

П. И. Попов

ОБЩЕДОСТУПНАЯ ПРАКТИЧЕСКАЯ АСТРОНОМИЯ



П. И. ПОПОВ

ОБЩЕДОСТУПНАЯ ПРАКТИЧЕСКАЯ АСТРОНОМИЯ

ИЗДАНИЕ ЧЕТВЕРТОЕ,
ИСПРАВЛЕННОЕ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
МОСКВА 1958

Попов Павел Иванович

бщедоступная практическая астрономия

Редактор П. Т. Резниковский

Техн. редактор Н. Я. Мурашова

Корректор Е. А. Белицкая

Сдано в набор 10/I 1958 г. Подписано к печати 10/IV 1958 г.
Бумага $84 \times 108^{1/32}$. Физ. печ. л. 5,0+7 вкладок. Условн. печ. л. 9,43.
Уч.-изд. л. 9,56. Тираж 15000 экз. Т-03571. Цена книги 3 р. 85 к.
Заказ № 18

Государственное издательство физико-математической литературы.
Москва, В-71, Ленинский проспект, 15

16-я типография Московского городского Совнархоза.
Москва, Трехпрудный пер., д. 9

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие к четвертому изданию	5
Введение	7
Глава I. Приближенные способы ориентировки	14
§ 1. Ориентировка по Солнцу	16
§ 2. Ориентировка по Луне	23
§ 3. Ориентировка по звездам	26
Глава II. Небесные координаты и звездные карты . . .	42
§ 4. Горизонтальная система небесных координат	42
§ 5. Географические координаты	44
§ 6. Экваториальная система небесных координат	48
Глава III. Измерение времени и проверка часов	54
§ 7. Звездное время	54
§ 8. Солнечное время	57
§ 9. Местное и всемирное время. Поясное и декретное время	67
§ 10. Приближенные способы определения времени . . .	72
§ 11. Часы и хронометры, их проверка. Служба времени	77
§ 12. Летосчисление и календарь	83
Глава IV. Определение географической широты и дол- готы. Линия перемены даты	88
§ 13. Измерение широты	89
§ 14. Измерение долготы	95
§ 15. Линия перемены даты	96
Глава V. Изменение вида неба в течение года. По- движная карта звездного неба. Астрономические ка- лендари (ежегодники)	98
§ 16. Изменение вида неба в течение года	98
§ 17. Подвижная карта звездного неба	105
§ 18. Положение Луны и планет в разное время	110
§ 19. Астрономические календари и ежегодники	113
Глава VI. Некоторые измерительные астрономические инструменты. Исправление измеренных высот	114
§ 20. Универсальный инструмент	114
§ 21. Секстан	119

§ 22. Исправление измеренных величин. Влияние понижения горизонта	124
§ 23. Рефракция	126
Глава VII. Понятие об астрономической ориентировке, применяемой в мореплавании и авиации	130
§ 24. Определение местоположения по двум звездам	131
§ 25. Определение местоположения по Солнцу	136
Заключение	137
Приложения	139
I. Греческий алфавит	139
II. Планеты (видимые простым глазом)	139
III. Список созвездий	140
IV. Список ярких звезд с их экваториальными координатами	142
V. Таблица широт и долгот городов СССР	144
VI. Перевод единиц среднего времени в единицы звездного	147
VII. Перевод единиц звездного времени в единицы среднего	148
VIII. Соотношение между двумя системами измерений прямых восхождений	149
IX. Продолжительность гражданских сумерек	150
X. Значения тригонометрических функций	151
XI. Экваториальные координаты Солнца, звездное время и уравнение времени (таблица)	152
XII. Видимость планет	153
XIII. Формулы перехода от экваториальных координат к горизонтальным	154
XIV. Стереографическая сетка	156
XV. Карта магнитных склонений СССР	156
XVI. Подвижная карта звездного неба	156
XVII. Полярные звездные часы	157
XVIII. Схема и пример записи наблюдений при определении поправки часов с помощью солнечного кольца	157
XIX. Определение широты места с помощью солнечного кольца	157
XX. Устройство упрощенного высотомера	159
XXI. Карта часовых поясов	159
Литература	160

ПРЕДИСЛОВИЕ К ЧЕТВЕРТОМУ ИЗДАНИЮ

В первых изданиях книги автор стремился к тому, чтобы дать знакомство с простейшими способами астрономической ориентировки, а для их понимания—и с небесными явлениями, которые связаны с этими способами. В дальнейшем выявилась потребность несколько расширить и углубить отдельные разделы книги, не останавливаясь перед тем, чтобы использовать несложные математические формулы и некоторые технические приемы.

Было учтено также, что книга использовалась преподавателями средней школы и служила пособием в различных кружках.

При подготовке четвертого издания книги пересмотрен весь текст, внесены исправления, сделаны уточнения, устаревший материал заменен более современным, заменены некоторые рисунки, приняты во внимание замечания и пожелания рецензентов. Кроме того, пополнен список городов СССР с указанием их широт и долгот.

Автор с благодарностью примет все замечания и пожелания которые просит направлять по адресу: Москва, В-71, Ленинский проспект, 15, Физматгиз.

17 сентября 1957 г.

П. И. Попов

ВВЕДЕНИЕ

Астрономия — наука о небесных светилах — старейшая из наук о природе. На протяжении всей своей истории она играла исключительную роль в развитии мировоззрений, в борьбе с религиозным, по выражению Маркса, «превратным мирознанием». Она и в настоящее время играет ту же роль как одна из научных основ диалектико-материалистического мировоззрения.

Возникла же и развивалась астрономия в связи с практической деятельностью человека. Говоря о последовательном развитии отдельных отраслей естествознания и устанавливая связь их с производством, Энгельс отмечает: «Сперва *астрономия*, которая уже из-за времен года абсолютно необходима для пастушеских и земледельческих народов». Таким образом, с незапамятных времен астрономические явления служили основой для измерения времени. Первобытный человек невольно обращал свой взор на небо, примечал те или другие яркие звезды, периодическое появление их над горизонтом и старался таким образом подметить наступление определенного времени года. Смена дня и ночи, различная высота Солнца над горизонтом, изменение вида ночного неба регулировали полевые работы первобытного земледельца.

Попадая в незнакомую местность, человек видел ночью на небе все те же звезды, и они направляли его путь. В прежние времена небо было единственным путеводителем, но и теперь оно является единственным источником различных способов точного определения местоположения пунктов, прокладывания линий на Земле, например трасс каналов, различных геодезических работ, проверки часов, составления точных карт и пр.

Способы точного измерения положений звезд, определения времени, широты и долготы места на Земле, устрой-

ство измерительных инструментов, методы работы с ними и пр.—все это составляет задачу практической астрономии. Она получила свое название в отличие от таких отраслей астрономии, как теоретическая астрономия, изучающая при помощи методов высшей математики истинные движения небесных тел в пространстве, или астрофизика, исследующая и описывающая природу небесных тел, их физическое состояние, химический состав и происходящие на них изменения.

Практическая астрономия в настоящее время представляет собой глубоко разработанную отрасль астрономии с весьма точными, математически обоснованными, специальными методами. Мы берем из этой отрасли астрономии для настоящей книги то, что нужно не для специалистов, которые найдут необходимые им знания в специальных курсах практической астрономии, а для широкого круга читателей, нуждающихся в ознакомлении с простейшими приемами или доступными инструментальными измерениями и способами астрономической ориентировки, а также для желающих получить общее знакомство с практическими применениями астрономии.

Любые, даже самые простые, способы могут быть хорошо усвоены и правильно применяемы только в случае, если понятны те явления, которые при этом наблюдаются. Поэтому в книге уделено достаточное внимание объяснению самих астрономических явлений, связанных с практикой наблюдений и измерений, а также необходимым сведениям из так называемой сферической астрономии.

Ограничиваясь в дальнейшем изложении только теми вопросами, которые охватываются практической астрономией, мы считаем необходимым предпослать им общее краткое описание окружающего нас мира небесных тел и места, занимаемого среди них Землей (а стало быть, и нами как наблюдателями) по современным научным представлениям.

Земля представляется нам весьма обширной. О размерах Земли можно судить по величине ее радиуса, который составляет приблизительно 6370 км; объем Земли, следовательно, составляет свыше тысячи миллиардов кубических километров. По своей форме Земля немного отличается от точного шара; она сжата у полюсов и несколько

более выпукла у экватора. Но это сжатие в общем незначительно: полярный радиус на 21 км короче экваториального, что составляет приблизительно $\frac{1}{300}$ (точнее, $\frac{1}{298}$) долю радиуса. Длина 1° дуги меридиана составляет у экватора 110,6 км, а у полюса 111,7 км. Наиболее точно размеры и форма Земли были определены советскими геодезистами Ф. Н. Красовским и А. А. Изотовым. Результаты, полученные ими (экваториальный радиус равен 6 378 245 м, полярный радиус равен 6 356 863 м), имеют большое значение для развития геодезических и картографических работ в СССР.

На расстоянии примерно 60 земных радиусов от Земли находится ближайшее к нам небесное тело—Луна, меньших размеров, чем Земля (радиус Луны 1740 км). Луна является спутником Земли, обращается вокруг нее в $27\frac{1}{3}$ суток и все время сопровождает Землю в ее годовом движении вокруг Солнца. Луна, как и Земля, сама по себе темна, поэтому нам видна бывает только та часть обращенной к Земле поверхности Луны, которая освещена Солнцем. В зависимости от положения Луны относительно Солнца она меняет свой вид, происходит смена так называемых фаз (первая четверть, полнолуние, последняя четверть, новолуние), последовательность которых повторяется через каждые $29\frac{1}{2}$ суток.

Кроме Земли, вокруг Солнца обращаются еще восемь планет; две из них (так называемые *внутренние*) ближе к Солнцу, чем Земля, а остальные (*внешние*) дальше. (Некоторые данные о планетах, видимых простым глазом, приведены в Приложении II, стр. 139). Схема расположения планет в солнечной системе изображена на рис. 1.

Ближайшая к Солнцу планета—Меркурий—видна только в лучах зари. По объему она в 20 раз меньше, чем Земля.

Следующая за Меркурием—Венера—лишь немногим меньше Земли. Обращаясь вокруг Солнца, она на небе по временам удаляется от него на $46\text{—}48^\circ$ и сияет на вечернем или утреннем небе гораздо ярче всех звезд. Наша Земля обращается вокруг Солнца в течение года на расстоянии в среднем полутора ста миллионов километров. Ближайший сосед Земли с внешней стороны—планета Марс. Он почти в два раза меньше Земли по диаметру

и представляется на небе красноватой звездой. Как и все внешние планеты, Марс может располагаться на небе в стороне, противоположной Солнцу (находиться в *противостоянии*), и тогда его можно наблюдать всю ночь.

В пять раз дальше от Солнца, чем Земля, обращается вокруг него самая большая из планет—Юпитер (ее объем в 1300 раз больше объема Земли). Совершая один оборот

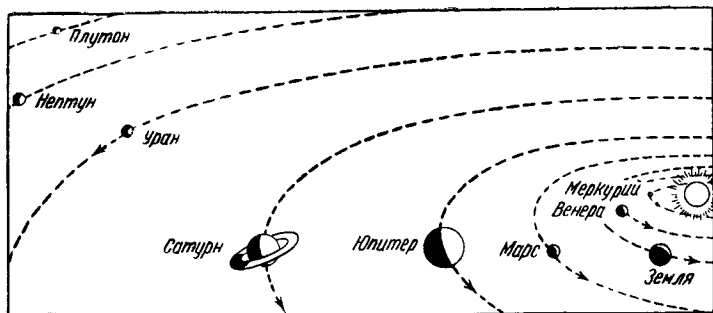


Рис. 1.

вокруг Солнца почти в 12 лет, Юпитер медленно перемещается по небу среди звезд и виден как очень яркая звезда, сияющая спокойным блеском. Еще дальше от Солнца планета Сатурн. Он несколько меньших размеров, чем Юпитер, и примечателен тем, что окружен кольцом, видимым в телескоп. Перемещается Сатурн по небу еще медленнее Юпитера и менее ярк, однако он ярче почти всех звезд.

Все эти планеты можно видеть простым глазом на ночном небе.

Но этим не исчерпывается наша солнечная семья. С помощью телескопов были открыты и более далекие планеты, уже не видимые простым глазом. Это большие планеты Уран (в 19 раз дальше от Солнца и почти в 70 раз больше по объему, чем Земля) и Нептун (в 30 раз дальше и почти в 60 раз по объему больше Земли). Наконец, самая далекая от Солнца планета—Плутон, по размерам несколько меньше Земли, совершает свой оборот вокруг Солнца почти в 250 лет, на расстоянии от Солнца в 40 раз большем, чем Земля.

В состав солнечной системы входят также несколько десятков тысяч малых планет или астероидов, движущихся в основном между орбитами Марса и Юпитера (из них в настоящее время открыто около двух тысяч), и, кроме того, множество комет и метеорных тел.

Центральным телом всей этой системы является Солнце. Оно в 1 300 000 раз больше Земли по объему, а его масса составляет 99,86% общей массы всех тел, входящих в солнечную систему. Солнце—раскаленный газовый шар; температура его поверхности достигает 6000°.

Но Солнце в окружающем нас мире не одно: все многочисленные звезды, сверкающие на ночном небе, представляют раскаленные газовые шары, подобные Солнцу, но чрезвычайно удаленные от нас. Более ста лет назад благодаря работам первого директора Пулковской обсерватории В. Я. Струве и других астрономов удалось измерить расстояния до звезд; оказалось, что от ближайшей из них свет идет к нам $4\frac{1}{3}$ года. А ведь свет распространяется со скоростью триста тысяч километров в секунду! Есть звезды, от которых свет идет десятки, сотни и даже тысячи лет. Значит, когда мы смотрим на звездное небо, мы видим все звезды, так сказать, в прошлом: одни такими, какими они были 10 лет назад, другие—100, третьи — 1000 лет назад и т. д. Если бы мы стали смотреть на наше Солнце с какой-нибудь звезды, то оно представилось бы нам сравнительно слабой звездочкой, ничем не выделяющейся среди других.

Есть среди звезд такие одиночные звезды, как наше Солнце, но найдены также двойные и кратные, обращающиеся около общего центра. Обнаружены звезды, которые меняют свой блеск, то ослабляя, то усиливая его,—их называют переменными. Результаты изучения звезд приводят к выводу, что Солнце и звезды состоят в общем из тех же химических элементов, что и Земля, и подчиняются они тем же законам.

Количество звезд на небе кажется неисчислимым, но видимые простым глазом звезды давно уже подсчитаны—их видно над горизонтом одновременно около 3 тысяч. Звезд первой величины (наиболее ярких) на всем небе около 20, а второй величины (как Полярная)—около 50. Чем слабее блеск звезд, тем количество их больше.

Изучение распределения звезд в пространстве показывает, что окружающая нас звездная система, в которую входит около полутора ста миллиардов звезд, так называемая Галактика, имеет определенные границы. Основная масса звезд Галактики концентрируется в плоскости Млечного Пути. В межзвездном пространстве наблюдаются так называемые галактические туманности, состоящие из сильно разреженных газов и космической пыли, как светящиеся, так и темные. Вся Галактика занимает громадное пространство: ее наибольший поперечник таков, что свет проходит его почти в сто тысяч лет.

А что же находится за пределами нашей звездной системы? На небе наблюдаются светящиеся туманности, многие из них имеют спиральную форму. Они оказались состоящими из звезд. Расстояния до этих туманностей так велики, что свет от них идет к нам сотни тысяч и миллионы лет. Они представляют собой другие звездные системы — галактики, подобные нашей Галактике. Таких систем обнаружено в мировом пространстве чрезвычайно много.

Как далеко ни проникает человек при помощи все более совершенных наблюдательных средств в глубь мирового пространства, он находит там все новые и новые образования материи. И все находится в движении и изменении. Солнце, увлекая за собой Землю и все другие движущиеся вокруг него тела, само движется относительно ближайших звезд в направлении к созвездиям Лиры со скоростью 20 км/сек . Все звезды в свою очередь также движутся, и если человеку расположение их на небе друг относительно друга кажется неизменным, то это только потому, что они очень далеки от нас. Наряду с движениями отдельных звезд в различных направлениях обнаружено вращение всей Галактики, в котором участвует и наше Солнце, и, наконец, движение целых галактик в пространстве по разным направлениям с большими скоростями.

Исследование изменений, происходящих в небесных телах, сравнение их привели к выводу, что различные звезды, целые звездные системы предстают перед нами на разных стадиях своего развития. И вся вселенная представляется нам как материальный процесс, развертывающийся бесконечно во времени и пространстве.

Только потому, что процессы в звездном мире протекают в невообразимо большие промежутки времени, а сами звезды чрезвычайно далеки от нас, все их изменения и движения остаются почти незаметными для человека не только в течение его жизни, но и на протяжении веков и тысячелетий.

Вот почему люди, еще не зная действительных расстояний до небесных тел, с древних времен стали отличать близкие к нам Солнце, Луну и планеты от тех несравненно более далеко находящихся светил, которые заполняют так называемое «небо неподвижных звезд». Мы и теперь видим на ночном небе все те же группировки звезд или созвездия, которые видели и древние греки две тысячи лет назад. Эта видимая как бы неизменность взаимного расположения звезд и созвездий и дает нам возможность ориентироваться по звездам, как по неподвижным маякам.

ГЛАВА I

ПРИБЛИЖЕННЫЕ СПОСОБЫ ОРИЕНТИРОВКИ

Ориентироваться на местности—это значит указать, где мы находимся и в какой стороне от нас лежит север (С). Встав лицом к северу (рис. 2), мы будем иметь направо восток (В), налево—запад (З), а сзади—юг (Ю).

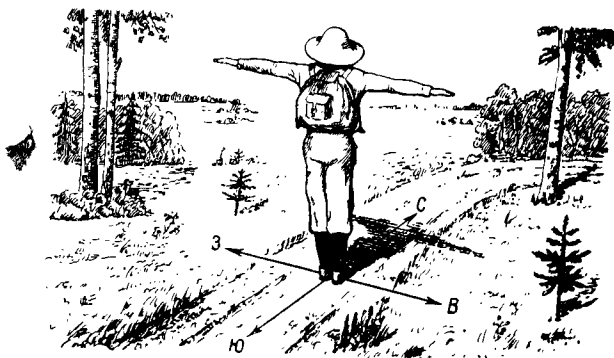


Рис. 2.

Посередине между севером и востоком—северо-восток (СВ), между севером и западом—северо-запад (СЗ) и аналогично—юго-восток (ЮВ), юго-запад (ЮЗ).

Если мы имеем план или карту, то на них указывается направление на север: на плане обычно ставится стрелка, а на карте имеется сетка линий, одни из которых идут с юга на север, другие—с запада на восток. На местности таких указателей нет, и направление на север надо определять или по компасу, или по небесным светилам: днем по Солнцу, а вечером и ночью—по Луне и звездам.

Обычно считается, что магнитная стрелка на компасе направлена темным концом к северному полюсу Земли. В действительности она направлена не к географическому, а к магнитному полюсу, который находится на некотором расстоянии от географического северного полюса*). Поэтому стрелка компаса вообще несколько отклонена от точного направления на север и притом в разных местах различно. Угол между направлением магнитной стрелки и точным направлением на север называется *магнитным склонением*. В Москве склонение магнитной стрелки составляет около 7° к востоку, т. е. стрелка отклонена на 7° вправо от истинного направления на С (рис. 3). Но вообще магнитное склонение подвергается некоторым изменениям даже в одном и том же пункте, а в отдельных местах, где в глубине Земли имеются залежи железной руды, например в Курской области, в некоторых местах Дальнего Востока и Урала, магнитная стрелка может настолько сильно отклоняться в сторону, что там совсем нельзя пользоваться компасом.

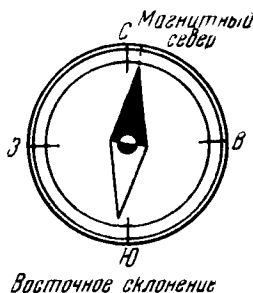


Рис. 3.

В Приложении XV (см. вкладку в конце книги) изображена карта нашей страны с проведенными на ней линиями одинаковых восточных (непрерывные линии) и западных (прерывистые линии) магнитных склонений (изогоны). На каждой линии указана величина склонения.

По небесным светилам можно точнее определять направление и положение места на Земле, чем по компасу.

Еще Колумб, пустившийся в неведомый до тех пор океан и открывший Америку (1492 г.), заметил ненадежность компасной стрелки в правильном указании направления и говорил: «Существует лишь одно безошибочное корабельное исчисление—это астрономическое; счастлив тот, кто с ним знаком».

*) Северный магнитный полюс имеет широту 70° и западную долготу 96° .

Наблюдая положения светил на небе, мы сможем более уверенно ориентироваться и сумеем выйти из затруднительного положения. Рассмотрим сначала наиболее простые и всем доступные приближенные способы ориентировки по небесным светилам, для которых не требуется специальных приборов и таблиц.

§ 1. Ориентировка по Солнцу

Обычно говорят, что Солнце восходит на востоке и заходит на западе. Но наблюдательный человек может убедиться, что это происходит только в определенные дни года, когда день равен ночи, т. е. в дни равноденствий: весеннего — 21 марта и осеннего — 23 сентября. Весной и осенью мы будем направляться прямо на север, если будем иметь восходящее Солнце с правой стороны или, как говорят летчики, держать его в правом траверзе; на юг же будем направляться, держа Солнце в левом траверзе, на восток, — направляясь прямо на Солнце (Солнце в направлении курса), на запад — от Солнца (Солнце в хвосте). Заходящее Солнце весной и осенью при направлении на север надо держать в левом траверзе, при направлении на юг — в правом траверзе, при направлении на восток — в хвосте, а на запад — в направлении курса.

При приближении лета с каждым днем место восхода и захода Солнца перемещается по горизонту в сторону севера. Так продолжается до 22 июня (день летнего солнцестояния), когда у нас день бывает самый длинный, а ночь самая короткая. Таким образом, среди лета в наших местах Солнце восходит между севером и востоком, заходит между севером и западом (рис. 4). Потом место восхода Солнца совершает обратный путь по горизонту, приближаясь к точке востока, а место захода возвращается к западу. Начиная с дня осеннего равноденствия, места восхода и захода Солнца оказываются по другую сторону от точек востока и запада и удаляются от них с каждым днем все больше к югу. Это продолжается до 22 декабря (день зимнего солнцестояния), когда у нас бывает самый короткий день и самая длинная ночь. Солнце восходит между югом и востоком, заходит между югом и западом.

При приближении весны места восхода и захода Солнца опять приближаются к точкам востока и запада.

Меняется и время восхода и захода Солнца: если в дни равноденствий Солнце восходит за 6 часов до полудня (четверть суток) и заходит 6 часов спустя после полудня,

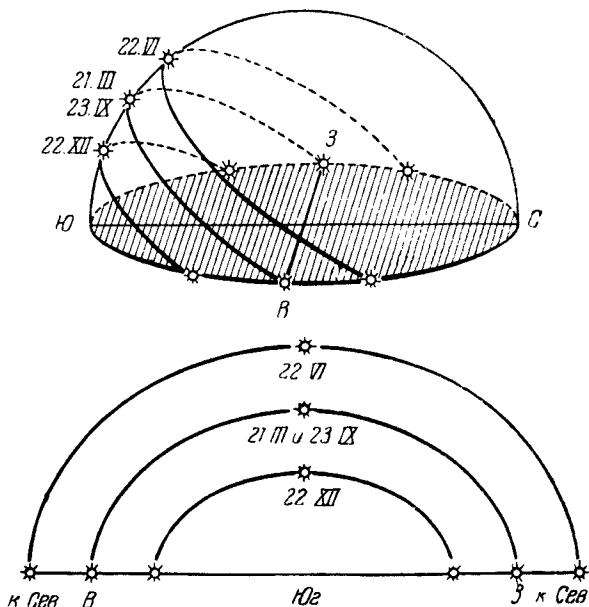


Рис. 4.

то летом оно взойдет раньше и зайдет позднее, а зимой, наоборот,—взойдет позднее и зайдет раньше. Но и летом за 6 часов до полудня Солнце бывает на небе приблизительно над точкой востока, а 6 часов спустя после полудня—над точкой запада.

Поднимаясь все выше, Солнце занимает самое высокое положение на небе в полдень и располагается в это время как раз над точкой юга. Это бывает каждый день; значит, в любой день года мы можем в полдень безошибочно определить направление на юг, став в это время лицом к Солнцу. Заметим, что в полдень тени от всех вертикально

стоящих предметов—самые короткие, так как Солнце в это время поднимается выше всего над горизонтом. Эта самая короткая полуденная тень направлена как раз на север. Поэтому горизонтальная прямая, соединяющая север и юг, называется *полуденной линией*.

За сутки Солнце делает полный оборот по небу, а за час продвигается на одну двадцать четвертую часть оборота. Полная окружность обычно делится на 360 частей или градусов (360°). Одна двадцать четвертая часть окружности составляет 15° . Значит, за каждый час Солнце с точным вращением продвигается на 15° .

Чтобы дать понятие о градусе на небе, заметим, что видимые диски Солнца и полной Луны имеют в поперечнике около полуградуса. Угол же в 15° получается приблизительно между лучами зрения, проведенными к концам расставленных большого и указательного пальцев вытянутой руки.

Зная все это, можно, правда весьма приближенно, определять направление по Солнцу в разные часы дня, а также определять и время по положению Солнца на небе.

Еще лучше узнавать направление по Солнцу можно, имея в своем распоряжении карманные или ручные часы. В самом деле, циферблат разделен на 12 часов и часовая стрелка делает на нем два полных оборота в сутки. Значит, в то время как конец часовой стрелки сделает два круга, Солнце сделает один круг, т. е. оно оборачивается вдвое медленнее, чем часовая стрелка.

Если в полдень положить часы горизонтально так, чтобы продолжение часовой стрелки было прямо под Солнцем, то это будет направление на юг. На циферблате в это время часовая стрелка должна была бы стоять на цифре 12. Но так как еще с 1930 г. все часы в гражданском обиходе Советского Союза переведены на час вперед и введено поясное время (см. гл. III, § 9), то полдень, по-нашему, будет не около 12 часов, а около 13 часов (на обычном циферблате—1 час после полудня) на среднем меридиане данного пояса, а в других местах больше или меньше в зависимости от долготы места и удаленности этого места от среднего меридиана пояса. В какой-нибудь другой час до полудня или после полудня надо часы положить так, чтобы продолжение часовой стрелки располагалось под

Солнцем. А затем, чтобы найти юг, т. е. место, над которым Солнце располагается в полдень, надо промежуток на циферблате между концом часовой стрелки и 1 часом разделить пополам (рис. 5). Направление от центра циферблата через полученную середину и укажет на юг. В Москве в истинный полдень часы показывают 12 ч. 30 м. Следовательно, в Москве надо на циферблате делить пополам

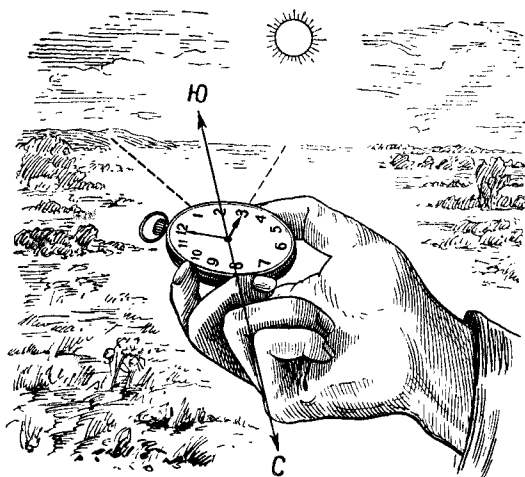


Рис. 5.

угол между часовой стрелкой и серединой между цифрами 12 ч. и 1 ч. Можно заметить на горизонте какой-нибудь предмет в этом направлении и по нему держать свой курс.

Зная, что до полудня Солнце находится к востоку от направления на юг, а после полудня—к западу, циферблат часов нужно располагать так, чтобы при определении направления на юг до 1 часа дня цифра циферблата 1 час находилась справа от Солнца, а при определении после 1 часа дня—слева от Солнца. Заметим, что смотреть надо только на часовую стрелку, на минутную же не следует обращать никакого внимания.

Время восхода и захода Солнца меняется в течение года и различно в разных местах Земли; соответственно меняется и продолжительность дня. Это изменение для

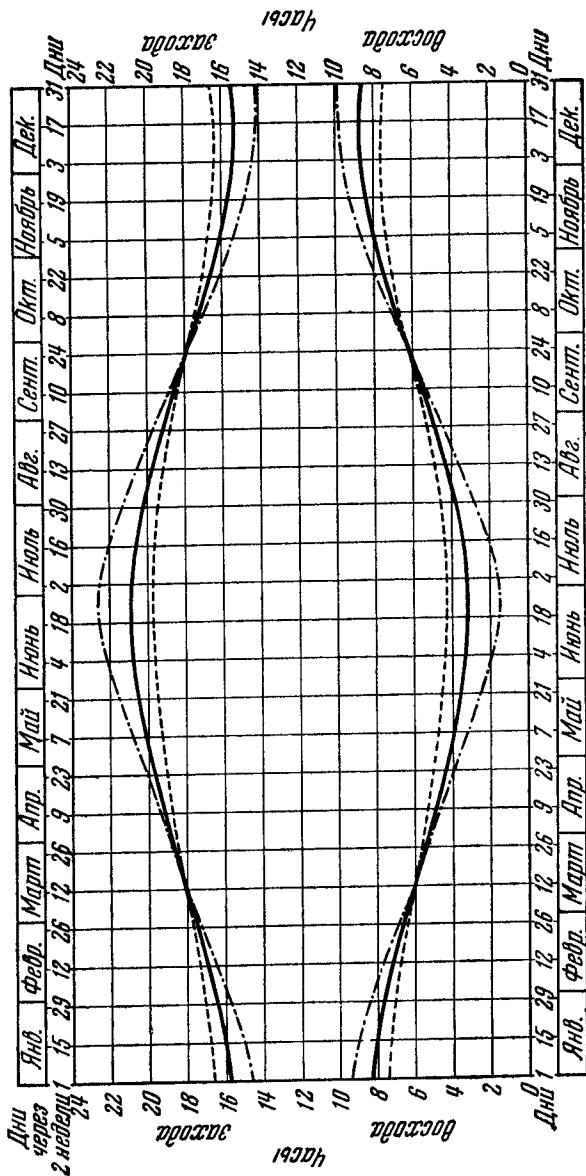
Москвы и для мест, удаленных от нее к северу до широты 65° или к югу до широты 45° , представлено наглядно на графике (рис. 6), где по горизонтальной линии отложены месяцы и дни, а по вертикальной—часы дня—до полудня снизу и после полудня сверху. Средняя горизонтальная линия соответствует полудню.

