, повторяются только через 15—17 лет. Большинство открытий на Марсе было сделано в годы его великих противостояний.

Наиболее яркие и хорошо видимые планеты — Венера, Марс, Юпитер и Сатурн.

Венера светит серебристо-беловатым светом, она ярче всех планет и тем более звезд. Венера никогда не уходит далеко от Солнца. В ясную погоду ее можно наблюдать либо на западе вскоре после захода Солнца, либо на востоке незадолго до его восхода. Поэтому Венеру иногда называют «зарницей», «вечерней и утренней звездой». 19—20 мая 1961 г. на расстоянии менее 100 000 км от Венеры, по расчетам, должна пройти межпланетная автоматическая станция, запущенная в нашей стране 12 февраля 1961 г.

Марс — следующая за Венерой по яркости планета красноватого цвета, во время наибольшего блеска гораздо ярче

звезд первой величины. Юпитер — планета желтоватого цвета, примерно такой же яркости, как Марс. Сатурн — желтовато-сероватого цвета, по яркости примерно такой же, как звезды первой величины. Интересно отметить, что при наблюдении в хороший телескоп Сатурн представляет собой волшебное зрелище. Это единственная планета солнечной системы, украшенная кольцом. Кольцо это плоское, очень широкое, его внутренний край удален от планеты на несколько десятков тысяч километров. Кольцо Сатурна не сплошное, оно состоит из отдельных мелких обломков, вращающихся вокруг планеты.

Марс, Юпитер и Сатурн можно наблюдать в различное время ночи.

Луна — единственный естественный спутник Земли, ближайшее к ней небесное светило. Луна так же, как и планеты, светит отраженным светом Солнца.

По отношению к звездам Луна непрерывно перемещается, смещаясь за сутки к востоку примерно на 13° .

Полный оборот по орбите вокруг Земли Луна совершает в течение $27\frac{1}{3}$ суток. Этот промежуток времени называется сидерическим или звездным месяцем. За это время Луна, описав по небесной сфере полный круг, возвращается к первоначальному положению относительно звезд.

Промежуток времени между двумя последовательными новолуниями называется синодическим месяцем. Продолжительность синодического месяца — $29\frac{1}{2}$ суток. То, что продолжительность синодического месяца больше, чем продолжительность звездного месяца более чем на двое суток, объясняется запаздыванием каждого последующего новолуния из-за движения Земли по своей орбите вокруг Солнца. Луна за время между новолуниями проходит больше чем полный оборот (360°) вокруг Земли на величину перемещения Земли вокруг Солнца за это же время. Это перемещение Земли составляет примерно 27° . Таким образом, Луна проходит по своей орбите за синодический месяц $360^\circ + 27^\circ = 387^\circ$.

При своем движении вокруг Земли Луна все время обращена к Земле одной стороной, так как период вращения Луны вокруг своей оси равняется периоду ее обращения вокруг Земли.

В зависимости от положения Луны относительно Солнца и Земли мы наблюдаем меньшую или большую часть освещенной стороны Луны.

шенного лунного диска, т. е. наблюдаем различные фазы Луны.

Когда Луна находится между Солнцем и Землей, к нам обращена неосвещенная часть Луны, и мы ее не видим. Эта фаза называется новолунием. Когда же Луна находится с противоположной стороны от Солнца, т. е. когда Земля

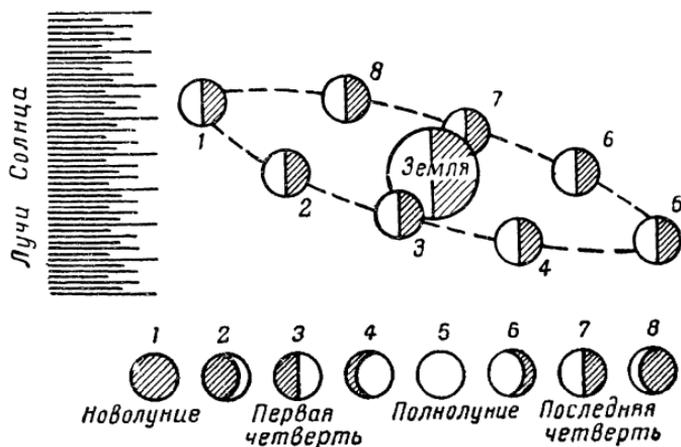


Рис. 7. Фазы Луны

находится между Солнцем и Луной, все обращенное к нам полушарие Луны ярко освещено. Эта фаза называется полнолунием. В промежуточных положениях нам видна та или другая часть освещенной Луны, поэтому она имеет вид полудиска или серпа (рис. 7).

Основных фаз Луны четыре: новолуние, первая четверть, полнолуние и последняя четверть; следовательно, промежуток времени между фазами Луны немного больше 7 суток.

Возрастом Луны называется промежуток времени, протекающий от новолуния. Например, возраст Луны в первой четверти примерно 7 суток, а в полнолуние 15 суток.

При определенных взаимных положениях Солнца, Земли и Луны происходят лунные и солнечные затмения. Когда Луна попадает в тень Земли, происходит лунное затмение, когда же Луна находится между Солнцем и Землей и заграждает собой Солнце, происходит солнечное затмение.

Если бы плоскость лунной орбиты точно совпадала с плоскостью эклиптики, в которой происходит видимое годовое перемещение Солнца, то затмения Солнца и Луны про-

исходили бы ежемесячно: во время новолуния — солнечные затмения, а во время полнолуния — лунные затмения. Но этого не происходит, так как лунная орбита наклонена относительно эклиптики на $5^{\circ}08'$. Луна в новолуние и в полнолуние чаще всего проходит выше или ниже эклиптики, и затмения не происходит. В году бывает не менее двух солнечных и максимум два лунных затмения. Но бывают годы совсем без лунных затмений.

Лунное затмение, полное и частное, когда только часть Луны попадает в тень Земли, можно наблюдать одновременно на всем полушарии, обращенном в это время к Луне.

Солнечное затмение наблюдается только внутри сравнительно небольшого пространства, которое образуется лунной тенью на поверхности Земли. Ввиду того что Луна движется вокруг Земли, вращающейся вокруг своей оси, тень Луны перемещается по поверхности Земли со скоростью 1 км/сек , и солнечное затмение наблюдается последовательно на различных участках земной поверхности.

15 февраля 1961 г. на территории Советского Союза наблюдалось полное затмение Солнца. Это интереснейшее явление природы было последним в XX веке над Европейской частью нашей страны.

Картина полного солнечного затмения весьма эффектна. Когда последний узкий серп Солнца закрывается Лунной, 2—3 мин бывает темно. Вместо Солнца виден черный диск Луны, окруженный сиянием серебристой солнечной короны и красноватыми выступами раскаленных протуберанцев. На темном небе становятся видимыми яркие звезды и планеты.

Наблюдение солнечных затмений имеет большое научное значение. В это время можно изучать внешние слои Солнца, невидимые с Земли в обычных условиях. Как известно, пятна, вспышки и другие проявления деятельности Солнца вызывают на Земле магнитные бури, полярные сияния и другие явления. Наблюдая затмения Солнца, астрономы уточняют также данные о его строении, о физических и химических процессах, происходящих на его поверхности, исследуют различные излучения.

В одном и том же пункте полные затмения Солнца бывают примерно один раз в 400 лет. Москвичи, например, ближайшим полным солнечным затмением могут любоваться только 16 октября 2126 года в 10 ч 58 мин.

Движение Луны вызывает еще одно интересное явление на Земле — приливы и отливы. Природу этого явления и ре-

гулярность повторения разъяснил в XVII веке великий английский ученый Ньютон.

Луна притягивает к себе все точки земного шара по-разному: более близкие — сильнее, более далекие — слабее. Поэтому тела на той части земной поверхности, которая обращена к Луне, притягиваются сильнее, чем тела, находящиеся внутри Земли или на противоположной стороне ее поверхности.

Приливная волна возникает не только на той стороне Земли, которая обращена к Луне, но и на прямо противоположной в результате проявления центробежной силы, равной силе притяжения Луны, но обратной по направлению. Поэтому в течение суток (точнее, за 24 ч 50 мин) на берегах открытых морей и океанов бывает по два прилива и два отлива, чередующихся примерно через 6 ч.

Приливные силы действуют также на твердую оболочку Земли, вызывая ее деформацию. Эти «приливы» были измерены с помощью чувствительных гравиметров (прибор для определения силы тяжести). Например, в Москве они достигают 30—35 см.

Приливы в атмосфере выражаются в незначительных колебаниях атмосферного давления, а также в периодических изменениях некоторых свойств верхних слоев атмосферы.

Приливы вызывает не только Луна, но и Солнце своим притяжением. Но его приливное действие слабее, потому что Солнце почти в 400 раз дальше от Земли, чем Луна.

НЕБЕСНЫЕ КООРДИНАТЫ

Небесные светила кажутся нам отстоящими от Земли на очень большом, но одинаковом расстоянии; в действительности же они находятся на различных расстояниях от нас.

Эти расстояния так велики, что их выражают не в километрах, а в единицах времени, за которое луч света пройдет это расстояние. Если от Луны до Земли луч идет $1\frac{1}{4}$ сек, от Солнца 8 мин, от самой далекой планеты, Плутона, около 5 ч, то от ближайшей звезды — α Центавра более 4 лет. Она удалена от земли в 271 000 раз дальше, чем Солнце. Понадобилось бы 5 млн. лет, чтобы самолет, летя без посадки со скоростью 920 км/час, добрался до этой звезды. Но и ее расстояние от Земли ничтожно сравнительно с расстоянием дальних звезд Млечного Пути.

Невооруженный глаз не воспринимает различия в расстояниях до разных звезд. Звездное небо представляется нам в виде купола, на сферической поверхности которого расположены все звезды.

Воображаемая сфера произвольного радиуса, предназначенная для облегчения решения различных задач астрономии, называется небесной сферой. Центр ее обычно располагается в какой-либо точке пространства в зависимости от условий задачи.

На небесную сферу проектируются небесные светила. Для определения положения их проекций на небесной сфере и служат системы небесных координат, характеризуемых основными кругами и точками небесной сферы (рис. 8). Дадим их определения.

Точка, расположенная по вертикали (по отвесной линии) над головой наблюдателя, называется *зенитом* (Z), а точка, расположенная в противоположном направлении от зенита, — *надиром* (Z').

Горизонтальная плоскость, проведенная через центр сферы, при пересечении с небесной сферой образует большой круг, называемый истинным горизонтом (круг СВЮЗ). Плоскость истинного горизонта делит небесную сферу на две части: надгоризонтную полусферу, в которой расположен зенит, и подгоризонтную полусферу, в которой расположен надир.

Прямая линия, проходящая по оси вращения Земли (или параллельно ей), называется осью мира, а точки ее пересечения с небесной сферой — полюсами мира: P — северный, P' — южный.

Большой круг на небесной сфере, плоскость которого перпендикулярна к оси мира, называется небесным экватором. Плоскость небесного экватора делит небесную сферу на северную полусферу, в которой расположен северный полюс мира, и южную полусферу, в которой расположен южный полюс мира. Пересечение небесного экватора с истинным горизонтом образует точку востока (B) и точку запада (Z).

Любая вертикальная плоскость, проходящая через зенит и надир, перпендикулярна к плоскости истинного горизонта, а пересечение ее с небесной сферой дает дугу большого круга. Большой круг небесной сферы, проходящий через зенит, надир и светило, называется вертикалом светила, причем вертикал, проходящий через точки востока и запада, называется первым. Любой круг небесной сферы, плоскость которого проходит через ось мира и светило, называется часовым кругом светила или его кругом склонения. Все часовые круги проходят через полюс мира и перпендикулярны к небесному экватору.

Круг склонения, проходящий через зенит, называется небесным меридианом.

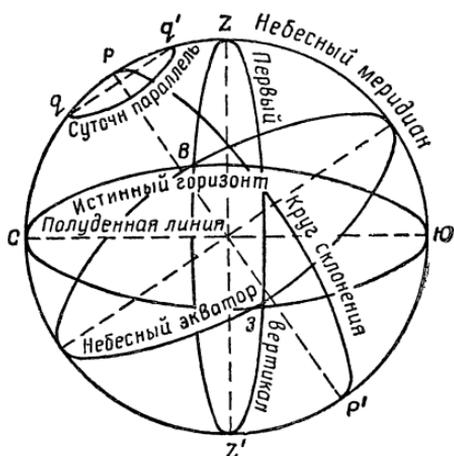


Рис. 8. Основные точки и круги на небесной сфере

Пересечение небесного меридиана с истинным горизонтом образует точку севера (C) и точку юга ($Ю$). Как видно из рис. 8, небесный меридиан является в то же время и вертикалом.

Прямая линия, соединяющая точку севера и точку юга, называется полуденной линией: в полдень (12 ч по местному времени) тень от предметов падает по этой линии.

Малый круг небесной сферы, плоскость которого перпендикулярна к оси мира, называется небесной или суточной параллелью.

Видимое вращение небесной сферы, если смотреть на нее со стороны северного полюса мира, происходит по ходу часовой стрелки.

Положение каждого светила на небесной сфере определяется небесными координатами, которые выражаются двумя угловыми величинами, подобно тому как положение каждого пункта на Земле определяется его географическими координатами — широтой и долготой.

На земной поверхности широта места отсчитывается от экватора к северу или югу, а долгота — к западу или востоку от начального (нулевого) меридиана, каким является гринвичский меридиан, проходящий близ Гринвичской астрономической обсерватории (Англия).

В авиационной астрономии применяются две системы небесных координат: горизонтная (горизонтальная) и экваториальная. В каждой из этих систем положение любой точки на небесной сфере определяется двумя координатами, одна из которых указывает угловое расстояние точки от небесного меридиана (аналогично географической долготе), вторая — угловое расстояние этой точки от небесного экватора или истинного горизонта (аналогично географической широте).

Горизонтная система координат (рис. 9). В этой системе координат основными кругами, относительно которых определяется место светила, являются истинный горизонт и небесный меридиан. Положение светила определяется азимутом (A) и высотой (h). Азимутом светила называется угол, отсчитываемый по дуге истинного горизонта от точки севера через восток до вертикала светила. Иначе говоря, угол между направлением на север и направлением на светило, отсчитанный в горизонтальной плоскости по часовой стрелке, и будет являться азимутом этого светила. Азимут может иметь значения от 0° до 360° .

Высотой светила называется угол, отсчитываемый по дуге вертикала от истинного горизонта до светила, т. е. высота светила измеряется углом между плоскостью истинного горизонта и направлением на светило. Высота может иметь значения от 0° до $\pm 90^\circ$. Если светило находится над горизонтом, высота его считается положительной, если под горизонтом — отрицательной.

Вместо высоты иногда пользуются другой координатой — зенитным расстоянием (z), являющимся дополнением высоты до 90° , т. е.

$$h + z = 90^\circ.$$

Зенитные расстояния отсчитываются также по дуге вертикала, но только от зенита. Они могут иметь значения от 0° до 180° . Светила, расположенные в подгоризонтной части небосвода, имеют зенитное расстояние более 90° .

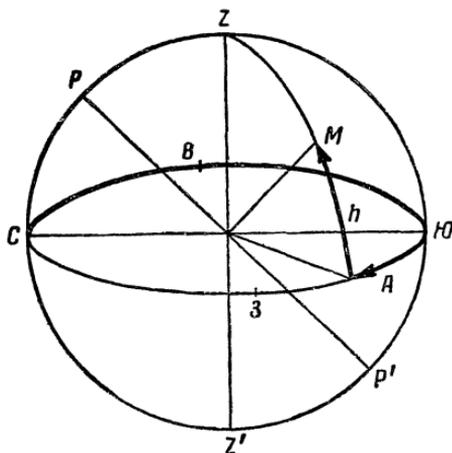


Рис. 9. Горизонтная система координат

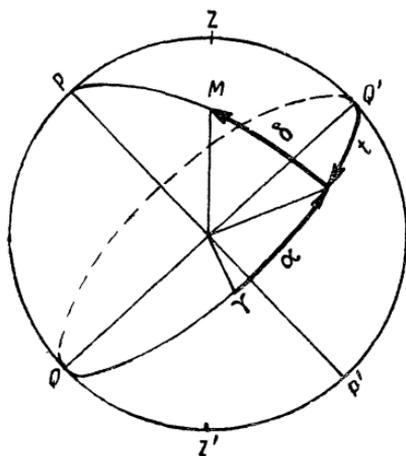


Рис. 10. Экваториальная система координат

Экваториальная система координат (рис. 10). В этой системе координат основными кругами, относительно которых определяется место светила, являются небесный экватор и небесный меридиан. Положение светила определяется часовым углом (t) и склонением (δ). Часовым углом светила называется угол, отсчитываемый по дуге небесного экватора от южной части небесного меридиана до круга склонения светила. Он отсчитывается в запад-

ном и восточном направлениях от 0 до 180° и соответственно обозначается: западный часовой угол — $t_з$, восточный часовой угол — $t_в$.

Склонением светила называется угол, отсчитываемый по дуге круга склонения от небесного экватора до светила, т. е. угол между плоскостью небесного экватора и направлением на светило. Склонение может иметь значения от 0° до $\pm 90^\circ$. Если светило находится в северной полусфере, его склонение считается положительным, если в южной — отрицательным.

Вместо часового угла иногда пользуются другой координатой — прямым восхождением светила (α), которое в отличие от часового угла является постоянным и не изменяется со временем, так как не зависит от вращения небесной сферы.

Поясним геометрический смысл этой координаты. Положение Солнца относительно звезд меняется. В течение года Солнце описывает полный круг на небесной сфере, за это время дважды — весной и осенью — пересекая небесный экватор. Точка небесного экватора, через которую центр Солнца проходит весной (21 марта), называется точкой весеннего равноденствия и обозначается знаком Υ (знак созвездия Овна). Прямое восхождение светила — это угол, отсчитываемый по небесному экватору от точки весеннего равноденствия до круга склонения светила. Прямое восхождение измеряется от 0° до 360° против хода часовой стрелки, если смотреть с северного полюса мира, т. е. навстречу суточному вращению небесной сферы.

Основное достоинство горизонтной системы заключается в простоте измерения координат. По азимуту и высоте светила, измеренным в полете, путем расчетов можно определить местонахождение наблюдателя, курс самолета и время.

Однако знания только горизонтных координат светил недостаточно для решения других задач. Кроме того, горизонтные координаты с течением времени непрерывно и неравномерно изменяются (вследствие вращения небесной сферы) и зависят от местонахождения наблюдателя на Земле, которое обуславливает положение плоскости истинного горизонта.

В противоположность этому положение небесного экватора на небесной сфере не зависит от времени и места наблюдателя на Земле, следовательно, склонение каждого светила, отсчитываемое от экватора, — величина постоянная. Прямое восхождение, которое отсчитывается от точки

весеннего равноденствия, вращающейся вместе с небесной сферой, тоже постоянно для каждого светила. Часовой угол вследствие равномерного вращения небесной сферы изменяется с течением времени равномерно. Поэтому карты неба и астрономические ежегодники составляются в экваториальных координатах.