Жирные линии дают местное гражданское время восхода и захода Солнца для широты Москвы ($55^\circ 45'$), пунктирные—для широты 45° , пунктир с точкой—для широты 65° . Чтобы определить время восхода или захода Солнца для любого дня года, надо на горизонтальной линии найти данный месяц, взять внутри него на полуденной линии точку, приблизительно соответствующую данному числу, и на вертикальной линии сетки посмотреть, против какого часа она пересекает кривую линию. Например, определим время восхода и захода Солнца в Москве 21 мая. На горизонтальной линии графика берем точку, соответствующую 21 мая. Вертикальная линия, проходящая через эту точку, пересекает кривую внизу против $3\frac{1}{2}$ ч., а вверху против $20\frac{1}{2}$ ч. Сравнив с календарными данными (восход Солнца 3 ч. 38 м., заход—20 ч. 16 м.), видим, что ошибка не превосходит четверти часа.

Заметим, что здесь имеется в виду местное время, а как оно относится к принятому времени, по которому идут наши часы, об этом будет рассказано дальше (см. гл. III, § 9).

Если приходится быть продолжительное время в одном и том же месте, то полезно, наметив более точное направление на север и юг, провести полуденную линию.

Это можно сделать по самой короткой тени от вертикальных предметов в полдень. Но уследить, когда тень самая короткая, трудно, так как длина ее меняется медленно и незаметно для глаза. Надо отметить одинаковые тени до полудня и после полудня, а затем взять среднее направление. Для этого на ровной площадке поставим шест вертикально по отвесу (нитка с грузом). За некоторое время до полудня, примерно за час-два, отметим конец A тени шеста (рис. 7). Привязав бечевку к нижней части шеста O , начертим на площадке часть круга AB радиусом, равным длине тени OA .



Вследствие суточного движения Солнца тень от шеста будет перемещаться и укорачиваться, а потом опять начнет удлиняться, пока своим концом не достигнет начерченного круга. Отметив эту точку B , разделим пополам расстояние между A и B и проведем через найденную середину и основание шеста направление OC , которое и даст нам полуденную линию. Ее можно отметить, вбив в двух ее точках колышки.

Для большей точности определения полуденной линии таким способом не ограничиваются одной парой симметрич-

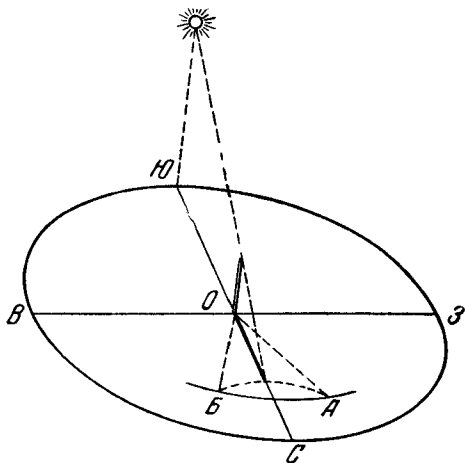


Рис. 7.

ных относительно нее точек, а отмечают обычно три пары их с некоторыми промежутками времени. Для каждой из этих пар находят середину и затем проводят прямую линию от основания вертикального стержня O между найденными тремя серединами как наиболее подходящую среднюю.

Вертикальный шест на горизонтальной площадке был у древних наблюдателей важнейшим инструментом, при помощи которого они определяли не только направление полуденной линии, но и высоту Солнца (сравнением длины тени шеста с его высотой), время и пр. Инструмент этот они называли *гномоном*.

§ 2. Ориентировка по Луне





Даже днем иногда Луна бывает заметна на небе, а после захода Солнца она прежде всего обращает на себя наше внимание среди небесных светил. Но Луна не всегда видна на небе и имеет неодинаковый вид в разные дни. Всякий имеет возможность много раз наблюдать Луну во всех ее видах и положениях, так как она повторяет все эти изменения каждый месяц, вернее каждые $29\frac{1}{2}$ суток. Бывают ночи, когда Луны на небе совсем не видно, хотя небо безоблачно. Вечером дня через два на западе, левее заходящего Солнца, можно заметить узкий серп Луны, который вскоре за Солнцем и заходит. Его рога направлены от Солнца. С каждым следующим вечером этот серп все утолщается, отодвигается дальше от Солнца влево (с запада к востоку) и все дольше виден после захода Солнца на вечернем небе. Через неделю во время захода Солнца на юге бывает уже видно полдиска, и Луна освещает Землю в течение первой половины ночи. Продолжая с каждым днем утолщаться и отодвигаться по небу к востоку, Луна светит все дольше, заходя все позднее после полуночи. Через две недели мы можем заметить при заходе Солнца полный диск восходящей Луны. Поднимаясь вечером в восточной стороне неба, полная Луна к полуночи занимает самое высокое положение и располагается в это время над точкой юга, а затем переходит на западную сторону неба и заходит уже с восходом Солнца.

Полная Луна светит всю ночь, подобно тому как Солнце сияет днем. Надо только заметить, что полная Луна находится в противоположной стороне неба по отношению к Солнцу, да, кроме того, она движется в плоскости, несколько наклоненной к плоскости движения на небе Солнца. Благодаря этому летом мы видим на небе полную Луну так, как Солнце зимой, т. е. значительно ниже обычного над горизонтом, а восход и заход Луны происходят ближе к югу. Зимой же, наоборот, полная Луна высоко поднимается в полночь, а восходит между севером и востоком, заходит между севером и западом.

В следующие вечера, после того как мы видели полную Луну, она восходит все позднее, и мы видим ее уже урезанной с правой стороны. Через три недели после

своего появления видна другая половина диска Луны, она восходит около полуночи, поднимается утром над точкой юга и освещает Землю во вторую половину ночи. С каждым днем серп Луны делается все тоньше, все позже поднимаясь из-за горизонта. К концу четвертой недели мы видим серп Луны на востоке перед самым восходом Солнца. Его рога опять направлены от Солнца, и он напоминает букву С. Наконец, Луна совсем исчезает на небе, с тем чтобы вновь появиться через 4—5 дней слева от Солнца. Но тогда мы начинаем ее видеть опять при заходе Солнца. Зная повторяемость всех этих явлений, мы можем рассчитать наперед, когда будут лунные или темные ночи.

При всех изменениях Луны мы различаем четыре главнейшие ее фазы:

1. Новолуние (обозначается )—Луны не видно.
2. Первая четверть —видно полдиска выпуклостью с правой стороны; вечером Луна находится на южной стороне неба, светит первую половину ночи.
3. Полнолуние —виден полный диск; Луна светит всю ночь, в полночь находится над точкой юга.
4. Последняя четверть —видно полдиска выпуклостью слева; Луна восходит около полуночи, утром находится на южной стороне неба, светит вторую половину ночи.

Промежутки между фазами составляют: $29,5 : 4 = 7,4$ суток (29 сут. 12 час. 44 мин. : 4 = 7 сут. 9 час. 11 мин.). Заметим, что из-за неравномерности движения Луны промежутки между фазами могут несколько меняться.

Вид Луны в первую и последнюю четверти легко отличить, заметив, что если, соединив «рога» Луны прямой линией, получим букву Р,—значит, Луна растет, если же Луна своим видом напоминает букву С, то она стареет, или, как говорят, находится на ущербе.

Все эти особенности фаз Луны мы легко усвоим, если будем знать, как и почему происходят различные изменения видимости Луны.

Лунный шар, так же как и земной, освещается далеким Солнцем, и мы видим только освещенную часть его поверхности. Луна движется так, что к Земле обращена все время одна и та же сторона лунного шара, которая при движении Луны вокруг Земли бывает освещена Солнцем по-разному. Рис. 8 показывает различные положения

Луны в пространстве (верхняя часть рисунка) и ее видимость с Земли (нижняя часть рисунка): *I*—соответствует новолунию, *II*—первой четверти, *III*—полнолунию и *IV*—последней четверти. В промежутках до полнолуния становится видимой все более и более возрастающая, а после полнолуния—все более убывающая часть диска Луны.

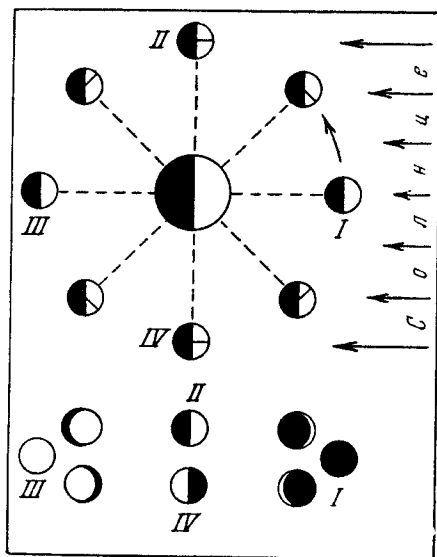









Рис. 8.

В полночь, т. е. в начале суток, полная Луна бывает на юге в противоположной стороне по отношению к Солнцу и с каждым часом перемещается суточным вращением приблизительно на $\frac{1}{24}$ полного оборота или на 15° . Значит, если мы наблюдаем полную Луну, например, 3 часа спустя после полуночи (4 часа ночи по нашим часам), то она отойдет в это время от южного направления примерно на 45° ($3 \cdot 15^\circ$), т. е. будет видна в юго-западном направлении. Если же наблюдать полную Луну вечером, например за 4 часа до полуночи (21 час или 9 час. вечера по нашим часам), то она в это время расположена к востоку на 60° ($4 \cdot 15^\circ$), т. е. на расстоянии $\frac{2}{3}$ дуги от

юга до востока. При ориентировке по Луне можно пользоваться следующей таблицей:

Вид Луны (Фазы)	Луна видна на				
	востоке	юго-востоке	юге	юго-западе	западе
	10 ч.	13 ч.	16 ч.	19 ч.	22 ч.
	13 ч.	16 ч.	19 ч.	22 ч.	1 ч.
	16 ч.	19 ч.	22 ч.	1 ч.	4 ч.
	19 ч.	22 ч.	1 ч.	4 ч.	7 ч.
	22 ч.	1 ч.	4 ч.	7 ч.	10 ч.
	1 ч.	4 ч.	7 ч.	10 ч.	13 ч.
	4 ч.	7 ч.	10 ч.	13 ч.	16 ч.

Таким образом, зная, в котором часу мы наблюдаем, мы можем приблизительно ориентироваться по полной Луне.

§ 3. Ориентировка по звездам

Солнцем мы можем пользоваться для ориентировки только днем, а Луна не всегда бывает видна на небе; зато во всякую безоблачную ночь над нами сияют звезды, которые и могут служить нам хорошими путеводителями. Но для этого надо хорошо познакомиться с ними. Ведь звезд на небе много. Вспомним художественные строки нашего величайшего ученого и поэта Ломоносова:

«Открылась бездна, звезд полна,
Звездам числа нет, бездне—дна».

Всматриваясь внимательнее в эти кажущиеся бесчисленными и беспорядочно расположенными по небу звезды (рис. 9), мы замечаем среди них более яркие, которые не так трудно сосчитать.

Надо научиться различать их, уметь находить на небе отдельные звезды и группы их, знать, когда и какие из

них находятся в той или другой стороне. По ним можно и ориентироваться.

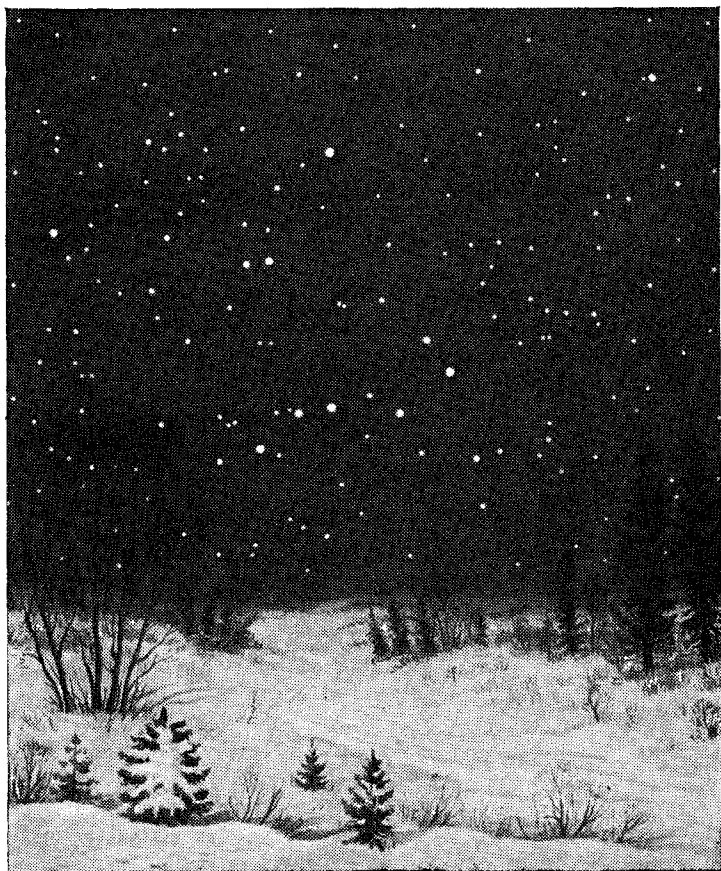


Рис. 9.

Наблюдая звездное небо и особенно обращая внимание на более яркие звезды, можно заметить, что они как бы образуют различные фигуры (рис. 9). Эти фигуры, или созвездия, напоминали древним наблюдателям фигуры

животных и формы различных предметов. В некоторых из них они видели своих мифических героев. Тогда созвездия получили такие названия, как Медведица, Лебедь, Телец, Лира, Корона, Персей, Орион, Геркулес и пр., которые сохранились и до сих пор.

Присматриваясь к разным созвездиям, вы скоро заметите, что в разное время они видны на разной высоте, восходят и заходят, но не меняют взаимного положения друг относительно друга. При этом созвездия кажутся нам расположенными на некотором шарообразном своде. Этот свод как бы поворачивается вокруг нас как одно целое в течение суток. На самом деле звезды находятся от нас на различных расстояниях. Эти расстояния так велики, что наш глаз не может отличить, какие светила ближе к нам, какие дальше, а потому они нам кажутся одинаково далекими. Шаровая поверхность отличается от других тем, что все ее точки одинаково удалены от центра. Обычно шаровую поверхность, на которой как бы расположены все окружающие наблюдателя светила, называют небесной сферой, причем глаз наблюдателя находится в центре сферы.

В древности думали, что Земля стоит неподвижно в центре вселенной и вокруг нее вращаются хрустальные сферы с прикрепленными к ним светилами. Теперь мы знаем, что никакого небосвода и никаких хрустальных небесных сфер на самом деле не существует. Голубой цвет видимому небосводу придает окружающий Землю воздух, освещенный Солнцем. Употребляемую нами теперь небесную сферу мы вводим лишь как воображаемую сферу, которая удобна для определения видимого положения небесных светил. Нам нужно знать только направление, по которому видно от нас то или другое светило. Поэтому безразлично, какого размера сферу мы себе представим. Она имеет, как говорят, неопределенный или произвольный радиус. Взаимное положение светил измеряется углом между направлениями на них от глаза наблюдателя или соответствующей дугой на сфере*). Например, если взять направления на два противоположных края полной Луны,

*) Подобно тому, как в геометрии измеряют углы при помощи транспорта.

то угол между ними составляет полградуса, и видимый поперечник диска Луны на небесной сфере измеряется дугой также в полградуса.

Чтобы легче было определять положение тех или других светил, условились отмечать на небесной сфере точки и линии, по отношению к которым и определяют положение светил. Эти точки и линии следует запомнить.

Всегда можно представить в месте наблюдения вертикальную линию, направление которой совпадает с направлением силы тяжести. По этому направлению располагается отвес (нить, натянутая прикреплённым к ней грузом). Вертикальная линия, продолженная

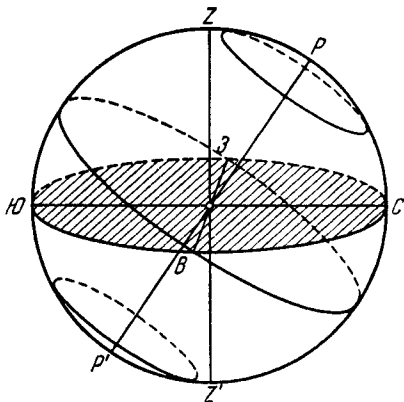


Рис. 10.

вверх, пересечет небесную сферу над головой наблюдателя в точке Z , которая называется *зенитом* (рис. 10).

Если вообразить полную сферу, то противоположная зениту точка ее Z' называется *надиром*. Отсюда названия: зенитная артиллерия и надирная фотография (когда производится фотосъемка с самолета).

Горизонтальная плоскость, проходящая через глаз наблюдателя перпендикулярно к вертикали, пересечет небесную сферу по окружности, которая называется математическим или истинным *горизонтом* в отличие от видимого горизонта на земной поверхности, т. е. той линии, по которой небесный свод кажется нам пересекающимся с ровной поверхностью Земли.

После первых же наблюдений звездного неба мы убеждаемся в том, что оно со всеми видимыми на нем светилами вращается как одно целое в течение суток так, что с одной (восточной) стороны звезды поднимаются, а с другой (западной)—опускаются. При этом можно заметить в северной стороне неба звезду, которая

наблюдателю в данном месте кажется почти неподвижной, показывая тем самым направление оси вращения. Звезду эту назвали *Полярной*.

Ясное представление о видимом суточном вращении звездного неба дает фотография северной части неба (рис. 11). При этом фотографический аппарат был



Рис. 11.

направлен на точку, вокруг которой нам кажется вращающимся все звездное небо и которая называется *полюсом мира*. Снимок производился при неподвижном аппарате с выдержкой в течение часа. Все дуги, представляющие следы звезд на фотографической пластинке, соответствуют одному углу поворота около полюса мира. Полярная звезда описывает совсем маленький кружок, так как она расположена не точно в полюсе мира, а отстоит от него приблизительно на 1° . Если бы мы, заметив распо-

ложение звезд, на следующий вечер, через сутки, встали опять на то же место, то увидели бы над собой приблизительно такое же расположение звезд. Это видимое суточное вращение звездного неба с востока на запад, как установлено еще со времен Коперника (XVI век), есть явление кажущееся и происходит потому, что наш земной шар непрерывно вращается в противоположном направлении (с запада на восток). Мы, находясь на Земле и вращаясь вместе с ней, этого вращения не замечаем. Зато мы видим, как все окружающие нас светила совершают оборот вокруг нас с востока на запад. По этой же причине нам кажется, что и Солнце и Луна восходят на восточной стороне, совершают свой суточный путь по небу и заходят на западной стороне горизонта.

Наблюдая вращение всего звездного неба, мы можем представить себе прямую линию, вокруг которой происходит это вращение и которую называют *осью мира* (направление на полюс мира). *Полюс мира* есть точка пересечения оси мира с небесной сферой. Различаются: северный полюс мира P и диаметрально противоположный ему южный полюс мира.

Представим себе плоскость, проходящую через наш глаз, зенит и полюс мира. Эта плоскость пересечет небесную сферу по окружности большого круга, называемой *небесным меридианом*. На рис. 10 (стр. 29)—это плоскость чертежа. В ней расположены вертикальная линия и ось мира. Эта плоскость совпадает с плоскостью земного меридиана. Небесный меридиан пересекает горизонт в точках севера (С или N—под полюсом мира на горизонте) и юга (Ю или S). Значит, мы будем знать точно направление на север и юг, а стало быть, на восток (В или E) и запад (З или W), если сумеем провести на небесной сфере меридиан, а в этом и помогут нам звезды.

Вследствие суточного вращения звезды, как и Солнце и Луна, поднимаясь с восточной стороны, занимают свое самое высокое положение над горизонтом, когда они проходят через меридиан. Пройдя же меридиан, они опускаются к горизонту, но уже в западной стороне. Положение звезды в меридиане называется ее *кульминацией*. Каждая звезда в течение суток дважды проходит через меридиан и имеет две кульминации. Одну из них называют верхней,

а другую—нижней. *Верхняя* кульминация происходит в той половине меридиана от полюса мира, которая проходит через точку юга, а *нижняя*—в той его половине, которая проходит через точку севера. Например, для Солнца полдень—это тот момент, когда Солнце бывает в верхней кульминации, располагается на меридиане над точкой юга, а полночь—когда Солнце бывает в нижней кульминации. Полуденная линия, идущая с юга на север,

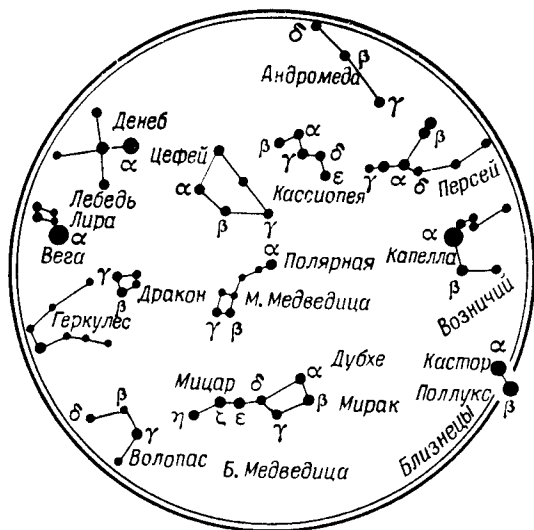


Рис. 12.

представляет собой, очевидно, линию пересечения плоскости меридиана с плоскостью горизонта.

Приблизительно мы можем определить направление меридиана по Полярной звезде, принимая ее за полюс мира. Полярную же звезду, которая всегда расположена над горизонтом в нашем северном полушарии, можно легко найти на небе по созвездию Большой Медведицы, наиболее приметные звезды которого составляют фигуру ковша из семи звезд (рис. 9 и 12). Беря направление на небе по двум крайним звездам «ковша» в сторону его «отверстия» и отходя по нему на расстояние,

примерно вчетверо большее, чем промежуток между этими звездами, мы и встретим Полярную звезду.

Надо заметить, что в разные часы суток, как и в разное время года, но в одни и те же часы Большая Медведица бывает по вечерам то ниже Полярной, то выше, то вправо, то влево от нее. Полярная имеет примерно такую же яркость, как и звезды «ковша», и выделяется среди окружающих ее более слабых звезд. Так как Полярная расположена вблизи полюса мира, то небесный меридиан проходит вблизи нее. Следовательно, если мы найдем на небе Полярную звезду и станем лицом к ней, то прямо перед нами на горизонте будет север, сзади—юг, направо—восток, налево—запад.

Это—простейший способ ориентировки по звездам. Но надо иметь в виду, что Полярная звезда не единственный ориентир на звездном небе. Многие другие звезды могут быть путеводителями, и в этом может оказаться необходимость, например, когда северная сторона неба закрыта облаком или вообще не видна в данных условиях. В этом случае надо быть знакомым со звездным небом, уметь различать на небе те или другие созвездия, знать их взаимное расположение, когда и в какой стороне неба они бывают видны.

Для приобретения навыка в нахождении созвездий и распознавании отдельных звезд надо заметить фигуры, образуемые наиболее приметными звездами, входящими в то или другое созвездие, и расположение их по отношению к соседним созвездиям. Ниже даются некоторые указания для этого, причем отмечается, как и в какое время располагаются отдельные созвездия по отношению к горизонту и его сторонам, чтобы можно было ориентироваться по указанным созвездиям. Приложенная в конце книги карта звездного неба поможет находить созвездия на небе.

Знакомство со звездным небом следует начинать с околополярных созвездий, которые в наших широтах почти всегда находятся над горизонтом.

Найдя Полярную звезду по Большой Медведице указанным уже способом и рассмотрев слабые звезды около нее, мы увидим там тоже как бы «ковшик» из семи звезд, обращенный к Большой Медведице, но гораздо меньшего размера. Эта группа звезд и называется созвездием

Малой Медведицы. Полярная звезда принадлежит к этому созвездию и находится, как говорят, в хвосте М. Медведицы или на конце рукоятки ковша (рис. 12).

Если посмотреть от Полярной в сторону, противоположную Большой Медведице, то обращает на себя внимание созвездие, образующее своими яркими пятью звездами ломаную линию наподобие буквы М. Это созвездие—Кассиопея. Оно расположено почти симметрично с Б. Медведицей по другую сторону Полярной.

Проследим направление от Кассиопеи к Б. Медведице и проведем мысленно линию через Полярную звезду под прямым углом к этому направлению. На несколько большем расстоянии от Полярной, чем Б. Медведица, мы увидим с одной стороны очень яркую звезду *Капеллу* в созвездии *Возничего*, с другой стороны—такую же яркую звезду *Вега* в созвездии *Лиры* (рис. 12). Капелла находится в той области неба, куда обращен ковш Б. Медведицы, а Вега—в той области, куда обращена рукоятка ковша.

Созвездия, окружающие Полярную, которые указаны на рис. 12, в наших широтах почти всегда бывают над горизонтом в северной половине неба. Но вследствие видимого суточного вращения неба вся эта картина как бы поворачивается так, что Б. Медведица идет вперед своим «ковшом». Если Б. Медведицу мы видим внизу над горизонтом (как на рис. 12), то Кассиопею найдем высоко над головой, Капеллу—направо, к востоку, а Вега—налево, к западу. Через 6 час. Б. Медведица перейдет на правую сторону к востоку, Кассиопея—на левую сторону к западу, Капелла поднимется высоко над головой, а Вега будет у самого горизонта и т. д.

Надо научиться отыскивать на небе и другие звезды, которые могут понадобиться для ориентировки.

Если мы будем осматривать области неба, расположенные дальше от полюса мира, нам придется уже повернуться к южной стороне неба. Мы увидим там созвездия, которые вследствие суточного вращения через определенное время будут заходить за горизонт, а с востока при этом будут подниматься новые созвездия. Поэтому в разные часы ночи мы будем видеть на южной стороне неба различные созвездия.

Точно так же, если наблюдать звездное небо, хотя бы и в один и тот же час, но в разные вечера на протяжении целого года, то перед нами будет различная картина. Здесь уже причиной является не суточное вращение, а годичное движение Земли вокруг Солнца. Ведь звезды мы видим только по ночам, когда мы обращены в противоположную сторону от Солнца. А обходя вместе с Землей

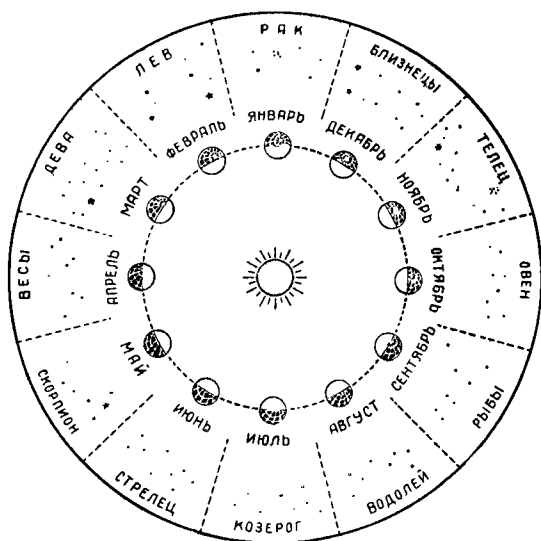


Рис. 13.

вокруг Солнца, мы в разное время года будем видеть и различные звезды в противоположной стороне от Солнца (рис. 13).

Таким образом, вид неба будет различен и в разные часы и в разные дни. Например, те созвездия, которые мы видели по ночам осенью в южной стороне неба, весной мы уже не увидим совсем: они зайдут за горизонт еще до наступления ночи, и перед нами будут другие созвездия. Вот почему при описании созвездий, расположенных на небе далеко от полюса мира, нам приходится отмечать и то время года, в которое они бывают видны.

В зимние вечера на небе нельзя не заметить яркого красивого созвездия **Ориона**, напоминающего очертания бабочки, бросающегося в глаза своими тремя рядом расположенными звездами—поясом Ориона в середине большого четырехугольника (рис. 14). Звезды, образующие четырехугольник, очень яркие, три из них имеют

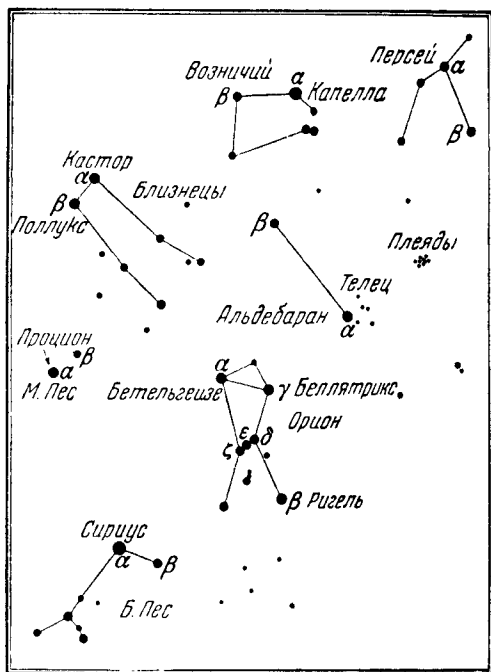


Рис. 14.

собственные названия: *Бетельгейзе*, *Беллатрикс*, *Ригель*. В декабре около полуночи Орион расположен почти над точкой юга, в январе это бывает около 10 час. вечера.

Правее и выше Ориона, между ним и Возничим, расположено созвездие **Тельца**, приметное по кучке слабых звезд под названием **Плеяды**. Между Плеядами и Орионом сияет яркая звезда α Тельца—*Альдебаран*. Особые названия даны были только наиболее выделяющимся

звездам. Вообще же звезды каждого созвездия древними наблюдателями были, начиная с самой яркой, обозначены буквами греческого алфавита α , β , γ и т. д.; эти обозначения сохранились до наших дней.

Левее Ориона и несколько ниже блещет самая яркая звезда всего нашего неба—*Сириус*, входящая в созвездие *Большого Пса*. Сириус, левая верхняя звезда Ориона—*Бетельгейзе*—и яркая звезда *Процион* в созвездии *Малого Пса* составляют почти равносторонний треугольник. Еще выше Проциона, почти на продолжении линии, соединяющей β и α Ориона, мы видим две яркие, рядом стоящие звезды созвездия *Близнецов*—*Кастор* и *Поллукс*. Таким образом, южная сторона зимнего звездного неба весьма богата яркими звездами.

Блеск звезд оценивается звездными величинами. Чем слабее блеск звезд, тем большим числом выражается звездная величина. Примером звезды первой величины может служить Альдебаран в созвездии Тельца. Полярная же и звезды Б. Медведицы слабее и относятся к звездам второй величины. Такие звезды, как Капелла, Вега, еще ярче, чем Альдебаран, и относятся к звездам нулевой звездной величины. Еще ярче Сириус. Самые слабые звезды, доступные невооруженному глазу, относятся к шестой звездной величине.

Весной на южной стороне неба мы находим созвездие *Льва* (в марте около полуночи оно находится над точкой юга), в котором заметна фигура неправильного четырехугольника, похожего на трапецию (рис. 15). Это созвездие наш взгляд встретит, скользя по небу от Полярной через край ковша Б. Медведицы. Следует отметить яркую звезду α Льва под названием *Регул*. По блеску она близка к звездам первой величины.

Ближе к лету с вечера Лев уже виден склоняющимся к западу, а на южной стороне неба сияет звезда почти нулевой звездной величины— α *Волопаса*—*Арктур*; к началу мая она располагается около полуночи над точкой юга. Ее легко найти, если проследить глазом по кривой, продолжающей рукоятку «ковша» Б. Медведицы. Рядом с созвездием Волопаса выделяется своим полукругом небольшое созвездие *Северной Короны* с яркой звездой—*Геммой*.

В июле-августе около полуночи мы найдем на юге по соседству с Вегой высоко стоящее характерное созвездие *Л е б е д я* (рис. 16) в виде большого креста, напоминающего летящую птицу, с яркой звездой *Денеб*. Под ним — созвездие *О р л а*, бросающееся в глаза своими

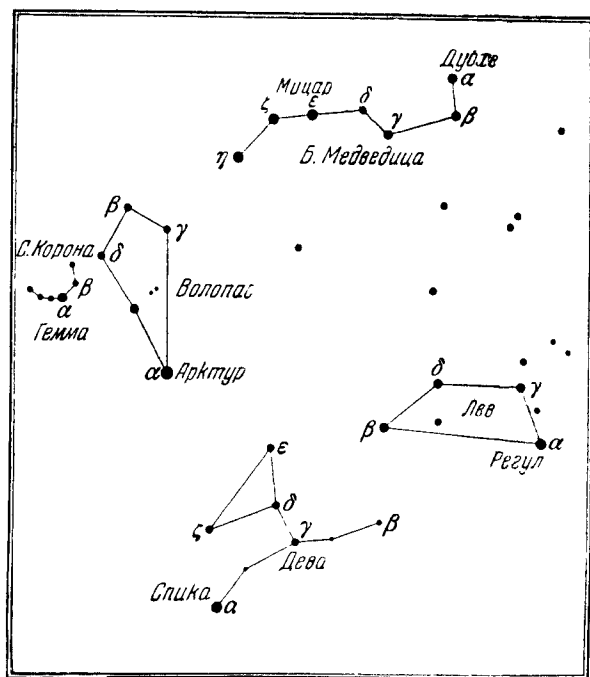


Рис. 15.

рядом стоящими тремя звездами, средняя из которых ярче всех; она называется *Альтаир*. По этим созвездиям и далее через Кассиопею, Возничий, Близнецы проходит слабо светящаяся полоса, называемая Млечным Путем.

Южная сторона осеннего звездного неба занята вытянувшимися в одну линию и расположенными почти на одинаковом расстоянии друг от друга звездами созвездия *А н д р о м е д ы* (рис. 16). Звезда α Андромеды — *Альферац* — вместе с тремя звездами созвездия *П е г а с а* со-

ставляет большого размера четырехугольник, почти квадрат. С другой стороны от Андромеды (к востоку) сверкает своей цепочкой звезд созвездие Персей (виден на рис. 14). Звезда α Персея составляет как бы продолжение Андромеды.

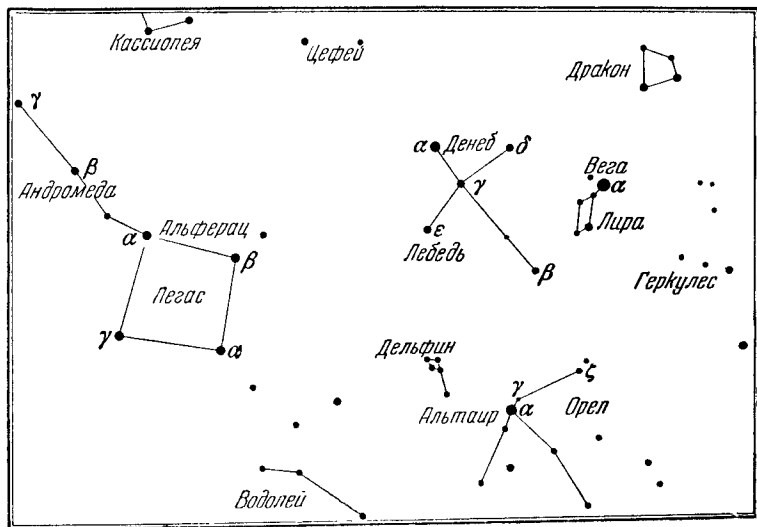


Рис. 16.

Квадрат Пегаса располагается над точкой юга около полуночи в сентябре, а в ноябре приходит на это место над горизонтом Телец с Плеядами, о которых уже была речь.

Мы указали здесь расположение определенных созвездий около полуночи в разные месяцы. Надо заметить, что все звезды в течение года сдвигаются в сторону запада. Через месяц те созвездия, которые находились над точкой юга в полночь, располагаются над той же точкой на два часа раньше, через полмесяца—на час раньше, через два месяца—на четыре часа раньше и т. д. Наоборот, в предыдущем месяце те же созвездия около полуночи находились еще в юго-восточной стороне и поднимались над точкой юга двумя часами позднее полуночи.

Пользуясь всяким случаем, когда небо ясно, следует с помощью карты и руководствуясь сделанными выше указаниями, научиться быстро и безошибочно находить главнейшие созвездия и отдельные яркие звезды. В особенности нужно обратить внимание на те звезды, которыми чаще всего пользуются для ориентировки в практике аэронавигации. Приведем их отдельно с более детальными данными (см. звездную карту в конце книги).

Полярная (α М. Медведицы)—второй звездной величины, видна всегда почти на одном и том же месте в северной стороне неба, находится на продолжении края ковша Б. Медведицы или на перпендикуляре, опущенном из средней звезды Кассиопеи (γ) на линию, соединяющую звезды β и δ Кассиопеи.

Капелла (α Возничего)—нулевой звездной величины, желтоватого цвета; видна высоко над горизонтом в первую половину зимы на продолжении линии, соединяющей η и ζ Б. Медведицы, в сторону ее «ковша»; по соседству с ней в направлении Кассиопеи находится Персей, а с противоположной стороны созвездие Близнецов, которое располагается над точкой юга в декабре около полуночи.

Вега (α Лиры)—нулевой звездной величины, белого цвета. Высоко над горизонтом видна летом в первую половину ночи. Находится приблизительно на продолжении линии, соединяющей γ и ϵ Б. Медведицы, в сторону рукоятки ковша Б. Медведицы; около нее—маленький четырехугольник из слабых звезд. По соседству с ней расположено созвездие Лебедя, видимое на юге в начале июля около полуночи.

Альдебаран (α Тельца)—первой звездной величины, красноватого цвета; при видимом суточном вращении ей предшествует звездное скопление Плеяд, а за ней следует особенно бросающийся в глаза своей характерной фигурой Орион. Зимой Альдебаран поднимается достаточно высоко над горизонтом в первую половину ночи.

Процион (α М. Пса)—несколько ярче первой величины, белого цвета; находится по другую сторону от Ориона по отношению к Альдебарану в левой верхней вершине равнобедренного треугольника, составленного ярким Сириусом и Бетельгейзе (α Ориона); над точкой юга бывает в январе около полуночи.

Регул (α Льва)—первой звездной величины, голубоватая; находится в правой нижней вершине четырехугольника—трапеции созвездия Льва; поднимается над горизонтом в весенние месяцы, бывает над точкой юга в марте около полуночи.

Арктур (α Волопаса)—нулевой звездной величины, оранжевого цвета; находится на продолжении кривой рукоятки ковша Б. Медведицы, по соседству с Северной Коронной; видна высоко над горизонтом к концу весны и в начале лета, а над точкой юга—в мае, около полуночи.

Альтаир (α Орла)—первой звездной величины, белого цвета; средняя из трех рядом стоящих звездочек созвездия Орла, расположенного ниже Лиры и Лебедя; над точкой юга бывает в конце июля около полуночи.

Альферац (α Андромеды)—второй звездной величины, белая; находится в направлении, идущем от Полярной через β Кассиопеи, в левой верхней вершине квадрата Пегаса, расположенного между Кассиопеей и Лебедем, несколько ниже их; поднимается сравнительно высоко осенью, бывает над точкой юга в сентябре около полуночи.

ГЛАВА II

НЕБЕСНЫЕ КООРДИНАТЫ И ЗВЕЗДНЫЕ КАРТЫ

Рассмотренные в первой главе способы ориентировки являются весьма приближенными и пригодны только для грубой ориентировки на местности. Когда же требуется найти более точно направление или положение на Земле данного места, то необходимо ознакомиться и с более точными способами определения положений светил на небесной сфере. Для этого введены так называемые небесные координаты, аналогичные географическим координатам на земном шаре. Так же как и там, координаты измеряются в градусах дуги или угла.

§ 4. Горизонтальная система небесных координат

Координаты на небесной сфере могут быть построены по отношению к истинному горизонту и зениту. Прежде всего мы можем измерить высоту светила над горизонтом. Под высотой разумеют угол, образуемый направлением на светило с плоскостью горизонта. Он измеряется дугой вертикального круга (круга высоты, проходящего на небесной сфере через зенит и светило) от горизонта до светила. Обозначается высота буквой h (рис. 17). Вместо высоты можно пользоваться зенитным расстоянием, обозначаемым буквой z . Это—угол между вертикальным направлением и направлением на светило; он также измеряется дугой круга высоты. Так как от горизонта до зенита 90° , то высота и зенитное расстояние в сумме составляют 90° :

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

Значит, если известна высота, то мы знаем и зенитное расстояние, и наоборот. Но одной высотой или зенитным

расстоянием положение светила еще не определяется полностью, так как на одной и той же высоте вокруг нас может быть много светил. Надо еще указать, над какой точкой горизонта видно светило или в какой точке круг высоты пересекает горизонт. Положение этой точки определяют дугой горизонта, отсчитываемой от точки юга. Дуга эта называется *азимут* и обозначается буквой A . В астрономии отсчет A ведется в сторону суточного враще-

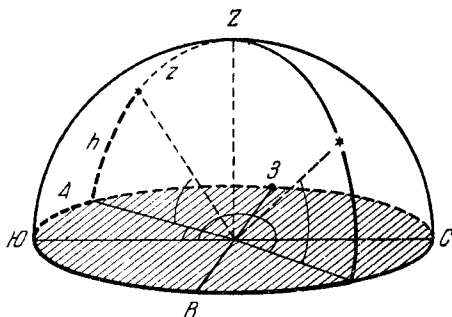


Рис. 17.

ния, т. е. к западу; в геодезии, а также в мореходной и авиационной астрономии отсчет азимута часто ведется от точки севера к востоку.

Азимут и высотой или зенитным расстоянием (A , h или z) определяется положение светил в так называемой *горизонтальной системе координат* (рис. 17).

П р и м е р ы:

1) В какой стороне неба надо искать звезду, имеющую в данный момент координаты: $A=135^\circ$, $h=45^\circ$?

Повернувшись от точки юга вдоль горизонта на 135° в сторону запада, мы найдем, что круг высоты, проходящий через данную звезду, пересечет горизонт в точке, лежащей посередине между западом и севером. Искомую звезду мы увидим на этом круге высоты, на расстоянии в 45° над горизонтом, т. е. посередине между горизонтом и зенитом, в северо-западной стороне.

2) Каковы горизонтальные координаты восходящего Солнца 21 марта?

Солнце 21 марта восходит в точке востока. Следовательно, искомый азимут Солнца в данный момент есть азимут точки востока; он равен 270° . А так как Солнце в это время на горизонте, то высота его равна нулю. *Ответ:* $A=270^\circ$, $h=0^\circ$, а $z=90^\circ$.

Особенностью горизонтальной системы координат является то, что высота и азимут светила все время изменяются вследствие суточного вращения. Каждое светило, описывая в течение суток некоторый круг, имеет наибольшую высоту в верхней кульминации. До этого высота светила увеличивается, а потом уменьшается. Таким образом, горизонтальные координаты светила имеют определенное значение только для некоторого момента времени.

При непосредственном наблюдении светил мы имеем перед собой горизонт и точку юга или севера, а потому определять положение светил на небесной сфере по высоте и азимуту наиболее естественно и удобно. Но если нам нужно изобразить положение звезд на карте или составить список звезд с указанием положения их на небе, то горизонтальная система координат для этого непригодна вследствие постоянного изменения высоты и азимута с суточным вращением. Поэтому введена другая система небесных координат, подобная системе географических координат, по которым строятся географические карты.

§ 5. Географические координаты

Вспомним систему географических координат. Земля наша приблизительно представляет собой шар, на поверхности которого, как на сфере, расположены те или другие пункты. Мы представляем себе ось вращения земного шара как прямую линию, соединяющую две противоположные точки на Земле, остающиеся при его вращении неподвижными. Такие точки мы называем *земными полюсами*: один—северный в нашем полушарии, другой (противоположный)—южный. Проведем мысленно через центр Земли плоскость, перпендикулярную к земной оси. Эта плоскость пересечет земную поверхность по окружности большого круга, проходящей посередине между полюсами,— всюду на одинаковом расстоянии от них. Окружность

эта называется *земным экватором*. Он делит Землю на два полушария: северное, где мы живем, и южное. От экватора условились отсчитывать угловое расстояние до любого пункта по земному меридиану (рис. 18). Расстояние это измеряется в градусах дуги окружности или соответствующего угла при центре Земли. Окружность эта лежит в плоскости, проходящей через земную ось и

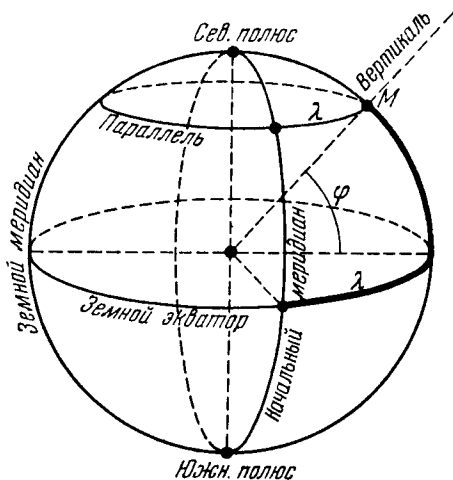


Рис. 18.

данный пункт, и называется *земным меридианом*. Полная окружность делится на 360° (градус делится на шестьдесят минут — $60'$, минута на шестьдесят секунд — $60''$). От экватора до полюса по меридиану — четверть окружности, т. е. 90° . Расстояние в градусах по меридиану от экватора до данного пункта измеряет *широту места* и обозначается греческой буквой φ . Широту места можно определить как угол между вертикальным направлением в данном месте и плоскостью экватора. Различают северную и южную широты, смотря по тому, в каком полушарии находится данное место. Иногда северную широту пишут со знаком $+$, а южную со знаком $-$. Например, Москва имеет широту $55^\circ 45' \text{ С}$, или $+55^\circ 45'$, и отстоит на $34^\circ 15'$ от северного

полюса. Южный тропик (тропик Козерога) лежит на широте $23^{\circ}27'$ Ю, или $-23^{\circ}27'$.

Но на широте, положим, $55^{\circ}45'$ лежит не одна Москва, а все те места земной поверхности, которые находятся на одинаковом расстоянии от экватора, или, как говорят, лежат на одной *параллели* (окружности малого круга, параллельного экватору).

Чтобы отличить друг от друга два разных места, лежащих на одной и той же параллели, нужно измерить расстояния их от одного и того же меридиана. Для этого условились один из земных меридианов считать за начальный, или главный. По международному соглашению за начальный принят меридиан, проходящий через пункт Гринич в Англии, близ Лондона. Расстояние в градусах от начального, или гриничского, меридиана по экватору или параллели до данного пункта называется *долготой места* и обозначается буквой λ . Долгота отсчитывается от 0 до 180° к востоку или западу от начального меридиана.

Восточная долгота обозначается буквой В, *западная*—буквой З. Например, долгота Москвы $37^{\circ}34'$ В.

Широта и долгота места составляют *географическую систему координат*. Положение места на поверхности Земли вполне определяется его географическими координатами: широтой и долготой.

Для составления географических карт строится сетка линий, состоящая из меридианов и параллелей, проведенных через определенное число градусов. Большую трудность для изображения поверхности Земли представляет то, что карта чертится на плоском листе бумаги, а земная поверхность—шаровая, которая не разворачивается на плоскости без складок, разрывов или растяжений.

Надо заметить, что размеры земного шара так велики (окружность большого круга равна $40\,000$ км), что равнина на Земле, как и морская гладь, представляется нашему глазу плоской. Сравнительно малые участки земной поверхности, размером в несколько квадратных километров, можно принять за плоскость, и в таком случае перенесение на бумагу в определенном масштабе (например, 1 см вместо 1 м или 1 см вместо 10 м) действительного

расположения пунктов дает нам план местности—ее уменьшенное подобное изображение.

При изображении более обширных областей надо соответствующую часть шаровой поверхности Земли проектировать на плоскость, благодаря чему получаются искажения взаимных расстояний точек шаровой поверхности на плоскости, так что невозможно построить карту, изображающую большую часть земной поверхности, без искажений масштаба.

Существуют различные способы изображения земной поверхности на плоской карте и соответственно разные картографические проекции. Каждая карта имеет свою градусную сетку, по краям которой наносятся цифры, обозначающие число градусов широты и долготы.

Прежде чем пользоваться картой, необходимо хорошенько рассмотреть ее сетку с помеченными на краях цифрами широт и долгот, масштаб и условные обозначения. Надо заметить, что на некоторых старых картах у нас долготы показаны не от гриничского, а от пулковского меридиана. Долгота Пулкова относительно Гринича равна $30^{\circ}20'$, долгота Москвы от Пулкова $7^{\circ}14'$, а от Гринича $7^{\circ}14' + 30^{\circ}20' = 37^{\circ}34'$.

Внизу карты обычно помещается масштаб в виде линейки с делениями, который указывает, сколько километров или верст содержится в одном или нескольких делениях, соответствующих такому же расстоянию на карте. Например, 10 км в 1 сантиметре (миллионка), 25 верст в дюйме (двадцатипятиверстка) и пр. Тут же ставится дробь, показывающая, какую долю действительного расстояния составляет расстояние на карте, или, что то же, во сколько раз уменьшено действительное расстояние.

Зная разность широт двух мест, лежащих на одном меридиане, можно вычислить расстояние между ними в километрах. В самом деле, измерения на Земле показали, что длина дуги земного меридиана в 1° приблизительно равна 111 км. Значит, если два пункта имеют одинаковую долготу, т. е. лежат на одном меридиане, то расстояние между ними получится, если 111 км умножить на разность их широт в градусах.

Например, Курск и Харьков имеют приблизительно одинаковую долготу: $36\frac{1}{4}^{\circ}$ В; широта Курска $51^{\circ}44'$ С,

широта Харькова $50^{\circ}0'$ С. Разность широт Курска и Харькова

$$5^{\circ}44' - 50^{\circ}0' = 1^{\circ}44' = 1^{\circ},7.$$

Расстояние по прямому направлению (для самолета) получится:

$$111 \text{ км} \cdot 1,7 = 190 \text{ км (круглым числом)}.$$

Точные измерения в различных местах Земли показали, что дуга меридиана в 1° не везде одинакова, а изменяется с широтой, причем оказывается длиннее к полюсу и короче к экватору (вследствие сжатия). Но это изменение сравнительно невелико: от 110,6 км у экватора до 111,7 км у полюса. Разница составляет всего только около 1 км. Поэтому при всех приближенных расчетах мы вполне можем принимать Землю за шар со средним радиусом 6370 км и длиной дуги 1° меридиана, равной 111 км.

§ 6. Экваториальная система небесных координат

Подобно географической карте можно построить и звездную карту, которая даст расположение созвездий на небесной сфере. Это и делается при помощи системы координат, подобной географической и называемой *экваториальной*. Как на земном шаре мы воображаем окружность, лежащую в плоскости, перпендикулярной к оси вращения, так и на небесной сфере мы представляем себе *небесный экватор* (рис. 19). Эта окружность образуется в пересечении небесной сферы плоскостью, проходящей через глаз наблюдателя, т. е. центр сферы, перпендикулярно к оси мира. При видимом вращении небесной сферы все светила описывают окружности, параллельные экватору. Подобно земным меридианам мы можем вообразить на небесной сфере круги, проходящие через полюс мира перпендикулярно к экватору. Таким образом, мы получим сетку на небесной сфере, подобную той, какую мы имеем на земном глобусе. Круги на небесной сфере, перпендикулярные к экватору и проходящие через полюс мира, называются *кругами склонений*. Каждая звезда имеет свой круг склонения.

Та небесная координата, которая показывает, как далеко звезда расположена от экватора по кругу склонения, называется *склонением* и обозначается греческой буквой δ . Склонение измеряется углом (в градусах) между направлением к звезде и плоскостью экватора или (рис. 19). дугой окружности большого круга, проходящего через звезду и полюс мира, от экватора до звезды. Так как

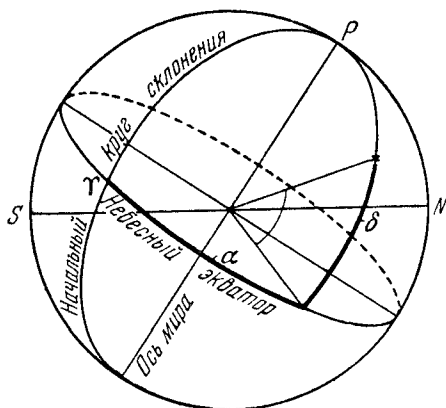


Рис. 19.

экватор делит небесную сферу на два небесных полушария—северное и южное, то различают склонение северное, или *положительное*,—для звезд в северном небесном полушарии и южное, или *отрицательное*,—для звезд в южном небесном полушарии.

Но одного склонения для полного определения положения светила на небесной сфере недостаточно: много звезд, расположенных по параллели или по кругу на одинаковом расстоянии от экватора, будут иметь одинаковое склонение. Как на земном шаре для отсчета долгот условились один земной меридиан принимать за начальный, так на небесной сфере условились начальным считать круг склонений, проходящий через так называемую *точку весеннего равноденствия* на экваторе (она обозначается знаком γ). В этой точке центр Солнца бывает в день весеннего равноденствия (21 марта). От нее по экватору до круга

склонений, проходящего через светило, и отсчитывается вторая экваториальная координата—*прямое восхождение*, которая обозначается греческой буквой α . Прямое восхождение всегда считается в сторону, противоположную видимому суточному вращению, т. е. от запада к востоку, изменяется от 0 до 360° . Но большей частью прямое восхождение выражают в часах, принимая во внимание,

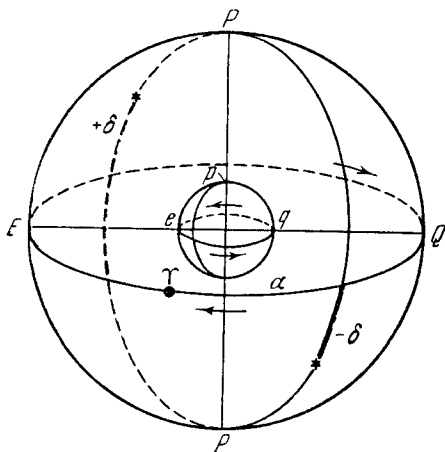


Рис. 20.

что полный круг (360°) соответствует 24 час., а 1 час соответствует 15° . А так как 1 час делится на 60 мин. и 1° делится на 60 дуговых минут, то 1 мин. соответствует $15'$ и точно так же 1 сек. соответствует $15''$.

Экваториальную систему небесных координат можно лучше себе уяснить по аналогии с географической, если представить себе центр небесной сферы в центре Земли и небесную сферу окружающую всю Землю (рис. 20).

Так как при суточном вращении неба взаимное расположение звезд не меняется, а ось мира и небесный экватор при этом занимают неизменное положение, то склонения и прямые восхождения всех звезд также не меняются. Поэтому каждая звезда имеет свое определенное склонение и прямое восхождение. Так же как составляются списки городов с указанием их широт и долгот на Земле,

можно составить список звезд с их названиями и указанием их склонений и прямых восхождений (см. Приложение IV, стр. 146). Такой список называется *каталогом звезд*. По этим δ и α составляют карту, которой можно пользоваться в разное время и в разных местах Земли.

В ряде случаев, например, в вопросах измерения времени, удобно вторую экваториальную координату отсчитывать по экватору не от точки весеннего равноденствия, а от точки пересечения экватора с меридианом места наблюдения в южной его стороне и притом не против видимого суточного вращения, а в сторону его, т. е. к западу. Такая координата называется *часовым углом* и обозначается буквой t (см. рис. 22 на стр. 55). Часовой угол можно определить как двугранный угол между плоскостью меридиана и плоскостью круга склонения светила. Надо заметить, что часовой угол меняется с течением времени при суточном вращении. В момент верхней кульминации светила он равен нулю и за сутки возрастает до 360° . Часовые углы, как и прямые восхождения, измеряются обычно не в градусах, а в часах, и изменяются от 0^h до 24^h .

Звездное небо обычно изображается на карте так, что полюс мира находится в ее центре. Надо представить в полюсе мира плоскость, параллельную экватору, а глаз наблюдателя—в удаленной точке в направлении оси мира (в противоположном полюсе). На такой карте небесный экватор представляется окружностью с центром в полюсе мира, а круги склонений—в виде прямых линий, расходящихся лучами от полюса мира. Здесь же могут быть проведены круги, параллельные экватору, соответственно определенным значениям склонения как в северном, так и в южном полушарии.

В приложении мы даем подвижную карту северного неба с северным полюсом в центре. На ней видна и часть южного небесного полушария, по другую сторону экватора, т. е. звезды с отрицательным склонением. Экватор выделяется из всех других концентрических окружностей тем, что на нем стоит 0° там, где находится точка весеннего равноденствия. Эта точка лежит в созвездии Рыб. От нее мы и отсчитываем прямые восхождения звезд. На круге склонения, проходящем через точку весеннего равноденствия, поставлены цифры склонений через

каждые 30° . Этот круг, как видно на карте, проходит от Полярной звезды через звезды β Кассиопеи и α Андромеды. По этим звездам его можно приблизительно наметить глазом на небесной сфере. На наружном круге поставлены цифры прямых восхождений через каждые 2 часа.

Пользуясь такой картой, мы можем найти приближенные экваториальные координаты δ и α любой звезды, нанесенной на карту.

Например, найдем на карте Капеллу (α Возничего). Она лежит между кругами склонения, помеченными на внешнем круге цифрами. Если провести линию от центра карты (полюса) к звезде, то продолжение ее пересечет внешний круг ближе к цифре 6, чем к 4. Прямое восхождение Капеллы $\alpha = 5$ ч. 12 м. Капелла лежит приблизительно посередине между параллельными кругами, имеющими склонения 30 и 60° ; значит, ее склонение около 45° .

Таким же образом найдем координаты звезды Альтаир (α Орла): $\alpha = 19$ ч. 50 м., $\delta = +10^\circ$. Координаты самой яркой звезды нашего неба — Сириуса (α Б.Пса): $\alpha = 6$ ч. 40 м., $\delta = -17^\circ$.