Горизонтные и экваториальные координаты светил связаны между собой определенными соотношениями.

Интересно отметить, что широта места наблюдателя равна высоте полюса мира ($\varphi_{\text{набл}} = h_{\text{п.м}}$), потому что стороны углов взаимно-перпендикулярны (рис. 11). Так будет в любой точке земного шара. В этом легко убедиться, наблюдая Полярную звезду, которая расположена близ полюса мира, из различных мест, значительно удаленных друг от друга по широте. Даже невооруженным глазом можно определить, что Полярная звезда в Москве ($\varphi \approx 56^\circ$) выше, чем в Краснодаре ($\varphi \approx 45^\circ$), а в Архангельске ($\varphi \approx 64^\circ$) выше, чем в Москве. На Северном географическом полюсе ($\varphi = 90^\circ$) Полярная звезда расположена прямо над головой, в зените.

Таким образом, измерив высоту полюса мира (практически высоту Полярной звезды), наблюдатель получит географическую широту своего места.

Каждое светило в своем суточном движении вокруг оси мира пересекает небесный меридиан в двух точках. Момент прохождения светила через небесный меридиан называется кульминацией светила. Различают верхнюю и нижнюю кульминации. При верхней кульминации высота светила наибольшая, а при нижней — наименьшая. В северной полусфере азимут светила в момент верхней кульминации равен 180° , а в момент нижней — 0° . Исключением являются азимуты незаходящих светил, верхние кульминации которых происходят между полюсом

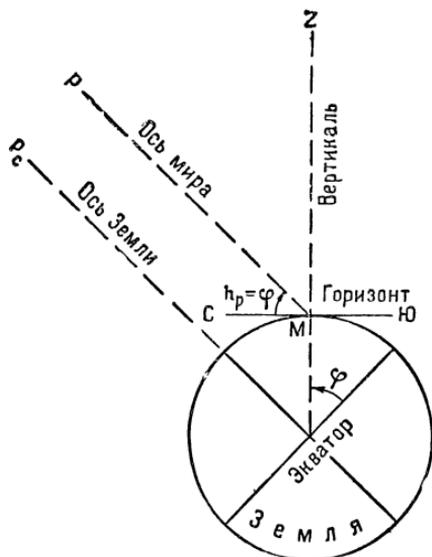


Рис. 11. Высота полюса мира равна географической широте места наблюдателя

и зенитом. У этих светил азимуты при верхней и нижней кульминациях равны 0° .

Весьма важным является соотношение между широтой места наблюдателя φ , склонением δ и высотой h светила в момент его кульминации. На рис. 12 показано светило в

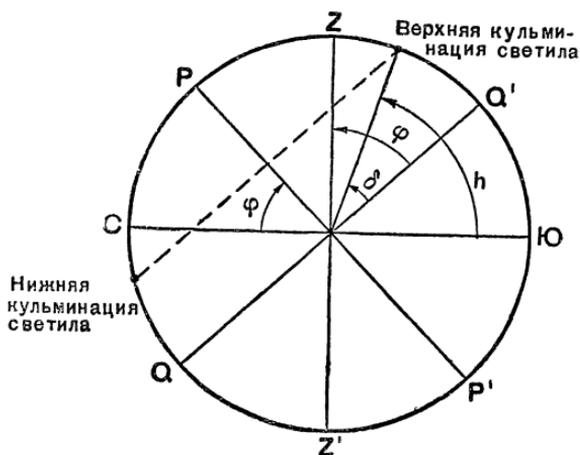


Рис. 12. Соотношение между высотой и склонением светила в момент кульминации и широтой места наблюдателя

верхней кульминации между точкой юга и зенитом. Из рисунка видно, что в этом случае

$$h = 90^\circ - \varphi + \delta.$$

Если светило в верхней кульминации находится между зенитом и полюсом, то

$$h = 90^\circ + \varphi - \delta.$$

Рассуждая таким же образом, для нижней кульминации светила получим

$$h = \varphi + \delta - 90^\circ.$$

По этим соотношениям, зная широту местонахождения наблюдателя (определяется по карте) и склонение светила (находится по «Астрономическому ежегоднику»), можно рассчитать высоту светила в момент кульминации и, сравнив ее с фактически измеренной высотой в момент кульминации, вычислить поправку секстанта. По высоте светила, измеренной в момент кульминации, можно рассчитать также широту своего местонахождения.

ЗВЕЗДНОЕ НЕБО

В ясную безлунную ночь над нашей головой видны и яркие звезды, сразу привлекающие к себе внимание, и менее яркие, и еле различимые невооруженным глазом. В одной стороне неба одни звездные рисунки, в другой — другие (см. приложение). Некоторые группы звезд своими рисунками напоминают какие-то фигуры: ковша, креста, серпа и т. д.

Наиболее яркие звезды отличаются друг от друга и цветом. Из-за различия температуры поверхности звезд одни из них излучают белый свет, другие — желтоватый, третьи — красноватый или оранжевый и т. д.

С Земли кажется, что звездное небо, как одно целое, как внутренняя поверхность огромного шара, постоянно вращается вокруг оси. Вращение небесного свода, на котором звезды неподвижны одна относительно другой, можно заметить в течение одного — двух часов. За сутки небесный свод делает полный оборот. Если сфотографировать это вращение звездного неба, на снимке звезды прочертят линии, соответствующие их движению. Особенно наглядно вращение звездного неба близ полюса мира (рис. 13).

Но вращение небесной сферы кажущееся. На самом деле вращается вокруг своей оси Земля.

Вследствие вращения Земли вокруг своей оси видимое суточное вращение небесной сферы вокруг оси мира происходит с угловой скоростью, равной скорости вращения Земли, но в обратном направлении. При этом каждая звезда описывает малый круг; плоскости этих кругов параллельны плоскости небесного экватора.

На разных географических широтах картина кажущегося вращения небесного свода различна. В средних широ-

тах (рис. 14, а) звезды, расположенные недалеко от Полярной звезды, описывают вокруг нее окружность, не заходя за горизонт. Для данной широты это так называемые незаходящие светила. Некоторые звезды показываются



Рис. 13. Созвездие Большой Медведицы за сутки делает полный оборот вокруг Полярной звезды

из-за горизонта и, пройдя по небосводу, скрываются. Светила, расположенные недалеко от южного полюса мира, совсем не видны, так как при вращении не выходят из-за горизонта. Это невозходящие светила.

Из рис. 14 видно, что незаходящими светилами в Северном полушарии будут такие, у которых $\delta \geq (90^\circ - \varphi)$, невозходящими — такие, у которых $\delta \leq - (90^\circ - \varphi)$.

Условием восхода и захода светил будет

$$-(90^\circ - \varphi) \leq \delta \leq (90^\circ - \varphi).$$

С увеличением широты места наблюдения количество незаходящих, а значит, и невозходящих звезд увеличивается.

На Северном полюсе Земли (рис. 14, б) можно наблюдать только одну небесную полусферу. Там полюс мира совпадает с зенитом, истинный горизонт — с небесным экватором, горизонтная система координат — с экваториальной. Явлений восхода и захода звезд нет. Все видимые звезды вращаются вокруг Полярной звезды параллельно истинному горизонту. Высоты звезд постоянны и равны их склонениям, а азимуты изменяются равномерно от 0° до 360° (для измерения азимута надо несколько отойти от точки полюса).

На земном экваторе (рис. 14, в) для наблюдения доступна вся небесная сфера. Все звезды восходят и заходят, причем направление их движения перпендикулярно к плоскости истинного горизонта. Полярная звезда видна около точки севера, т. е. у самого горизонта в северном направлении.

По яркости (блеску) звезды делятся на группы в соответствии со звездными величинами. К звездам 1-й величины относятся те, которые в 100 раз ярче самых слабых по яркости звезд, видимых при нормальном зрении невооруженным глазом; звезды, яркость которых в 2,5 раза меньше, чем звезд 1-й величины, считаются звездами

2-й величины, а те, которые по яркости в 2,5 раза слабее звезд 2-й величины, относятся к звездам 3-й величины и т. д., т. е. каждая следующая группа слабее предыдущей по яркости в 2,5 раза. Самые слабые звезды, видимые при нормальном зрении невооруженным глазом, являются звездами 6-й величины.

Для более точного определения яркости применяются дробные обозначения звездных величин. Например, звездная величина Полярной звезды 2,1; Алиота 1,7; Веги 0,1 и т. д. Есть звезды, звездная величина которых меньше единицы и даже меньше нуля.

Самые яркие звезды на небе — это Сириус и Канопус. Их величина выражается отрицательным числом: у Сириуса она равна $-1,3$; у Канопуса $-0,9$. Десять звезд имеют величину от нуля до единицы. Это Вега, Арктур, Капелла, Прокцион, Альтаир, Бетельгейзе, Ригель, Ахернар, α и β Центавра. Ярче звезд 2-й величины 41 звезда; ярче 3-й — 138, ярче 4-й — 357, ярче 5-й — 1030 звезд и т. д. Хотя современные телескопы позволяют видеть звезды только до

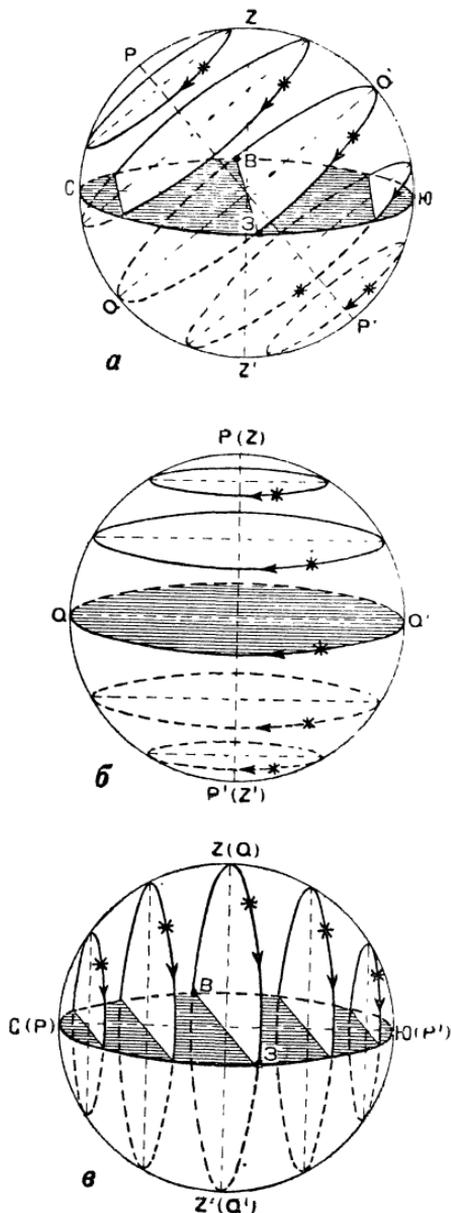


Рис. 14. Видимое движение звезд для наблюдателя:

a — на средних широтах; *b* — на полюсах Земли; *v* — на земном экваторе

23-й звездной величины, путем математических расчетов установлено, что существуют звезды по меньшей мере 50-й звездной величины и что наибольшее количество звезд 27-й звездной величины. Человек с нормальным зрением видит над горизонтом одновременно около 2500 звезд (до 6-й звездной величины).

Яркость самых ярких небесных светил, выраженная в звездных величинах, составляет: Солнца —26,7, Луны (полной) —12,6, Венеры —4,3, Марса —2,8, Юпитера —2,5 (звездные величины планет даны соответственно их наибольшему блеску).

Звездное небо условно разделено на участки разнообразной формы, называемые созвездиями. Каждое из них имеет свое название. Эти названия были даны созвездиям еще в древние времена и отражают сходство конфигураций отдельных групп звезд с очертаниями некоторых предметов, с фигурами тех или иных животных и сказочных героев. В связи с этим на старинных картах звездного неба созвездия изображались в виде контуров соответствующих фигур.

В каждом созвездии яркие звезды обозначаются буквами греческого алфавита, а наиболее яркие из них имеют, кроме того, и свои названия. Менее яркие звезды чаще обозначаются буквами латинского алфавита или цифрами.

Принадлежность звезд к одному созвездию — это их «видимая» близость. В действительности звезды одного созвездия находятся на самых различных расстояниях от нас.

Для определения навигационных элементов в самолетовождении используется относительно небольшое количество небесных светил: днем — Солнце и иногда Луна; ночью — Луна, наиболее яркие планеты (Марс, Юпитер, Сатурн, Венера) и так называемые аэронавигационные звезды, для которых составлены специальные астрономические таблицы: это Сириус, Канопус, Вега, Арктур, Капелла, Ригель, Процион, Ахернар, Бетельгейзе, Альтаир, Альдебаран, Антарес, Поллукс, Спика, Денеб, Регул, Фомальгаут, β Креста, α Южного Треугольника, Ригиль, Алиот, Каус Астры, Пикок, Полярная звезда, Альферац, Хамаль и Эль Сухейль.

Существует несколько способов отыскания звезд. Один из них состоит в следующем.

В северном полушарии звездное небо условно делится на три больших участка с яркими созвездиями и звездами.

В первом из них (рис. 15) отправным пунктом для отыскания многих аэронавигационных звезд служит созвездие Большой Медведицы, семь наиболее ярких звезд которого образуют характерную фигуру ковша или кастрюли. По

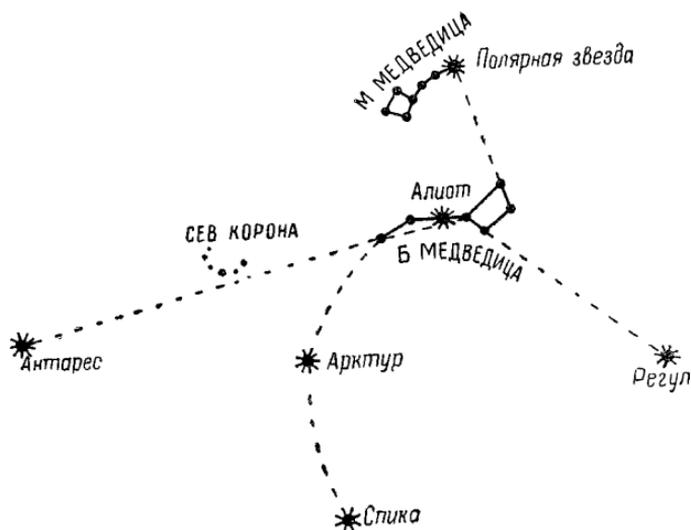


Рис. 15. Участок неба со звездами Полярная, Алиот, Антарес, Арктур, Спика и Регул

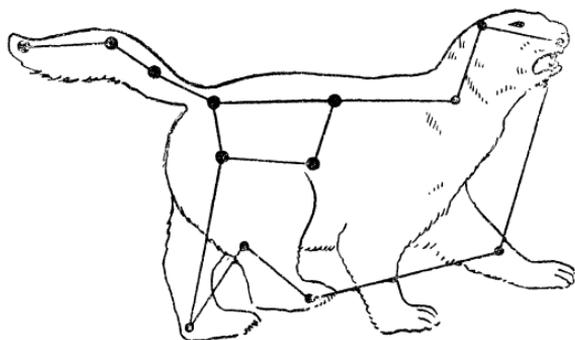


Рис. 16. Созвездие Большой Медведицы

древнему преданию, Большая Медведица (рис. 16) — это превращенная богиней Герой в медведицу Каллисто, дочь царя Ликаона, чуть не затравленная на охоте псами пастуха Волопаса. Созвездия Большой Медведицы, Волопаса и Гончих Псов расположены поблизости друг от друга. Древ-

ние арабы называли созвездие Большой Медведицы Семибратием.

Вследствие вращения звездного неба ручка ковша созвездия Большой Медведицы в разное время бывает направлена то влево, то вниз, то вверх, а иногда ковш как бы спрокинут и виден почти над головой (рис. 13).

Третья от конца ручки ковша звезда — *Алиот* — аэронавигационная звезда. Действительная яркость ее в 3500 раз превосходит яркость нашего Солнца. Кажется же она небольшой светящейся точкой, потому что находится от нас на громадном расстоянии — 50 световых лет, хотя является самой близкой из звезд Большой Медведицы.

Вторая от конца ручки ковша звезда называется Мицар. Если внимательно всмотреться в окружающее ее пространство, то в безлунную ночь и при хорошей прозрачности атмосферы можно увидеть рядом с ней едва заметную звездочку, называемую Алькор. Эта звезда 6-й величины; так как яркость ее стоит на самом пределе видимости невооруженным глазом, то по ней можно проверять свое зрение.

Если мысленно провести прямую линию через две крайние звезды в «передней стенке ковша», то на этой линии на расстоянии, равном примерно пяти расстояниям между теми же звездами, вверх от дна ковша можно увидеть *Полярную звезду*. Она находится почти у точки северного полюса мира (меньше чем в 1° от него) и поэтому может служить надежным ориентиром для определения направления на север. Недаром народы Средней Азии называли Полярную звезду «Темир-козух», что значит «железный гвоздь». Она находится от нас в 6 раз дальше, чем Алиот. Полярная звезда входит в созвездие Малой Медведицы, яркие звезды которого, хотя и слабее звезд Б. Медведицы, напоминают ковш, но меньшего размера.

Если через звезды, образующие ручку ковша Б. Медведицы, провести дугу и продолжить ее тем же радиусом, то на этой линии будут находиться яркие звезды: *Арктур*, входящий в созвездие Волопаса, и дальше *Спика*, входящая в созвездие Девы.

Арктур по диаметру в 26 раз больше Солнца, находится от Земли на расстоянии 36,2 светового года. Его действительная яркость в 78 раз больше яркости Солнца.

Спика по диаметру в 5 раз больше Солнца, ее действительная яркость в 575 раз больше яркости Солнца. Она удалена от нас на колоссальное расстояние — 155 световых лет.

Продолжим ручку ковша Б. Медведицы по прямой, проведенной через крайнюю и среднюю звезды. Эта прямая пройдет мимо хорошо видимого на небе серпообразного созвездия Северной Короны, и на расстоянии, примерно в два раза большем, чем расстояние от Северной Короны до средней звезды ковша Б. Медведицы, можно увидеть аэронавигационную звезду *Антарес*, входящую в созвездие Скорпиона. Северная Корона — одно из самых маленьких и хорошо видимых созвездий северного неба. В центре созвездия выделяется самая яркая звезда — Гемма, что в переводе с древнегреческого означает «жемчужина».

Антарес — одна из самых больших звезд-гигантов. Она по объему в 36 000 000 раз больше Солнца и могла бы включить в себя Солнце вместе с земной орбитой. Действительная ее яркость в 690 раз превышает яркость Солнца. Антарес удален от нас на расстояние в 172 световых года. В переводе с греческого Антарес означает «золотник Марса». Как и планета Марс, Антарес имеет красноватый цвет.