Описанная карта дает общий вид звездного неба и относительное расположение созвездий. При сравнении ее со звездным небом следует расположить ее перед собой так, чтобы полюс мира был в том направлении, по которому мы видим на небе Полярную звезду. Потом нужно повернуть ее вокруг полюса так, чтобы какое-нибудь заметное созвездие на карте и на небе было приблизительно одинаково расположено. Правда, очертания созвездий, расположенных вдали от полюса, искажены вследствие проектирования сферы на плоскость, но это искажение не настолько значительно, чтобы затруднить отождествление созвездий, изображенных на карте, с созвездиями, видимыми на небе. Для получения более детальных карт небесная сфера может быть разделена на участки, причем для каждого участка вычерчивается отдельная карта. Все эти карты вместе составляют звездный атлас.

На карте нельзя изображать для сколько-нибудь продолжительного промежутка времени Солнце, Луну, планеты, так как они меняют свое положение среди звезд, и нужно знать склонение и прямое восхождение каждого из этих светил в данный момент для того, чтобы отметить

его положение на карте. Эти координаты даются в астрономических календарях.

Можно приблизительно наметить положение Солнца на карте в разное время года. Для этого надо уяснить себе, что Земля одновременно с суточным вращением вокруг своей оси движется вокруг Солнца, делая полный оборот в течение года. Вследствие этого обращения нам кажется, что Солнце медленно движется по небу в течение года, переходя из созвездия в созвездие в сторону, противоположную суточному вращению, т. е. с запада на восток (см. рис. 13). Тот круг на небесной сфере, по которому Солнце как бы перемещается день за днем, делая полный оборот за год, называется *эклиптикой*.

Эклиптика расположена в плоскости, составляющей с плоскостью экватора угол $23^{\circ}27'$, или круглым числом $23\frac{1}{2}^{\circ}$. Плоскость эклиптики и есть та плоскость, в которой Земля движется в пространстве вокруг Солнца. Эклиптика изображена на звездной карте в виде круга, пересекающего экватор и параллели. За сутки Солнце перемещается к востоку почти на 1° или на двойной диаметр своего диска. Более подробное видимое движение Солнца среди звезд будет рассмотрено в § 16 гл. V.

Надо заметить, что в день весеннего равноденствия, 21 марта, Солнце находится в точке, где эклиптика пересекается с экватором в созвездии Рыб. Пользуясь этим, можно приблизительно рассчитать положение Солнца на любой день.

Пример. В каком созвездии находится Солнце 1 сентября и каковы его экваториальные координаты в это время (приблизительно)?

Найдя на карте нулевую точку на эклиптике в созвездии Рыб, высчитав число месяцев и дней, протекших от 21 марта до 1 сентября, и принимая во внимание, что Солнце перемещается по прямому восхождению на 2 часа в месяц и на 4 минуты в день, получаем, что Солнце за 5 месяцев и 10 дней переместилось на 10 ч. 40 м. Точка эклиптики, соответствующая прямому восхождению 10 ч. 40 м., лежит в созвездии Льва и имеет склонение около $7-8^{\circ}$.

ГЛАВА III

ИЗМЕРЕНИЕ ВРЕМЕНИ И ПРОВЕРКА ЧАСОВ

§ 7. Звездное время

Едва ли нужно много говорить о том, какое важное значение имеет знакомство со способами измерения времени. Человек может составить себе понятие о протекшем времени, только наблюдая то или иное движение. На этом принципе построены наши современные часы, а также древние водяные, песочные и другие часы. Но различные способы и самые единицы измерения времени связаны с основными астрономическими явлениями, которые человек наблюдал еще на первой стадии своего развития в постоянно повторяющейся смене дня и ночи, а затем и времен года.

Для измерения времени служит нам вращение Земли вокруг своей оси, вызывающее смену дня и ночи, и видимое суточное движение звезд. Вращение Земли происходит равномерно, практически с постоянным периодом. Участвуя в этом вращении, мы его не замечаем, но вместе с нами вращаются наш меридиан и наш горизонт. Мы же наблюдаем, как меняется по отношению к ним положение светил. Звезды одна за другой проходят меридиан, двигаясь с востока на запад. По этому видимому прохождению звезд и можно измерять время.

Промежуток времени между последовательными верхними кульминациями одной и той же звезды, очевидно, равен времени одного оборота Земли вокруг оси. Так мы подходим к определению *звездных суток*. Но при этом условились брать на небесной сфере не звезду, а точку весеннего равноденствия, от которой отсчитываются прямые восхождения звезд.

Звездными сутками называют промежуток времени между двумя последовательными верхними кульминациями точки весеннего равноденствия.

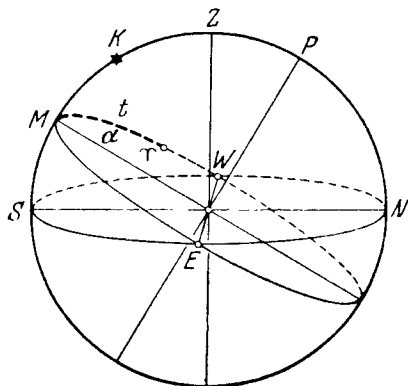


Рис. 21.

За начало звездных суток принимается момент, когда часовой угол точки весеннего равноденствия равен нулю, т. е. момент ее верхней кульминации. В таком случае звездное время в любой момент будет измеряться часовым углом точки весеннего равноденствия (на рис. 21 дуга $M\gamma$). С другой стороны, если в тот же момент в верхней кульминации находится какая-нибудь звезда (K на рис. 21), то эта же дуга γM представляет собой прямое восхождение α звезды, которое мы также условились измерять в часах.

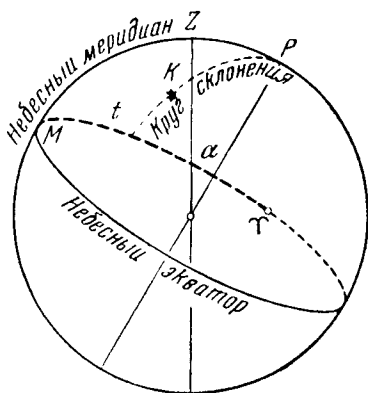


Рис. 22.

Таким образом, чтобы узнать звездное время, нет надобности искать на небе точку весеннего равноденствия,

а нужно посмотреть, какая звезда кульминирует в этот момент. Взяв из каталога ее прямое восхождение α , мы тем самым определим точно звездное время в данный момент и сможем проверить часы. Из рис. 22 ясно также, что в любой момент времени, когда звезда K не в меридиане,

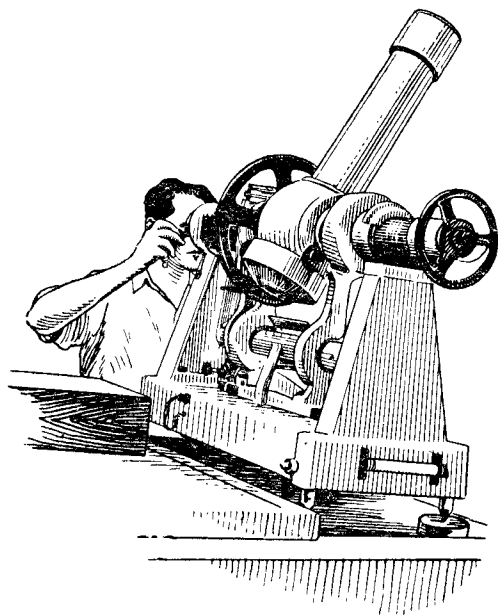


Рис. 23.

$s = \alpha + t$, где s —звездное время в этот момент, α —прямое восхождение звезды K , а t —ее часовой угол в момент наблюдения.

Точное время на астрономических обсерваториях определяется по наблюдениям звезд, проходящих через меридиан. Для этого там имеется специальный инструмент, устанавливаемый так, чтобы его труба, вращаясь около горизонтальной оси, оставалась все время в плоскости меридиана. Этот инструмент называется *пассажным* (от французского слова «пассаж»—*прохождение*) (рис. 23). Он обыкновенно бывает снабжен так называемой ломаной

трубой для удобства наблюдения звезды на любой высоте вплоть до зенита. Для этого на перекрестке трубы с осью помещается стеклянная прямоугольная отражательная призма. Луч, идущий от звезды вдоль трубы, встречает призму, отклоняется от нее под прямым углом и направляется вдоль полой горизонтальной оси к окуляру и в глаз наблюдателя. Для точности определения прохождения звезды через меридиан в окулярной части инструмента помещаются тонкие горизонтальные и вертикальные нити, одна из которых проходит через центр поля зрения и совпадает с положением меридиана. Нити освещаются электролампочкой с противоположного конца полой оси. При вращении трубы вокруг горизонтальной оси наблюдатель остается неподвижным и с одинаковым удобством может наблюдать звезды и у зенита и у горизонта. Момент времени прохождения звезды через меридиан специальным приспособлением передается электротокм автоматически и отмечается на хронографе (см. § 11).

Небесный меридиан и вступающие на него друг за другом звезды являются одними из самых точных часов в природе.

§ 8. Солнечное время

В практической жизни мы ежедневно распределяем время соответственно смене дня и ночи. Если бы Солнце все время сохраняло свое положение среди звезд, то смена дня и ночи происходила бы в тот же промежуток времени, в какой происходит возвращение звезд на меридиан, и тогда солнечные сутки равнялись бы звездным. Но Солнце все время как бы смещается среди звезд вследствие движения Земли вокруг Солнца в направлении, противоположном видимому суточному вращению, от запада к востоку, так что за год оно делает полный оборот, а за сутки перемещается приблизительно на 1° . Пусть в некоторый момент времени Солнце прошло через меридиан одновременно с какой-нибудь звездой. В момент следующей верхней кульминации этой звезды (через звездные сутки) оно окажется восточнее звезды приблизительно на 1° и пройдет через меридиан позже нее (см. рис. 24).

Большая продолжительность солнечных суток сравнительно со звездными объясняется одновременным

суточным вращением и обращением Земли вокруг Солнца. На рис. 24 показано первое положение Земли, при котором для точки M Солнце в меридиане, т. е. наступил полдень. Через звездные сутки Земля сделает полный оборот вокруг оси и, двигаясь вокруг Солнца, придет во второе положение; но для той же точки M Солнце еще не будет в меридиане, и чтобы наступил следующий полдень,

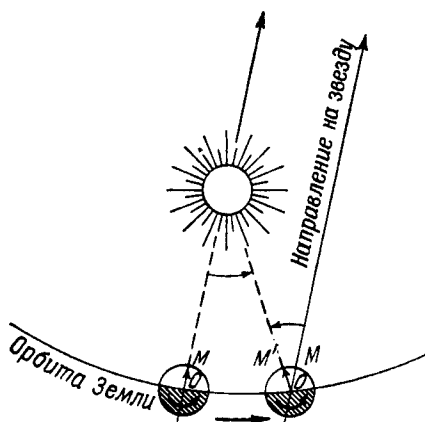


Рис. 24.

Земле нужно повернуться вокруг оси еще на некоторый угол MOM' *).

Солнечные сутки оказываются несколько длиннее звездных, так что за год накапливается разница на целые сутки. Солнечных суток в году $365\frac{1}{4}$, а звездных $366\frac{1}{4}$.

Измерение времени по Солнцу встречает некоторые трудности. Дело в том, что Солнце перемещается среди звезд неравномерно, и солнечные сутки в течение года неодинаковы между собой. Это связано с тем, что Земля движется вокруг Солнца неравномерно, а также и с тем, что плоскость ее движения наклонена к плоскости экватора. Поэтому введены *средние солнечные сутки*, всегда

*) Нужно заметить, что звезды от нас так далеки, что для первого и второго положения Земли направления на одну и ту же звезду практически параллельны друг другу.

одинаковые. Центр истинного Солнца мы как бы заменяем точкой, которая перемещается равномерно по экватору, делая полный оборот в течение года. Такую воображаемую точку называют *средним солнцем*, а измеряемое по нему время—средним солнечным временем в отличие от истинного солнечного времени. *Средними сутками называется промежуток времени между двумя последовательными одноименными кульминациями среднего солнца.*

Продолжительность средних суток и принята за основную единицу измерения времени в практической жизни, в науке, технике и производстве.

Если начало суток считать от момента верхней кульминации среднего солнца (средний полдень), то среднее время в любой момент можно измерять часовым углом среднего солнца. Но в практической жизни удобнее сутки начинать в полночь. Поэтому за начало суток принимают момент нижней кульминации среднего солнца, который наступает на 12 час. раньше, и такой счет времени называют *гражданским*. Следовательно, гражданское время в какой-нибудь момент равно часовому углу среднего солнца с прибавлением к нему 12 час. (Если в сумме получится больше 24 час., то надо вычесть из числа часов 24.)

Средние сутки всегда одинаковы и составляют приблизительно $\frac{1}{365,25}$ часть года. Звездные сутки составляют около $\frac{1}{366,25}$ части того же года. Отсюда видно, что средние сутки длиннее звездных, и можно подсчитать, как велика разница между ними. Приблизительный подсчет дает разницу в 4 мин., а более точный—3 м. 56 с. Подобно тому как средние сутки делятся на 24 средних часа, средний час—на 60 средних минут, а средняя минута на 60 средних секунд, так и звездные сутки делятся на 24 звездных часа, звездный час—на 60 звездных минут, а звездная минута—на 60 звездных секунд. Поскольку звездные сутки короче средних, то и звездный час, минута, секунда соответственно короче среднего часа, минуты, секунды. Для пересчета единиц звездного времени в единицы среднего времени и обратно можно пользоваться таблицами (см. Приложения VI и VII, стр. 147 и 148).

Часы, идущие по звездному времени, уходят вперед сравнительно с часами, идущими по среднему времени, на 3 м. 56 с. за сутки. За месяц они уйдут вперед уже почти на 2 часа, за $\frac{1}{4}$ года—на 6 час., за полгода—на 12 час. и за год—на 24 часа.

Очевидно, солнечные и звездные сутки должны были бы начинаться одновременно в тот момент, когда центр Солнца совпадает с точкой весеннего равноденствия и кульминирует вместе с ней. Это бывает в момент весеннего равноденствия. Но за начало солнечных суток условились принимать момент нижней кульминации Солнца, тогда как началом звездных суток служит момент верхней кульминации точки весеннего равноденствия. Поэтому одновременно должны начинаться те и другие сутки, когда обе указанные точки диаметрально противоположны. Среднее солнце проходит через точку осеннего равноденствия (т. е. точку, диаметрально противоположную точке весеннего равноденствия) 21 сентября, когда и бывает совпадение среднего солнечного и звездного времени. (Истинное Солнце проходит через точку осеннего равноденствия несколько позже, 23 сентября.) Зная это, можно приближенно найти, какова должна быть разница в показаниях тех и других часов для любого другого момента. Например, для 1 января: от равноденствия прошло 3 месяца 9 дней. Уходя ежедневно вперед приблизительно на 4 мин., звездные часы оказываются 1 января впереди солнечных примерно на $6\frac{1}{2}$ часов.

Более точные значения звездного времени для начала каждых суток на весь год даются в астрономических календарях и ежегодниках (см. Приложение XI, стр. 152).

Определяя время по звездам в моменты их верхних кульминаций, получают звездное время, как это было указано в предыдущем параграфе. Пользуясь календарными данными, это звездное время переводят в среднее.

Кроме того, время может быть определено по наблюдениям над Солнцем. При этом надо только учесть, что мы измеряем время по условному среднему солнцу, которое вообще не совпадает с истинным и в течение года то опережает истинное Солнце, то отстает от него. Точные расчеты расхождений истинного и среднего солнца делаются на основе теории движения Земли, и в астрономи-

Проверку часов по Солнцу удобно делать в полдень. Если у нас заранее определено направление меридиана места наблюдения и отмечена полуденная линия, то момент полудня может быть определен по совпадению тени от вертикального шеста с полуденной линией.

Положим, что 1 декабря в этот момент часы, идущие по местному среднему времени, показывали 12 ч. 3 м. В календаре находим, что уравнение времени 1 декабря равно—11 мин.; значит, среднее время в момент истинного полудня должно быть 12 ч.—11 м.=11 ч. 49 м. Поправка часов: 11 ч. 49 м.—12 ч. 3 м.=—14 мин. Таким образом, часы ушли вперед на 14 мин.

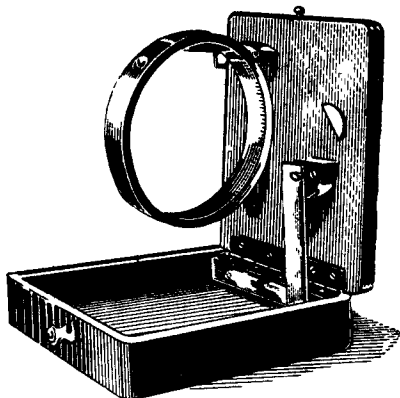


Рис. 26.

Более точная проверка часов по Солнцу делается двумя наблюдениями Солнца на равных высотах до полудня и после полудня при помощи угломерного инструмента или особого приспособления — *солнечного кольца*.

В этом случае отмечается показание часов в некоторый момент часа за два до полудня и замечается высота Солнца. Затем отмечается второе показание часов, когда Солнце после полудня займет ту же высоту. Момент полудня будет посередине между этими моментами. Например, первое показание часов 10 ч. 15 м., второе—13 ч. 55 м.; следовательно, показание часов в полдень будет

$$\frac{10 \text{ ч. } 15 \text{ м.} + 13 \text{ ч. } 55 \text{ м.}}{2} = \frac{24 \text{ ч. } 10 \text{ м.}}{2} = 12 \text{ ч. } 5 \text{ м.}$$

Солнечное кольцо имеет в одном месте маленькое круглое отверстие, а на внутренней противоположной стороне—равные деления (рис. 26). Кольцо это поворачивается так, чтобы на делениях появилось светлое пятнышко от солнечных лучей, прошедших через отверстие.

Положение пятнышка на том или другом делении соответствует определенной высоте Солнца. Кольцо подвешивается за одну и ту же точку так, чтобы при наблюдении оно было всегда обращено отверстием к Солнцу.

При тщательном наблюдении при помощи солнечного кольца ошибка в определении момента истинного полудня будет меньше одной минуты, что на практике вполне достаточно.

Солнечное кольцо можно использовать и для определения широты места наблюдения (см. Приложение XIX).

Солнечное кольцо по своему устройству так просто, что его можно изготовить самому из цилиндрической консервной банки. Для этого в боковой стороне пустой несмятой банки нужно проткнуть небольшое круглое отверстие (диаметром примерно в 1 мм), а на противоположной внутренней стороне приклеить полоску миллиметровой или просто разграфленной на мелкие равные деления бумаги. На расстоянии восьмой части окружности от отверстия нужно прикрепить нить для подвешивания, а в противоположной стороне—грузик (рис. 27).

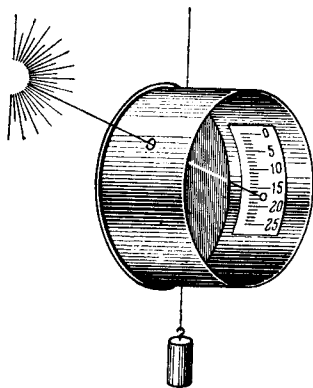


Рис. 27.

До полудня замечаются показание часов и деление кольца, на котором находится светлое пятнышко от лучей Солнца, прошедших через отверстие. Затем отмечается то показание часов, когда пятнышко после полудня окажется на прежнем делении. Это и даст нам два показания часов, соответствующих одинаковым высотам Солнца, т. е. моментам, одинаково удаленным от истинного полудня.

Изменение положения тени в течение дня дает возможность построить солнечные часы, которые в прежние времена, до изобретения механических часов, были очень распространены, да и теперь еще могут сыграть свою роль. Опишем простейшие солнечные часы, доступные для

изготовления каждому. Они называются экваториальными, потому что циферблат их располагается в плоскости экватора, а теневой штифт направлен по оси мира, т. е. перпендикулярно к циферблату (рис. 28). Циферблат здесь получается делением круга на 24 равные части. Чтобы штифт был направлен по оси мира, он должен быть наклонен к горизонтальной плоскости под углом, равным широте места (широту можно взять с карты), например в Москве под углом 56° , а плоскость циферблата

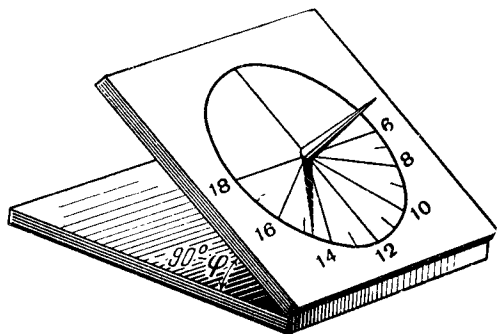


Рис. 28.

должна составлять с плоскостью горизонта угол $90^\circ - \varphi$, например в Москве 34° . Часы устанавливаются так, чтобы штифт своим верхним концом был направлен на полюс мира, а для этого находящаяся под ним нижняя точка циферблата должна быть направлена на север. (Если установка производится по компасу, то нужно ввести поправку на магнитное склонение в данном месте.) Около этой нижней точки ставится цифра 12, соответствующая полуденному положению тени. От нее в одну сторону отмечаются цифры часов, соответствующих утреннему положению тени (11, 10, 9, 8), а в другую сторону — вечернему положению (13, 14, 15...).

Надо заметить, что солнечные часы дают истинное солнечное время, от которого мы должны каждый раз переходить к среднему; для этого необходимо прибавить к показанию часов уравнение времени данного дня.

Мы видели, что установка солнечных часов требует знания широты места и направления меридиана. Широту можно взять по карте, направление меридиана—по компасу. Чтобы часы были пригодны для разных широт, надо сделать их так, чтобы угол между горизонтальной подставкой и циферблатом мог изменяться. Точность установки можно проверять транспортом.

Ввиду того, что Солнце в дни равноденствий находится в плоскости экватора, а в зимнее время проходит в южном небесном полушарии и имеет отрицательные склонения, оно в это время не освещает циферблата, нанесенного на северной стороне экваториальной плоскости часов. Можно было бы теневой стержень продолжить сквозь циферблат и на обратной (нижней) стороне его нанести такие же деления для зимнего времени. Однако такие часы были бы неудобны, и, кроме того, близ равноденствий тень на циферблате пропадала бы. Поэтому лучше построить так называемые горизонтальные солнечные часы, циферблат которых расположен в горизонтальной плоскости. Они лишены недостатков экваториальных часов, но несколько труднее для изготовления. Дело в том, что в горизонтальной плоскости тень от Солнца перемещается неравномерно и углы, соответствующие промежутку в 1 час утром, около полудня и вечером неодинаковы вследствие наклона плоскости видимого суточного движения Солнца к горизонту. Наклон этот различен для разных широт, а потому деления для циферблата часов на разных широтах различны. Расчет делений делается по формуле: $\operatorname{tg} x = \sin \varphi \cdot \operatorname{tg} t$, где x обозначает угол, образуемый линией какого-либо часа с полуденной линией на циферблате, t —время, протекшее от полудня, φ —географическая широта данного места. Расчет, дающий углы от полуденной линии (12 час.) до каждого деления через один час в обе стороны от нее, т. е. до полудня и после полудня, приведен в таблице на стр. 67.

Для промежуточных широт можно получить с достаточным приближением углы, пропорциональные разности широт. Например, для Москвы, беря широту круглым числом 56° , прибавляем к углам часов последовательно по $0,6$ разности между углами для 60 и 50° широты и получаем: $0,6 \cdot 2^\circ = 1^\circ,2$; $0,6 \cdot 3^\circ,5 = 2^\circ,1$; $0,6 \cdot 4^\circ = 2^\circ,4$; $0,6 \cdot 3^\circ = 1^\circ,8$.

В результате углы для часов циферблата выражаются круглыми числами: $13^{\circ},0$; $25^{\circ},5$; $39^{\circ},5$; $55^{\circ},0$; $71^{\circ},0$. Помещаем примерный чертеж циферблата горизонтальных

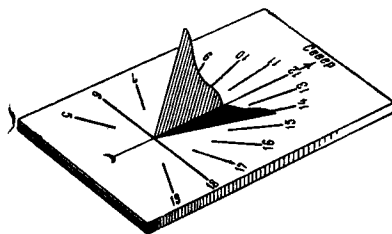
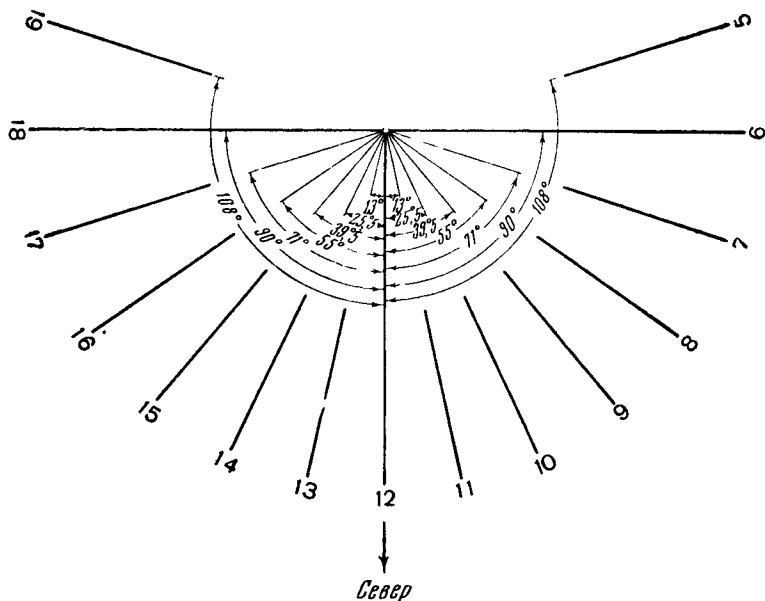


Рис. 29.

солнечных часов для широты Москвы и общий их вид (рис. 29). Теневой стержень здесь заменен краем пластинки, плоскость которой должна быть перпендикулярна

Для широты	От черты на 12 час. до					
	11 ч., 13 ч.	10 ч., 14 ч.	9 ч., 15 ч.	8 ч., 16 ч.	7 ч., 17 ч.	6 ч., 18 ч.
40°	10°,0	20°,5	33°,0	48°,0	67°,0	90°,0
50°	12°,0	23°,5	37°,0	53°,0	70°,0	90°,0
60°	14°,0	27°,0	41°,0	56°,0	72°,0	90°,0
70°	14°,5	28°,0	43°,0	58°,0	73°,0	90°,0

к циферблату, а край срезан наклонно в соответствии с широтой места. Циферблат устанавливается горизонтально по уровню, а теневая пластинка—в плоскости меридиана по компасу с поправкой на магнитное склонение (см. стр. 15).

Подобно горизонтальным солнечным часам можно построить и вертикальные солнечные часы. Такие часы и строились раньше на стенах зданий. Их можно видеть, например, в Москве на улице 25 Октября на старинном здании, занимаемом теперь Историко-архивным институтом, или в Новодевичьем монастыре. Расчет углов для циферблата вертикальных часов, перпендикулярного меридиану, можно сделать по формуле: $\operatorname{tg} x = \cos \varphi \cdot \operatorname{tg} t$.

§ 9. Местное и всемирное время. Поясное и декретное время

Наш счет времени и проверка часов по небесным светилам тесно связаны с тем местом на Земле, где производятся наблюдения. В самом деле, начало суток соответствует моменту кульминации среднего солнца. Вследствие суточного вращения кульминация одного и того же светила для мест на Земле, находящихся восточнее данного, будет происходить раньше, чем в данном месте, и сутки в этих местах будут начинаться раньше. Так как за один час происходит поворот небесной сферы на $\frac{1}{24}$ полного оборота, т. е. на $360^\circ : 24 = 15^\circ$, то два места, отличающихся по долготе на 15° , будут иметь и время, отличающееся на один час. Время, определяемое по моменту

кульминации среднего солнца в данном месте, называется *местным временем*. Понятно, что местное время одинаково для всех мест, лежащих на одном и том же земном меридиане. Мы можем и долготу выражать не в градусах, а в часах, деля окружность не на 360 частей, а на 24 части, так что дуга $15^{\circ}=1$ ч., $15'=1$ м. и $15''=1$ сек.

В таком случае мы можем установить следующее очевидное соотношение для двух мест на Земле: *разность местных времен определяет разность долгот, выраженную в часовой мере*.

Это соотношение очень важно для практики, так как оно дает возможность определять долготу одного места относительно другого путем сравнения их местных времен. За начало счета долгот принят гриничский меридиан, вследствие чего определение долготы места сводится к определению в некоторый момент местного времени и сравнению его с гриничским временем, соответствующим этому моменту.

В астрономических ежегодниках принято давать моменты тех или других небесных явлений, положений небесных светил и пр. по гриничскому времени. Гриничское гражданское время называют также *всемирным*.

Зная долготу данного места, выраженную в часах, мы можем сказать, на сколько местное гражданское время впереди или позади всемирного. Например, Москва имеет восточную долготу около $37^{\circ},5$, или 2 ч. 30 м.; следовательно, местное гражданское время Москвы впереди всемирного на 2 ч. 30 м. Долгота Нью-Йорка—западная, равная $73^{\circ}59'$, или 4 ч. 56 м., следовательно, местное гражданское время Нью-Йорка позади всемирного на 4 ч. 56 м.

Пользование всюду местным временем встречает большие неудобства при переездах к востоку или западу, так как путешественник должен постоянно переводить стрелки своих часов, чтобы их показания соответствовали местному времени тех пунктов, которые он посещает. Во избежание этих неудобств введено *поясное время*.

Вся поверхность земного шара условно разделена меридианами на 24 пояса шириной в 15° , или 1 час. Во всех местах, лежащих в пределах данного пояса, время

должно считаться по среднему времени середины пояса, и поэтому разница между поясным и местным временем внутри каждого пояса может достигать только до получаса.