Чтобы найти последнюю аэронавигационную звезду этого участка неба — *Регул*, нужно провести прямую линию через две внутренние звезды (у основания ручки) ковша Б. Медведицы в сторону, противоположную Полярной звезде. На этой линии на расстоянии, примерно в 1,5 раза большем, чем расстояние от Б. Медведицы до Полярной звезды, и будет находиться Регул, входящий в созвездие Льва, наиболее яркие звезды которого образуют фигуру, несколько напоминающую удлинненную трапецию. Действительная яркость Регула в 145 раз превосходит яркость Солнца, расстояние до него 83,6 светового года.

Вследствие видимого годового движения Солнца вид звездного неба зависит от времени года. Весной небесный свод выглядит иначе, чем летом, а летом иначе, чем осенью и зимой. Полярная звезда и звезда Алиот, входящие в околополюсные созвездия, видны в любое время года. Арктур виден большую часть года: весной и осенью он виден всю ночь, осенью появляется с вечера в западной части неба, потом уходит под горизонт, а к утру снова восходит в восточной части неба. Зимой Арктур прекрасно виден во второй половине ночи. Слика — весенняя звезда, она хорошо также видна зимой после полуночи.

Звезда Антарес хорошо видна у самого горизонта весной после полунчи и летом до полуночи, когда хвост созвездия Б. Медведицы опущен к югу. Особенно хорошо она видна в южных республиках Советского Союза.

Звезда Регул, как и все созвездие Льва, — одно из самых красивых и легко отыскиваемых созвездий, хорошо видна весной и зимой.

На втором участке неба (рис. 17) находится одно из красивейших созвездий — Орион. Четыре его яркие звезды образуют большой четырехугольник, внутри которого близко

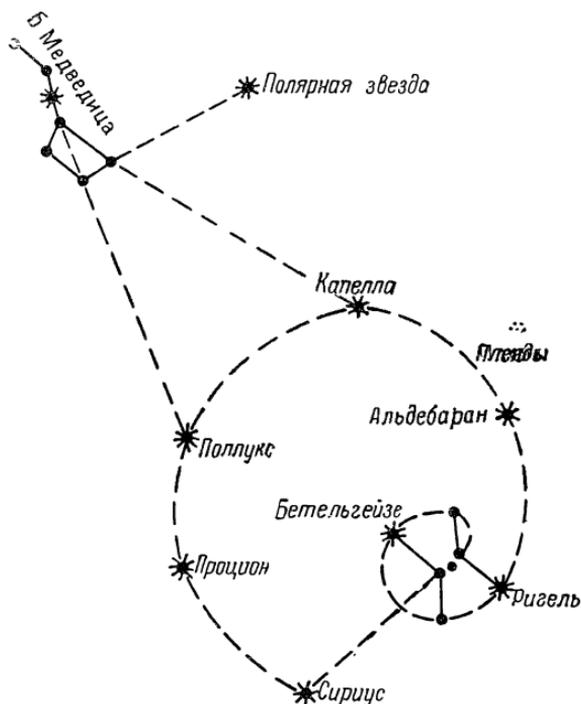


Рис. 17. Участок неба со звездами Бетельгейзе, Ригель, Альдебаран, Капелла, Поллукс, Прокцион и Сириус

друг к другу расположены еще три звезды — пояс Ориона. По древнегреческому мифу, Орион — великан-охотник, наделенный исключительной красотой (рис. 18).

Две самые яркие звезды этого созвездия, находящиеся в противоположных углах четырехугольника, являются аэронавигационными. Звезда, которая находится ближе к Полярной, называется *Бетельгейзе*, а противоположная ей — *Ригель*. На продолжении спиральной линии, начатой в поясе и проведенной через крайние звезды созвездия Орион в направлении против хода часовой стрелки, последовательно

можно увидеть *Альдебаран, Капеллу, Поллукс, Процион* и *Сириус*.

Бетельгейзе (в переводе с арабского означает «звезда в плече гиганта») — огромное светило, звезда-сверхгигант. По объему она во много миллионов раз больше Солнца, действительная ее яркость в 13 000 раз превосходит яркость Солнца. Температура поверхности небольшая — около 3000°, чем и объясняется красноватый цвет этой звезды. Бетельгейзе удалена от нас на огромное расстояние — 652 световых года. Собственно, сейчас мы видим не настоящую звезду Бетельгейзе, а ту, какой она была более шести веков назад. Бетельгейзе — зимняя звезда, но она хорошо видна осенью после полуночи и в начале весны до полуночи.

Ригель — вторая по видимой яркости звезда из созвездия Орион, обладающая очень высокой светимостью: она в 23 000 раз ярче Солнца, температура ее поверхности в два раза выше температуры поверхности Солнца. По своей действительной яркости, характеризующей мощность светового излучения, Ригель превосходит все известные звезды. Источником столь мощного светового и теплового излучения является, как и у других звезд, внутриядерная энергия, высвобождающаяся при превращении одних химических элементов в другие. Эти процессы происходят под воздействием огромных давлений в недрах звезд и больших температур, достигающих многих миллионов градусов.

Звезда Ригель находится от Земли на расстоянии 652 световых лет. Как и все созвездие Орион, она видна на зимнем небе, а также осенью после полуночи.

Альдебаран — украшение зодиакального созвездия Тельца. Древним людям в этом месте неба представлялась фигура дикого быка. По блеску эта звезда уступает Бетельгейзе, но превосходит Арктур, Спикку и Ригель. Альдебаран — звезда двойная. Одна из ее звезд превосходит Солнце в 120 раз по яркости и в 40 раз по диаметру; другая — маленькая звезда: ее яркость составляет всего лишь 0,002 яр-



Рис. 18. Созвездие Ориона

кости Солнца. Обе звезды вращаются одна вокруг другой.

Альдебаран виден на небе зимой, осенью до полуночи и ранней весной.

В созвездие Тельца входит одно из многочисленных звездных скоплений — Плеяды. Плеяды, по преданию, — девять дочерей великана Атланта, которые спасались бегством от преследовавшего их охотника Ориона и были превращены в звезды. Звездное скопление Плеяды находится от нас на расстоянии в несколько сот световых лет. Оно насчитывает около 130 звезд, однако невооруженным глазом можно увидеть не более девяти. Человек с нормальным зрением при хороших условиях наблюдения может увидеть 5—6 звезд, а с более острым зрением — 7—9 звезд.

Капелла (в переводе с латинского «козочка») — самая яркая звезда созвездия Возничего, наиболее яркие звезды которого образуют хорошо заметный на небе пятиугольник, немного вытянутый в направлении созвездия Б. Медведицы. Капелла удалена от Земли на расстояние 44,6 светового года; действительная яркость ее в 125 раз превышает яркость Солнца. Это звезда тройная, вокруг нее вращаются две относительно небольшие звездочки, не видимые невооруженным глазом. Капелла в средних географических широтах видна во все времена года.

Поллукс — звезда зодиакального созвездия Близнецов, находящаяся от нас на удалении 32,9 светового года.

Солнце проходит через созвездие Близнецов в июне (здесь расположена точка летнего солнцестояния). В декабре, когда Солнце находится в противоположной части неба, созвездие Близнецов хорошо наблюдать в полночь. Поллукс виден зимой, почти всю весну и осенью во второй половине ночи.

В созвездии Близнецов недалеко от Поллукса (что, очевидно, и определило название созвездия) хорошо видна еще одна яркая звезда — Кастор (Кастор и Поллукс — это имена сиамских близнецов).

Процион — самая яркая звезда созвездия Малого Пса. Она относится к числу средних звезд, температура ее поверхности около 7000° , яркость в 5,9 раза превосходит яркость Солнца. Это самая близкая к нам аэронавигационная звезда после Ригиля (α Центавра) и Сириуса (11,3 светового года).

Процион — звезда зимнего неба, она видна также ранней весной до полуночи и во второй половине осени после полуночи.

Сириус (в переводе с греческого «пылающий», «искрящийся») — самая яркая звезда небесного свода и одна из ближайших к Земле звезд. Она находится от нас на расстоянии 8,7 светового года.

Наш глаз воспринимает только узкий пучок видимых лучей из всех электромагнитных волн, но если бы он имел способность ощущать и тепловые излучения, то самыми яркими звездами были бы Антарес, Альдебаран и Бетельгейзе, максимум излучения которых лежит в невидимой, инфракрасной области. Звезда Сириус по яркости тогда была бы на четвертом месте.

Сириус в 17 раз ярче Солнца; диаметр Сириуса в 1,6 раза больше диаметра Солнца. Температура поверхности Сириуса достигает 10 000°.

При наблюдении в бинокль около Сириуса можно обнаружить слабенькую беленькую звездочку. Это спутник Сириуса, обращающийся вокруг него с периодом в 40 лет.

Сириус бывает виден осенью и в начале зимы после полуночи, а также в конце зимы и в начале весны до полуночи. В древнем Риме первое после периода невидимости утреннее появление Сириуса в лучах восходящего Солнца совпадало с наступлением жары, времени тропических лихорадок и других эпидемий. В эту пору объявлялся перерыв в работе всех учреждений — наступал отпускной период. Созвездие Большой Пес, в которое входит Сириус, по латыни называется Канис Майор, что означает летний перерыв в занятиях, или каникулы. Школьники и студенты, употребляя слово «каникулы», очевидно, и не подозревают, что оно связано с названием созвездия Большого Пса.

На третьем участке неба (рис. 19) хорошо видны образующее пятью звездами W-образное созвездие Кассиопеи и блестящая звезда *Вега*, единственная яркая звезда созвездия Лиры. В созвездии Кассиопеи нет аэронавигационных звезд, но оно может служить отличным ориентиром. Это яркое красивое околополюсное созвездие расположено на участке Млечного Пути и потому сверкает как бы на фоне светлого, серебристого тумана. От созвездия Кассиопеи к нам идет самое мощное из известных космическое радиозлучение, источником которого является едва видимая кольцевая туманность, образовавшаяся более полутора тысяч лет назад в результате вспышки «сверхновой» звезды. Подобные вспышки в космосе не единичны и представляют собой исключительно интересный и динамичный физический процесс. За счет быстрого высвобождения из недр звезды

ядерной энергии звезда вдруг начинает расширяться со скоростью в несколько тысяч километров в секунду. Размеры звезды увеличиваются во много тысяч раз, а действительная яркость ее достигает яркости миллионов Солнц. Спустя некоторое время звезда тускнеет и становится невидимой для невооруженного глаза, хотя ее газовая оболочка про-

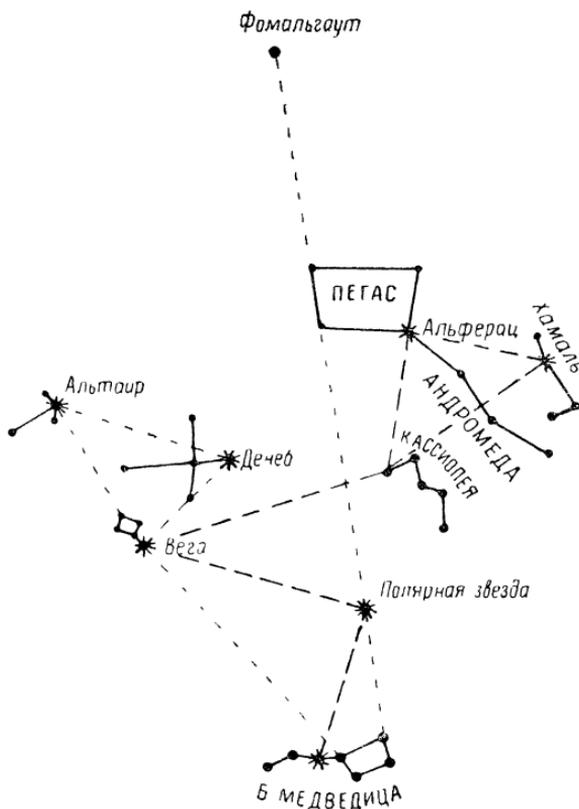


Рис. 19. Участок неба со звездами Вега, Денеб, Альтаир, Альферац, Фомальгаут и Хамаль

должна расширяться еще в течение многих тысячелетий и излучать в мировое пространство радиосигналы, свидетельствующие о происшедшей в космосе катастрофе.

На прямой линии, идущей через две звезды Кассиопеи, наиболее удаленные от Полярной звезды, находится звезда Вега; ее можно также отыскать на продолжении прямой линии, проведенной через две внутренние звезды у основания ручки ковша Б. Медведицы в сторону, противоположную Регулу. Рядом с Вегой четыре слабые звезды созвездия

Лиры образуют характерную фигуру маленького параллелограмма. Вега по размерам близка к Солнцу, температура ее поверхности около $10\,000^\circ$, от нас она находится на расстоянии 26,5 светового года.

Вследствие прецессии земной оси полюс мира перемещается среди звезд и за 26 000 лет описывает окружность против хода часовой стрелки. Примерно к 22-столетию расстояние от Полярной звезды до полюса мира уменьшится в два раза и будет составлять $28'$, а через 12 000 лет полюс мира будет находиться около звезды Вега на расстоянии 6° . Вега станет как бы «полярной» звездой.

К созвездию Лиры примыкает крестообразная фигура созвездия Лебеда (рис. 20). В вершине креста

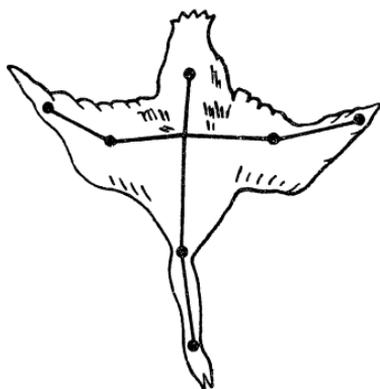


Рис. 20. Созвездие Лебеда

находится звезда *Денеб*, которая вместе с *Вегой* и *Альтаиром* — наиболее яркой звездой созвездия Орла, напоминающего фигуру самолета, — образует почти равнобедренный треугольник.

Созвездие Лебеда расположено в области Млечного Пути и поэтому очень богато звездами. Самая яркая звезда созвездия — *Денеб* — гигант среди звезд. Ее действительная яркость в 9400 раз больше яркости Солнца, а диаметр — в 35 раз больше солнечного. Температура поверхности достигает $11\,000^\circ$. *Денеб* находится от нас на расстоянии 652 световых лет. В средних географических широтах *Денеб* можно наблюдать круглый год.

Альтаир в 8,3 раза ярче Солнца и в два с лишним раза больше его по диаметру. Температура поверхности *Альтаира* $10\,000^\circ$; расстояние до Земли 16,6 светового года. *Альтаир* — звезда летнего неба, она видна также осенью до полуночи, в первой половине зимы сразу же после наступления темноты и во второй половине зимы перед рассветом, весной — во второй половине ночи.

Недалеко от рассмотренных созвездий, в противоположной Б. Медведице стороне от Полярной звезды, находится группа звезд созвездий Пегаса и Андромеды, образующих фигуру ковша, который значительно больше ковша Б. Мед-

ведицы. Наиболее яркая звезда у основания ручки этого ковша — α Андромеды (δ Пегаса), или *Альферац*, является аэронавигационной звездой.

Действительная яркость Альфераца в 130 раз превосходит яркость Солнца, но кажется он нам светящейся точкой, так как расстояние до него 120 световых лет. Альферац виден летом, осенью и в первой половине ночи зимой. Весной он виден перед рассветом, а некоторое время и после наступления темноты (в марте).

Недалеко от Альфераца в сторону созвездия Кассиопеи находится маленькое слабо мерцающее облачко. При хорошей прозрачности атмосферы его легко отыскать невооруженным глазом. Это знаменитая спиральная туманность Андромеды — наш ближайший внегалактический сосед (рис. 2).

По древнему преданию, Андромеда — дочь эфиопского царя Цефея и его жены Кассиопеи — была прикована на берегу моря к скале и ее должен был растерзать страшный Кит. Проезжавший мимо на крылатом коне Пегасе герой Персей решил спасти Андромеду. У него в сумке была голова страшного чудовища — Медузы, обращавшего всякого, кто на нее смотрел, в камень. Персей же, глядя в свой блестящий, как зеркало, щит, победил Медузу, отрубив ей голову. Отрубленную голову Медузы он показал Кита и тем обратил его в камень. Спасенную Андромеду Персей вернул родителям. Созвездия Кассиопеи, Цефея, Пегаса, Персея и Кита расположены на небе вокруг созвездия Андромеды.

На продолжении прямой, идущей от ковша Б. Медведицы через Полярную звезду и созвездие Пегаса, находится красивая белая звезда *Фомальгаут* (рот рыбы), входящая в созвездие Южной Рыбы. Большая часть этого южного созвездия не видна в северных широтах, так как находится под горизонтом. В августе, сентябре, октябре Фомальгаут хорошо виден у самого горизонта. Яркость Фомальгаута в 11 раз больше яркости Солнца, расстояние до него 23 световых года.

Между звездами Альферац и Альдебаран находится еще одна небольшая аэронавигационная звезда этого участка неба — *Хамаль*, входящая в созвездие Овна. Она располагается в вершине прямоугольного треугольника, составленного звездой Альферац и одной из ярких звезд созвездия Кассиопеи. Ручка ковша созвездий Пегаса и Андромеды проходит между созвездиями Кассиопеи и Овна. Хамаль —

осенняя звезда, в октябре — ноябре она видна всю ночь, зимой — в первой половине ночи, летом — во второй.

Южный полюс мира в отличие от северного не обозначен яркими звездами. Но, как и северное, южное звездное небо очень красиво своими своеобразными созвездиями и яркими звездами. Некоторые из них также используются как аэронавигационные. Это Канопус, Ахернар, Ригиль, Пикок, Эль Сухейль, Каус Австралия, β Креста и α Южного Треугольника.

Большое красивое созвездие, известное прежде под названием Арго (корабль Аргонавтов), теперь разделено на отдельные созвездия: Киль, Корма, Компас и Паруса. Оно действительно напоминает старинный парусный корабль с очень яркой звездой *Канопус* в его киле и со звездой *Эль Сухейль* на парусах.

Вместе с Сириусом и Фомальгаутом, *Пикок*, *Ригиль*, β *Креста* и *Эль Сухейль* расположены на одной дугообразной линии, идущей вокруг южного полюса мира. Близ этой линии, между звездами Пикок и Ригиль, находится небольшое созвездие Южный Треугольник с наиболее яркой звездой α *Ю. Треугольника*, а примерно посередине между Фомальгаутом и Канопусом можно увидеть *Ахернар*.

Аэронавигационная звезда *Каус Австралия* вместе со звездами Пикок и Антарес образует характерный равнобедренный треугольник.

Звезда Канопус удалена от нас на 181 световой год, ее яркость в 5400 раз превосходит яркость Солнца.

Ригиль (α Центавра) — ближайшая к нам звезда (4,24 светового года). Температура ее поверхности достигает 5000°, а яркость примерно равна яркости Солнца.

Звезда Ахернар находится на расстоянии от Земли примерно в 96 световых лет, температура ее поверхности превышает 16 000°, а яркость в 370 раз больше яркости Солнца.

Аэронавигационные звезды южного неба (рис. 21) на больших широтах — незаходящие светила. Поэтому они видны круглый год в течение всей ночи. На средних и малых широтах (примерно от 0° до 60° южной широты) видимость их на небе определяется временем года. Канопус виден зимой всю ночь, весной — в первой половине ночи и осенью — во второй. Ригиль виден весной всю ночь, летом — в первой половине ночи и зимой — во второй. Ахернар виден осенью всю ночь, зимой — в первой половине ночи и летом — во второй. β Креста видна всю ночь в конце зимы и в начале весны, летом — в первой половине ночи, осенью и в

начале зимы — во второй. α Ю. Треугольника видна всю ночь весной, летом — в первой половине ночи, зимой — во второй. Пикок виден всю ночь летом, осенью — в первой половине ночи и весной — во второй. Эль Сухейль видна зимой всю ночь, весной — в первой половине ночи и осенью — во второй. Каус Австралия видна всю ночь летом, осенью — в первой половине ночи и весной — во второй.

Мы рассмотрели основные звезды, применяемые для навигационных определений.

При изучении звезд надо натренировать себя так, чтобы уметь быстро находить нужные созвездия и звезды в отдель-



Рис. 21. Схема отыскания звезд на южном звездном небе

ных участках звездного неба даже в тех случаях, когда другие участки закрыты облаками. Обычно несколько тщательных тренировок дают хорошие результаты, и, как правило, практически освоенные приемы отыскания звезд остаются в памяти на всю жизнь.

В табл. 1, цель которой облегчить отыскание аэронавигационных звезд на небе, звезды даны в порядке уменьшения яркости. Рядом с названием каждой из них в скобках указано, в какое созвездие она входит и какой буквой греческого алфавита обозначается,

Таблица 1

| Наименование аэронавигационной звезды | Звездная величина | Цвет звезды | Способ отыскания |
|---|----------------------|-------------|--|
| Сириус (α Б. Пса) | —1,3 | Белый | По яркости и по расположению относительно созвездия Орион. Находится на спиралеобразной линии, идущей от созвездия Орион; последняя, самая нижняя звезда на этой спирали. Она также находится на прямой, идущей через пояс Ориона (рис. 17) |
| Канопус (α Киля) | —0,9 | Желтый | По яркости. Находится на вершине прямого угла прямоугольного треугольника, образуемого звездами Сириус, Канопус, Эль Сухейль (рис. 21) |
| Вега (α Лирь) | 0,1 | Белый | По яркости. Находится в продолжении линии, проведенной через две внутренние звезды ковша Б. Медведицы или от двух крайних, наиболее удаленных от Полярной звезды звезд Кассиопеи. Прямые, идущие через Вегу, Полярную звезду и Алиот, образуют прямой угол. Около Веги расположен маленький параллелограмм из четырех неярких звезд. Поблизости созвездие Лебедя, имеющее характерную форму креста (рис. 19) |
| Капелла (α Возничего) | 0,2 | Желтый | По яркости. Находится на спиралеобразной линии, идущей от созвездия Орион, между этим созвездием и Полярной звездой, а также на прямой, идущей от ковша созвездия Б. Медведицы (рис. 17) |
| Арктур (α Волопаса) | 0,2 | Оранжевый | По яркости. Лежит на продолжении дугообразной линии ручки ковша созвездия Б. Медведицы (рис. 15) |
| Ригель (β Ориона) | 0,3 | Голубой | Находится в правом нижнем углу созвездия Орион (рис. 17) |
| Процион (α М. Пса) | 0,5 | Белый | Находится на спиралеобразной линии, идущей от созвездия Орион к звезде Сириус (рис. 17) |

| Наименование аэронавигационной звезды | Звездная величина | Цвет звезды | Способ отыскания |
|---------------------------------------|-------------------|-------------|--|
| Ахернар (α Эридана) | 0,6 | Желтый | Находится примерно на середине прямой, соединяющей звезды Капосус и Фомальгаут (рис. 21) |
| Альтаир (α Орла) | 0,9 | Белый | По характерному созвездию Орла, четыре звезды которого напоминают фигуру самолета. В близости крестообразная фигура созвездия Лебеда и яркая звезда Вега (рис. 19) |
| Бетельгейзе (α Ориона) | 0,9 | Красный | По цвету. Находится в верхнем левом углу созвездия Орион, наиболее яркая из двух его верхних звезд (рис. 17) |
| Альдебаран (α Тельца) | 1,1 | Красноватый | По цвету. Находится на спиралеобразной линии, идущей от созвездия Орион. Неподалеку находится характерная группа ярких звезд Плеяды (рис. 17) |
| Поллукс (β Близнецов) | 1,2 | Желтый | Находится на спиралеобразной линии, идущей от созвездия Орион, а также на прямой, идущей через ковш созвездия Б. Медведицы (рис. 17) |
| Спика (α Девы) | 1,2 | Белый | Находится на продолжении дуги ручки ковша созвездия Б. Медведицы, следующая яркая звезда за Арктуром (рис. 15) |
| Антарес (α Скорпиона) | 1,2 | Красный | Находится на продолжении прямой линии, идущей от ручки ковша созвездия Б. Медведицы, близ созвездия Северной Короны (рис. 15) |
| Фомальгаут (α Южной Рыбы) | 1,3 | Белый | Находится на продолжении прямой, идущей от созвездия Б. Медведицы через Полярную звезду и крайние две звезды ковша созвездий Пегаса и Андромеды (рис. 19) |
| Денеб (α Лебеда) | 1,3 | Белый | По характерной крестообразной фигуре созвездия Лебеда и по звездам Вега и Альтаир, с которыми Денеб образует почти равнобедренный треугольник (рис. 19) |

| Наименование аэронавига- ционной звезды | Звездная величина | Цвет звезды | Способ отыскания |
|--|----------------------|-------------|--|
| Регул (α Льва) | 1,3 | Белый | Находится на продолжении прямой, прозенной через две внутренние звезды у основания ручки ковша созвездия Б. Медведицы в сторону, примерно противоположную Полярной звезде (рис. 15) |
| β Креста | 1,5 | Голубой | По характерному расположению наиболее ярких звезд этого созвездия, образующих форму креста (рис. 21) |
| Ригиль (α Центавра) | 0,3—1,7 | Желтый | Находится на дугобразной линии, идущей через звезды Фомальгаут, Пикок, Ригиль, β Креста и Эль Сухейль, а также в вершине прямого угла прямоугольного треугольника, образуемого звездами Ригиль, Антарес, Спика (рис. 21) |
| Алиот (ϵ Б. Медведицы) | 1,7 | Белый | Самая яркая звезда созвездия Б. Медведицы, третья от конца ручки ковша (рис. 15) |
| α Южного Треуголь- ника | 1,9 | Красный | По характерному треугольнику ярких звезд. Находится близ дугобразной линии, проходящей через звезды Фомальгаут, Пикок, Ригиль, β Креста, Эль Сухейль, между звездами Пикок и Ригиль (рис. 21) |
| Каус Австралия (ϵ Стрельца) | 2,0 | Белый | Вместе с Пикоком и Антаресом образует почти равнобедренный тупоугольный треугольник (рис. 21) |
| Пикок (α Павлина) | 2,1 | Голубой | Находится на дугобразной линии, проходящей через звезды Фомальгаут, Пикок, Ригиль, β Креста, Эль Сухейль. Вместе с Антаресом и Каус Австралия образует почти равнобедренный тупоугольный треугольник (рис. 21) |

| Наименование аэронавига- ционной звезды | Звездная величина | Цвет звезды | Способ отыскания |
|--|----------------------|-------------|---|
| Альферац (α Андромеды) | 2,1 | Белый | Средняя и самая яркая из звезд ковша, образуемого созвездиями Пегаса и Андромеды и находящегося на продолжении прямой, идущей от созвездия Б. Медведицы через Полярную звезду (рис. 19) |
| Полярная] (α М. Медведицы) | 2,1 | Белый | Находится на продолжении прямой, проведенной через две крайние звезды ковша созвездия Б. Медведицы (рис. 15). |
| Хамаль (α Овна) | 2,2 | Красный | Находится в одной из вершин прямоугольного треугольника, образуемого звездами Хамаль, Альферац и одной из крайних звезд созвездия Кассиопеи (рис. 19) |
| Эль Сухейль (λ Парусов) | 2,2 | Красный | Находится на дугообразной линии звезд Фомальгаут, Пикок, Ригиль, β Креста, Эль Сухейль, Сириус, (рис. 21) |

В процессе изучения звездного неба, чтобы облегчить отыскание и опознавание звезд, пользуются картами (атласами) звездного неба.

В авиационной астрономии применяется подвижная карта звездного неба, известная под названием бортовой карты неба — БКН (рис. 22). Она состоит из неподвижного основания, на котором вращается вокруг полюса мира звездная карта со звездами до четвертой величины, и накладного листа с вырезом, изображающим горизонт для заданной широты места. На звездной карте нанесены четыре круга склонений, которые соответствуют прямым восхождениям $0, 90, 180$ и 270° , и небесный экватор со шкалой прямых восхождений через каждые 10° . Два круга склонений имеют шкалу через 10° . По краю овального выреза нанесены риски, показывающие положение точек севера, юга, востока и запада, а также шкала азимутов через 30° .

В дугообразном вырезе накладного листа видна шкала на 365 делений с оцифровкой по дням и месяцам года, нане-

сенная на вращающейся карте. По краю дугообразного выреза нанесены деления часов и десятков минут, приходящихся на ночное время. Если, вращая карту, совместить деление заданного дня с делением заданного часа наблюдения по местному времени, то в овальном вырезе будет

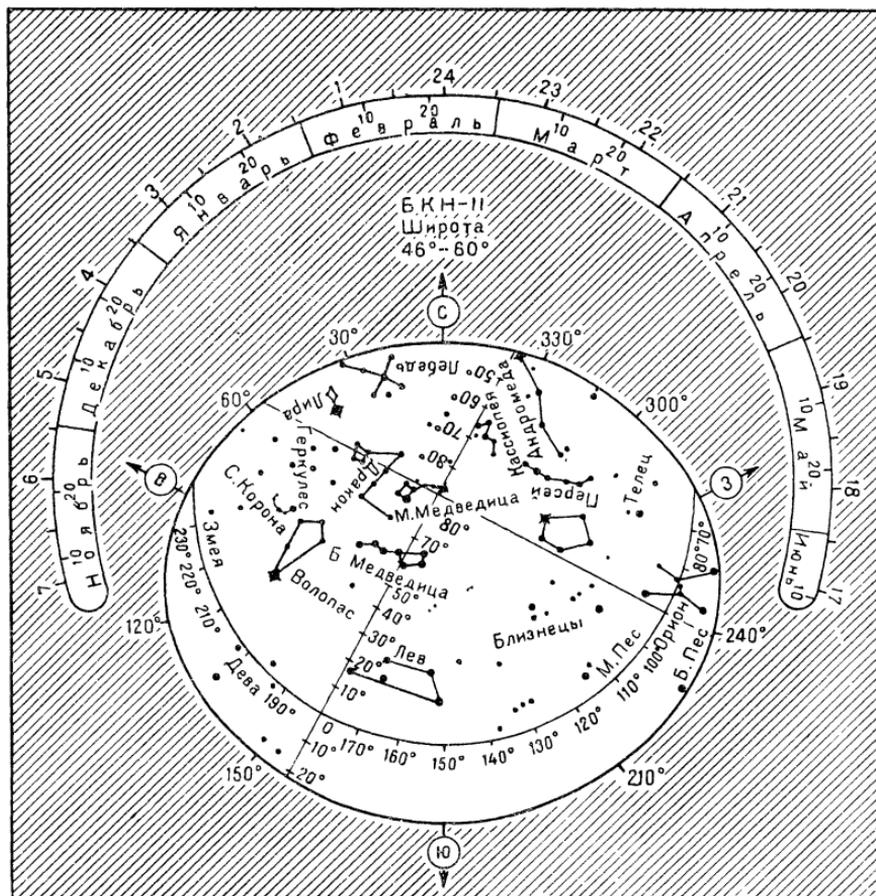


Рис. 22. Бортовая карта неба (БКН-II)

видна картина звездного неба, соответствующая заданному моменту наблюдения по местному гражданскому времени.

Для удобства пользования БКН издана для различных широт Северного полушария: БКН-I — для 37° (от 30 до 44°); БКН-II — для 53° (от 46 до 60°) и БКН-III — для 69° (от 62 до 72°). Они отличаются друг от друга размерами и

конфигурацией овального выреза, ограничивающего видимую часть звездного неба для выбранной широты.

Для меньших северных широт и для южных широт существуют специальные карты неба.

Перед тем как пользоваться бортовой картой неба, необходимо нанести на изображение видимой части неба положение планет. Как было сказано выше, положение планет среди звезд непостоянно, они блуждают по звездному небу, и поэтому их невозможно заранее, вместе со звездами, нанести на карту. Наносить же их следует не только тогда, когда мы собираемся их наблюдать, но и каждый раз перед тем, как пользоваться БКН. Ведь появление планеты в каком-то созвездии несколько меняет его общий вид и этим может затруднить отыскание и опознавание нужных аэронавигационных звезд.

При ориентировании карты ее следует держать примерно вертикально перед собой, совмещая обозначения точек горизонта с соответствующими им фактическими направлениями стран света.

При помощи БКН можно не только получить вид звездного неба для заданного момента времени (месяца, дня и часа), но и решать следующие задачи.

1. Наметить на земле, до полета, звезды, по которым наиболее удобно производить навигационные определения в воздухе. Для этого карту устанавливают на заданный момент местного времени и по видимому положению звезд в овале БКН в зависимости от курса полета выбирают для измерений наиболее удобные аэронавигационные звезды. Для большей точности астрономических навигационных определений по нескольким звездам выбирают такие из них, разность азимутов между которыми близка к 90° .

2. Определить горизонтальные и экваториальные координаты светил. Для определения экваториальных координат надо карту установить на заданный момент времени и отсчитать: часовой угол — по дуге экватора от южной части небесного меридиана до круга склонения светила, т. е. до прямой, проходящей через полюс мира и светило; склонение — по кругу склонения от небесного экватора до светила.

Для определения горизонтальных координат надо обозначить зенит в центре овала. Положение светила между линией горизонта (краем овального выреза) и зенитом характеризует высоту светила. Величина азимута отсчитывается по краю овального выреза от точки севера в восточном направлении до вертикала (прямая на карте, соединяю-

щая светило с зенитом); высота — по вертикалу от горизонта до светила.

3. Определить моменты восхода и захода светил в определенный день. Для этого вращением карты изображение данного светила устанавливают под обрез овала в восточной части, если нужно определить восход светила, или в западной, если нужно определить заход светила. На дугообразном вырезе против заданной даты можно прочесть момент восхода (захода) светила по местному времени.

4. Определить моменты кульминаций светил. Для этого изображение светила устанавливается на небесный меридиан по линии *С—Ю* между полюсом и точкой юга, если нужно определить верхнюю кульминацию, или между полюсом и точкой севера, если нужно определить нижнюю кульминацию. На дугообразном вырезе против заданной даты можно прочесть момент кульминации по местному времени.

— — —

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ

Для астрономической ориентировки на местности, в плавании или в полете большое значение имеет знание точного времени. Вследствие того что все небесные светила перемещаются с течением времени, ориентировка по ним относится к какому-то определенному моменту времени.

Чтобы не заблудиться, мало иметь компас, нужно еще знать свое место — широту и долготу. Но если широту достаточно просто узнать по Солнцу и времени, найти долготу сложнее. Самый простой способ, которым моряки пользуются и до сих пор, — определять долготу по часам.

В разных местах земного шара не одно и то же время. Когда на Камчатке полдень, в Москве только два часа ночи. На каждом меридиане свое, местное время, и на расстоянии 15° долготы разница во времени составляет ровно 1 ч. Следовательно, определив разницу местных времен, можно вычислить долготу — расстояние в градусах от начального меридиана, по времени которого идут часы на корабле. Нужно только хранить время начального меридиана. Это делают часы-хронометры. С этой же целью передаются несколько раз в сутки сигналы точного времени непосредственно из астрономических обсерваторий.

Точное местное время определяется путем наблюдения при помощи специального прибора (пассажный инструмент) звезд или Солнца.

Сутки были первой природной мерой времени, открытой человеком.

Звездные сутки — это промежуток времени между двумя последовательными одинаковыми кульминациями точки весеннего равноденствия. За начало суток принимается момент верхней кульминации этой точки. Но точка весеннего равноденствия — воображаемая точка, поэтому

практически для определения звездного времени измеряют часовой угол какой-либо звезды.

В любой момент времени звездное время равно сумме часового угла звезды и ее прямого восхождения. Зная прямое восхождение звезды и измерив ее часовой угол, можно в любой момент определить звездное время.

В момент верхней кульминации звезды ее часовой угол равен нулю. Следовательно, в момент верхней кульминации звездное время равно прямому восхождению звезды.

Истинные солнечные сутки — это промежуток времени между двумя последовательными верхними кульминациями центра Солнца. Началом истинных солнечных суток считается полдень, когда Солнце находится в самой высокой точке над горизонтом.

Звездное время в быту неудобно тем, что звездные сутки короче солнечных на *3 мин 56 сек*, поэтому начало звездных суток приходится на различное время дня и ночи.

Истинное солнечное время также неудобно, так как истинные сутки непостоянны: то длиннее, то короче. Продолжительность самых длинных декабрьских суток на *51 сек* больше продолжительности самых коротких сентябрьских суток. Соответственно укорачиваются или удлиняются часы, минуты и секунды. Причинами непостоянства истинных суток являются неравномерность движения Солнца по эклиптике и наклон эклиптики к небесному экватору.

Вследствие суточного вращения Земли вокруг своей оси в одно и то же время на одной стороне экватора бывает день, а на противоположной стороне — ночь; вследствие годового движения Земли вокруг Солнца в одно и то же время в одном полушарии бывает лето, в другом — зима.

Земная ось все время наклонена к плоскости орбиты Земли на $66^{\circ} 33'$ и перемещается в пространстве параллельно самой себе. Поэтому Северное и Южное полушария попеременно бывают обращены в сторону Солнца, что и определяет смену времен года, которая зависит от высоты и продолжительности пребывания Солнца над горизонтом (рис. 23). Например, Северное полушарие в июне наклонено к Солнцу, а в декабре — в обратную сторону, в результате этого в Северном полушарии в июне бывает теплее, чем в декабре. В Южном полушарии наоборот: в декабре теплее, чем в июне.