Средним меридианом начального, или нулевого, пояса служит гриничский меридиан; средний меридиан первого пояса лежит к востоку от гриничского на 15° , или на 1 час; средний меридиан второго пояса лежит на $2 \cdot 15^\circ = 30^\circ$, или на 2 часа восточнее гриничского, и т. д. Номер пояса показывает, на сколько часов время данного пояса опережает всемирное; минуты же и секунды на всех часах одинаковы. Например, если во Владивостоке, находящемся в IX поясе, часы показывают 3 ч. 25 м. пополудни, или 15 ч. 25 м., то всемирное время в этот момент равно 15 ч. 25 м.—9 ч.=6 ч. 25 м. утра.

У нас в СССР поясное время введено в 1919 г. При этом были четко установлены границы поясов. Эти границы должны были бы проходить по меридианам, отстоящим на $7^\circ,5$ долготы по обе стороны от среднего меридиана каждого пояса. Но по практическим соображениям они во многих местах проведены с большим или меньшим отклонением от меридианов: по государственным границам, по пограничным линиям областей, по рекам, горным хребтам и т. п. Таким образом, в отдельных местах поясное время может отличаться от местного больше чем на полчаса.

В нулевом поясе (гриничское, или западноевропейское, время) находятся Англия, Франция, Испания, Алжир, Марокко.

В первом поясе (среднеевропейское время—на 1 ч. впереди всемирного)—Норвегия, Швеция, Германия, Австрия, Швейцария, Италия.

Второй пояс на территории Советского Союза начинается от нашей западной государственной границы. Крайним нашим восточным поясом является двенадцатый.

За время, прошедшее с 1919 года, существенно изменилась экономика нашей страны. Тесно экономически связанными оказались районы, находившиеся ранее в разных часовых поясах. Даже некоторые сильно разросшиеся города, как Новосибирск, оказались разделенными на две части границей между соседними поясами. Поэтому

Межведомственная Комиссия единой службы времени при Комитете стандартов Совета министров СССР составила новое распределение территории Союза по часовым поясам и их границ. Помещаем в приложении XXI карту с новыми границами часовых поясов.

Особо нужно отметить, что правительственным декретом от 16 июня 1930 г. во всем нашем Союзе часовая стрелка была переведена на час вперед. Так, в Москве и во всех местах, отнесенных ко II поясу, часы идут впереди гринвичских уже не на 2, а на 3 часа. Это—так называемое *декретное* время. Оно введено для экономии электроэнергии, которая достигается тем, что население кончает вечером свою дневную жизнь на час раньше, чем оно привыкло.

Движение поездов, так же как и отметки времени на телеграммах, производятся на всей территории СССР по декретному времени г. Москвы. Таким образом, когда говорят 9 ч. 30 м. по московскому времени, т. е. времени, по которому живет Москва, то это, по-настоящему, время II пояса, переведенное на час вперед; оно впереди всемирного на 3 часа и совпадает с временем III пояса.

Местное же время в Москве соответственно долготе Москвы впереди всемирного приблизительно на 2 ч. 30 м. Отсюда видно, что «московское время» на полчаса впереди местного гражданского времени. Все это нужно знать для того, чтобы уметь произвести проверку часов по наблюдениям над Солнцем или звездами.

Для перевода местного гражданского времени в поясное и обратно надо знать долготу данного места в часовой мере и номер пояса, в котором находится это место. Исходя из того, что разность времен двух мест равна разности их долгот, мы можем написать:

$$T_{\text{п}} - m = N - \lambda,$$

где $T_{\text{п}}$ —поясное время, m —местное время, N —число часов, равное номеру пояса, λ —долгота данного места в часовой мере. По этой формуле мы и можем вычислить поясное, или местное, время:

$$T_{\text{п}} = m + N - \lambda, \quad \text{или} \quad m = T_{\text{п}} - N + \lambda.$$

Примеры. 1. В Москве ($\lambda=2$ ч. 30 м.) 1 декабря местное время в полдень равно 11 ч. 49 м. Переведем его в поясное время:

$$T_{\Pi} = 11 \text{ ч. } 49 \text{ м.} + 2 \text{ ч.} - 2 \text{ ч. } 30 \text{ м.} = 11 \text{ ч. } 19 \text{ м.}$$

Чтобы получить декретное время, надо прибавить 1 час: $11 \text{ ч. } 19 \text{ м.} + 1 \text{ ч.} = 12 \text{ ч. } 19 \text{ м.}$ Можно сразу получить декретное московское время по той же формуле, если считать, что оно совпадает с поясным временем III пояса:

$$T_{\text{д}} = 11 \text{ ч. } 49 \text{ м.} + 3 \text{ ч.} - 2 \text{ ч. } 30 \text{ м.} = 12 \text{ ч. } 19 \text{ м.}$$

2. Город Пермь ($\lambda=3$ ч. 45 м.) находится в IV поясе, а по декретному времени в V. Вопрос: до полудня или после полудня слушают там последние известия, передаваемые по радио из Москвы в 12 ч.? Декретное время в Перми на 2 часа впереди московского, т. е. $12 \text{ ч.} + 2 \text{ ч.} = 14 \text{ ч.}$, местное время:

$$m = 14 \text{ ч.} - 5 \text{ ч.} + 3 \text{ ч. } 45 \text{ м.} = 12 \text{ ч. } 45 \text{ м.},$$

т. е. после полудня.

3. Каково поясное время в Киеве, когда по местному среднему времени там 7 ч. 20 м.? Киев относится ко II часовому поясу, а долгота его $\lambda=2$ ч. 2 м. Следовательно,

$$T_{\Pi} = 7 \text{ ч. } 20 \text{ м.} + 2 \text{ ч.} - 2 \text{ ч. } 2 \text{ м.} = 7 \text{ ч. } 18 \text{ м.}$$

Значит, местное время в Киеве только на две минуты отличается от поясного. По декретному времени это будет 8 ч. 18 м.

4. Определить местное время в Каменец-Подольске, когда часы, идущие по московскому декретному времени, показывают 8 ч. 32 м. Каменец-Подольск имеет долготу 1 ч. 46,3 м. и находится в том же поясе, что и Москва, т. е. во II, или III декретном. Поэтому

$$m = 8 \text{ ч. } 32 \text{ м.} - 3 \text{ ч.} + 1 \text{ ч. } 46,3 \text{ м.} = 7 \text{ ч. } 18,3 \text{ м.}$$

Для выполнения всех этих расчетов для главных городов Советского Союза в конце книги даны их широта и долгота (см. Приложение V, стр. 144—146). Для определения номеров часовых поясов можно использовать карту (Приложение XXI).

§ 10. Приближенные способы определения времени

Познакомившись с тем, как связано измерение времени с суточным вращением, которое мы наблюдаем по изменению положения небесных светил относительно горизонта, мы можем приближенно определить время, глядя на небо и не пользуясь часами и какими-либо инструментами.

Уже по положению Солнца днем на небе можно приблизительно определить время, если вспомнить, что около 7 час. (по декретному времени, вернее около 6 час. по местному времени) Солнце бывает над точкой востока, в полдень—над точкой юга и около 19 час.—над точкой запада. Замечая много раз положение Солнца, можно приучиться на глаз определять время с точностью до получаса. Надо заметить, что зимой (в декабре—январе) на широтах, близких к 55° , Солнце восходит около 9 час. и заходит около 16 час. (см. рис. 6, стр. 21).

Ночью указателем времени могут служить звезды и среди них прежде всего звезды Б. Медведицы, которую мы всегда можем найти на безоблачном небе. Она, как и все созвездия, совершает свой суточный оборот вокруг полюса мира. Для приближенного определения времени мы можем вообразить на небе «стрелку», проходящую от Полярной звезды к двум крайним звездам ковша Б. Медведицы (α и β). Эта стрелка как бы закреплена у Полярной звезды и за сутки делает полный оборот вокруг нее. При этом за час стрелка поворачивается своим концом приблизительно на ширину ковша (промежуток между звездами β и γ), за 2 часа вся Б. Медведица очень заметно изменит свое положение, а за 6 час. она сделает четверть своего полного оборота (рис. 30). Зная это, следует попрактиковаться сначала с часами, а потом на глаз определять протекшее время по «стрелке» Б. Медведицы.

Наиболее удобно определять время по Б. Медведице в осенние и зимние вечера. В день осеннего равноденствия, 23 сентября, около 23 час. по гражданскому времени «стрелка» Б. Медведицы бывает направлена прямо вниз от Полярной звезды к точке севера. Благодаря изменению вида ночного неба в течение года такое положение Б. Медведицы наблюдается через месяц, в конце

октября—уже около 21 часа, в конце ноября—около 19 час. и т. д. Во время зимнего солнцестояния, в конце декабря, «стрелка» Б. Медведицы в полночь горизонтальна и направлена вправо от Полярной звезды. К весеннему равноденствию, в конце марта, небесная стрелка

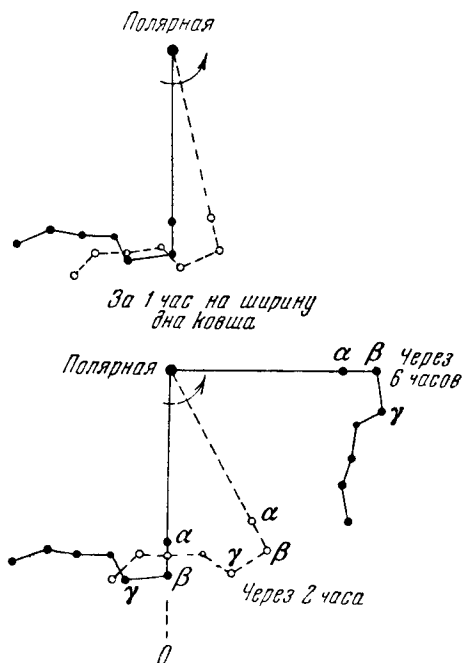


Рис. 30.

к полуночи принимает почти вертикальное положение, но направлена вверх от Полярной, так как Б. Медведицу в это время мы видим высоко над головой. В конце июня, во время летнего солнцестояния, небесная стрелка в полночь бывает вновь почти горизонтальна, но направлена уже влево от Полярной звезды.

На рис. 31 в центре расположен полюс мира, в котором приблизительно находится Полярная звезда; ковш Б. Медведицы показан в различных положениях, как он может

быть виден в различные часы в тот или иной месяц. Для ориентировки отмечен горизонт и точка севера. Надо стать лицом к Полярной; тогда вниз к горизонту от Полярной будет север, вверх—зенит. Б. Медведица изображена не семью звездами, а только четырьмя, составляющими «ковш» без «рукоятки».

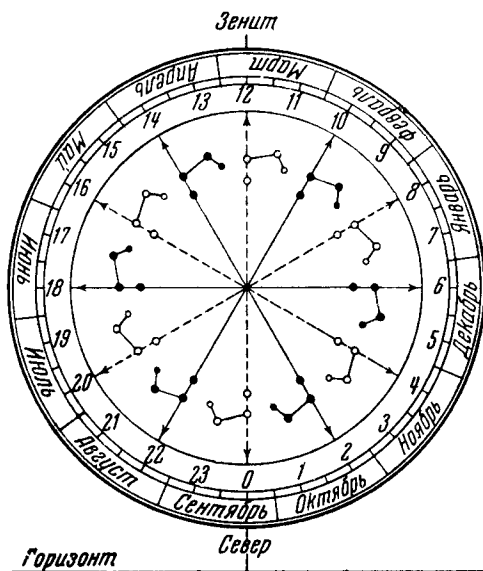


Рис. 31.

«Небесная стрелка» изображена через каждые 2 часа. На внешнем круге указано, какое положение Б. Медведицы по отношению к горизонту бывает в полночь в том или ином месяце. Основным взят день, когда небесная стрелка направлена в полночь прямо вниз к точке севера на горизонте; это бывает около 23 сентября. Для этого дня и поставлены цифры у внутреннего круга, обозначающие часы суток. Для какого-нибудь другого месяца надо представить себе эти цифры все передвинутыми так, чтобы цифра 0 приходилась против данного

месяца. Тогда будет видно, в котором часу в данном месяце небесная стрелка показывает на север. Месяцы на рис. 31 разделены на четыре части, т. е. приблизительно на недели.

Пример 1. 23 ноября в 0 час. Б. Медведица расположена по отношению к горизонту так, что ее стрелка направлена к третьему делению ноября (рис. 31). Если же мы представим себе все цифры передвинутыми так, чтобы на третьем делении ноября стоял 0, то над севером станет цифра 20. Это значит, что 23 ноября стрелка Б. Медведицы направлена вниз к северу около 20 час., или, что то же, около 8 час. вечера.

Пример 2. В 0 час. 15 августа стрелка Б. Медведицы направлена к среднему делению августа (рис. 31). Передвинув все цифры часов так, чтобы на среднем делении августа стояла цифра 0, мы увидим, что 15 августа стрелка будет направлена к северу около $2\frac{1}{2}$ час. ночи.

Пример 3. 1 января стрелка в 0 час. должна быть направлена на начало января. Если мы передвинем цифры так, чтобы 0 стоял против черты, разделяющей декабрь и январь, то для 1 января получим направление стрелки на север около $17\frac{1}{2}$ час., т. е. в $5\frac{1}{2}$ час. вечера.

Чтобы легче ориентироваться в положениях Б. Медведицы в различные часы и в разные месяцы, мы предлагаем устроить подвижную модель «Полярные звездные часы». В конце книги приложены две отпечатанные части этих часов (Приложение XVII):

1) неподвижная, часть с кругом, на котором нанесены месяцы;

2) подвижная, с Полярной звездой у центра и положениями Б. Медведицы через каждые 2 часа.

Подвижную часть надо вырезать по внешнему кругу, сделав выемку в одном месте, около цифры 24, как это показано пунктирной линией, наложить ее на неподвижную так, чтобы центры кругов совпали, и скрепить их в центре.

При пользовании подвижной моделью надо повернуть верхнюю часть относительно нижней так, чтоб вырез стоял на соответствующем месте, а север был направлен вниз. Тогда цифры на внутреннем круге будут показывать часы ночи, соответствующие положению

Б. Медведицы относительно горизонта. Месяцы разделены черточками на недели.

Приведем еще один способ определения времени по звездам, основанный на сравнении части неба около полюса мира с циферблатом часов. Циферблат часов разделен на 12 час. Каждому часовому делению циферблата соответствует поворот небесной сферы за 2 часа. Надо

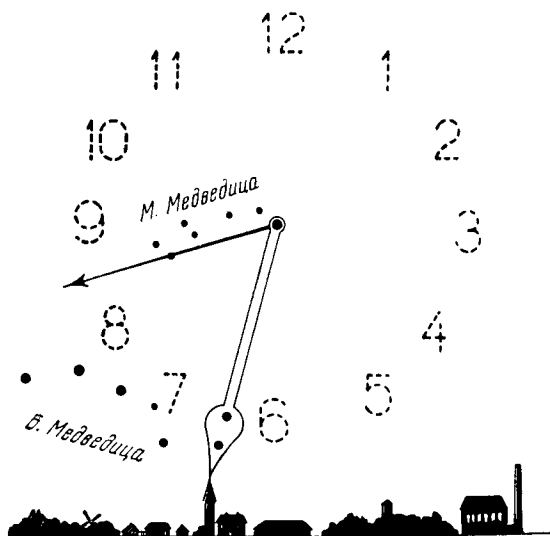


Рис. 32.

представить себе циферблат на небе с центром в Полярной звезде (рис. 32); над ней будет цифра 12, под ней—6, справа—3, слева—9. По этому воображаемому циферблату отсчитываем показание нашей небесной стрелки. На рисунке это будет 6,5 часа. Затем найдем номер месяца от начала года с десятыми долями, прошедшими от начала месяца до данного дня (каждые 3 дня считаем за одну десятую долю месяца). Например, для 12 октября надо взять число 10,4. Полученное число складываем с показанием часов и умножаем на два: $(6,5 + 10,4) \cdot 2 = 33,8$. Это число надо вычесть из некоторого постоянного для небесной стрелки Б. Медведицы числа, а именно 55,3,

чтобы получить время в данный момент, т. е. $55,3 - 33,8 = 21,5$ часа, или $9\frac{1}{2}$ час. вечера. Если бы после вычитания получилось число больше 24, то нужно вычесть из него 24.

Постоянное число 55,3 зависит от определенного расположения Б. Медведицы среди других звезд на небесной сфере.

Можно было бы взять и другую небесную стрелку, закрепленную также в полюсе мира, например стрелку, проходящую от Полярной к самой яркой после нее звездочке Малой Медведицы. Для такой стрелки постоянное число будет иное, а именно 59,1.

В этом случае расчет будет такой (рис. 32):

$$(8,4 + 10,4) \cdot 2 = 37,6,$$
$$59,1 - 37,6 = 21,5 \text{ часа.}$$

§ 11. Часы и хронометры, их проверка. Служба времени

Давно уже человек пользуется для измерения времени теми или другими механизмами или часами, движение в которых происходит согласованно с суточным движением среднего солнца, а в некоторых случаях с суточным движением точки весеннего равноденствия (звездное время). Звездное время используют главным образом при астрономических наблюдениях. До изобретения часовых механизмов с маятником и гирями или пружиной пользовались водяными и песочными часами, в которых обеспечивалось равномерное медленное переливание воды или пересыпание песка. Песочные часы и до сих пор употребляются в медицинской практике. Конечно, такие часы не обладают большой точностью. Современные механизмы даже обыкновенных наших часов несравненно точнее.

Наиболее точными часами являются астрономические часы (рис. 33) в обсерваториях и переносные хронометры (рис. 34). Астрономические часы, как и обычные стенные, приводятся в движение гирями, а равномерность их хода регулируется маятником. Но они отличаются особой тщательностью выполнения и таким устройством, которое обеспечивает предохранение их от тех или других

влияний, могущих изменить их ход. В переносных хронометрах, так же как в карманных часах, движение поддерживается периодически заводимой пружиной и

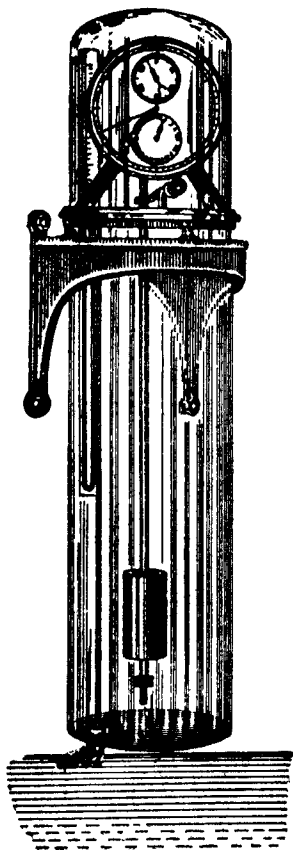


Рис. 33.

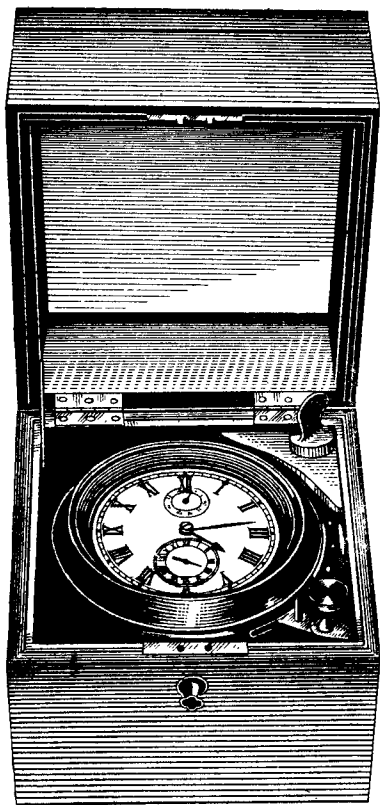


Рис. 34.

регулируется колебаниями баланса или колесика с упругой спиралькой—«волоском».

Обычно астрономические стенные часы отбивают секунды, а хронометры—полусекунды. Как бы тщательно ни был сделан механизм часов, все-таки могут происхо-

дить нарушения равномерности и постоянства их хода вследствие изменения температуры, давления воздуха, ослабления силы заводной пружины, длины маятника, деформации по разным причинам отдельных частей и пр. Поэтому всякие часы нуждаются в периодической проверке по наблюдениям звезд или по сигналам точного времени, передаваемым из астрономических обсерваторий. При этом в астрономических часах и хронометрах обычно не передвигают стрелки, а замечают неправильность их показаний и определяют так называемую поправку.

Поправкой часов называют число минут и секунд, которые надо прибавить к показанию часов; чтобы получить точное время. Поправка U определяется формулой

$$T_0 = T + U, \text{ или } T_0 - T = U,$$

где T_0 —точное время, T —показание часов. Если часы совершенно точны, то поправка равна нулю. Поправка бывает положительна, если часы отстают, и отрицательна, если часы ушли вперед.

Пример. В момент подачи сигнала точного времени в 7 ч. 0 м. 0 с. одни часы показывали 6 ч. 58 м. 30 с., другие—7 ч. 2 м. 15 с. Для первых часов получим поправку 7 ч. 0 м. 0 с.—6 ч. 58 м. 30 с.=+1 м. 30 с., для вторых: 7 ч. 0 м. 0 с.—7 ч. 2 м. 15 с.=−2 м. 15 с. Первые часы отстают на 1 м. 30 с., вторые ушли вперед на 2 м. 15 с.

Если бы при периодической проверке часов поправка у них оставалась одна и та же, то это значило бы, что часы идут совершенно равномерно. Но обычно поправка изменяется в ту или другую сторону. Изменение поправки часов за сутки называется *ходом часов*. Отстающие часы имеют положительный ход (поправка увеличивается), а уходящие вперед—отрицательный ход.

Пусть, например, при проверке 5 марта в 7 ч. 0 м. 0 с. поправка $U_1 = +1$ м. 20 с., при проверке 6 марта в 12 ч. 0 м. 0 с. поправка $U_2 = +1$ м. 45 с. Поправка изменилась за промежуток 1 д. 5 ч., равный 1,2 суток, следовательно, суточный ход часов будет равен

$$\frac{1 \text{ м. } 45 \text{ с.} - 1 \text{ м. } 20 \text{ с.}}{1,2} = \frac{25 \text{ с.}}{1,2} = +21 \text{ сек.}$$

В данном случае суточный ход получился положительным, т. е. часы отстают.

Пример ежедневной проверки часов:

Дата	Точный момент	Показание часов	Поправка	Суточный ход
1944 г. Май				
25	7 ч. 00 м. 00 с.	7 ч. 00 м. 23 с.	—23 с.	+10 с.
26	То же	7 ч. 00 м. 13 с.	—13 с.	+12 с.
27	» »	7 ч. 00 м. 01 с.	—01 с.	+15 с.
28	» »	6 ч. 59 м. 46 с.	+14 с.	+11 с.
29	» »	6 ч. 59 м. 35 с.	+25 с.	+14 с.
30	» »	6 ч. 59 м. 21 с.	+39 с.	

Суточный ход составляет в среднем

$$\frac{+10 + 12 + 15 + 11 + 14}{5} = \frac{+62}{5} = +12,4 \text{ сек.}$$

Значит, часы ежедневно отстают в среднем на 12 сек. Колебания суточного хода у данных часов сравнительно со средним ходом были в пределах 2—3 сек. Для карманных часов такой ход считается очень хорошим. У лучших же хронометров суточный ход остается постоянным в пределах 0,1—0,2 сек.

Зная ход часов и поправку их для определенного момента, можно вычислить поправку и для какого-нибудь другого момента. Продолжим только что приведенный пример, и вычислим поправку для показания часов 2 июня. С 30 мая прошло 3 суток. Суточный ход часов +12,4; за трое суток поправка изменится на +37 с. Это число и надо прибавить к прежней поправке на 30 мая. Получим новую поправку: +39 с. +37 с. = +1 м. 16 с. 2 июня часы отстают на 1 м. 16 с.; эту поправку и надо прибавить к их показанию, чтобы получить точное время. Но не рекомендуется рассчитывать поправку далеко вперед, так как суточный ход может сильно измениться. Лучше всего ежедневно определять поправку часов по радиосигналам времени.

Знание точного времени требуется для самых разнообразных нужд современной жизни—научной, производственной деятельности, для составления точных карт,

для всякого рода экспедиций по исследованию и освоению природных богатств. В некоторых работах требуется знание времени с точностью до сотых и даже тысячных долей секунды. Для того чтобы удовлетворить все потребности в точном времени, при ряде астрономических обсерваторий организованы так называемые *службы времени*. Они имеют три основные функции: определение, хранение и передачу точного времени.

Определение точного времени производится при помощи наблюдений пассажным инструментом моментов кульминации определенных звезд, для которых с большой точностью известны их прямые восхождения. В современных установках отметка момента прохождения звезды через центр поля зрения выполняется автоматически на равномерно движущейся ленте, с помощью аппарата, подобного телеграфному. От этого аппарата идет провод к месту наблюдения (к пассажному инструменту), где в момент прохождения звезды через меридиан замыкается ток, и перо на ленте делает знак. Другое перо, находящееся рядом, приводится в движение при замыкании тока, идущего по проводу от маятниковых часов, где замыкание тока производится при каждом колебании маятника и отмечаются последовательные секунды. Измерением на ленте и определяется поправка часов. Такие приборы для регистрации времени называются *хронографами*.

При проверке хронометра непосредственным наблюдением наблюдатель смотрит в трубу, слушает и считает по ударам в уме секунды, заметив то показание часов, с которого он начал считать. Это менее точный способ, но он может понадобиться в экспедиции.

Нужно обеспечить знание точного времени и в промежутках между наблюдениями, которые иногда могут быть довольно длительными из-за пасмурной погоды. Для этого обсерватория имеет точно идущие часы особого устройства. Они помещаются в подвалах, в безопасности от сотрясений, где сохраняется постоянство температуры и давления воздуха. Ход часов в течение достаточно длительного времени хорошо изучен. Изготовление таких особо точных часов освоено в СССР мастерскими Всесоюзного института метрологии.

В последние годы созданы и вошли в практику кварцевые часы, которые по точности превзошли астрономические маятниковые часы. Точность их достигает 0,001 и даже 0,0001 секунды в сутки.

При помощи радиоаппаратуры и радиопередаточной станции служба времени выполняет и третью функцию—регулярную передачу точного времени. Передача точного времени по радио производится ширококещением, обыкновенными сигналами и ритмическими сигналами. Для обычных практических надобностей и целей ориентировки достаточно ширококещательной передачи времени, которая производится ежечасно, причем в 7 ч. 00 м., в 12 ч. 00 м. и в 19 ч. 00 м. по московскому времени с объявлением диктора, а в остальное время—на фоне передач. При этом даются шесть коротких гудков (точек); начало последнего совпадает с указанными моментами с точностью до 0,1 сек.

Обыкновенные сигналы точного времени, как и ритмические сигналы, передаются некоторыми радиостанциями на определенной длине волны и в заранее известные моменты времени для специальных надобностей.

Ритмические сигналы даются при помощи так называемых часов-нониуса. У них минута среднего времени делится не на 60, а на 61 часть, и время полного колебания маятника составляет $\frac{60}{61}$ средней секунды. Замыкание тока при каждом колебании передается в эфир и принимается соответственно настраиваемыми радиоприемниками в виде звуковых «точек». Такие сигналы подаются в течение 5 мин. пятью сериями по 61 сигналу в каждой, причем начальный сигнал передается более продолжительным «тире». Так как интервалы между сигналами короче секунды, то, слушая их и удары проверяемого хронометра, можно замечать их совпадение и расхождение. Если, например, первый сигнал передан в 14 ч. 01 м. 0 с., совпадение произошло на 21-м сигнале, а показание хронометра 14 ч. 01 м. 25 с., то точное время в момент совпадения

$$14 \text{ ч. } 01 \text{ м. } + 20 \cdot \frac{60 \text{ с.}}{61 \text{ с.}} = 14 \text{ ч. } 01 \text{ м. } 19,7 \text{ с.}$$

Значит, поправка $u = -5,3$ сек.

Служба времени в Советском Союзе охватывает большое число научных учреждений, проделавших значительную работу по повышению точности определения времени и передаваемых сигналов. Научные работники Государственного астрономического института им. Штернберга создали и освоили новые оригинальные конструкции приборов, позволившие отсчитывать моменты времени до 0,001 сек. Сейчас наша Служба времени во многих отношениях опередила лучшие службы времени капиталистических стран.

Одним из важнейших участков работы Службы времени является астрономическое определение поправок часов, которое производится с помощью пассажного инструмента, путем наблюдения прохождений через меридиан некоторых звезд, называемых часовыми. Эти наблюдения дают не особенно точные результаты вследствие того, что сказываются личные ошибки наблюдателя и другие причины. Поэтому чрезвычайно большое значение имеет сконструированная астрономом Пулковской обсерватории проф. Н. Н. Павловым установка для автоматической регистрации прохождения звезд через меридиан с помощью фотоэлемента.

§ 12. Летосчисление и календарь

Большие промежутки времени неудобно измерять сутками. Правильное периодическое чередование времен года—весны, лета, осени и зимы—издавна послужило человеку для установления более крупной единицы времени—года.

Однако год не содержит целого числа более мелких единиц—суток. В этом заключается особенность измерения времени сравнительно с измерением других величин (длины, веса), для которых установлена одна основная единица (метр, грамм), а бóльшие и меньшие меры берутся в кратном к ней отношении. Сутки же и год определяются не нашим произволом, а периодический повторяемостью природных явлений, связанных с двумя движениями Земли. Между тем для практики счета времени надо все-таки употреблять такой год, в котором всегда было бы целое число суток. Для этого понадобилось

вводить условный год и устанавливать правила счета дней и годов, т. е. то, что называется календарем. Условный календарный год должен возможно меньше отличаться от так называемого тропического, в течение которого происходит смена времен года.

Появление календаря и его последующее усовершенствование тесно связаны с производственными потребностями. Но на всей истории календаря оставили свои следы также религиозные и мифические наслоения, искажавшие истинный характер и назначение летосчисления (связь с днями, посвящаемыми различным божествам, установление разных обрядов, религиозных праздников и пр.).

У восточных народов преобладали лунные календари, в которых за основу календарного счета брался месяц как период смены фаз Луны, но он тоже не включает в себе целого числа суток. Современный же календарь, принятый в громадном большинстве стран, солнечный и ведет свое начало от египетского календаря.

Египетским астрономам уже более 2000 лет назад было известно, что продолжительность тропического года составляет около $365\frac{1}{4}$ суток. Однако в разных странах летосчисление долгое время велось так, что длина календарного года сильно отличалась от этого числа. Несоответствие календаря с временами года нарушало производственный распорядок. Например, праздник жатвы стал приходиться на зиму, перепутывались сроки взимания налогов и пр. Все это вызвало необходимость упорядочения календаря. В 46 году до нашей эры римским правителем Юлием Цезарем с помощью астронома Созигена, хорошо знакомого с египетским календарем, была произведена календарная реформа и введен календарь, получивший название юлианского. Созиген предложил принять продолжительность тропического года в 365 суток 6 часов, причем, для того чтобы каждый год содержал целое число суток, считать три года по 365 суток, в четвертом же—366 суток. Так были установлены простые и високосные годы. В дальнейшем и было принято правило считать високосным годом всякий, число которого делится на четыре. Деление на месяцы оставлено такое же, каким оно было в древнем римском календаре, по 30 и дню за исключением февраля—с 28 или 29 днями.

Принятая в юлианском календаре продолжительность тропического года оказалась неточной, и за большой промежуток времени расхождение календарного счета с наступлением времен года стало очень велико.

Следующая реформа календаря была проведена в 1582 году нашей эры. Поводом для этого послужили затруднения в назначении христианского праздника пасхи. Дело в том, что решением так называемого Никейского собора, происходившего в 325 году нашей эры, пасха должна праздноваться в первое воскресенье после полнолуния, следующего за днем весеннего равноденствия. Это, между прочим, указывает на производственное происхождение самого этого праздника, взятого христианами из религий восточных народов и связанного с наступлением весны, оживлением природы и началом весенних работ. В год Никейского собора весеннее равноденствие приходилось на 21 марта, что соответствует началу весны. Но по юлианскому календарю продолжительность года в среднем была 365 д. 6 ч., а действительный тропический год несколько короче, а именно 365 д. 5 ч. 49 м. (с точностью до 1 мин.). За 400 лет накапливается ошибка почти в 3 суток. Так как юлианский календарный год длиннее, то весеннее равноденствие наступало все в более ранние числа по календарю, и к 1582 году весеннее равноденствие приходилось уже не на 21 марта, а на 11 марта, т. е. расхождение достигло 10 дней. Распоряжением римского папы Григория XIII было произведено исправление календаря. Так как календарный счет отстал, то приказано было прибавить к счету чисел 10 дней: 5 октября приказано было считать 15 октября. В дальнейшем оставлен тот же счет с чередованием трех простых и четвертого високосного годов, как и по юлианскому календарю. Для устранения накапливающейся за 400 лет ошибки в 3 суток введено дополнительное правило, касающееся вековых годов, т. е. годов, число которых оканчивается двумя нулями. Все числа, оканчивающиеся двумя нулями, как известно, делятся на четыре, а потому все такие годы по юлианскому календарю считаются високосными. По новому же, григорианскому календарю не все такие годы считаются високосными, а только те, у которых число сотен делится на четыре. Таким образом, 1600 год

был високосным по тому и другому календарям, а уже 1700 год по юлианскому календарю високосный, а по григорианскому простой, так как число 17 не делится на четыре, и юлианский счет с 1700 года отстал еще на один день; расхождение составило уже 11 дней и оставалось таким в течение всего XVIII века. Наступивший 1800 год по тем же соображениям был в григорианском календаре простым; расхождение достигло 12 дней. После 1900 года расхождение увеличилось еще на 1 день, т. е. стало равно 13 дням, и останется таким до 2100 года.

Юлианский календарь называют также старым стилем, а григорианский—новым стилем. Новый стиль, хотя он лучше согласуется со сменой времен года, не сразу был введен в различных странах. В нашей стране царское правительство и тесно связанная с ним церковь всячески сопротивлялись переходу на новый стиль, несмотря на многочисленные попытки научных кругов ввести этот более согласующийся с природой счет. Только вскоре после Великой Октябрьской социалистической революции Советская власть, уничтожившая какое бы то ни было влияние церкви на государственные дела, разрешила вопрос о календаре. 25 января 1918 года В. И. Лениным был подписан декрет, по которому предписывалось считать 14 февраля вместо 1 февраля 1918 года, и, начиная с этого дня, вести счет дат по новому стилю. Таким образом, в 1918 году у нас было не 365 дней, а 352 дня.

Чтобы перевести дату какого-нибудь события старого стиля на новый, надо прибавить к дате старого стиля столько дней, какова была разница между новым и старым стилями в том столетии. Например, дата рождения В. И. Ленина 10 апреля 1870 г. по старому стилю, по новому же стилю—это 22 апреля; Великая Октябрьская социалистическая революция произошла 25 октября 1917 г. по старому стилю, а празднуем мы этот день 7 ноября по новому стилю.

Когда мы говорим «наша эра», мы имеем в виду начало счета годов. У нас этот счет введен только при Петре I, а до того считали от мифической даты сотворения мира. Вообще же в разных странах и в разные времена существовали самые разнообразные эры. Все они либо свя-

заны с именами царей, либо берут начало от мифических и легендарных событий. Такой же мифической является и наша эра, которую связывают с рождением Христа, в истории не существовавшего. А введена она была неким монахом Дионисием Малым. Определенный год, когда он жил, он предложил считать 532-м годом от этого никому не известного события. Выбрано же было это число им потому, что оно было удобно для определений дат христианских праздников и других расчетов, связанных с астрономическими явлениями.

Несовершенство современного календаря лежит практически в нецелесообразном подразделении календарного года на месяцы и недели.

Перед второй мировой войной был разработан проект календаря, в котором предлагалось делить год на 4 квартала, в каждом из них считать первый месяц в 31 день, два другие—по 30 дней, а всего в квартале 91 день, в четырех кварталах 364 дня. Неделя должна была остаться семидневной, причем любой квартал насчитывал бы 13 недель. В конце каждого года предлагалось вставлять дополнительный день, который должен быть международным нерабочим днем без числа и месяца и без наименования дня недели. В високосные же годы предлагалось вставлять подобный же дополнительный день в конце II квартала.

Вопрос о введении такого календаря поставлен в настоящее время в Организации Объединенных Наций. Наиболее целесообразно его ввести с 1 января 1961 года, когда новый год совпадет с началом недели.

В астрономических вычислениях оказался удобным особый непрерывный счет дней, так называемый юлианский период, за начало которого принято 1 января 4713 года до нашей эры. Это—произвольно выбранный, но столь далекий момент, чтобы все исторические даты были позже него. Выражается юлианский счет дней обычно числом дней от этого начала. Например, 1 января 1958 года соответствует 2436205-му юлианскому дню. Таблицы юлианских дней помещаются в астрономических ежегодниках.

ГЛАВА IV

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ШИРОТЫ И ДОЛГОТЫ. ЛИНИЯ ПЕРЕМЕНЫ ДАТЫ

Положение каждого места на Земле, как известно, определяется его двумя координатами: широтой и долготой.

Широта обозначается буквой φ и отсчитывается от экватора по меридиану, а долгота обозначается буквой λ и отсчитывается по экватору или по параллели от начального меридиана. Широта различается *северная* (для всех мест северного полушария Земли) и *южная* (для всех мест южного полушария). Географическую широту можно определить как угол между вертикальным направлением в данном месте и плоскостью экватора. За начальный меридиан, как уже говорилось, принят по международному соглашению тот, который проходит через Гринич, близ Лондона.

Долготу отсчитывают или в одну сторону на восток от 0 до 360° , или в обе стороны от 0 до 180° и в последнем случае различают *восточную* (отсчитываемую к востоку) и *западную* (отсчитываемую к западу) долготы. Зная широту и долготу того или иного места на Земле, мы можем разобраться, где мы находимся, можем нанести это место на карту и определить его положение по отношению к другим пунктам. Определения долготы и широты производятся путем наблюдений и измерений положений небесных светил.

Чтобы ознакомиться со способами, какими находятся широта и долгота места по положению светил на небесной сфере, надо уяснить себе, как меняется вид звездного неба при изменении места на Земле, с которого мы наблюдаем небо.

§ 13. Измерение широты

Всякий, кому приходилось бывать, положим, на Украине, на Кавказе или в Ленинграде, Мурманске, легко мог заметить, что на севере, где широта больше, Полярная звезда стоит выше над горизонтом, а чем южнее,

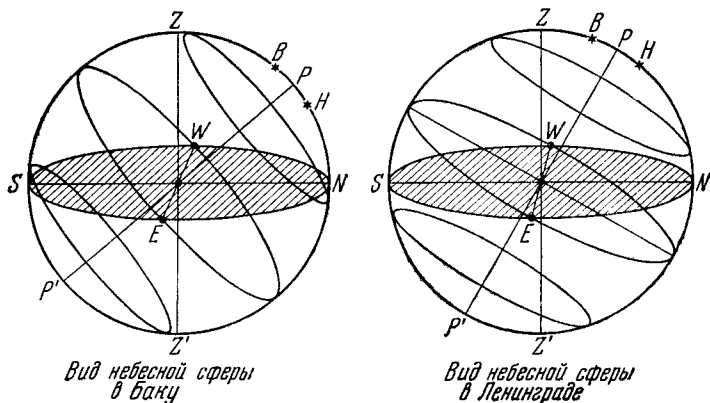


Рис. 35.

чем широта меньше, тем ниже Полярная опускается к горизонту. Суточные параллели звезд имеют соответственно различный наклон к горизонту.

На рис. 35 для примера показан сравнительный вид небесной сферы в Баку (широта 40°) и в Ленинграде (широта 60°). Та звезда, которая в Баку заходит на некоторое время, в Ленинграде круглые сутки находится над горизонтом. В Баку появляются над горизонтом те звезды южного полушария, которые в Ленинграде круглые сутки под горизонтом и совсем не могут быть видимы там.

Таким образом, уже наблюдение суточного вращения неба, положение полюса и оси мира по отношению к горизонту дают нам возможность судить, на каких широтах Земли мы находимся.

Рассмотрев подробнее зависимость между широтой места и высотой полюса, мы получим более точные способы определения широты.

Отметим на земном шаре его ось вращения, экватор и место M , где находится наблюдатель (рис. 36). Дуга AM земного меридиана дает нам широту места M на Земле; она соответствует углу при центре Земли MOA . Прямая линия OM , представляющая собой радиус Земли, дает направление вертикали в месте наблюдения и идет к его зениту Z . Проведя перпендикуляр к вертикали MZ в точке M , мы получаем направление плоскости горизонта в этом месте MN . Ось мира, или ось видимого суточного вращения неба, должна быть параллельна оси Земли, потому что ее направление и есть то направление, около которого происходит действительное вращение Земли и которое не меняется от того, что наблюдатель переходит с одного места поверхности Земли на другое. Проведя ось мира из точки M параллельно оси вращения Земли, мы видим, что угол, обозначающий наклон оси мира к горизонту, равен по своей

величине углу MOA при цент-

ре Земли, который обозначает широту места. Наклон же оси мира к горизонту равен высоте полюса мира над горизонтом.

Получаем простое, но очень важное соотношение: *широта места на Земле равна высоте полюса мира на небесной сфере*. Следовательно, если мы хотим точно определить широту места, надо только измерить высоту полюса мира.

Если принять во внимание, что форма Земли отступает от шаровой, то и тогда равенство географической широты и высоты полюса мира остается в силе. Только в этом случае вертикаль, продолженная внутрь Земли, вообще не пройдет через центр Земли. Но географическая широта, равная углу между вертикалью и плоскостью экватора, и здесь, как это видно из рис. 37, равна высоте полюса мира над горизонтом.

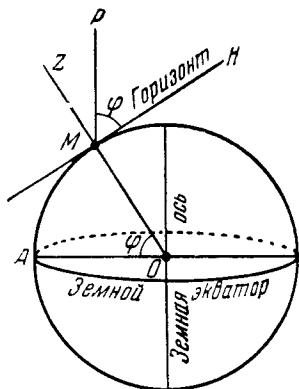


Рис. 36.

Если считать, что Полярная звезда указывает нам полюс мира, то приблизительно высота Полярной дает нам широту места. Но Полярная находится от полюса на расстоянии 1° . Зная это, можно более точно определить широту, если измерять высоту Полярной в моменты ее верхней и нижней кульминации. Высоту полюса, а стало быть, и широту, мы получим, прибавив 1° к высоте Полярной в нижней кульминации или отняв 1° от высоты ее в верхней кульминации.

Определение географической широты места можно производить не только в моменты кульминаций Полярной. В течение суток Полярная звезда описывает около полюса мира круг и бывает то выше, то ниже, то на одном уровне с полюсом. Каждое из этих положений она проходит в одни и те же часы по звездному времени. В прилагаемой таблице дается поправка $\varphi - h$, выраженная в минутах дуги. Эту поправку следует прибавить (+) или вычесть (—) из измеренной высоты h Полярной, чтобы получить высоту полюса мира,

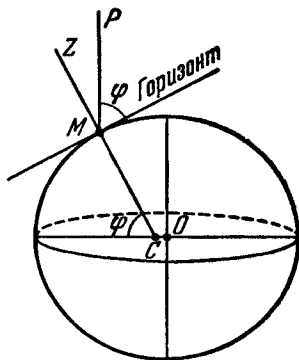


рис. 37.

Местное звездное время	Поправка	Местное звездное время	Поправка
0	—51'	12	+51'
1	—56	13	+56
2	—58	14	+58
3	—55	15	+55
4	—49	16	+49
5	—39	17	+39
6	—27	18	+27
7	—13	19	+13
8	+ 3	20	— 3
9	+17	21	—17
10	+31	22	—31
11	+43	23	—43
12	+51	24	—51

а, следовательно, широту места φ . Если наблюдение производится не точно в указанные в таблице часы, то можно рассчитать поправку для данного момента, полагая, что ее изменение пропорционально времени. Пусть, например, наблюдение производится в 6 ч. 20 м. звездного времени. За 1 час, от 6 до 7 ч., поправка убывает на $27' - 13' = 14'$, а за 20 минут она уменьшится на $14' \cdot \frac{20}{60} = 5'$. Следовательно, в 6 ч. 20 м. поправка будет $27' - 5' = 22'$ со знаком минус. Звездное время для полуночи через 10 дней каждого

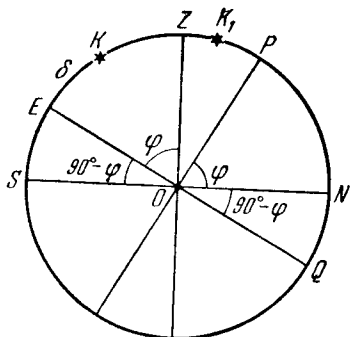


Рис. 38.

месяца дано в Приложении XI (стр. 152) в четвертой графе. При помощи этого приложения также можно рассчитать показание звездных часов в любой промежуточный день и час.

Можно определять широту места и по любому светилу, по любой звезде на небе. Надо выбрать такую звезду, которая близка к меридиану, т. е. к кульминации. В самый момент кульминации, т. е. когда звезда

придет как раз на меридиан, можно измерить ее высоту, а по ней, зная склонение звезды, вычислить и широту места.

Возьмем уже знакомое нам сечение небесной сферы плоскостью меридиана (рис. 38). Высота полюса мира (дуга PN или угол PON) дает широту φ , угол NOQ , равный $90^\circ - \varphi$, дает наклон плоскости небесного экватора к плоскости горизонта. Пусть звезда кульминирует в точке K . Дуга KE обозначает дуговое расстояние от звезды до экватора, т. е. склонение звезды δ . Если же взять дугу KS , то она даст дуговое расстояние от звезды K до горизонта, т. е. высоту звезды h .

Совершенно очевидно из чертежа, что

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

откуда

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

По этой формуле мы и можем вычислять широту. При этом h мы измеряем угломерным инструментом, а δ берем с карты или из каталога.

Пример. Измеренная в момент верхней кульминации высота звезды Веги (созвездие Лиры) оказалась равной 70° , склонение же Веги, как видно по звездной карте, равно $+40^\circ$. Подставляем эти значения в формулу и находим:

$$\varphi = 40^\circ + 90^\circ - 70^\circ = 60^\circ.$$

Если высота измерена, то известно и зенитное расстояние, которое всегда дополняет высоту до 90° . Если ввести в предыдущую формулу зенитное расстояние вместо высоты, то получим:

$$\varphi = \delta + z.$$

Это хорошо видно на рис. 38, где дуга $ZE = \varphi$, дуга $KE = \delta$ и дуга $KZ = z$.

В приведенном выше примере $h = 70^\circ$, стало быть,

$$z = 90^\circ - 70^\circ = 20^\circ.$$

Подставляя эти значения в нашу последнюю формулу, получаем:

$$\varphi = 40^\circ + 20^\circ = 60^\circ.$$

Надо заметить, что приведенная формула справедлива, когда звезда кульминирует к югу от зенита. Если же звезда имеет верхнюю кульминацию к северу от зенита (на рис. 38 K_1), то склонение такой звезды больше φ , и вторую формулу придется написать так:

$$\varphi = \delta - z.$$

Оба случая можно объединить одной формулой

$$\varphi = \delta \pm z.$$

Пример. Измеряем высоту звезды α Б. Медведицы в момент ее верхней кульминации и находим $h = 82^\circ$, а значит, зенитное расстояние $z = 8^\circ$. При этом мы замечаем, что эта звезда кульминирует к северу от зенита. Поэтому для вычисления употребляем формулу

$$\varphi = \delta - z.$$

Значение δ берем с карты или из таблиц, а именно: $\delta = +62^\circ$. Подставляем эти числа в нашу формулу и получаем:

$$\varphi = 62^\circ - 8^\circ = 54^\circ.$$

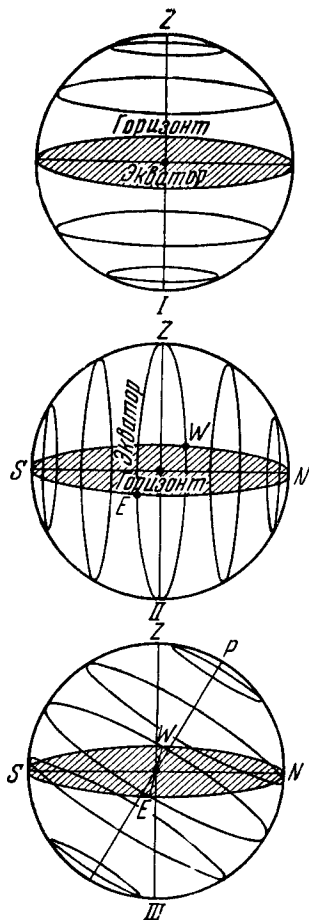


Рис. 39.

По мере нашего продвижения к северу полюс мира поднимается над горизонтом, и соответственно меняются видимые суточные круговые пути на небе у всех звезд. Их наклон к горизонту все уменьшается. От высоты полюса мира над горизонтом и положения видимых суточных кругов зависит, какие звезды для данного места совсем не будут заходить и, значит, будут видимы на небе во всякое время ночи. Точно так же на данной широте определенные звезды будут восходить и заходить, а других звезд мы никогда не сможем видеть, так как они совершают свое суточное вращение все время под горизонтом, не восходя. Легко видеть, что для места с широтой φ всякое светило, у которого $\delta > 90^\circ - \varphi$, является незаходящим.

Например, на широте 60° (в Ленинграде) полюс мира поднимается на 60° над горизонтом. Звезда α Андромеды имеет склонение около $+30^\circ$ и отстоит от полюса на $90^\circ - 30^\circ = 60^\circ$. Поэтому она на широте 60° почти касается горизонта в нижней кульминации и весь свой видимый суточный путь совершает над горизонтом. Всякая звезда, имеющая склонение больше 30° , находится еще ближе к полюсу и является звездой, не заходящей в этом месте. Если же склонение звезды мень-

ше 30° , то она имеет большее, чем 60° , расстояние от полюса, а потому является заходящей звездой и в нижней кульминации находится под горизонтом.

Рассматривая подобным же образом расположение звезд в южном небесном полушарии, мы видим, что при суточном вращении коснется горизонта с южной стороны звезда, имеющая склонение -30° (например, одна из звезд созвездия Скорпиона). Всякая же звезда, у которой южное склонение численно больше 30° (ближе к южному полюсу), будет на широте Ленинграда невосходящей.

Чтобы яснее было, как меняется вид неба с изменением широты, изобразим его (рис. 39) для наблюдателя, находящегося на полюсе Земли,—*I*, на экваторе Земли—*II* и на промежуточной широте, например 60° С,—*III*.

Для приближенного определения широты места по высоте звезды можно использовать упрощенный высотомер (см. Приложение XX.)

§ 14. Измерение долготы

В сообщениях о первомайских демонстрациях или всенародном празднике Великого Октября в нашей обширной стране мы нередко читаем, что Москва еще спит, погруженная в ночную тьму, а на Дальнем Востоке, в Восточной Сибири уже утро, улицы заполнены народом, демонстрирующим мощь и единство всей нашей многонациональной страны. Время передается из Москвы по радио для Дальнего Востока в 1 час ночи. А радиопередачи, организуемые у нас для западных стран, большей частью ставятся поздно ночью, так как у них в это время еще вечер.

Чем дальше к востоку находится на Земле данное место, тем раньше там восходит Солнце, наступает полдень, а стало быть, и полночь (начало суток); там время идет впереди по сравнению с временем мест, лежащих западнее. Это и понятно, если вспомнить, что земной шар все время вращается с запада на восток, а для наблюдателя Солнце и все небесные светила поднимаются над горизонтом с восточной стороны. Отсюда становится ясной связь между долготой места и временем в этом

месте. Эта-то связь и дает возможность измерять долготу того или другого пункта на земной поверхности.

Измерение долготы основано на том, что *разность местных времен численно равна разности долгот, выраженной в часах* (см. стр. 68).

Имея более или менее точно идущие часы или хронометр, поставленные по всемирному времени и выверенные по радиосигналам, мы можем определить долготу места. Для этого из наблюдений над звездами или Солнцем находится местное среднее время. Разница его с показанием хронометра и даст долготу места.

Пример. Местное время, полученное из наблюдений $T_m = 12$ ч. 20 м., а хронометр показывает, что в этот момент всемирное время $T_v = 10$ ч. 45 м. Значит, долгота $\lambda = T_m - T_v = 12$ ч. 20 м. — 10 ч. 45 м. = 1 ч. 35 м. = $23^\circ 45'$ В.

Не обязательно иметь часы, идущие по всемирному времени. Можно иметь часы, идущие по московскому времени (декретному), и, зная, что оно соответствует времени третьего пояса, средний меридиан которого проходит по долготе 45° , можно по разности времен местного и московского найти долготу данного места.

Рассмотрим предыдущий пример. Если хронометр по всемирному времени показывал 10 ч. 45 м., то по московскому времени он показывал 13 ч. 45 м. и разность долгот составляла 12 ч. 20 м. — 13 ч. 45 м. = —1 ч. 25 м. = $-21^\circ 15'$, т. е. это место западнее меридиана 45° на $21^\circ 15'$ и его долгота равна: $45^\circ - 21^\circ 15' = 23^\circ 45'$ В.

Как видно, точность измерения долготы зависит от той точности, с какой производится определение времени.

§ 15. Линия перемены даты

Сутки, а значит, и следующее календарное число, начинаются в каждом месте в полночь. В различных же местах, отличающихся по долготе, сутки начинаются в разное время: чем восточнее место, тем раньше наступает там полночь. Если человек отправится в восточном направлении, например из Москвы (II пояс), и прибудет в тот же день в Свердловск (IV пояс), то он начнет сутки с москвичами, а закончит их со свердловцами, у которых

полночь наступит на 2 часа раньше. У нашего путешественника продолжительность суток окажется не 24 часа, а 22 часа. Если отправиться не к востоку, а к западу, то сутки окажутся продолжительнее 24 часов.

Представим себе, что на начальном меридиане—полночь с 21 марта на 22 марта. В I поясе в это время—1 час утра 22 марта, а в XXIII поясе 11 час. вечера 21 марта; во II поясе 2 часа утра 22 марта, а в XXII поясе 10 час. вечера 21 марта и т. д. Мы придем к тому, что на среднем меридиане XII пояса (долгота 180°) будет с одной стороны 12 часов дня 22 марта, а с другой—12 часов дня 21 марта. Следовательно, даты в соседних местах по обе стороны этого меридиана должны отличаться на сутки. Меридиан этот проходит между Азией и Америкой по Тихому океану, т. е. по почти ненаселенному месту. К меридиану 180° и отнесена линия перемены даты. Пересекая эту линию с запада на восток, следует с полуночи повторять предшествовавшую дату. Например, после 1-го числа считать опять 1-е. Пересекая же ее с востока на запад, следует с полуночи пропускать сутки, т. е., например, после 1-го считать не 2-е, а 3-е.

Практически линия перемены даты (называемая иногда демаркационной линией) проходит не точно по меридиану 180° , а местами уклоняется, огибая мысы, острова и пр., не пересекая сушу. В СССР она проходит у восточного берега Чукотского полуострова. На самой восточной точке Чукотского полуострова в нашей стране и начинается раньше всего новая дата, а значит, и новый год.

ГЛАВА V

ИЗМЕНЕНИЕ ВИДА НЕБА В ТЕЧЕНИЕ ГОДА. ПОДВИЖНАЯ КАРТА ЗВЕЗДНОГО НЕБА. АСТРОНОМИЧЕСКИЕ КАЛЕНДАРИ (ЕЖЕГОДНИКИ)

§ 16. Изменение вида неба в течение года

Повседневные наблюдения показывают, что полуденная высота Солнца изменяется в зависимости от времени года,—одновременно меняется долгота дня, время и место восхода и захода Солнца. Вместе с тем вечерами в разное время года мы видим различное расположение созвездий. Некоторые созвездия, наблюдавшиеся в одно время года, в другое время мы не увидим совсем; зато появятся другие созвездия, которые раньше не были видны.

Если мы наблюдаем изменение полуденной высоты Солнца, все время находясь на одном и том же месте Земли, то это значит, что меняется склонение Солнца. Склонение Солнца легко определить для каждого дня, пользуясь знакомой нам уже формулой, дающей высоту светила в момент верхней кульминации (для Солнца это—полдень):

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

Начнем измерять полуденную высоту Солнца с дня весеннего равноденствия, 21 марта, например, в Москве (рис. 40), где широта равна круглым числом 56° . Измерения дают для высоты значение 34° . Подставим h и φ в формулу, получим:

$$34^\circ = \delta + 34^\circ.$$

Следовательно, $\delta=0$.

Это значит, что центр Солнца в это время находится на небесном экваторе. Через 2—3 дня полуденная высота оказывается около 35° , и формула дает $35^\circ = \delta + 34^\circ$, откуда $\delta = +1^\circ$. Солнце находится в северном полушарии на расстоянии 1° от экватора. Увеличиваясь с каж-

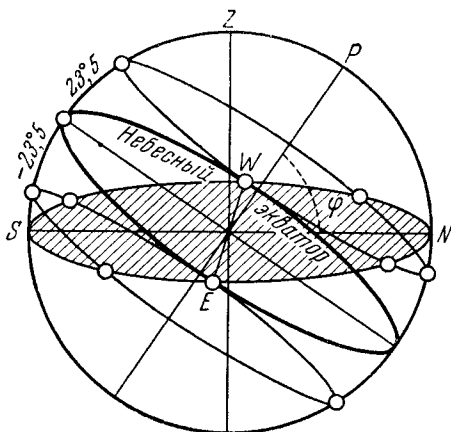


Рис. 40.

дым днем, полуденная высота Солнца в Москве доходит к 22 июня до $57^\circ,5$. Теперь из этой же формулы мы получаем:

$$57^\circ,5 = \delta + 34^\circ, \text{ или } \delta = +23^\circ,5.$$

Это—наибольшая высота Солнца и соответственно наибольшее значение склонения Солнца.

После 22 июня Солнце в полдень оказывается с каждым днем все ниже. На 1° полуденная высота Солнца уменьшается приблизительно через две недели. На столько же соответственно уменьшается и склонение Солнца. К 23 сентября высота Солнца в полдень станет 34° , а значит, склонение его дойдет опять до 0° . Солнце вновь пересекает небесный экватор, но уже в точке осеннего равноденствия. Осеннее равноденствие—это только начало осени. Солнце и после 23 сентября с каждым полуднем оказывается все ниже и ниже: например, через

месяц (22 октября) измерение полуденной высоты в Москве дает 23° . Вычислением после подстановки в нашу формулу этой высоты находим:

$$23^\circ = \delta + 34^\circ, \quad \text{или} \quad \delta = -11^\circ.$$

Знак минус показывает, что Солнце находится по другую сторону экватора в южном небесном полушарии. Высота Солнца в полдень продолжает уменьшаться до 22 декабря. В этот день в Москве она равна $10^\circ,5$, а склонение $\delta = -23^\circ,5$. После этого мы наблюдаем опять, как Солнце в полдень поднимается с каждым днем все выше — сначала медленно, а потом скорее и скорее. Наконец, к 21 марта, дню нового весеннего равноденствия, Солнце снова приходит на экватор, совершив, таким образом, весь видимый годовой путь по небесной сфере, с тем чтобы опять повторять такое же движение.