Наблюдатель не замечает ни суточного, ни годового вращения Земли. Ежедневно он видит восход и заход Солнца, изменение его высоты в течение года. Летом Солнце прохо-

дит над горизонтом выше, зимой ниже. Меняются и точки восхода и захода Солнца на горизонте: 21 марта и 23 сентября оно восходит точно на востоке и заходит точно на западе; между этими датами точки восхода и захода смеща-

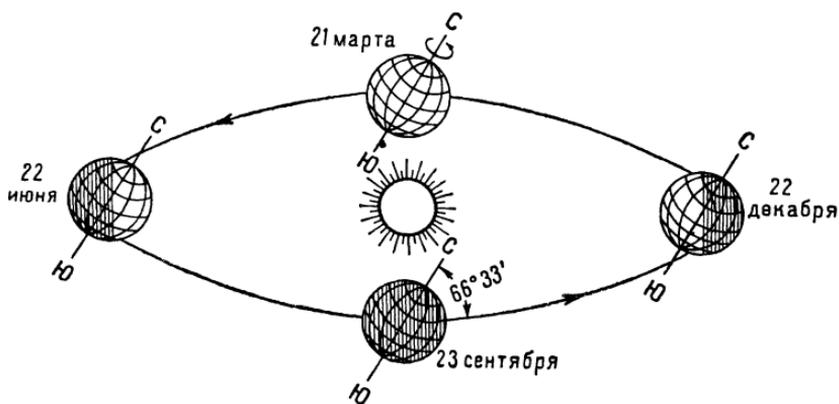


Рис. 23. Положение Земли относительно Солнца в различное время года

ются к югу зимой и к северу летом (рис. 24). Поэтому светлого времени — от рассвета до наступления темноты — летом бывает значительно больше, чем зимой.

Обычно моментами наступления рассвета и темноты принято считать моменты, когда высота Солнца, точнее — его

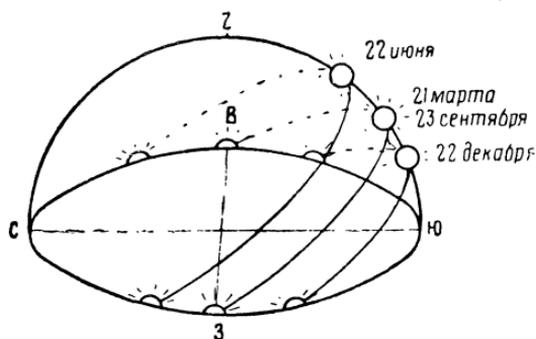


Рис. 24. Положение Солнца над горизонтом в средних широтах в различное время года

центра, равна -7° (при наступлении рассвета Солнце еще не поднялось из-за горизонта, а при наступлении темноты опустилось за горизонт). Это весьма условно, так как при одном и том же положении Солнца за горизонтом может

быть светлее или темнее в зависимости от метеорологических условий; например, при облачной погоде светлого времени до восхода и после захода Солнца будет меньше.

Промежутки времени между рассветом и восходом Солнца, между заходом Солнца и наступлением темноты называются сумерками (при восходе и заходе с учетом рефракции и углового радиуса Солнца высота Солнца равна $-51'$). Продолжительность сумерек зависит от времени года и широты места.

Если высота Солнца в полночь не будет ниже -7° , то темнота совсем не наступает; сумерки будут продолжаться всю ночь. Такие ночи называют «белыми». Во время «белых ночей» утренние сумерки наступают раньше, чем кончаются вечерние сумерки предыдущих суток, как говорят, «заря с зарей встречается».

Высота Солнца в полночь, т. е. в момент его нижней кульминации, определяется по формуле

$$h = \varphi + \delta - 90^\circ.$$

Подставив в эту формулу наибольшее значение склонения Солнца $\delta = +23^\circ,5$ и минимальную высоту Солнца для сумерек $h = -7^\circ$, легко определить, что «белые ночи» могут быть на широте $\varphi = 59^\circ,5$ и больше. На территории СССР «белые ночи» наблюдаются примерно начиная от широты Ленинграда ($\varphi = 60^\circ$) и до Северного полюса. Это чудесное явление природы полно поэзии, неповторимой прелести.

Строго говоря, астрономическими сумерками считаются периоды, когда Солнце находится за горизонтом до $17^\circ,5$. Следовательно, южная граница «белых ночей» проходит на широте Полтавы ($\varphi = 49^\circ$). Но на этих широтах «белые ночи» очень слабо выражены и их, как правило, не замечают.

Перемещаясь вместе с Землей, наблюдатель проектирует Солнце на небесную сферу в плоскости орбиты Земли. В результате Солнце как бы перемещается среди звезд по кругу, по которому плоскость земной орбиты пересекается с небесной сферой. Этот большой круг, по которому происходит видимое годовое движение Солнца среди звезд, называется эклиптикой. По эклиптике Солнце перемещается в направлении, обратном направлению вращения небесной сферы. При движении по эклиптике за полный оборот Солнце проходит последовательно двенадцать созвездий, образующих пояс Зодиака: Козерог (в январе), Водолей (в феврале), Рыбы (в марте), Овен (в апреле), Телец (в мае), Близнецы (в июне), Рак (в июле), Лев (в авгу-

сте), Дева (в сентябре), Весы (в октябре), Скорпион (в ноябре) и Стрелец (в декабре).

Вследствие наклона оси вращения Земли к плоскости ее орбиты плоскость земного экватора составляет с плоскостью годового движения Земли угол $23^{\circ} 27'$; поэтому и пло-

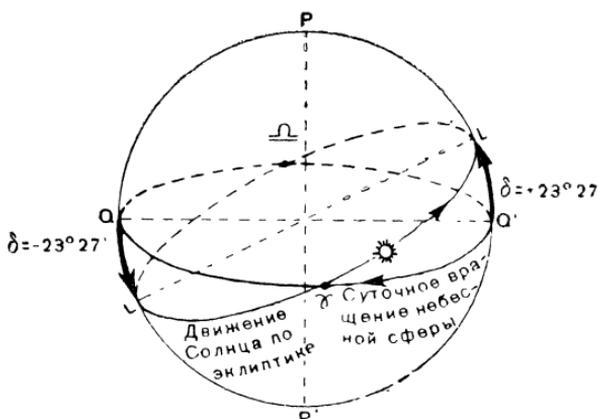


Рис. 25. Положение эклиптики относительно небесного экватора

скость небесного экватора с плоскостью эклиптики образует угол $23^{\circ} 27'$ (рис. 25).

Эклиптика пересекается с небесным экватором в двух точках, которые называются точками весеннего Υ и осеннего \sphericalangle равноденствия. В них Солнце бывает 21 марта и 23 сентября. Когда центр Солнца находится в этих точках, его склонение равно нулю и Солнце движется вдоль небесного экватора. В это время на Земле день равен ночи, граница света и тени проходит через географические полюсы.

22 июня Солнце находится в точке летнего солнцестояния*, отстоящей от точки весеннего равноденствия на 90° . В этот день оно проходит в наивысшей точке над экватором и его склонение равно $23^{\circ} 27'$. В Северном полушарии в эти сутки бывает самый длинный день и самая короткая ночь. 22 декабря Солнце находится в точке зимнего солнцестояния; оно проходит в южной части небесной сферы и его склонение равно $-23^{\circ} 27'$. В эти сутки

* Точками солнцестояния (летнего и зимнего) их называют потому, что в этих точках склонение Солнца изменяется очень медленно (не более чем на $1'$ за сутки), а в дни равноденствий его склонение изменяется за сутки быстро — на $23-25'$.

в Северном полушарии бывает самая длинная ночь и самый короткий день.

Итак, Солнце, пройдя 21 марта точку весеннего равноденствия и двигаясь в направлении, обратном направлению вращения небесной сферы, поднимается в северную полушару и 22 июня достигает наибольшего склонения в точке летнего солнцестояния. После этого оно постепенно снижается, 23 сентября проходит точку осеннего равноденствия и 22 декабря точку зимнего солнцестояния, в которой его склонение бывает наименьшим. Затем Солнце снова поднимается к точке весеннего равноденствия и т. д.

Таким образом, в течение года склонение и прямое восхождение Солнца непрерывно изменяются и при прохождении основных точек эклиптики принимают значения, указанные в табл. 2.

Таблица 2

| Обозначение и наименование точек | Склонение δ | Прямое восхождение α | Дата прохождения Солнца через точку |
|--|--------------------|-----------------------------|-------------------------------------|
| Υ — точка весеннего равноденствия | 0° | 0° | 21 марта |
| L — точка летнего солнцестояния | $+23^\circ 27'$ | 90° | 22 июня |
| \cap — точка осеннего равноденствия | 0° | 180° | 23 сентября |
| L' — точка зимнего солнцестояния | $-23^\circ 27'$ | 270° | 22 декабря |

Изменение прямого восхождения Солнца можно обнаружить, если регулярно наблюдать звездное небо в одно и то же время суток, например перед восходом Солнца. Созвездие, которое в какой-то день перед восходом Солнца находится на востоке, через несколько дней также перед восходом Солнца будет видно на юго-востоке, затем на юге, юго-западе и западе. Это свидетельствует о том, что Солнце перемещается относительно звезд, непрерывно изменяя свое прямое восхождение. Еще проще обнаружить изменение склонения Солнца, измеряя через несколько дней высоту Солнца в полдень и рассчитывая склонение по формуле

$$\delta = h - (90^\circ - \varphi).$$

Таким образом, можно убедиться, что склонение Солнца в течение года изменяется в пределах от $+23^\circ 27'$ до $-23^\circ 27'$ и от $-23^\circ 27'$ до $+23^\circ 27'$.

Промежуток времени между двумя последовательными прохождениями Солнца через точку весеннего равноденствия называется тропическим годом. Он равен 365,242 средних суток. Промежуток времени, за который Земля делает один полный оборот вокруг Солнца, назы-

вается звездным годом. Этот промежуток равен 365,256 средних суток. Разница на 0,014 суток между звездным и тропическим годом образуется за счет прецессии точки весеннего равноденствия, т. е. изменения ее положения в пространстве по причине некоторого, очень медленного изменения направления земной оси.

На земном экваторе Солнце движется от восхода до захода почти перпендикулярно к плоскости истинного горизонта, отклоняясь от зенита, который оно проходит в дни равноденствий, на расстояние $23^{\circ}27'$ в дни солнцестояний. Поэтому на экваторе круглый год день почти равен ночи.

Для широт, которые больше широты Северного или Южного полярного круга, Солнце часть года бывает незаходящим и часть года невосходящим светилом.

На Северном полюсе восход Солнца происходит медленно, в течение нескольких суток; только с 21 марта центр Солнца поднимается над горизонтом и медленно движется не параллельно горизонту, а все время по спирали вверх. 22 июня Солнце достигает наибольшей высоты $h = 23^{\circ}27'$. После этого оно так же медленно опускается, 23 сентября скрывается за горизонтом и больше не показывается до 21 марта следующего года. Таким образом, на полюсе бывает каждый год только один восход и один заход Солнца. День продолжается 189 суток, а ночь — 176 суток.

День на полюсе больше ночи потому, что Солнце по эклиптике движется неравномерно. В результате этого время его пребывания в Северном полушарии примерно на 7 суток больше, чем в Южном. Кроме того, необходимо учесть, что светлое время фактически начинается не с момента истинного восхода Солнца, когда над горизонтом появляется центр его диска, а с момента видимого восхода, когда над горизонтом появляется только верхний край Солнца. Кроме того, благодаря атмосферной рефракции света солнечные лучи уже начинают освещать земную поверхность, хотя Солнце находится еще несколько ниже линии горизонта.

В южных широтах и на Южном полюсе наблюдаются те же явления, что и в северных широтах и на Северном полюсе, но даты начала времен года меняются. На Южном полюсе полярный день продолжается примерно с 23 сентября по 21 марта (182 суток), а ночь — с 21 марта по 23 сентября (183 суток).

Изменение продолжительности истинных солнечных суток заставило искать другую постоянную единицу измерения солнечного времени. С этой целью было введено поня-

тие среднего солнца и среднего солнечного времени. Средним солнцем условились считать воображаемую точку на небесном экваторе, которая как бы осредняет движение истинного Солнца. Промежуток времени между двумя последовательными верхними кульминациями среднего солнца называют средними солнечными сутками. Их продолжительность постоянна. Среднее солнечное время измеряется западным часовым углом среднего солнца, который равен нулю в момент его верхней кульминации.

В обыденной жизни неудобно начинать сутки с полдня, поэтому условились началом суток считать момент нижней кульминации среднего солнца и называть это время *гражданским*, отличающимся от среднего солнечного времени на 12 часов.

Часовые углы, которыми измеряется звездное и солнечное время, отсчитываются от небесного меридиана, на котором находится наблюдатель. Поэтому каждый меридиан на земной поверхности имеет свое, местное время, а это очень неудобно, особенно при передвижении из одного пункта в другой, при составлении расписания поездов, пассажирских самолетов и т. д. Местное время в каждом городе отличается одно от другого не только по часам, но также и по минутам и секундам.

Поэтому и было введено так называемое поясное время. Весь земной шар по числу часов в сутках разделили на 24 пояса меридианами, отстоящими друг от друга на 15° , т. е. с разницей времени ровно на один час. В каждом часовом поясе установлено единое поясное время, равное местному времени среднего меридиана данного пояса. Фактически границы между часовыми поясами проходят не строго по меридианам, а по государственным и административным границам, близким к меридианам, разделяющим часовые пояса.

Начальным поясом условились считать тот, посередине которого проходит нулевой (гринвичский) меридиан.

В нашей стране в 1930 г. декретом Правительства время переведено на один час вперед. Это сдвинутое на один час вперед поясное время называется *декретным*.

При ориентировке по звездам или другим небесным светилам пользуются хорошо выверенными часами, идущими, как правило, по декретному времени. Снятое с них время с учетом поправки за отставание или уход вперед и используется для расчетов навигационных элементов, определяющих координаты местонахождения.

ОРИЕНТИРОВКА НА МЕСТНОСТИ

В повседневной жизни каждому человеку иногда необходимо приближенно определить время и направление точек горизонта. Такие случаи не исключены и в полете. Глазомерные определения и расчеты в уме при достаточной натренированности в них могут быть надежным вспомогательным средством для контроля данных, полученных при помощи различных технических средств, и в целом для осуществления самолетовождения. Зная приближенно время и соответствующее ему положение Солнца, всегда можно избежать грубой ошибки при определении направления полета.

Небесные светила могут быть использованы не только как ориентиры для выдерживания направления — по ним можно без специальных приборов узнать время и направление основных точек горизонта. Приемы глазомерной ориентировки весьма просты и при достаточной натренированности дают хорошие результаты.

Приближенная ориентировка по Солнцу. Солнце в полдень бывает на юге, и если в это время встать к нему лицом, то слева будет восток, справа — запад, сзади — север. За сутки, т. е. за 24 часа, оно делает полный оборот на 360° . Следовательно, за каждый час Солнце проходит 15° .

Для определения угловой величины на небесной сфере можно использовать видимый диск Солнца, диаметр которого примерно $0,5^\circ$ (то же и Луны). Угол между лучами зрения, идущими от глаза через концы разведенных большого и указательного пальцев вытянутой руки, у большинства людей примерно равен 16° . Следовательно, за час Солнце переместится по небосводу примерно на 30 своих

дисков, или на расстояние, определяемое на сфере раствором большого и указательного пальцев.

Очевидно, что за 6 ч до полудня Солнце бывает примерно на востоке, а через 6 ч после полудня — на западе. Так как в нашей стране введен декретный час, то полдень по нашим часам будет около 13 ч (в час дня). В это время направление на Солнце будет соответствовать примерно направлению на юг, в 7 ч утра — направлению на восток, а в 19 ч — направлению на запад.

Зная время, по Солнцу можно примерно определить страны света или, наоборот, зная направление стран света, можно научиться определять время по положению Солнца с точностью до получаса.

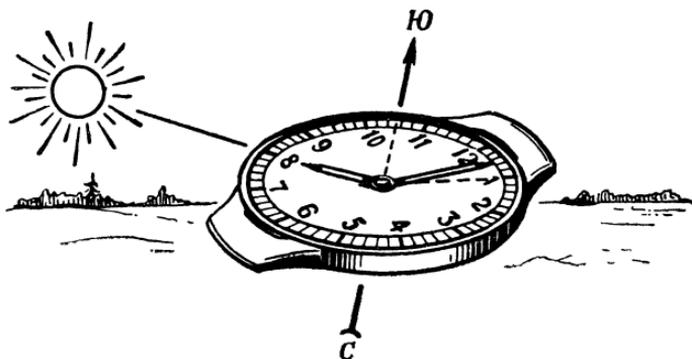


Рис. 26. Определение стран света по Солнцу и часам

Страны света удобнее, хотя и не очень точно, определять по Солнцу и часам. Для этого часы надо держать в горизонтальном положении так, чтобы часовая стрелка была направлена в то место горизонта, над которым находится Солнце. Тогда линия, идущая из центра циферблата и делящая пополам угол между часовой стрелкой и цифрой 1 на циферблате, укажет направление на юг (рис. 26). Если время полудня для места наблюдения известно более точно, то надо брать середину между часовой стрелкой и делением на циферблате часов, соответствующим местному времени полудня. Например, определяя в Москве направление на юг по Солнцу, нужно брать угол между часовой стрелкой и делением, соответствующим 12 ч 30 мин.

На юге (например, на Кавказе, в Средней Азии) часы надо держать не горизонтально, а под углом $50-40^\circ$ (для широт $40-50^\circ$) к плоскости горизонта. Найдя на цифер-

блате середину дуги между часовой стрелкой и цифрой 1 на циферблате, приложить к этому месту спичку перпендикулярно к циферблату, как показано на рис. 27. Не изменяя положения часов относительно горизонта, поворачиваться вместе с ними до тех пор, пока тень от спички не окажется направленной к центру циферблата. В этот момент цифра 1 на циферблате покажет направление на юг.

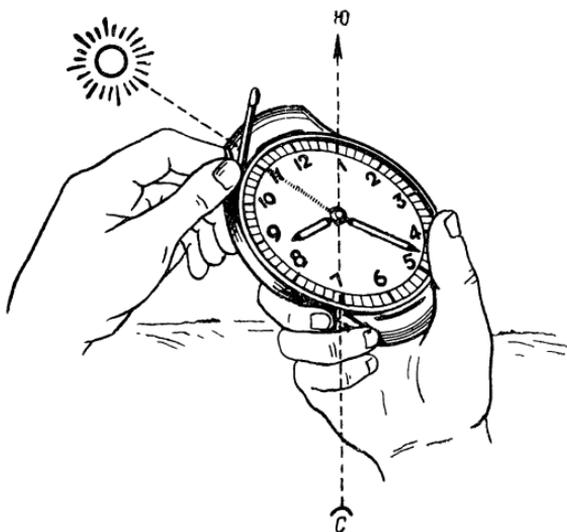


Рис. 27. Определение стран света по Солнцу и часам в низких широтах

Приближенная ориентировка по Луне. Вид Луны, ее фазы и положение на небе могут помочь ориентировке. Каждый месяц, точнее каждые 29,5 суток, Луна повторяет все свои фазы. При этом иногда она бывает видна даже днем, а иногда не видна и ночью. В новолуние она совсем не видна, затем появляется в виде узкого серпа, обращенного выпуклой стороной вправо. Чтобы узнать, в какой фазе Луна, нужно мысленно соединить концы серпа прямой линией; если получится буква Р (рост), это значит, что Луна растет. Когда же Луна убывает, то ее серп выпуклой стороной обращен влево и образует букву С (старее).