Одновременно меняется прямое восхождение Солнца, в чем мы можем убедиться, наблюдая, какие звезды кульминируют в полночь. Ведь это как раз звезды, расположенные в области неба, противоположной Солнцу.

В начале весны, когда Солнце находится на экваторе в точке весеннего равноденствия, в полночь кульминируют точка осеннего равноденствия и звезды, противоположные Солнцу и имеющие прямое восхождение 180° , или 12 часов. Такими звездами являются сравнительно слабая звездочка третьей величины δ Девы и близкая к ней звезда второй величины β Льва на южной стороне неба (см. звездную карту в конце книги). В последующие ночи мы будем замечать, что в полночь эти звезды уже не будут в кульминации. С каждой полуночью они будут все более удаляться к западу. Недели через две-три в полночь на меридиане будет уже звезда первой величины α Девы, имеющая прямое восхождение почти $13,5$ часа. Через месяц, 25 апреля, около полуночи кульминирует знакомая уже нам яркая звезда α Волопаса — Арктур — с прямым восхождением 14 ч. 13 м. Так как в каждую полночь кульминируют противоположные Солнцу звезды, то это значит, что Солнце бывает то против одних, то против других звезд, т. е. все время перемещается по небесной сфере в направлении, противоположном видимому суточному вращению звезд.

21 марта прямое восхождение Солнца равно нулю; в течение каждого месяца оно возрастает примерно на 2 часа, к 22 июня прямое восхождение Солнца достигает 90° , или 6 час., к 23 сентября— 180° , или 12 час., к 22 декабря— 270° , или 18 час., и, наконец, 21 марта— 360° , или 24 часа.

Как мы уже видели, Солнце имеет наибольшее северное и южное склонение $23^\circ,5$. Это показывает, что круг, по которому на небесной сфере перемещается центр солнечного диска—эклиптика, наклонен к экватору под углом $23^\circ,5$, точнее $23^\circ 27'$. Одна половина эклиптики лежит в северном небесном полушарии, другая в южном. На эклиптике находятся четыре основные точки: точка весеннего равноденствия Υ , точка летнего солнцестояния \odot , точка осеннего равноденствия \sphericalangle , точка зимнего солнцестояния X (рис. 41). Это—знаки тех созвездий, в которых находились эти точки во времена древних греков (около 2000 лет назад): Υ —знак созвездия Овна, \odot —созвездия Рака, \sphericalangle —созвездия Весов, X —созвездия Козерога. Отсюда же и название тропиков: когда Солнце в то время находилось в созвездии Рака, то оно было в полдень в зените на северной широте $+23^\circ 27'$, т. е. на северном тропике, и имело наибольшее положительное склонение; через полгода Солнце перемещалось в созвездие Козерога, было в зените в полдень на южной широте— $23^\circ 27'$, т. е. на южном тропике, и имело наибольшее отрицательное склонение.

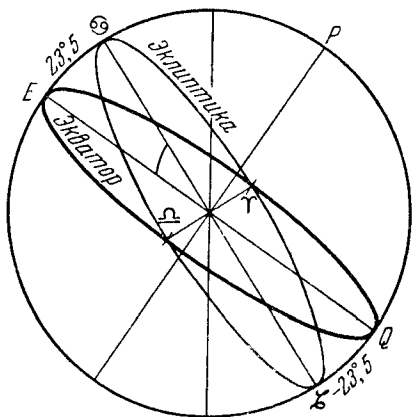


Рис. 41.

За 2000 лет основные точки вследствие так называемой прецессии переместились в соседние созвездия. Теперь точка весеннего равноденствия находится в созвездии Рыб, точка летнего солнцестояния—в созвездии

Близнецов, точка осеннего равноденствия—в созвездии Девы, точка зимнего солнцестояния—в созвездии Стрельца. Знаки же основных точек эклиптики остались прежними.

Все это мы можем представить табличкой:

	Координаты		Дата
	δ	α	
1. Весеннее равноденствие	0°	0 ч.	21 марта
2. Летнее солнцестояние	$+23^\circ 27'$	6 ч.	22 июня
3. Осеннее равноденствие	0°	12 ч.	23 сентября
4. Зимнее солнцестояние	$-23^\circ 27'$	18 ч.	22 декабря

Эклиптика расположена на небе среди созвездий, носящих большей частью названия животных. Весь пояс этих созвездий называется поэтому *зодиаком* (от греческого слова «зоон»—животное), а созвездия, которые расположены вдоль эклиптики, называются *зодиакальными*. По всему кругу эклиптики таких созвездий двенадцать (см. рис. 13, стр. 35). Их мы можем найти на звездной карте.

Если бы днем на небе были видны звезды, то мы могли бы наблюдать, как Солнце в течение года последовательно переходит из одного зодиакального созвездия в другое. Каждому времени года соответствуют три созвездия.

Солнце проходит по созвездиям: Рыбы, Овен, Телец—весной; Близнецы, Рак, Лев—летом; Дева, Весы, Скорпион—осенью и Стрелец, Козерог, Водолей—зимой. Ночью соответственно видны над горизонтом в южной стороне неба противоположные им созвездия: весной—Дева, Весы, Скорпион; летом—Стрелец, Козерог, Водолей; осенью—Рыбы, Овен, Телец; зимой—Близнецы, Рак, Лев.

В зависимости от положения Солнца на эклиптике изменяется дневная дуга видимого суточного вращения Солнца, его полуденная высота, точки и моменты восхода и захода, продолжительность дня и ночи, как это описано выше.

Чем круче падают на Землю солнечные лучи, тем сильнее нагревается земная поверхность. Поэтому в связи с изменением полуденной высоты Солнца у нас изме-

няются времена года. Правда, наибольшая высота Солнца у нас бывает в июне, а наиболее жаркий месяц—июль. Но это происходит потому, что Земля нагревается постепенно, и запасы тепла продолжают увеличиваться в июле, когда Солнце поднимается еще достаточно высоко. Аналогичное явление наблюдается зимой: наиболее низкая высота Солнца в декабре, а самый холодный месяц—январь.

Для различных мест на различных широтах эти явления будут отличаться друг от друга.

Возьмем, например, Ереван с широтой около 40° и Ленинград с широтой около 60° . В один и тот же день летнего солнцестояния в Ленинграде в полдень Солнце стоит ниже, чем в Ереване, и потому там бывает не так жарко. Но восходит и заходит Солнце в Ленинграде ближе к северу, а потому дневная дуга тут больше, чем в Ереване, день длиннее, и разница между продолжительностью дня и ночи больше.

Вспомним условие, при котором светило для данного места не заходит: $\delta > 90^\circ - \varphi$. При склонении Солнца $+23^\circ 27'$ (день летнего солнцестояния) на широте $66^\circ 33'$ оно не заходит, а при склонении $-23^\circ 27'$ (день зимнего солнцестояния) Солнце здесь совсем не восходит.

Земная параллель, проходящая на широте $66^\circ 33'$, носит название *полярного круга*. На широтах, больших $66^\circ 33'$, полярный день (время, когда Солнце совсем не заходит) и полярная ночь (в течение которой Солнце совсем не восходит) будут не только в день летнего солнцестояния ($\delta = 23^\circ 27'$), но до него и после него при склонениях Солнца, меньших $23^\circ 27'$. На самом полюсе ($\varphi = 90^\circ$) Солнце полгода остается над горизонтом и полгода—под горизонтом. Оно показывается там из-за горизонта в день весеннего равноденствия, поднимается все выше, как бы по винтовой линии, достигает наибольшей высоты $23^\circ 27'$ к 22 июня, а затем также по винтовой линии опускается все ниже и заходит 23 сентября, с тем чтобы почти полгода не показываться над горизонтом. Вот почему говорят, что на полюсе полгода—день, полгода—ночь. Смены дня и ночи при суточном вращении неба на полюсе нет.

Чем дальше от полюса, тем меньше продолжительность полярного дня и полярной ночи, тем больше количество суток в году со сменой дня и ночи. Наконец,

начиная с полярного круга, не бывает полярных дней и ночей, а смена дня и ночи происходит каждые сутки, как это имеет место у нас.

Нужно заметить, что в действительности все эти явления не происходят точно в те сроки, как здесь описано, вследствие преломления и рассеивания солнечных лучей земной атмосферой (рефракции, см. стр. 126), а также потому, что Солнце является не светящейся точкой, а диском. Благодаря рефракции мы видим светила не по тому направлению, по которому они действительно находятся, а выше. Поэтому на полюсе Солнце бывает видно в течение нескольких дней после своего теоретического захода и показывается раньше 21 марта. На полярных же кругах в дни солнцестояний весь диск Солнца в полдень и в полночь виден над горизонтом.

На экваторе Земли ($\varphi=0^\circ$) горизонт делит все видимые суточные пути светил пополам, а потому там каждые сутки день равен ночи. При этом 21 марта и 23 сентября Солнце, находясь на небесном экваторе, в полдень бывает в зените, а 22 июня и 22 декабря полуденная высота Солнца наименьшая и равна $66^\circ 33'$ (если не учитывать рефракцию). На экваторе Земли нет, по существу, разницы между зимой и летом, наиболее жаркие дни связаны с наступлением весеннего и осеннего равноденствий.

Возьмем формулу высоты $h=\delta+90^\circ-\varphi$. Если мы подставим в нее значения высоты Солнца в зените ($h=90^\circ$) и наибольшего склонения Солнца ($=\delta+23^\circ 27'$), то получим $90^\circ=+23^\circ 27'+90^\circ-\varphi$. Отсюда $\varphi=+23^\circ 27'$. Это самая большая широта, где Солнце может быть в зените в полдень и именно 22 июня. В другие дни Солнце может достигать зенита в широтах, соответственно меньших $23^\circ 27'$. Параллели, проходящие на широте $\pm 23^\circ 27'$, называются *тропиками*. Они расположены симметрично по обе стороны земного экватора в северном и южном полушариях. Еще древние называли северный тропик тропиком Рака, а южный—тропиком Козерога. Весь пояс на поверхности Земли между тропиками, где солнечные лучи в полдень два раза в год падают отвесно, назван жарким. Пояса, окружающие каждый полюс Земли до полярных кругов и где могут быть полярные дни и ночи, а Солнце не поднимается выше $46^\circ 54'$, над горизонтом, названы холод-

ными. Между холодными и жаркими поясами расположены два умеренных пояса. Таким образом, на Земле различаются пять климатических поясов.

Мы говорили все время о видимом движении Солнца. В действительности же происходит движение нашей Земли, которая за год совершает свой полный оборот вокруг Солнца, в то же время вращаясь около своей оси.

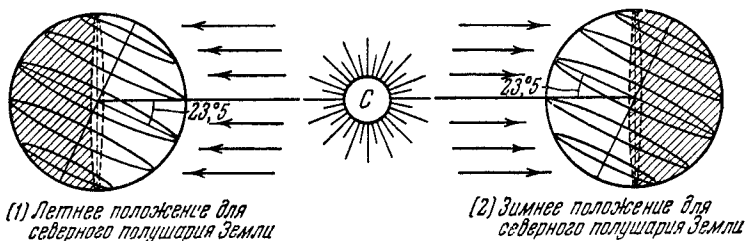


Рис. 42.

При этом ось вращения, сохраняя в пространстве неизменное направление, наклонена к плоскости земной орбиты так, что плоскость земного экватора составляет с этой плоскостью угол $23^\circ 27'$. Этот наклон является причиной того, что при одном положении Земли на орбите (рис. 42, 1) лучи Солнца в северном полушарии падают более отвесно, чем в южном, и на нем наступает лето. Через полгода, когда Земля переходит в своем движении вокруг Солнца во второе положение (рис. 42, 2), солнечные лучи падают отвеснее уже в южном полушарии, а в северном наступает зима.

§ 17. Подвижная карта звездного неба

Вид неба меняется не только в разные часы суток, но и в разные дни года и для разных мест на Земле по широте, а потому не все звезды, изображенные на обычной карте, видны в данный день и час в данном месте.

Чтобы звездная карта показывала нам каждый раз только те звезды, которые видны на небе в данный момент и в правильном расположении по отношению к горизонту, устраивают так называемую подвижную карту

звездного неба, которую определенным поворотом подвижной части можно поставить на данный день и час.

Подвижная карта состоит из двух частей: вращающейся около полюса мира звездной карты и неподвижно расположенного над ней круга горизонта. Эти две части приложены в конце книги (Приложение XVI); из них нужно сделать себе подвижную карту, наклеив их предварительно на тонкий картон.

На карте за кругом прямых восхождений начерчен круг несколько большего радиуса. Он разделен на месяцы, а каждый месяц разделен на пятидневки. Деление, приходящееся около нуля прямых восхождений, т. е. у начального круга склонений, проходящего через точку весеннего равноденствия, относится к 21 марта. Соответственно этому поставлены названия всех месяцев. Карту надо вырезать по самому внешнему кругу и прикрепить в полюсе мира к картонке или фанере так, чтобы карта могла вращаться. На накладываемом на карту листе вычерчен круг несколько меньшего радиуса так, чтобы при наложении он помещался внутри только что описанного внешнего круга на карте. Круг накладного листа разделен на 24 часа, а каждый час — на шесть частей, содержащих по 10 мин. Внутри него вырезается круг горизонта, на котором помечены север и юг, восток и запад. Вырез круга горизонта должен соответствовать широте места. Для этого начерчено несколько линий выреза для разных широт. В Москве можно пользоваться вырезом для широты 55° . Надо заметить, что звездная карта на плоскости представляет ту или иную проекцию небесной сферы, а проекция на плоскость, как уже говорилось, искажает так или иначе формы сферы, поэтому линия горизонта на карте в соответствии с выбранной проекцией изображается не точным кругом, а имеет слегка овальную форму. Сделав вырез для горизонта, следует не полностью обрезать круг, на котором намечены часы, а оставить четыре выступа для неподвижного прикрепления его к картону. После этого нужно наложить его на карту так, чтобы он поместился как раз внутри внешнего круга карты (общий вид карты показан на рис. 43).

Тогда в вырезе мы увидим картину звездного неба, соответствующую определенному дню и часу. Меридиан

пройдет по линии, соединяющей точку севера и точку юга. Натянув по этой линии нить, мы увидим под ней звезды, которые кульминируют в данный момент. По направлению, перпендикулярному к этой нити и проходящему через полюс, лежат точки востока и запада. У восточной части горизонта мы найдем восходящие звезды,

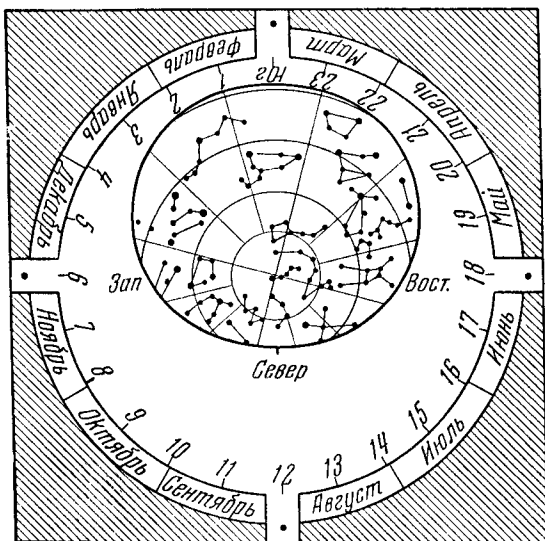


Рис. 43.

а у западной—заходящие. Карту надо расположить перед собой так, чтобы внизу была та сторона горизонта, к которой обращен лицом наблюдатель. Нижний картон представляет основание подвижной карты. Все это скрепление должно быть сделано так, чтобы карта могла свободно вращаться между горизонтом и основанием. Вращая карту, мы можем ставить ее на любой день и час. Карта дает наглядное представление об изменении вида звездного неба как в течение суток, так и на протяжении года.

Подвижная карта помогает находить нужные звезды на небе, видеть, какие звезды кульминируют в данный

день и час, какие звезды видны вообще в данное время и пр. Наряду с этим подвижная карта дает возможность решать приблизительно ряд задач практической астрономии. Например, нам нужно определить приблизительно время восхода и захода светила для данного дня в году. Для этого надо вращать звездную карту до тех пор, пока светило не окажется у самого горизонта в восточной или западной стороне, а затем посмотреть, какой час приходится у данного дня или месяца. Так же можно определить время, когда то или иное светило кульминирует, т. е. располагается на линии, соединяющей точку севера и юга. При этом, если звезда находится на этой линии между полюсом и точкой юга, мы имеем верхнюю кульминацию, если же она находится между полюсом и точкой севера,—нижнюю кульминацию. Установка подвижной карты делается по гражданскому времени.

Примеры. 1. Какой вид имеет звездное небо в 10 час. вечера 20 ноября? Находим на внешнем круге подвижной карты ноябрь и в нем 20-е число. Поворачиваем карту так, чтобы это 20-е число расположилось у черты на накладном круге, соответствующей 10 час. В вырезе горизонта мы увидим, что стрелка Большой Медведицы направлена на северо-восток; почти вертикально по направлению к северу располагается линия, соединяющая звезды α и β Малой Медведицы. Близко к зениту находится Кассиопея и яркая звезда Капелла в созвездии Возничего, на южной стороне—Персей и Андромеда. На восточной стороне поднимается Телец с кучкой звезд Плеяд, а за ним Орион; на юго-западной стороне—Пегас и совсем близко к горизонту—на западе—созвездие Лебедя и звезда Вега из созвездия Лиры.

2. Определить время восхода звезды Арктур 1 марта и момент ее верхней кульминации 23 апреля. Находим на карте созвездие Волопаса. Вращая карту, поставим ее так, чтобы Арктур расположился у восточного края горизонта. Смотря на внешний круг, заметим, что 1 марта расположилось у черты, соответствующей 19 час., или 7 час. вечера (по местному времени, а по декретному, следовательно, Арктур взойдет около 8 час. вечера).

Вращая карту дальше так, чтобы Арктур попал на меридиан, мы видим, что в этом положении 23 апреля

располагается на круге почти у 0 час. Следовательно, Арктур кульминирует 23 апреля около полуночи.

3. Поворачивая карту так, чтобы звезда α Б. Медведицы располагалась по линии меридиана, мы увидим, что около полуночи она находится в нижней кульминации в конце сентября и в верхней—в конце марта.

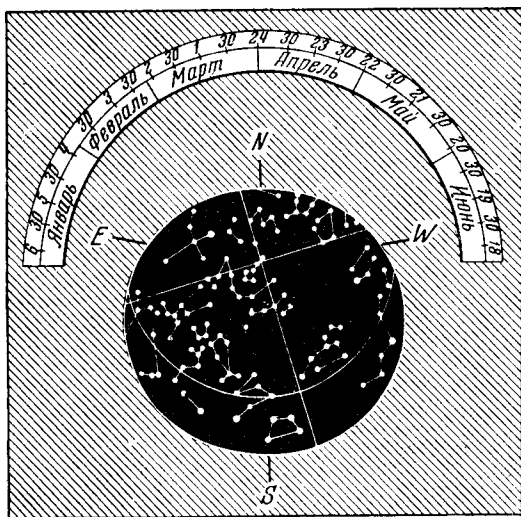


Рис. 44.

В авиации применяется бортовая карта, которая является подвижной. Она смонтирована так, что звездная карта помещается внутри между картоном, служащим как бы основанием, и приклеенным к нему накладным листом (рис. 44). Карта может вращаться около полюса мира как центра. Накладной лист не обрезан по полному кругу, а в нем вырезана полоска в полкруга только для ночных часов. Таким образом, можно видеть деления месяцев и числа, нанесенные на внутренней карте. Пользуясь тем, что сказано в начале этой главы, можно намечать положение Солнца на карте, где начерчена и эклиптика, и решать вопросы о восходе и заходе Солнца.

§ 18. Положение Луны и планет в разное время

Луна меняет свое положение среди звезд гораздо быстрее, чем Солнце, двигаясь в том же направлении, и делает полный оборот почти в месяц, точнее—в $27\frac{1}{3}$ суток (*сидерический* месяц—период, в течение которого Луна совершает свое обращение вокруг Земли).

Так как Луна движется вокруг Земли почти в той же плоскости, что и Земля вокруг Солнца, то видимое перемещение Луны на звездном небе происходит вблизи эклиптики. За сутки Луна смещается среди звезд на $13^{\circ},2$, а по отношению к Солнцу—на $12^{\circ},2$. (Солнце само смещается по эклиптике почти на 1° в сутки.) Смена фаз Луны зависит от положения Луны относительно Солнца. Новолуние соответствует положению, когда Луна и Солнце наиболее близко подходят на небе друг к другу. Отходя от Солнца ежесуточно на $12^{\circ},2$, Луна вновь при-

близится к нему через $\frac{360^{\circ}}{12^{\circ},2} = 29,5$ суток. Это и есть период смены фаз Луны, *синодический* месяц. В полнолуние Луна должна занимать противоположное Солнцу положение на небе; в это время ее прямое восхождение отличается от прямого восхождения Солнца на 12 часов.

Вспомним, что летом полуденное Солнце у нас поднимается значительно выше над горизонтом, чем зимой. Полная же Луна, наоборот, летом на полуночном небе бывает значительно ниже, чем зимой. Подвижная карта может наглядно показать, как летняя полная Луна, находясь недалеко от точки зимнего солнцестояния, в своем суточном вращении поднимается невысоко над горизонтом, тогда как зимой, располагаясь вблизи точки летнего солнцестояния, она поднимается почти так же высоко около полуночи, как Солнце летом около полудня.

Планеты обращаются вокруг Солнца, каждая по своему пути и с различной скоростью, но в одном и том же направлении (против видимого суточного вращения неба). Они находятся на разных расстояниях от Солнца (см. Введение) и расположены в следующем порядке: Меркурий, Венера, Земля, Марс, Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун, Плутон. В конце книги помещена табличка, в которой даны их средние расстояния от Солнца, периоды

обращений и другие характеристики (см. Приложение II, стр. 139).

Самое название «планеты», данное им древними греками (от греческого «*планао*» — блуждаю), связано с тем, что они перемещаются среди звезд, а потому не всегда бывают одновременно видны на ночном небе. Это видимое перемещение планет на звездном небе кажется довольноно

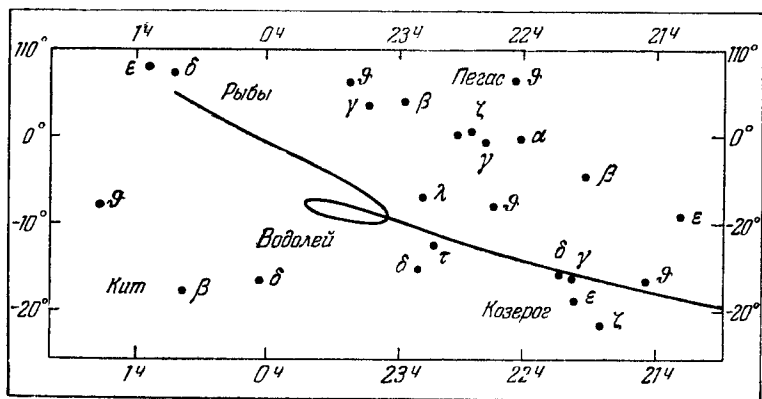


Рис. 45.

запутанным: они то движутся относительно звезд с запада на восток (подобно Солнцу и Луне)—так называемым *прямым движением*, то останавливаются и продвигаются несколько обратно, совершая так называемое *попятное движение*. Попятное движение вновь сменяется прямым движением и т. д. При своем движении планеты переходят из одного созвездия в другое. На рис. 45 показан видимый путь планеты Марс среди звезд в 1956 г.

Для наблюдения простым глазом доступны не все планеты. Наиболее яркими являются Венера (блеск которой достигает минус 4-й звездной величины) и Юпитер (который иногда кажется звездой минус 2-й величины)—самая большая по размеру из всех планет. Затем идут Марс, отличающийся своим красноватым цветом, и Сатурн. Меркурий трудно наблюдать, так как он всегда бывает близок к Солнцу и теряется в лучах зари.

Остальные планеты так далеки от Солнца и от нас, что не видны простым глазом.

Мы наблюдаем планеты с Земли, которая сама движется, обращаясь вокруг Солнца. Вследствие этого и возникают кажущиеся петлеобразные движения планет на небе.

Все планеты обращаются вокруг Солнца почти в той же плоскости, что и наша Земля, т. е. вблизи плоскости эклиптики, проходящей по зодиакальным созвездиям. Поэтому планеты надо искать в этих созвездиях. По виду они отличаются своим спокойным блеском, тогда как звезды зачастую заметно мерцают, переливаясь различными цветами.

Особенно ярка планета Венера. Так как ее орбита находится внутри орбиты Земли, то она никогда не отходит от Солнца на небе дальше $46-48^\circ$ и бывает видна или по вечерам или по утрам даже тогда, когда из-за света зари не видно никаких звезд. Положение Венеры по отношению к Солнцу повторяется периодически через 584 дня (синодический период).

Другие яркие планеты—Марс, Юпитер, Сатурн—находятся в пространстве дальше от Солнца, чем Земля. Поэтому они могут располагаться на небе и в противоположной стороне по отношению к Солнцу. Такое положение планеты, называемое *противостоянием*, наиболее благоприятно для ее наблюдений, так как при этом она видна почти всю ночь и кульминирует около полуночи. Противостояния Юпитера повторяются через 400 дней (синодический период). Синодический период Сатурна—378 дней.

Яркие планеты являются очень хорошими ориентирами. Такие планеты, как Юпитер и Сатурн, медленно перемещаясь, почти весь год проходят по одному или двум соседним созвездиям и вместе с этими созвездиями в определенные месяцы могут наблюдаться на ночном небе.

Сведения о видимости и положениях планет на небе, а также о восходе и заходе Солнца и Луны и пр. даются в астрономических ежегодниках или в календарях. Некоторые сведения о видимости планет в ближайшие годы читатель может получить из Приложения XII (стр. 153).

§ 19. Астрономические календари и ежегодники

Мы видели уже, что положения на небе у многих светил меняются в течение года и от года к году, а стало быть, меняются и их экваториальные координаты α и δ . Эти положения могут быть вычислены заранее на основе методов теоретической астрономии, рассматривающей движение Земли и планет. У нас в СССР имеется специальный Институт теоретической астрономии в системе Академии наук СССР, проводящий все нужные вычисления и составляющий таблицы положений небесных тел и других данных о небесных светилах, на основании которых издаются у нас года за два-три вперед ежегодники.

«Астрономический ежегодник СССР» — это основной справочник, который предназначен главным образом для астрономических обсерваторий и астрономо-геодезических полевых работ. В нем содержатся все нужные данные о Солнце, Луне и планетах на каждый день, различные сведения о звездах, а также специальные таблицы. Координаты небесных светил даются в «Астрономическом ежегоднике СССР» с точностью до $0'',1$ и до $0'',01$.

Всесоюзное астрономо-геодезическое общество составляет на каждый год «Астрономический календарь», предназначенный для более широкого пользования, но обеспечивающий все данные для любительских и не узко специальных астрономических работ и нужд ориентировки. Этот календарь мы особенно рекомендуем.

Календарь этот содержит таблицы Солнца и Луны, дающие по месяцам на каждый день: моменты восхода, верхней кульминации и захода; азимуты точек восхода и захода; склонения; звездное время для 0 час. всемирного времени, которым определяется и прямое восхождение Солнца; фазы Луны. В календаре даются сведения о видимости планет в данном году с картами их путей среди звезд, таблицы их координат α и δ через 16 дней. Помещаются также сведения о солнечных и лунных затмениях, которые должны произойти в данном году, о моментах покрытия звезд Луной, о явлениях в системе спутников Юпитера, о переменных звездах, наконец, таблицы для определения широты по Полярной звезде.

Г Л А В А VI

НЕКОТОРЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ АСТРОНОМИЧЕСКИЕ ИНСТРУМЕНТЫ. ИСПРАВЛЕНИЕ ИЗМЕРЕННЫХ ВЫСОТ

§ 20. Универсальный инструмент

Все измерения тех или других нужных нам величин, которые определяются по положению небесных светил, сводятся к измерению углов. Непосредственными наблюдениями по большей части измеряются горизонтальные координаты небесных светил. Для этого и служит универсальный инструмент—переносный инструмент, который в более легкой и приспособленной к картографо-геодезическим работам конструкции носит название *теодолита* (рис. 46). Теодолит имеет зрительную трубу 1 обычно с 20-кратным увеличением и крестом нитей в поле зрения для указания его центра. Труба может вращаться как вокруг горизонтальной оси в вертикальной плоскости, так и вокруг вертикальной оси в горизонтальной плоскости. Каждая из этих осей снабжена кругом с градусными делениями. Горизонтальная ось укреплена на подставке с четырьмя ножками, неподвижно соединенными с горизонтальным кругом (2 на рис. 46), вращающимся вокруг вертикальной оси. Концентрически с ним расположен в той же плоскости другой круг (неподвижный). На одном из этих горизонтальных кругов, называемом *алидадой*, имеется нулевой указатель, по положению которого производится отсчет по другому кругу, имеющему градусные деления по всей окружности и называемому *лимбом*. Вертикальная стойка под серединой горизонтальных кругов опирается на основание инструмента, устанавливаемого на трех ножках с винтами (7 на рис. 46).

Таким образом, труба с вертикальным кругом (4 на рис. 46) вращается вокруг горизонтальной оси, а вместе с подставкой и внутренним горизонтальным кругом—вокруг вертикальной оси.