Луна в первой четверти появляется на западе у самого заходящего Солнца (рис. 28) и вскоре за Солнцем заходит. В последующие вечера серп Луны утолщается и время нахождения ее на небе увеличивается. Через неделю после

новолуния заход Солнца застаёт Луну на юге и она до полуночи освещает Землю. Через две недели при заходе Солнца на востоке появляется полный диск Луны, наступает полнолуние; в полночь она занимает самое высокое положение, находясь над точкой юга, и заходит с восходом Солнца, переместившись на запад.

Полная Луна находится на небе всю ночь.

Через несколько ночей Луна начинает постепенно убывать. Через три недели после новолуния Луна снова видна



Рис. 28. Фазы Луны и ее положение относительно горизонта в момент захода Солнца в точке запада

в виде полудиска, но выпуклой стороной влево; это последняя четверть Луны. В это время она восходит около полуночи примерно на востоке и к утру доходит до точки юга. К концу четвертой недели тонкий серп Луны появляется на востоке перед самым восходом Солнца. Последующие 4—5 дней Луна совсем не появляется на небосводе, затем снова появляется в виде тонкого серпа. Местоположения Луны на небосводе в зависимости от ее фазы и времени суток приведены в табл. 3.

Таблица 3

| Фазы Луны | Положение Луны | | |
|------------------------------|----------------|------------|-----------|
| | в 19 ч | в 1 ч | в 7 ч |
| Первая четверть | На юге | На западе | Не видна |
| Полнолуние | На востоке | На юге | На западе |
| Последняя четверть | Не видна | На востоке | На юге |

Точки горизонта в таблице даны приближенно, более точно направление на них можно определить по Луне и часам. Для этого радиус диска Луны надо глазомерно разделить на шесть равных частей и определить, сколько таких частей содержится в поперечнике видимого серпа Луны.

Если Луна прибывает, то полученное число надо вычесть из часа наблюдения, если Луна убывает — прибавить к часу наблюдения. Полученная сумма или разность укажет час, когда в том направлении, где сейчас находится Луна, будет находиться Солнце. Определив это время и принимая Луну за Солнце, можно найти направление на юг так же, как это

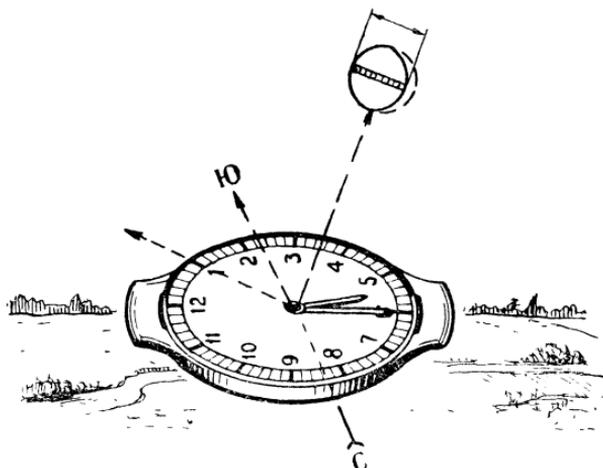


Рис. 29. Определение стран света по Луне и часам

делается по Солнцу и часам. При этом направлять на Луну нужно не часовую стрелку, а то деление на циферблате, которое соответствует вычисленному времени.

Например, время наблюдения равно 5 ч 30 мин, видимая часть Луны в поперечнике содержит примерно десять шестых своего радиуса (рис. 29). Луна убывает (видна левая часть диска), значит Солнце на месте Луны будет в 15 ч 30 мин (5 ч 30 мин + 10 ч). Установив это деление на часах (на циферблате это будет 3 ч 30 мин) в направлении на Луну, нужно провести прямую линию из центра циферблата через середину дуги между этим делением и цифрой 1 на циферблате. Прямая укажет направление на юг.

В период полнолуния, когда виден весь диск Луны, изменение времени наблюдения на 12 ч (что соответствует 12 долям радиуса диска) даст то же самое деление на циферблате часов. В этом случае страны света по Луне и часам определяются так же, как по Солнцу и часам.

Приближенная ориентировка по звездам. В безоблачную ночь страны света проще всего определять по Поляр-

ной звезде, всегда указывающей направление на север. Полярную звезду легко найти по созвездию Б. Медведицы.

Если Полярная звезда закрыта облаками, а в просветах видны другие звезды и созвездия, можно узнать, где приблизительно должна быть Полярная звезда. Для этого нужно помнить главные созвездия вокруг Полярной звезды. На небе много звезд, по которым не трудно найти Полярную.

Ориентироваться можно также и по положению некоторых созвездий над линией горизонта. Например, квадрат Пегаса (четыреугольник Ориона, трапеция Льва) над южной точкой горизонта стоит прямо (рис. 30). Когда со-

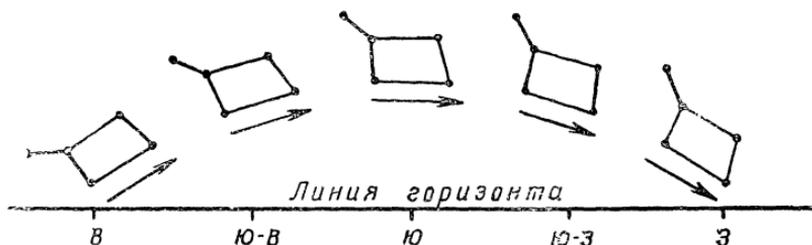


Рис. 30. Определение направления точек горизонта по положению квадрата созвездия Пегаса

звезде Пегаса находится в юго-восточной части небосвода, его квадрат наклонен влево. С наклоном вправо квадрат Пегаса виден над юго-западной точкой небосвода.

Над точкой юга в полночь бывают созвездия: Близнецы, М. Пес и Б. Пес — в январе, Лев — в марте, Волопас — в мае, Лебедь и Орел — в июле, Пегас — в сентябре, Телец — в ноябре, Орион — в декабре. Если хорошо знать созвездия, всегда можно точно найти заданное направление.

По взаимному положению Б. Медведицы и Полярной звезды можно также определять время. Созвездие Б. Медведицы, как и все звезды, совершает свой суточный оборот на 360° вокруг полюса мира за 24 ч, т. е. со скоростью 15° в час. Представим себе громадный циферблат на небе с центром в Полярной звезде и цифрой 6, расположенной внизу над точкой севера. Часовая стрелка таких часов проходит из Полярной звезды через две крайние звезды ковша Б. Медведицы (рис. 31). Если смотреть на север, то вращение Б. Медведицы происходит против хода часовой стрелки обычных часов. Поэтому и стрелка «небесного циферблата» будет вращаться против хода часовой стрелки обычных часов. Кроме того, ее перемещение на одно деление «небес-

ного циферблата» будет происходить в течение двух часов, так как один оборот такая часовая стрелка делает за 24 ч, а не за 12, как на обычных часах.

Чтобы узнать время, нужно отсчитать показание небесной стрелки (на рисунке 5,5 ч); определить номер месяца

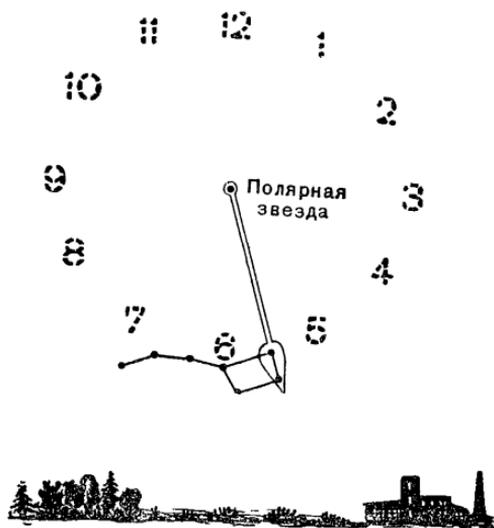


Рис. 31. Определение времени по созвездию Большой Медведицы

от начала года с десятичными долями месяца (каждые три дня считать за одну десятую долю месяца; например, 18 ноября будет соответствовать числу 11,6); сложить его с показанием небесной стрелки и сумму умножить на два ($5,5 + 11,6 = 17,1$; $17,1 \times 2 = 34,2$), после чего вычесть эту величину из постоянного числа 55,3 (его надо запомнить); полученная разность будет соответ-

ствовать времени в данный момент (в примере: $55,3 - 34,2 =$

$= 21,1$, т. е. 21 ч 6 мин, или примерно 9 ч вечера). Если разность получится больше 24, из нее надо вычесть еще 24.

Постоянное число 55,3 зависит от определенного положения созвездия Б. Медведицы среди звезд.

Стрелками небесных часов могут служить звезды и других созвездий, но тогда постоянное число уже будет иным. Например, для стрелки от Полярной звезды к самой яркой после нее звезде М. Медведицы (в нижнем наружном углу ковша) постоянное число будет 59,1, а для стрелки от Полярной звезды к средней, самой яркой звезде Кассиопеи — число 67,2.

Определение координат и азимута земного предмета. Выше было уже сказано, что широту места определяют измерением высоты или зенитного расстояния звезды или Солнца.

Широта места на Земле равна высоте полюса мира. Но в точке полюса мира нет ни одного светила. Поэтому, измерив высоту какого-либо светила, приходится производить некото-

рые несложные расчеты для вычисления широты. Проще всего широту определять по высоте Полярной звезды, находящейся от полюса на расстоянии около 1° , в момент верхней или нижней кульминации. В этом случае нужно соответственно отнять или прибавить к измеренной высоте 1° , чтобы получить широту места.

Для определения долготы места следует запомнить несколько соотношений. Промежуток между моментами кульминации Солнца в двух пунктах, отстоящих один от другого по долготе на 15° , т. е. на $\frac{1}{24}$ часть полного оборота, равняется $\frac{1}{24}$ части суток, или одному часу, а в двух пунктах, отстоящих на один градус, — 4 мин. Так же очевидно, что разность местного времени для двух пунктов равна разности географических долгот этих пунктов, выраженной в единицах времени. Следовательно, нетрудно определить долготу места, определив местное время наблюдением за звездами или Солнцем и зная время на меридиане, принятом за начальный.

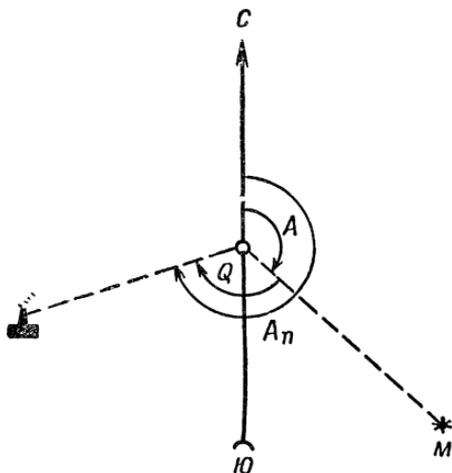


Рис. 32. Определение азимута предмета

Пусть, например, местное время, полученное астрономическим наблюдением, $T_M = 15$ ч 20 мин. Часы, установленные на время третьего часового пояса, показывают 16 ч 40 мин. Время третьего часового пояса соответствует местному времени на долготе 45° и, следовательно, отличается на 3 ч от времени нулевого меридиана, на котором в данный момент $T_0 = 16$ ч 40 мин — 3 ч = 13 ч 40 мин. Значит, долгота $\lambda = T_M - T_0 = 15$ ч 20 мин — 13 ч 40 мин = 1 ч 40 мин, или 25° в.

Одной из основных задач в геодезии является определение направления (азимута). Оно может понадобиться для ориентирования антенн радиотехнических станций, строительства зданий и сооружений, стрельбы из орудий, пуска ракет и многих других целей. При помощи небесных светил эта задача решается определением азимута светила и угла

между направлениями на светило и на предмет. Из небесных светил для этого, как правило, пользуются Полярной звездой и Солнцем.

Наиболее просто определение азимута предмета ($A_{\text{п}}$) по часовому углу Полярной звезды (рис. 32). Установленным на местности теодолитом с закрепленным горизонтальным кругом замеряется направление на какой-либо удаленный предмет. После этого определяется направление на Полярную звезду и записывается момент отсчета. Рассчитав угол между направлениями на Полярную звезду и предмет, по астрономическим таблицам для отсчитанного момента времени находят часовой угол Полярной звезды и ее азимут A , после чего рассчитывают азимут земного предмета

$$A_{\text{п}} = A + Q.$$

Зная азимут предмета, нетрудно определить любое заданное направление.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КУРСА САМОЛЕТА

Современные астрономические средства позволяют с высокой точностью решать две основные штурманские задачи в полете:

- измерять и выдерживать направление полета;
- определять место самолета.

По сравнению со всеми навигационными средствами самолетовождения астрономические средства имеют ряд преимуществ. Они отличаются простотой конструкции и удобством эксплуатации приборов в полете, независимостью их работы от магнитного поля Земли и наземных устройств, независимостью ошибок навигационных определений от направления, высоты, дальности и продолжительности полета, возможностью применения в любой точке земного шара.

Знание курса самолета является одним из важнейших условий выполнения полета. Курс определяется при помощи различных курсовых приборов — компасов. Есть компасы магнитные, гиромагнитные, астрономические и др. Наиболее распространены магнитные и гиромагнитные компасы, стрелки которых указывают направление на магнитный полюс Земли и, следовательно, дают магнитный курс самолета. Для нанесения линии пути на полетную карту магнитный курс переводится в истинный (учитывается магнитное склонение). Точность показаний магнитного компаса (без учета инструментальных ошибок прибора) зависит от состояния магнитного поля Земли и электромагнитного поля самолета.

Магнитные аномалии (например, Курская) и небольшая по величине в высоких широтах горизонтальная составляющая силы земного магнетизма (сила, удерживающая стрелку компаса в направлении на магнитный полюс)

значительно снижают точность показаний магнитных компасов, а иногда и совершенно исключают возможность использования их в полете.

Астрономические компасы в отличие от других компасов позволяют непосредственно определять истинный курс самолета.

Принцип определения курса с помощью астрономического компаса основан на определении направления на какое-либо небесное светило: Солнце, Луну, планету или звезду.

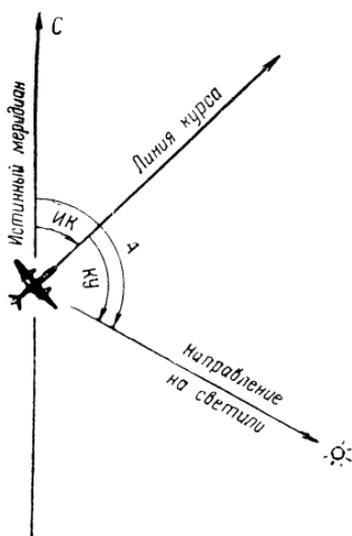


Рис. 33. Соотношение между истинным курсом самолета, азимутом и курсовым углом светила

Как видно из рис. 33, $ИК = А - КУ$.

Современные астрономические компасы имеют различные устройства для визирования светил. Среди них простейшие устройства, состоящие из прорези и мушки, и различные оптические визирные системы. Существует визирная система, позволяющая определять направление на Солнце, когда оно не видно. Это поляризационная визирная система, основанная на использовании эффекта поляризации рассеянного солнечного света, проходящего через поляризатор. Она позволяет определить направление на Солнце, когда оно за облаками или ниже горизонта до 7° и когда некоторые участки неба открыты от облаков. Особенно необходимо применение этой системы в полярных районах, где сумерки про-

Измерить направление на светило и определить его курсовой угол, т. е. угол между продольной осью самолета и направлением на светило, можно любым визиром. Курсовой угол Солнца можно измерить, используя тень от какого-нибудь вертикального стержня. Если, например, на самолете поместить круг, разделенный на 360° , и в центре круга поставить вертикальный стержень, то тень от стержня покажет величину курсового угла Солнца, измененного на 180° .

В основу измерения истинного курса самолета по астрономическому компасу положено равенство истинного курса (ИК) разности между азимутом (А) светила и его курсовым углом

должаются несколько суток подряд, причем часто бывает так, что в это время никаких небесных светил на небе не видно.

Широко применяемая фотоэлектрическая визирная (сле- дящая) система позволяет автоматически удерживать на- правление на небесное светило.

На рис. 34 показан один из простейших астрокомпасов АК-53п. В нем имеются три визирные системы: оптическая, прорезь-мушка и поляри- зационная. Простота его устройства и эксплуата- ции в полете, надежность и высокая точность ра- боты дают возможность применять его на многих типах самолетов и без особого труда переносить с одного самолета на дру- гой.

На рис. 35 приведен один из образцов автома- тического астрокомпаса — дистанционный астроком- пас. В астрокомпасах это- го типа имеется фото- электрическая сле- дящая система с круговым обзором, автоматически пелен- гующая Солнце. Они также достаточно просты в обращении, надежны и точны. После включения индикатор на приборной доске самолета непре- рывно показывает истин- ный курс самолета. Неко- торые виды автоматиче- ских астрокомпасов дают возможность осуществлять полет по ортодромии, т. е. по дуге большого круга — кратчайшему расстоянию на земном шаре.

Астрокомпасы этого типа могут сочленяться и с другими навигационно-пилотажными приборами и после взаимной коррекции выдавать навигационные элементы полета.

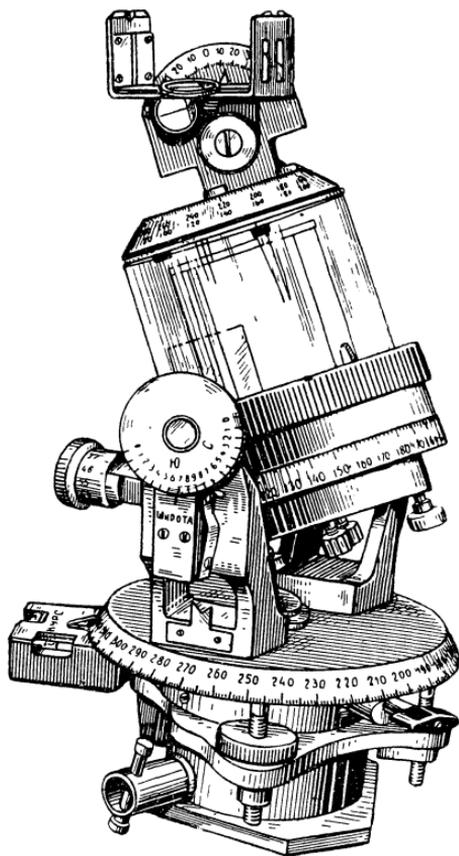


Рис. 34. Астрокомпас АК-53п

Для более высокой точности самолетовождения с применением астрономических курсовых приборов рекомендуется выбирать небесные светила с небольшой высотой, ближе всего расположенные к горизонту, а также производить измерения в условиях прямолинейного полета при отсутствии ускорений на самолете. При измерении курса самолета на

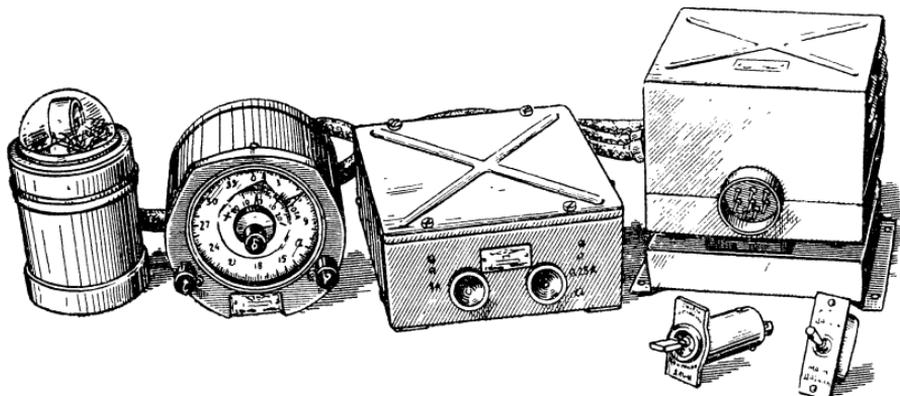


Рис. 35. Комплект аппаратуры дистанционного астрокомпаса истребителя

астрокомпасе устанавливаются координаты места самолета. Желательно эти координаты устанавливать возможно точнее, не допуская ошибок свыше 25—30 км.

Применение астрономических компасов, работающих по Солнцу, дает большую точность при полетах в высоких широтах, а также в средних широтах зимой или летом утром и вечером.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТА САМОЛЕТА

Определение места самолета — одна из важнейших задач экипажа в полете. Она может быть решена при помощи различных технических средств самолетовождения, в том числе и астрономических. Для этого могут применяться авиационные секстанты, астроориентаторы и астрономические таблицы как расчетные пособия.

Определение в полете места самолета астрономическими средствами основано на измерении высот небесных светил, расчете астрономических линий положения самолета (т. е. линий, пересечение которых дает местоположение самолета) и геометрическом построении их на карте или отсчете на приборах, указывающих координаты самолета на земной поверхности.

Если центр Земли соединить прямой линией со светилом, то эта линия пересечет земную поверхность в некоторой точке. Человек, находящийся в этой точке на Земле, будет наблюдать светило над головой — в зените.

Точка проекции светила на земную поверхность M_1 (рис. 36) называется географическим местом светила (ГМС).

Очевидно, что координаты географического места светила (φ_* , λ_*) соответствуют экваториальным координатам светила: широта географического места светила равна склонению светила, а западная долгота — гринвичскому часовому (западному) углу; т. е. $\varphi_* = \delta$; $\lambda_* = t_{гр}$.

Географическое место тех светил, которые не изменяют положения на небесной сфере (звезды), перемещается по земной поверхности вдоль параллелей в направлении, обратном вращению Земли, т. е. с востока на запад. При этом широта ГМС остается постоянной, а долгота изменяется. Географическое место тех светил, которые изменяют свои

экваториальные координаты (Солнце, Луна и планеты), также перемещается по земной поверхности, и его координаты всегда соответствуют экваториальным координатам этих светил, но линия перемещения не совпадает с земными параллелями.

Для наблюдателя, находящегося на некотором расстоянии от ГМС, высота светила будет меньше 90° , а зенитное расстояние соответственно больше 0° . Во всех точках окружности, центром которой является ГМС, высота соответствующего светила одинакова. Такая окружность называется кругом равных высот светила. Соответственно и зенитное расстояние постоянно для каждого круга равных высот. Расстояние между двумя кругами равных высот равно разности их зенитных расстояний или разности высот светила.

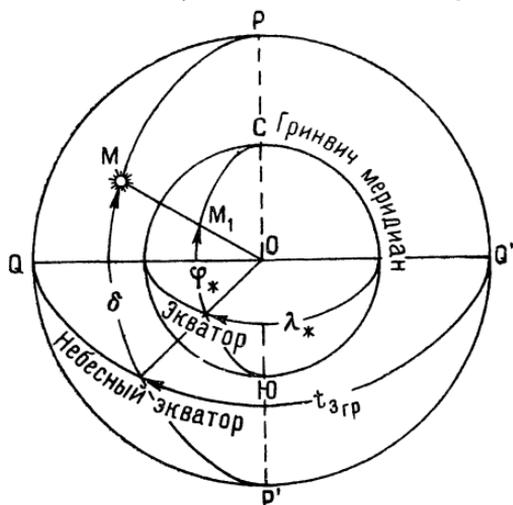


Рис. 36. Экваториальные координаты светила и координаты его географического места (ГМС)

Чтобы выразить радиус круга равных высот линейной величиной, пользуются известным соотношением: одна минута дуги (на земной поверхности) равна одной морской миле, т. е. $1' = 1,852 \text{ км}$.

Для определения своего местонахождения наблюдатель должен измерить вначале высоту какого-либо светила, отметив время измерения. По времени измерения определить координаты ГМС для данного момента. Затем на глобусе найти точку, соответствующую координатам ГМС, и радиусом, равным зенитному расстоянию ($90^\circ - h$), провести окружность, в одной из точек которой и будет местонахождение наблюдателя.

Если измерить высоту другого светила и также провести окружность, являющуюся кругом равных высот другого светила, то эти окружности пересекутся в двух точках A и B (рис. 37), в одной из которых и находится наблюдатель.

Эти точки обычно удалены друг от друга на большое расстояние (в несколько тысяч километров). Поэтому наблюдатель, зная хотя бы весьма приближенно свое местонахождение, может всегда определить, в какой из двух точек он находится. Например, измерив высоту светила в прикаспийских степях, наблюдатель без всякого сомнения будет считать, что он находится в точке A , а не в точке B , расположенной где-то в Индийском океане (рис. 37).

Радиусы кругов равных высот очень велики. Даже при высоте светила $h = 70^\circ$, т. е. когда зенитное расстояние $z = 20^\circ$, радиус круга равных высот составляет 2220 км (один градус дуги большого круга на земной поверхности равен 111 км). Поэтому участок круга равных высот можно без большой ошибки изобразить на карте в виде прямой линии — прямой равных высот, на которой находится наблюдатель (на земле или в полете). Обычно прямую равных высот проводят в виде касательной к дуге круга равных высот.



Рис. 37. Круги равных высот на земной поверхности и точки их пересечения

Прямая равных высот должна быть перпендикулярна к направлению на светило из точки, в которой производится измерение высоты светила. Азимуты ГМС и светила равны между собой. Так как азимут ГМС определяется направлением радиуса круга равных высот из точки наблюдателя, то астрономическую линию положения нужно проводить перпендикулярно к радиусу, проведенному к месту наблюдателя из точки ГМС.

В практике не представляется возможным наносить на карту ГМС и проводить радиус круга равных высот. Поэтому при прокладке астрономической линии положения поступают следующим образом. Для некоторой точки, расположенной в районе предполагаемого места самолета, по

моменту измерения высоты и по астрономическим таблицам определяют высоту и азимут данного светила. Эту точку обычно называют счислимой, а высоту светила, вычисленную для данной точки и момента измерения, — вычисленной высотой светила.

Под углом, равным азимуту светила A , через счислимую точку проводят линию азимута. Затем определяют разность Δh между измеренной h и вычисленной $h_{\text{в}}$ высотами и переводят ее из угловой величины в линейную.

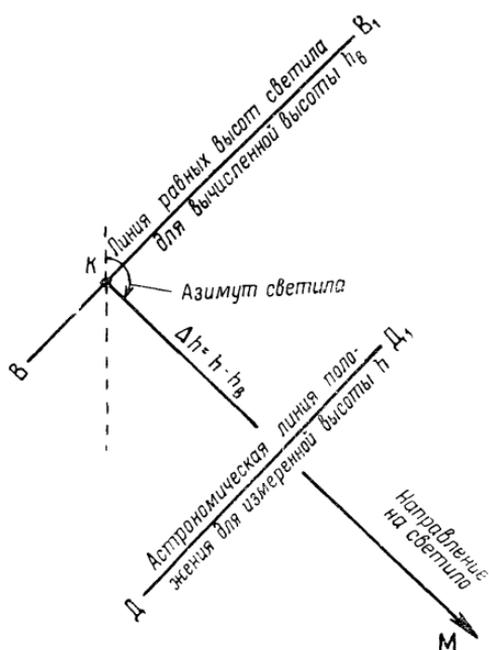


Рис. 38. Прокладка на карте астрономической линии положения

Эта разность характеризует удаление счислимой точки от линии положения самолета. Отложив величину Δh км на линии азимута от счислимой точки, получим точку пересечения линии азимута светила с линией положения самолета, которая и проводится перпендикулярно к линии азимута.

На рис. 38 изображена схема прокладки астрономической линии положения на карте. Здесь точка K является счислимой точкой; линия KM — линией азимута светила; линия KB_1 , проведенная через счислимую точку перпендикулярно к азимуту светила, — линией равных высот светила для вычисленной высоты $h_{\text{в}}$. Линия DD_1 , проведенная перпендикулярно к линии азимута на удалении от счислимой точки на величину разности высот Δh , является линией равных высот (линией положения) для наблюдателя, измерившего высоту светила.

Для измерения высоты светил применяются авиационные секстанты, представляющие собой оптические угломерные приборы. Они бывают двух видов — ручные и перископические, смонтированные в фюзеляж самолета (рис. 39).

Оптический секстант, как и всякий астрономический оптический прибор, может применяться только при визуальной видимости небесных светил. Основной недостаток подобных приборов — невозможность наблюдать небесные светила в облачную погоду.

Огромные успехи в изучении Вселенной стали возможны благодаря тому, что небесные тела излучают свет. Человек научился улавливать не только видимые им лучи, но и невидимые: ультрафиолетовые, рентгеновские, инфракрасные. Но часть этих волн поглощается земной атмосферой и не доходит до поверхности Земли.

С недавних пор стало возможным изучать радиоизлучение небесных тел. Диапазон радиоволн (от нескольких миллиметров до многих метров) значительно больше диапазона световых волн, длина которых не превышает десятых долей микрона. В некоторых диапазонах радиоволны не поглощаются земной атмосферой. Они позволили человеку наблюдать небесные светила не только через «оптическое окно», но и через так называемое «радиоокно».

Новая область науки — радиоастрономия — началась с того, что был обнаружен источник радиопомех космического происхождения на волне 14,7 м. Но потом ученые установили, что радиоизлучение поступает не вообще из мирового пространства, а из определенной области неба, от определенных небесных тел, которые называют иногда «радиозвездами».

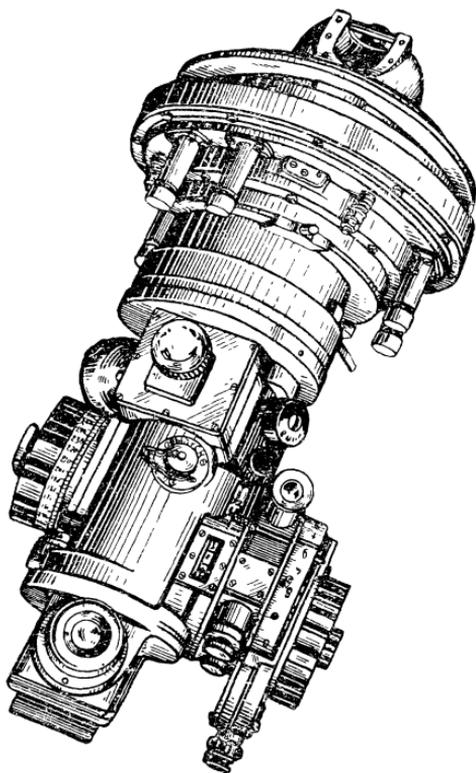


Рис. 39. Перископический секстант панорамного типа

Уже в 1944 г. было обнаружено радиоизлучение Солнца. Как оказалось, не одно Солнце, а и отдельные планеты солнечной системы (например, Юпитер) — источники радиоизлучения.

Электромагнитные волны излучаются всяким нагретым телом, причем длина волны и ее энергия зависят от темпе-

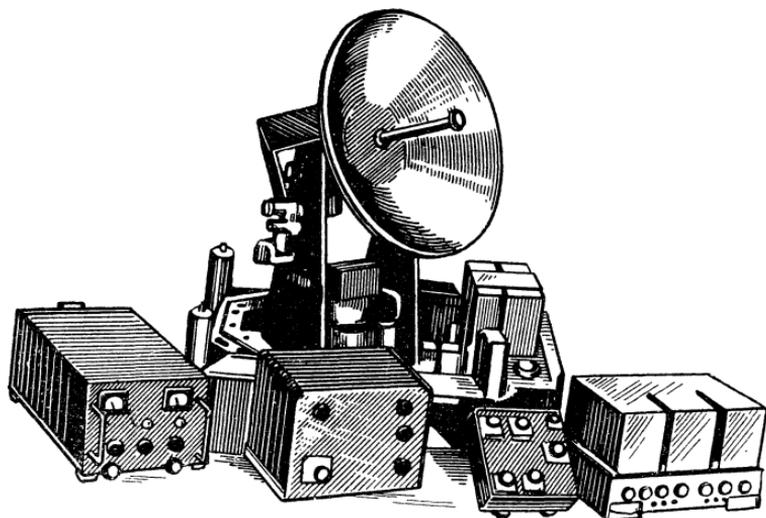


Рис. 40. Комплект аппаратуры самолетного радиосекстанта (США)

ратуры поверхности излучающего тела. Температура поверхностного слоя Солнца равна примерно 6000° , температура поверхности большинства звезд — 4500 — $10\,000^{\circ}$. Луна и планеты имеют небольшие положительные и даже отрицательные температуры, но и этого достаточно для излучения радиоволн.

Выяснилось также, что потоки радиоволн поступают на Землю из различных участков Галактики и от других звездных систем.

Применение радиоастрономии в авиации открывает новые возможности для самолетовождения.

В настоящее время создаются самолетные радиосекстанты (рис. 40). В принципе они напоминают радиолокационную станцию с автоматическим сопровождением цели. Так же как и радиолокационные станции, они имеют антенную систему, приемник с усилителем и систему автоматического слежения за Солнцем по азимуту и высоте. Радиосекстант, принимая радиоизлучения Солнца, автоматически непре-

рывно следит за его положением на небесной сфере и определяет его координаты.

Определив только одну астрономическую линию положения, экипаж самолета не может узнать, в какой ее точке он находится, но может использовать эту линию для контроля пути и для восстановления ориентировки. Чтобы определить свое местонахождение, экипаж должен получить при помощи других навигационных средств какую-либо другую линию положения или измерить высоту второго светила и проложить вторую астрономическую линию положения.

Измерить одновременно высоту двух светил обычным секстантом невозможно. Между двумя измерениями пройдет какое-то время, за которое летящий самолет значительно удалится от точки первоначального измерения высоты светила. Следовательно, точка пересечения двух таких астрономических линий положения не будет действительным местом самолета, так как на каждой из них самолет находился в различные моменты времени. Чтобы избежать ошибки, одну из линий положения, обычно первую, смещают по линии пути на расстояние, пройденное самолетом за время между измерениями, и таким образом обе линии положения приводятся к моменту второго измерения.

АВТОМАТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КУРСА И МЕСТА САМОЛЕТА

Определение места самолета секстантом или радиосекстантом по высотам двух небесных светил не дает сразу после их измерения местонахождение самолета. От момента измерения до момента получения места самолета уходит довольно много времени хотя и на простые, но трудоемкие расчеты и прокладку линии положения на карте. Даже опытный штурман затрачивает на астрономические расчеты и прокладку линий положения на карте 6—8 мин. За это время современный самолет удаляется от полученного места на 100—150 км, а некоторые и значительно дальше.

Применение существующих астрокомпасов для определения курса самолета в полете ограничено из-за присущих им недостатков, главный из которых заключается в том, что автоматические астрокомпасы могут применяться только днем в условиях визуальной видимости Солнца. Помимо этого, для применения существующих в настоящее время астрокомпасов необходимо в процессе полета периодически определять место самолета и устанавливать на приборе его координаты. Если учесть большие скорости и дальности полетов современных самолетов, становится ясно, что секстанты и астрономические компасы не полностью удовлетворяют необходимым требованиям. Поэтому в последнее время разрабатываются и применяются так называемые астрономические ориентаторы, в которых процессы пеленгации небесных светил и расчетов полностью автоматизированы. Место и курс самолета выдаются на таких приборах непосредственно на соответствующих индикаторах. Пеленгация светил может производиться фотоэлектрическими или радиоастрономическими следящими системами.

Принцип работы радиоастроориентатора (рис. 41) заключается в следующем. На гиросtabilизированной в горизонтальном положении платформе расположены два радиотелескопа. Каждый из них представляет собой направленную приемную антенну — параболическое зеркало-отражатель с вибратором и волноводом для приема энергии, излучаемой небесным светилом.

Под действием приходящей от двух светил электромагнитной энергии следящие системы непрерывно поворачи-

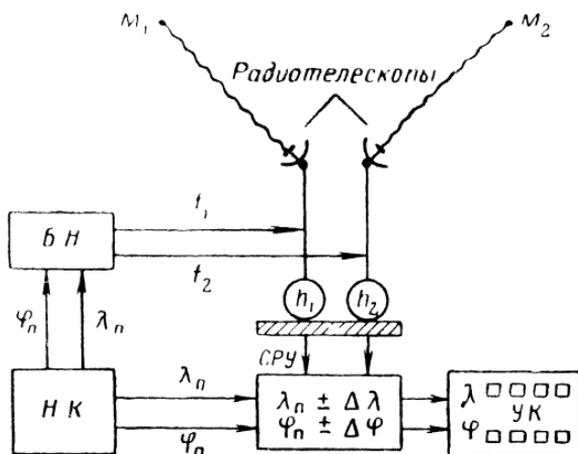


Рис. 41. Принципиальная схема радиоастроориентатора

вают антенны по азимуту и на угол зенитного расстояния светила. Высоты h_1 и h_2 передаются в счетно-решающее устройство (СРУ), которое производит вычисления и выдает координаты места самолета на указатель координат (УК). Чтобы разность азимутов двух светил была близка к 90° , выбор светил возлагается на блок настройки (БН). В устройстве БН заложена программа выбора пары звезд в зависимости от широты и долготы места, а также даты и времени суток. Для этого в блок настройки поступают текущие координаты от навигационного координатора (НК).

Астрономические ориентаторы, как и радиоастроориентаторы, могут определять место и курс самолета в географической или ортодромической системе координат. В географической системе координат выдаются широта и долгота местонахождения, истинный курс полета; в ортодромической — дальность, боковое отклонение, ортодромический курс

самолета (угол между дугой большого круга — ортодромией и продольной осью самолета).

Определение курса самолета по астроориентатору — задача относительно простая. Ее решение основано на автоматическом измерении курсового угла светила и расчете курса по известной уже формуле: $ИК = А - КУ$.

Для определения места самолета различные схемы астроориентаторов дают возможность решать эту задачу различными методами по наблюдению двух или одного небесного светила.

По наблюдению двух светил место самолета можно определять одновременным измерением высоты этих светил. Одновременное получение двух кругов равных высот в одной из точек их пересечения дает место самолета, которое счетно-решающим прибором выдается в процессе полета в виде текущих координат самолета.

Для автоматического пеленгования звезд и Солнца фотоэлектрические следящие системы необходимо предварительно направить на выбранные светила. Это довольно трудная операция, особенно когда штурман не знает своего местонахождения. Для этого необходимо выбрать два светила с учетом того, чтобы в процессе полета исключить перестройку следящих систем или, если без этого нельзя обойтись, производить эту перестройку в полете как можно реже.

Необходимо также учесть условия естественного освещения при полете по маршруту в назначенное время или, если это возможно, определить наиболее выгодное время взлета для использования в полете лучших условий естественного освещения. Очевидно, что время и место встречи или догона темноты, рассвета и сумерек являются важнейшими факторами в определении условий естественного освещения.

Первоначальная установка следящих систем в направлении на выбранные небесные светила производится по координатам этих светил.

При выборе светил необходимо учитывать их яркость (звездную величину), высоту и разность азимутов между ними. Яркость и высота пеленгуемых светил определяются техническими возможностями фотоэлектрических следящих систем.

Разность азимутов пеленгуемых светил определяет точность получения координат места самолета. Наибольшая точность получается, когда направления на светила пересе-

каются примерно под прямым углом, т. е. когда разность азимутов двух светил близка к 90 или 270° . Однако на практике трудно подобрать пару звезд с такой разностью азимутов и отвечающих другим условиям (яркость, высота). Поэтому практически берут звезды, разность азимутов которых находится в пределах от 60 до 120° или от 240 до 300° .

Автоматическое определение места самолета по двум звездам можно производить также измерением высоты этих звезд и разности их азимутов. В этом случае при выборе звезд разность азимутов между ними может быть и близкой к 180° .

Автоматически определить место самолета по двум звездам можно также измерением высоты одного светила и горизонтального угла положения другого. Горизонтальный угол положения — это двугранный угол, образованный плоскостью вертикала одного светила и плоскостью большого круга, проходящего через это же и еще одно светило. Он определяется направлением от одного светила на другое в горизонтной системе координат. Геометрическая сущность определения местоположения этим способом состоит в следующем (рис. 42).

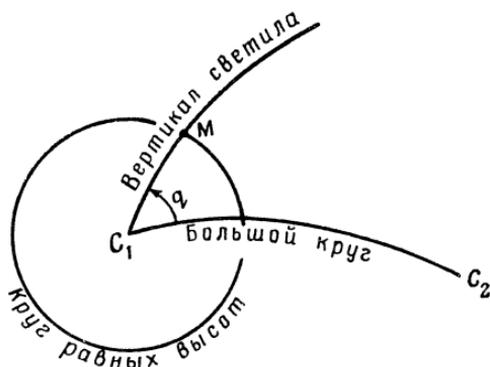


Рис. 42. Принцип определения места самолета по измерению высоты одного светила и горизонтального угла положения другого

По измеренной высоте одного светила можно построить круг равных высот, в одной из точек которого находится наблюдатель. Если измерить горизонтальный угол положения q второго светила и отложить его в точке географического места первого светила C_1 от большого круга, соединяющего географические места обоих светил C_1 и C_2 , то образованная этим углом линия будет второй линией положения, которая в пересечении с первой линией положения — кругом равных высот — даст место самолета M . Эти две линии положения всегда пересекаются под прямым углом и однозначно определяют координаты самолета.

Точность определения места самолета этим способом не

зависит от величины горизонтального угла положения светил, поэтому в выборе их имеются большие возможности. Однако этот угол не должен быть близким к 0 или 180°, так как измерение его в этом случае даст большую ошибку, что соответственно внесет ошибку и в определение местоположения. Этот способ может быть применим и днем по наблюдениям Солнца и Луны, если последняя находится над горизонтом и ее фаза не близка к новолунию и полнолунию.

Существенным недостатком определения места самолета по наблюдениям двух светил является невозможность или ограниченность применения их днем. Большую часть светлого времени днем над горизонтом видно только одно светило — Солнце и только небольшое время — около 8% светлого времени в году — видна и Луна. Поэтому астрономические ориентаторы, методы работы которых основаны на пеленгации двух небесных светил, при всех их достоинствах (точность автоматической пеленгации и точность расчета координат самолета) ограничены в применении.

По наблюдению одного светила место самолета может быть определено измерением высоты светила и скорости ее изменения или измерением высоты и азимута светила.

Сущность определения места самолета при автоматическом измерении высоты и азимута какого-либо светила сводится к тому, что место самолета получается в точке пересечения двух линий положения: круга равных высот, полученного в результате измерения высоты светила, и линии равных азимутов*, получаемой измерением азимута светила.

Этот метод определения местонахождения самолета астроориентатором в воздухе по своей идее весьма прост, однако точность вычисления координат при этом пока еще низкая главным образом потому, что азимут самолета определяется с малой точностью из-за больших ошибок при измерении истинного курса самолета. Для получения места самолета с ошибкой не более 10—20 км необходимо курс самолета измерять с точностью до 5—10'. Ошибка в определении курса в 1° дает ошибку определения координат до 100 км.

Метод определения места самолета автоматическим измерением высоты какого-либо светила и скорости изменения этой высоты предусматривает учет путевой скорости и угла

* Линия, в каждой точке которой азимуты светила равны между собой

сноса в полете. При этом навигационные элементы полета — путевая скорость (скорость полета относительно поверхности Земли) и угол сноса (угол между продольной осью самолета и направлением полета) — должны измеряться с достаточно высокой точностью.

В последние годы широко разрабатывается и применяется способ определения путевой скорости и угла сноса, основанный на использовании эффекта Доплера (изменение частоты отраженных от земли электромагнитных колебаний, излучаемых аппаратурой самолета в полете).

Аппаратура, работающая на этом принципе, дает высокую точность измерения путевой скорости и угла сноса.

ОРИЕНТИРОВКА В КОСМИЧЕСКОМ ПОЛЕТЕ

Сбылась дерзновенная мечта человечества — созданное руками советских людей искусственное тело преодолело силу земного притяжения и вышло в космическое пространство. Запуск первого советского искусственного спутника Земли, открывший 4 октября 1957 г. эру завоевания космоса, стоит в ряду таких поворотных событий в истории развития человеческого общества, как открытие огня, изобретение паровой машины, открытие электрического тока и его действия на магнит, положившее начало электротехнике, взлет первого аэроплана, освобождение энергии атомного ядра.

Искусственные спутники Земли, представляющие собой научные лаборатории со сложной измерительной, вычислительной и передающей аппаратурой, доставили ценнейшие сведения о природе космоса и явлениях в нем, которые нельзя было получить иным путем. Впервые в истории человечества советские люди забросили вымпел на Луну, сфотографировали еще никогда и никем не виденную ее обратную сторону, запустили космическую ракету, вышедшую на орбиту вокруг Солнца и ставшую первой искусственной планетой солнечной системы.

В 1959—1960 гг. были выведены на орбиту вокруг Земли пять кораблей-спутников весом 4540—4700 кг с подопытными животными и другими биологическими объектами. 12 февраля 1961 г. с тяжелого искусственного спутника стартовала управляемая космическая ракета, которая вывела автоматическую межпланетную станцию на траекторию к планете Венере.

Опрямые успехи нашей страны в освоении космоса подготовили космический полет человека. Это великое событие в истории культуры человечества совершилось 12 апреля

1961 г. В 9 ч 7 мин по московскому времени космический корабль-спутник «Восток» с человеком на борту поднялся в космос и, совершив полет вокруг земного шара, благополучно вернулся на священную землю нашей Родины — Страны Советов.

Первый человек, проникший в космос, — советский человек, гражданин Союза Советских Социалистических Республик военный летчик майор Юрий Алексеевич Гагарин.

Через четыре месяца, 6 августа 1961 г., мир облетела весть еще об одном беспримерном подвиге советского народа. Космический корабль «Восток-2», управляемый гражданином Советского Союза майором Германом Степановичем Титовым, совершил более 17 оборотов вокруг Земли и, пробыв около 25 ч в космическом полете, благополучно приземлился в заданном районе.

Беспримерная победа человека над силами природы, величайшее завоевание науки и техники, торжество человеческого разума, войдет в века. Теперь уже недалек тот день, когда космические корабли полетят с человеком на борту к другим планетам, в другие миры. Путь к ним открыт. Началась новая эра завоевания космоса человеком.

Вероятно, полеты будут совершены сначала на ближайšie к нам небесные тела — Луну и планеты Марс и Венеру.

Эти небесные тела в значительной мере изучены, но многое в них непонятно и загадочно. Происхождение кольцевых гор и пылеобразной поверхности Луны, полярных шапок и спутников Марса, слоя облаков, окружающих Венеру, и множество других явлений объясняются пока только научными гипотезами, подлежащими практической проверке. Особенно интересен полет на Марс, где предполагается наличие жизни. Расстояние до этих небесных тел сравнительно невелико: минимальное расстояние до Луны 382 200 км, до Венеры — 40 000 000 км, до Марса — 56 000 000 км. Для космического корабля, летящего с минимальной начальной космической скоростью, продолжительность полета будет составлять: до Луны — 5 суток, до Венеры — 146, до Марса — 259 суток. Укажем для сравнения, что для полета на Плутон понадобится 30—40 лет.

Маршруты космических полетов рассчитываются так, чтобы движение по космическим траекториям после освобождения от силы притяжения Земли происходило под действием силы притяжения Солнца по эллиптической орбите, без работы двигателя и, следовательно, без затраты запа-

сов энергии, имеющихя на корабле. Энергия корабля будет тратиться только для выхода на орбиту, кратковременного маневра на орбите и выхода на траекторию, обеспечивающую посадку на планету.

При выборе траектории полета космического корабля необходимо будет учитывать не только его энергетические возможности, но и ряд других важных факторов. Например, траектория полета не должна проходить вблизи Солнца, пересекать орбиты метеорных потоков, проходить в зонах с недопустимой величиной космической радиации.

Момент старта космического корабля должен быть рассчитан так, чтобы пересечение его траектории с орбитой пла-

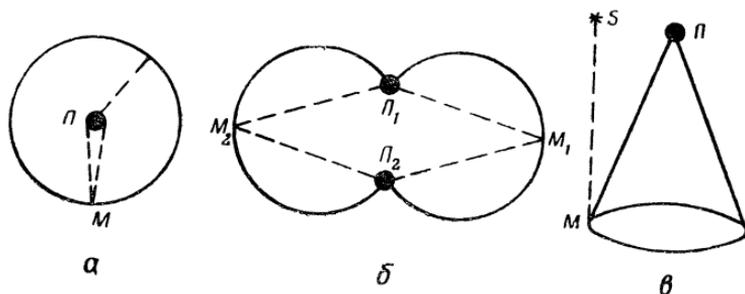


Рис. 43. Поверхности положения:
а — сфера; б — циклида, в — конус

неты назначения произошло тогда, когда в расчетной точке встречи будут находиться и корабль и планета назначения.

Для контроля движения корабля по заданной орбите, маневра и направления орбиты его движения, обеспечения перехода в расчетной точке на траекторию для последующей посадки на небесное тело необходимо знать свое положение в пространстве, т. е. ориентироваться.

Какой же характер ориентировки будет у космонавтов? На каких принципах будет основано определение своего местоположения в космическом полете? Оказывается, и при полете в космическом пространстве астрономическая навигация может служить одним из основных средств определения местоположения летательного аппарата.

Применение автоматических фотоследящих и радиолокационных систем для наблюдения за небесными светилами позволит с достаточной точностью определить местоположение корабля в космическом пространстве. Благодаря возможности заранее и точно вычислить положение небесных

светил и автоматически измерить угловые величины между ними, а также угловые величины диаметров Солнца и планет или расстояния до их центров астрономический ориентатор автоматически может выдать координаты космического корабля.

Принцип межпланетной навигации основан на использовании поверхностей положения (геометрических мест точек вероятного местоположения) космического корабля относительно каких-то небесных светил.

Для определения координат космического корабля необходимы как минимум три поверхности положения: две из них в пересечении дают линию положения, а пересечение этой линии с третьей поверхностью дает две точки, одна из которых соответствует местоположению космического корабля. Вопрос о том, в какой из них находится корабль, решается просто, так как всегда известно его приближенное местоположение.

Поверхностями положения могут быть:

1. Поверхность равных диаметров планеты или Солнца и равных расстояний до центра одного из этих светил. Она получается путем измерения углового размера видимого диаметра или расстояния до центра какого-либо из этих небесных тел. По форме это сферическая (шаровая) поверхность (рис. 43, а).

2. Поверхность равных углов между направлениями на центры двух небесных тел солнечной системы. Эта поверхность представляет собой циклиду, получаемую вращением дуги окружности вокруг оси, соединяющей центры небесных тел (рис. 43, б).

3. Поверхность равных углов между направлением на планету или Солнце и звезду. Она получается в результате измерения угла между направлением на звезду и направлением на центр одного из небесных тел солнечной системы. Так как звезды находятся на очень большом расстоянии, то лучи света от них идут практически параллельно, поэтому поверхность положения имеет форму конуса с вершиной в центре планеты или Солнца (рис. 43, в).

Для получения поверхностей положения, помимо указанных величин, необходимо также знать размеры планет и Солнца, их эфемериды (положения на небесной сфере), расстояния между этими небесными телами и угловые координаты звезд.

Измеряя направления на небесные светила, углы между направлениями на центры, угловые размеры диаметров

планет (Солнца, Луны) или расстояния до их центров и комбинируя эти методы определения поверхности положения, можно получить несколько способов вычисления координат в межпланетном полете. Например, в результате измерения углового диаметра планеты или Солнца и направления на две звезды, получаются сферическая и две конические поверхности положения с общей вершиной в центре планеты (Солнца). Линии пересечения сферы с конусами являются окружностями, в пересечении которых получают две точки M_1 и M_2 . Одна из этих точек и является действительным местоположением космического корабля (рис. 44, а).

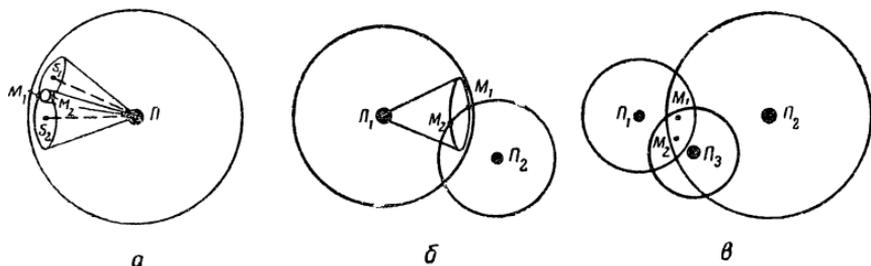


Рис. 44. Определение местоположения в точке пересечения трех поверхностей положения:

а — пересечением сферы с двумя коническими поверхностями; б — пересечением двух сферических поверхностей с конусом; в — пересечением трех сферических поверхностей

Нетрудно видеть, что этот метод аналогичен рассмотренному выше методу астрономического определения места самолета в полете, основанному на измерении высот двух небесных светил.

В результате измерения диаметров двух планет (или планеты и Солнца) и направления на звезду местоположение космического корабля получается в одной из двух точек пересечения двух сферических поверхностей и поверхности конуса (рис. 44, б).

Измерение диаметров трех небесных светил солнечной системы или расстояний до их центров дает еще один способ определения координат космического корабля. В этом случае получают три сферические поверхности положения. Одна из двух точек пересечения этих поверхностей определяет координаты космического корабля (рис. 44, в).

Кроме рассмотренных, возможны и другие способы определения местоположения по поверхностям положения. Возможно также использование поверхностей положения какой-либо иной геометрической формы. Но всегда их дол-

жно быть не менее трех. Только в этом случае их пересечение дает координаты космического корабля.

Необходимо отметить также, что при астрономических методах навигации весьма важно с большой точностью измерять время. Ошибки, даже небольшие, в определении этого навигационного элемента существенно скажутся на точности определения координат космического корабля.

Применение каждого из методов космической навигации в различных условиях полета имеет свои преимущества и недостатки, касающиеся главным образом точности определения местоположения. Так, для ближней навигации, т. е. для ориентировки вблизи планеты назначения, и для обеспечения последующей посадки на нее космического корабля относительно лучшие результаты дает метод, основанный на измерении угловой величины видимого диаметра до планеты или расстояния до ее центра и на измерении углов между направлениями на центр этой планеты и на две звезды.

Для дальней космической навигации лучшие результаты дают методы, основанные на измерении угловых величин между направлениями на небесные светила, например между направлениями на центр планеты (Солнца) и на две звезды или между направлениями на центры трех планет.

Совершенно очевидно, что астронавигационная система должна вырабатывать координаты космического корабля непосредственно в момент измерения, без всяких дополнительных расчетов, что возможно только при полной ее автоматизации.

Определяя местоположение космического корабля пеленгацией небесных светил и имея в результате этого последовательно несколько точек координат корабля, по времени полета и расстоянию между точками координат корабля можно определить и скорость его полета. Точность определения скорости будет прямо пропорциональна промежутку времени между двумя измерениями. Однако эта точность из-за различных ошибок измерения будет недостаточной для быстро летящего космического корабля. Поэтому для определения всех навигационных элементов полета, помимо астронавигационной системы и радиотехнических средств, понадобятся еще такие навигационные средства, как гириорентатор или инерциальная система, суммирующая ускорения движения корабля.

Ориентировка в космическом пространстве — новая, практически еще не проверенная область навигации.

СО Д Е Р Ж А Н И Е

| | Стр. |
|---|------|
| Введение | 3 |
| Общие сведения о Галактике, Солнце, планетах и Луне | 13 |
| Небесные координаты | 26 |
| Звездное небо | 33 |
| Определение времени | 56 |
| Ориентировка на местности | 64 |
| Определение курса самолета | 73 |
| Определение места самолета | 77 |
| Автоматическое определение курса и места самолета | 84 |
| Ориентировка в космическом полете | 90 |
| Приложение. Звездная карта северного и южного неба | Вкл. |

Николай Яковлевич Кондратьев
ОРИЕНТИРОВКА ПО ЗВЕЗДАМ
Научно-популярная библиотека
М., Воениздат, 1961. 96 с.

Редактор гвардии подполковник *Медведев И. М.*
Художественный редактор *Гречиго Г. В.*
Обложка художника *Самсонова Ю. В.*
Технический редактор *Кузьмин И. Ф.*
Корректор *Курчина Ю. С.*

Сдано в набор 8.6.61 г.

Подписано к печати 19.9.61 г.

Г-71387.

Формат бумаги $84 \times 108^{1/32}$ — 3 печ. л. — 4,92 усл.-печ. л.
+ 1 вкл. — $\frac{3}{16}$ печ. л. — 0,308 усл.-печ. л. = 5,247 уч.-изд. л.

Изд. № 7/2786.

Тираж 12500

Зак. 1091.

1-я типография
Военного издательства Министерства обороны СССР
Москва, К-6, проезд Скворцова-Степанова, дом 3

Цена 16 коп.

Цена 16 коп.