Лимбы теодолита по большей части разделены на полуградусы, т. е. цена каждого деления равна 30'. У нулевого указателя каждой алидады имеется ряд делений,

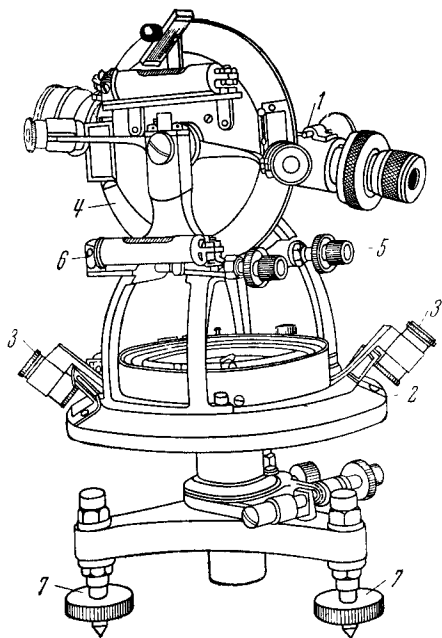
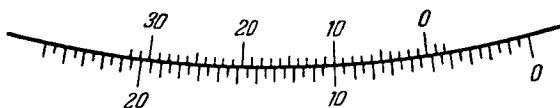


Рис. 46.

представляющий собой *верньер*, или *нониус*. Нониус—это вспомогательная линейка, а в данном случае дуга, дающая возможность оценивать доли делений лимба, если нулевой штрих останавливается в промежутке между делениями. Чтобы измерять с точностью до минуты, берут дугу длиной, равной 29 делениям лимба, и делят ее на 30 частей. Тогда каждое деление полученной дуги нониуса меньше деления лимба на $\frac{1}{30}$. Если часть последнего при

отсчете деления лимба до нуля нониуса на алидаде составляет, например, $10'$ (рис. 47), то десятое деление нониуса совпадает с одним из последующих делений лимба. Это покажет, на сколько тридцатых долей одного деления лимба 10 делений нониуса короче соответствующего числа делений лимба. Для снятия показания на круге надо посмотреть, около какого числа градусов на лимбе находится нуль алидады, а затем смотреть, какое деление нониуса совпадает с одним из делений лимба.

Очень трудно сделать так, чтобы ось вращения точно проходила через центр круга. Отсюда получается так



Длина $\frac{1}{2}$ градуса Отсчет верньера 1 мин

Рис. 47.

называемая ошибка эксцентриситета. Устранить ее можно установкой двух нониусов в диаметрально противоположных точках круга. Из-за ошибки эксцентриситета отсчет по одному нониусу может оказаться несколько больше, а по другому на столько же меньше, чем правильный отсчет. Беря среднее арифметическое от числа минут отсчетов того и другого нониуса, получим отсчет с исключенной ошибкой эксцентриситета. Так как деления лимба и нониуса очень мелки, то при каждом нониусе обыкновенно приспособляется лупа (3 на рисунке 46).

Начало делений на горизонтальном лимбе расположено произвольно и числа делений возрастают по часовой стрелке. На вертикальном же лимбе начало отсчета обыкновенно располагается так, чтобы отсчет по лимбу давал высоту наблюдаемого объекта и начало отсчета, следовательно, соответствовало горизонтальному направлению.

Для более точной наводки алидады скрепляются с лимбами при помощи зажимных винтов и могут медленно вращаться с помощью микрометрических винтов (5 на рис. 46). Все движения инструмента совершаются обычно весьма плавно, и поэтому, если получается какая-нибудь

задержка в повороте, надо посмотреть, не закреплена ли ось или нет ли какой-либо другой помехи.

Теодолит устанавливается обычно на треножном штативе. При наблюдении на постоянной площадке или на вышке универсальный инструмент и теодолит устанавливаются на каменном столбе высотой около 1,25 м с ровной горизонтальной верхней площадкой.

Перед наблюдением надо установить инструмент так, чтобы горизонтальный круг действительно был расположен в горизонтальной плоскости. Это достигается с помощью уравнительных винтов в ножках и уровня на горизонтальном круге (6 на рис. 46). Поступают следующим образом: 1) вращают подставку с трубой около вертикальной оси до тех пор, пока уровень не расположится параллельно линии, соединяющей два винта; вращением этих винтов обеими руками во взаимно противоположных направлениях (один винт по часовой стрелке, другой—против) приводят пузырек уровня на середину; 2) поворачивают подставку с трубой около вертикальной оси на 90° и при помощи третьего винта приводят пузырек уровня на середину. Повторяют эти операции до тех пор, пока при любом положении трубы пузырек уровня не будет занимать среднее положение.

Теодолит имеет обычно деления не на всем вертикальном круге и потому не приспособлен для наблюдения светил, близких к зениту. Для этих случаев надо иметь уже универсальный инструмент с полным разделенным вертикальным кругом и так называемой ломаной трубой, подобной трубе пассажного инструмента (см. стр. 56). Горизонтальная ось трубы делается внутри полой, а в середине трубы ставится стеклянная прямоугольная призма, которая отражает лучи под прямым углом. Наблюдатель смотрит сбоку, т. е. с конца горизонтальной оси, где помещается окуляр. В такую трубу можно наблюдать звезды и у самого зенита. Для большей точности измерений круги универсального инструмента снабжаются микроскопами.

В окулярной (прикладываемой к глазу) части трубы помещаются натянутые под прямым углом тонкие нити так, что их пересечение дает центр поля зрения для более точной наводки.

Чтобы при измерении высоты звезды теодолитом исключить неточность совпадения начала отсчета на вертикальном круге с горизонтальным направлением, надо провести измерения два раза: первый раз при круге, расположенном вправо от середины инструмента, второй раз влево. Для этого надо повернуть трубу вокруг вертикальной оси на 180° и вокруг горизонтальной оси, направив на прежнюю точку. Правильное значение отсчета получится как среднее из двух измерений.

Для измерения азимута нужно знать направление меридиана в данном месте, т. е. надо знать отсчет на горизонтальном круге, соответствующий направлению на точку юга. Для приближенного определения этого направления в теодолите служит большой компас с делениями (буссоль), помещенный в центре горизонтального круга. На нем нанесены точки с буквами *N* (север) и *S* (юг). Если мы повернем инструмент так, чтобы эти точки совпадали с концами свободно вращающейся магнитной стрелки, то труба будет находиться в плоскости меридиана. Но здесь надо иметь в виду, что магнитный и географический меридианы не совпадают и надо знать магнитное склонение (см. стр. 15 и Приложение XV).

Более точно можно найти направление меридиана двумя наблюдениями одного и того же светила на одинаковой высоте до кульминации и после нее. Зная приблизительно направление меридиана (например, по Полярной звезде), направляем трубу на звезду, расположенную в данный момент к востоку от южной стороны меридиана, закрепляем трубу около горизонтальной оси и делаем первый отсчет на горизонтальном круге. Затем, поворачивая трубу вокруг вертикальной оси к западу, ждем, когда звезда суточным вращением придет опять в центр поля зрения трубы, и в этом положении делаем второй отсчет на горизонтальном круге. Обозначив первый отсчет буквой *B* (восток), а второй—буквой *З* (запад), получаем отсчет точки юга как полусумму этих отсчетов: $\frac{B+З}{2}$.

Пользуясь справочником, определяют направление меридиана по Полярной звезде с помощью помещаемых там специальных таблиц.

Чтобы измерить азимут какого-нибудь светила, надо, направив на него трубу, сделать отсчет на горизонтальном круге и вычесть из него отсчет точки юга.

Если приходится измерять все время с одного и того же места, то можно измерить азимут какого-нибудь земного предмета, а по нему затем каждый раз находить отсчет на горизонтальном круге, соответствующий точке юга.

Установив трубу теодолита точно в плоскости меридиана, мы можем по наблюдению момента прохождения звезды через центр поля зрения трубы находить точное время и проверять часы так же, как это делается на обсерваториях при помощи пассажного инструмента. При этом определяется по наблюдению, конечно, звездное время, которое можно перевести в гражданское или декретное.

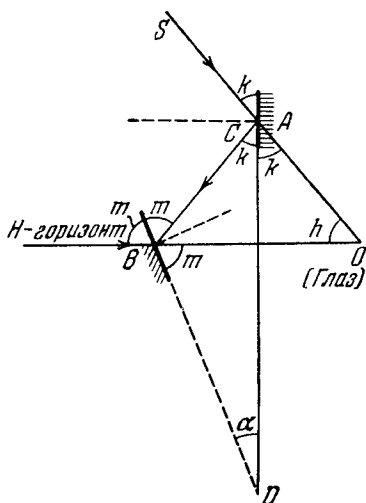
§ 21. Секстан

В условиях наблюдения на море с качающейся палубы судна, а тем более с самолета, нужен инструмент не только портативный, но и не требующий особой установки. Таким инструментом и является секстан, при помощи которого можно производить измерение высоты светила, держа инструмент в руке. Помимо зрительной трубы и части разделенного круга обычный секстан содержит подвижное и неподвижное зеркала, которые дают возможность наблюдателю одновременно видеть горизонт и светило. Это достигается поворотом подвижного зеркала так, чтобы оно отражало луч светила S (рис. 48) в том же направлении, в каком виден горизонт, а по повороту зеркала можно судить о высоте светила над горизонтом: чем выше светило, тем на больший угол надо повернуть зеркало, чтобы луч от светила попал на линию горизонта. Луч от светила S падает на подвижное зеркало A , которое можно поворачивать около оси, проходящей через точку D .

Отражаясь от зеркала A , луч идет к неподвижному зеркалу B , а от него в глаз O . Сюда же направлен луч от линии горизонта H , проходящий прямо сквозь прозрачную часть неподвижного зеркала B . Это зеркало

может быть наполовину очищено от амальгамы или просто может быть стеклянной пластинкой, которая частью пропускает лучи света, частью отражает. Таким образом, при определенном положении подвижного зеркала глаз увидит одновременно светило и линию горизонта. Угол при точке D между направлениями обоих зеркал может быть измерен, а по нему найдется и высота светила над горизонтом.

Принимая во внимание, что по законам оптики угол падения луча равен углу отражения, будем иметь на рис. 48 три равных угла k и три равных угла m . Легко видеть, что $2m = 2k + h$ (внешний угол треугольника ABO равен сумме внутренних, с ним не смежных углов); то же в треугольнике ABD :



$$m = \alpha + k,$$

откуда

$$2m = 2\alpha + 2k.$$

Следовательно,

$$2\alpha + 2k = 2k + h,$$

т. е.

$$h = 2\alpha.$$

Рис. 48.

Таким образом, при повороте зеркала на некоторый угол луч отклоняется на двойной угол. Поэтому на разделенной дуге секстана каждые полградуса имеют значение целого градуса высоты, а так как высота считается от 0 до 90°, то достаточно иметь разделенную дугу в 45°. Обыкновенно с некоторым запасом делают ее в 60° (отсюда и название «секстан» от «секст» — шесть, 60° — шестая часть окружности). На разделенной дуге секстана наносятся уже удвоенные значения дуг. Например, деление с длиной дуги в 10° помечается числом 20, деление с длиной дуги 15° помечается числом 30 и т. д.

Общий вид морского секстана представлен на рис. 49. В нем помимо зрительной трубы и зеркал имеются темные или цветные стекла, заключенные в оправы, для наблюдений над Солнцем и Луной. Секстан не имеет штатива, а снабжен рукояткой и имеет легкую конструкцию, чтобы можно было при измерениях держать его одной рукой, а другой поворачивать зеркало.

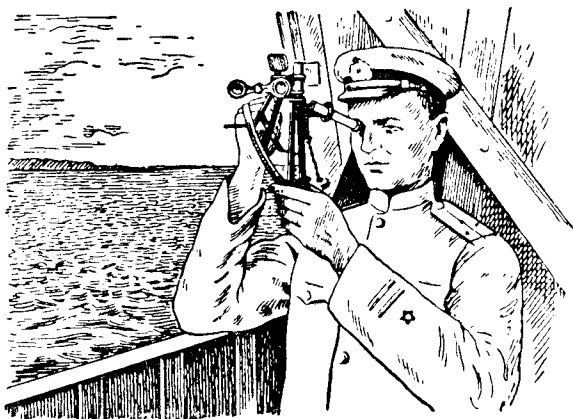


Рис. 49.

В практике воздушной навигации в большинстве случаев пользуются искусственным горизонтом даже днем, а тем более ночью, когда естественного горизонта просто не видно. В авиационном секстане (рис. 50) внутри прибора помещается уровень с пузырьком так, что направление горизонтального луча соответствует такому положению, когда в центре поля зрения виден пузырек уровня.

Устройство авиационного секстана изображено на рис. 51, б. Внутри прибора имеется круглый уровень 2, который при пользовании естественным горизонтом отводится в сторону. Горизонтальный луч света идет через объектив трубы 1, падает на прямоугольную стеклянную призму 3, внутри которой отражается под прямым углом вертикально вниз, затем он проходит в пятигранную

стеклянную призму 4, отражаясь от задней стенки которой попадает в окуляр 5. Пройдя затем сквозь подвижную стеклянную пластинку 6 (подвижное зеркало), луч идет к глазу наблюдателя. Кроме него в глаз наблюдателя попадает и луч, идущий от светила *M* и отражающийся от того же подвижного стекла.

Разделенный круг связан с подвижной стеклянной пластинкой 6, положение которой для светила на гори-

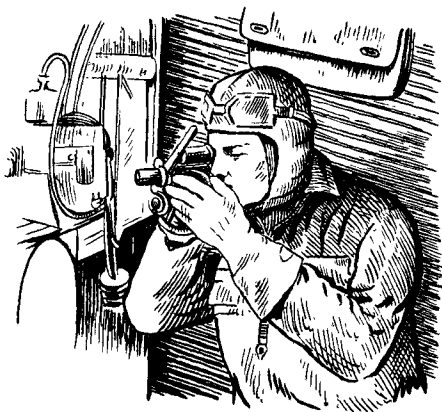


Рис. 50.

зонте соответствует нулевому делению на разделенном круге. Высота светила, находящегося выше горизонта, определится углом поворота пластинки, как это объяснено выше в описании принципиальной схемы секстана.

При наблюдении Солнца нужно иметь темную пластинку или светофильтр 7, который ставится на пути солнечных лучей.

По большей части, как уже сказано, в практике авиации пользуются искусственным горизонтом. Для этого и служит круглый уровень 2. Его пузырек ночью освещается специально приспособленной около него лампочкой 8. Лучи света от пузырька идут в пятигранную призму и далее через окуляр—в глаз наблюдателя. Если инструмент наклонить, то пузырек выходит из поля зрения. Таким образом, если пузырек находится в центральной

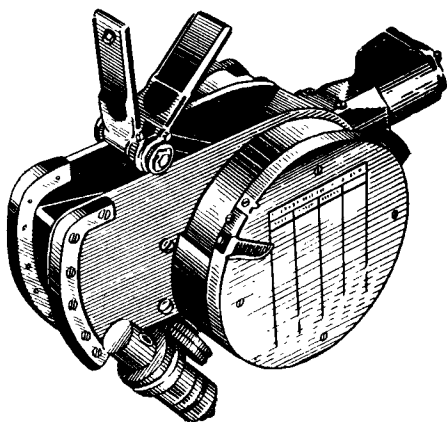


Рис. 51, а.

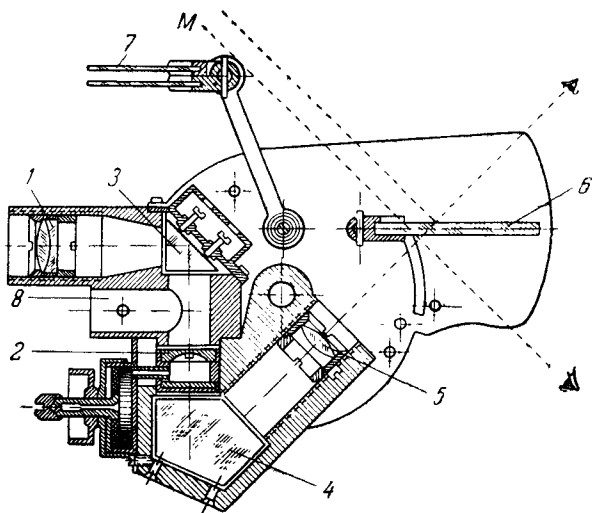


Рис. 51, б.

части поля зрения, то нулевое деление разделенного круга соответствует горизонту. Действуя подвижной пластинкой—зеркальцем, мы совмещаем изображение избранного светила с пузырьком. Общий вид авиационного секстана показан на рис. 51, а.

§ 22. Исправление измеренных величин. Влияние понижения горизонта

Высоту светила определяют по отношению к направлению истинного горизонта, перпендикулярного в данной точке к вертикальному направлению. Если же отсчет высоты делается от линии видимого горизонта, как, например, при помощи секстана, то надо знать, насколько отклоняется одно направление от другого. Очевидно, видимый горизонт расширяется по мере поднятия над Землей, вследствие шарообразности Земли. Направление на видимый горизонт при этом понижается.

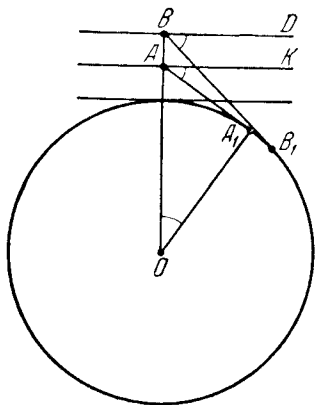


Рис. 52.

Рис. 52 изображает земной шар. Если человек находится в точке A , то он видит поверхность Земли до A_1 . Поднявшись выше, в точку B , он увидит дальше—до точки B_1 . Линии AK и BD параллельны горизонтальной плоскости. Угол KAA_1 называется *понижением горизонта* в точке A . Сравнивая углы понижения горизонта в точках A и B , мы видим, что угол тем больше, чем выше находится наблюдатель над Землей. На высоте 10 м понижение горизонта составляет около $6'$, на высоте 1000 м—уже около 1° . Угол понижения горизонта, как нетрудно видеть из того же рисунка, связан с дальностью видимости горизонта AA_1 . Эту *дальность горизонта* мы получаем, зная радиус Земли и высоту наблюдателя над землей. Рассмотрим прямоугольный треуголь-

ник OA_1 с прямым углом в точке A_1 . По теореме Пифагора имеем:

$$x^2 + R^2 = (R + a)^2, \quad \text{или} \quad x^2 = (R + a)^2 - R^2,$$

откуда

$$x^2 = 2Ra + a^2 = 2Ra \left(1 + \frac{a}{2R} \right).$$

Здесь x —дальность горизонта, R —радиус Земли, a —высота наблюдателя. У дроби $\frac{a}{2R}$ знаменатель (диаметр Земли) очень велик сравнительно с числителем; следовательно, сама дробь очень мала и ею при вычислении вполне можно пренебречь. Для вычисления дальности горизонта получается формула

$$x = \sqrt{2Ra}.$$

Например, при высоте наблюдателя 20 м получаем дальность горизонта

$$x = \sqrt{2 \cdot 6\,370\,000 \cdot 20} \text{ м} = 15\,963 \text{ м} \approx 16 \text{ км}.$$

В формуле $x = \sqrt{2Ra}$ множитель $\sqrt{2R}$ в данном случае можно считать постоянным и дальность горизонта пропорциональной квадратному корню из высоты наблюдателя a . Выражая R в километрах, высоту a —в метрах и учитывая еще рефракцию (см. ниже), ведут расчет дальности горизонта практически по формуле

$$x (\text{км}) = 3,80 \sqrt{a (\text{м})}.$$

Для того же примера по этой формуле будем иметь:

$$x = 3,80 \sqrt{20} = 3,80 \cdot 4,47 = 16,99 \approx 17 \text{ км}.$$

Если принять во внимание, что в последнем случае учтена рефракция, благодаря которой дальность горизонта увеличивается, результаты того и другого подсчетов можно считать близкими.

Угол понижения горизонта определится из того же прямоугольного треугольника AA_1O , в котором $\angle AOA_1 = \angle KAA_1$, т. е. углу понижения горизонта n . Из этого треугольника имеем:

$$AA_1 = OA_1 \cdot \operatorname{tg} n.$$

AA_1 есть дальность горизонта, которая равна по предыдущему $\sqrt{2Ra}$, и OA_1 есть R . Следовательно,

$$R \operatorname{tg} n = \sqrt{2Ra}.$$

Обычно угол понижения горизонта мал, а потому вместо его тангенса можно взять самый угол. Подставляя известные числовые значения, получаем для вычисления угла понижения горизонта в угловых минутах формулу

$$n' = 1,80\sqrt{a \text{ (м)}}.$$

Например, при высоте 20 м угол понижения горизонта равен:

$$n' = 1,80\sqrt{20} = 1,80 \cdot 4,47 = 8', 05 \approx 8'$$

(с точностью до 0',1).

Пользуясь указанными формулами, можно составить такую табличку:

Высота в м	2	20	200	1000
Дальность горизонта в км	7,6	17	54	120
Угол понижения горизонта	2',5	8',0	25',4	56',9

§ 23. Рефракция

Лучи света, идущие от небесных светил, прежде чем попасть в глаз наблюдателя, проходят через воздух, окружающий Землю, и в нем преломляются. Это явление называется *рефракцией*. Величина преломления зависит от угла падения луча света и от плотности воздуха. Плотность воздуха увеличивается с приближением к поверхности Земли, и чем ближе к ней, тем больше преломление луча при одном и том же угле падения. Вследствие этого светило кажется нам всегда находящимся несколько выше над горизонтом, чем в действительности, т. е. видимая высота больше истинной, а зенитное расстояние меньше (рис. 53). Угол, измеряющий отклонение луча, называется *углом рефракции*. Рефракция равна нулю, если светило в зените, потому что вертикально падающий луч (угол падения равен нулю) не преломляется, но чем дальше светило от зенита, тем рефракция больше, как это видно на рис. 53. Наибольшую величину рефракция имеет

для светила, находящегося на горизонте, т. е. когда оно восходит или заходит. Здесь рефракция в среднем достигает $35'$. Точное определение величины рефракции затрудняется тем, что преломление лучей в атмосфере зависит от состояния воздуха, т. е. от давления, температуры и т. д., особенно слоев у поверхности Земли.

Под *средней рефракцией* понимают рефракцию, соответствующую средним значениям температуры и давления воздуха. Если принять за среднее значение температуры 10°C и давления 760 мм ртутного столба, то формула средней рефракции будет иметь вид

$$\rho'' = 58'',3 \operatorname{tg} z,$$

где z —зенитное расстояние светила (см. таблицу).

Рефракция приподнимает восходящее и заходящее Солнце приблизительно на целый его диск (видимый поперечник Солнца около $30'$).

Значит, в действительности восход Солнца, т. е. восход верхнего края диска Солнца, происходит после того, как мы уже видим весь диск Солнца поднявшимся над горизонтом. Мы видим восход Солнца несколько раньше, а заход Солнца позднее, чем они происходят в действительности. Это несколько увеличивает продолжительность дня. Увеличение длины дня вследствие рефракции наиболее заметно в северных широтах, так как чем север-

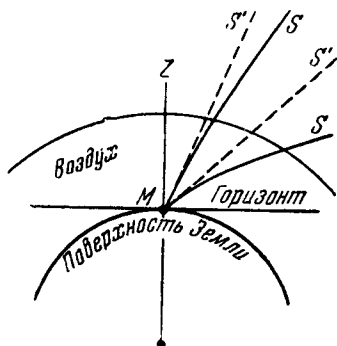


Рис. 53.

Таблица средней рефракции

Зенитное расстояние	Рефракция	Зенитное расстояние	Рефракция
0°	$0'00''$	80°	$5'16''$
10°	$0'10''$	$89^\circ 0'$	$18'09''$
30°	$0'33''$	$89^\circ 30'$	$29'26''$
60°	$1'40''$	$90^\circ 0'$	$34'54''$

нее, тем меньше наклон к горизонту круга, по которому поднимается при восходе и опускается при заходе Солнце.

При точных измерениях высоты светила в полученное значение высоты приходится вносить поправку с учетом рефракции, которая различна при разных высотах светила.

Если речь идет о восходе и заходе Солнца или Луны, то, кроме рефракции, надо учитывать и тот факт, что координаты их относятся всегда к центру диска, восход же начинается, когда верхний край диска коснется горизонта.

Угловой радиус диска Солнца можно принять равным $16'$, диска Луны— $15',5$. Для Луны приходится учитывать и влияние так называемого параллакса. *Параллаксом*, или параллактическим смещением, называется угол, под которым виден какой-нибудь предмет из двух разных точек. Поскольку экваториальные координаты Луны даются в ежегодниках по отношению к центру Земли, наблюдатель же находится на поверхности, то Луна ему кажется несколько смещенной. Не вдаваясь в дальнейшие подробности, скажем только, что параллакс понижает Луну (сравнительно с ее положением для наблюдателя в центре Земли). Имеет место и параллактическое смещение Солнца, планет и звезд, однако для них оно чрезвычайно мало (около $9''$ для Солнца, меньше $1'$ для планет и меньше $0'',001$ для звезд). Для Луны же параллактическое смещение достигает $57'$, поэтому его и следует принимать во внимание.

Изменение преломления лучей света в атмосфере, происходящее вследствие воздушных течений в ней, является также причиной явления *мерцания* звезд, которое тем заметнее, чем ближе звезды к горизонту. На мерцание звезд влияет состояние атмосферы, содержание в ней паров воды, движение воздуха. Поэтому большее или меньшее мерцание звезд может служить признаком изменения погоды.

В различных условиях необходимо знать данные о наступлении рассвета, темноты, продолжительности сумерек. Сумерками называется явление свечения неба еще до восхода Солнца или после его захода. Воздух окружает Землю, поднимаясь на большую высоту. В то время как для нас на земной поверхности Солнце зашло и лучи его уже не освещают земных предметов, воздух, находящийся

выше, еще освещен, и частицы его отбрасывают свет на Землю.

Если в точке M на Земле (рис. 54) Солнце заходит и начинаются сумерки, то место M_1 освещается только лучами, отраженными от верхних слоев атмосферы, а в место M_2 уже не попадают и отраженные лучи—здесь сумерки закончились и наступила темнота.

Считается, что небо перестает светиться от солнечных лучей, когда центр Солнца опускается под горизонт

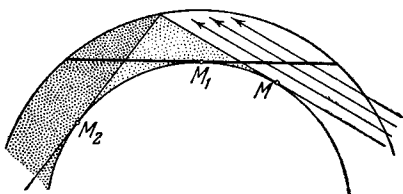


Рис. 54.

на 18° ; этот момент называется концом *астрономических сумерек*. Практически имеют большое значение так называемые *гражданские сумерки*, конец которых наступает, когда центр Солнца опускается ниже горизонта на 7° . В это время на небе становятся видны яркие звезды и планеты. В практике авиации гражданскими сумерками заканчиваются дневные условия полета.

Продолжительность сумерек зависит от времени года и от широты места. Севернее широты 60° , т. е. в Ленинграде и дальше к северу, гражданские сумерки летом могут длиться всю ночь, так как там в это время года центр Солнца даже в полночь опускается под горизонт меньше, чем на 7° . Там бывают белые ночи, а за полярным кругом ($66\frac{1}{2}^\circ$ северной широты) Солнце может и совсем не заходить.

В приложении IX дана таблица продолжительности гражданских сумерек для различных широт (см. стр. 150).

Г Л А В А VII

ПОНЯТИЕ ОБ АСТРОНОМИЧЕСКОЙ ОРИЕНТИРОВКЕ,

ПРИМЕНЯЕМОЙ В МОРЕПЛАВАНИИ И АВИАЦИИ

Для мореплавателей еще в середине прошлого столетия был разработан особый метод, дающий возможность несложными наблюдениями и вычислениями достаточно быстро и точно найти местоположение судна на глобусе или на карте. Впоследствии этот метод был усовершенствован и применен также в авиации. Первоначально разработал этот метод капитан Сомнер. В настоящее время установлено, что почти в то же время русский военный моряк, поручик корпуса флотских штурманов Акимов применил на практике в 1839 году новый способ быстрого определения местоположения корабля в море, более универсальный и удобный, чем тот, который был предложен Сомнером. Метод Акимова в несколько измененном виде и применяется в случаях получения наибольшей точности. Он также ближе всего к способу, применяемому в современной авиации.

Идея метода исходит из того, что в любой момент всякое светило находится в зените некоторого определенного места Земли.

Если данное светило находится в зените для некоторого места, то по небесным координатам светила легко определяется географическое положение этого места.

В самом деле, для всякого кульминирующего светила мы имеем (стр. 93) $\varphi = \delta \pm z$. Если же светило находится в зените, то $z = 0$, и тогда $\varphi = \delta$. Это значит, что, взяв склонение этого светила по звездной карте или, если надо знать его точнее, — из каталога, получим и широту

места на Земле (например, если склонение оказалось равным 60° , то и широта равна 60°).

Для определения долготы надо иметь точные часы, идущие по времени начального меридиана или по времени известного пояса, которое может быть легко переведено во всемирное. Если светило наблюдается в зените, то оно расположено в плоскости меридиана данного места. Благодаря видимому вращению неба светило последовательно переходит от одного меридиана к другому. Когда оно находится в плоскости начального меридиана, его часовой угол там равняется нулю. Когда оно находится в плоскости меридиана данного места, часовой угол светила для начального меридиана в это время равен угловой разности между меридианом данного места и начальным меридианом, а это и есть долгота места.

Часовой угол найдется из соотношения между звездным временем и прямым восхождением (стр. 56):

$$s = \alpha + t, \quad \text{или} \quad t = s - \alpha,$$

а так как часовой угол светила для начального меридиана в данный момент равен долготе места, для которого светило находится в зените, то долгота получится, если из звездного всемирного времени момента наблюдения вычесть прямое восхождение светила. Прямое же восхождение может быть взято с карты или из каталога. То место на Земле, для которого светило наблюдается в зените, называется *географическим местом светила*. Это место обозначится, если вообразить линию, идущую от центра Земли к светилу. Так легко можно было бы определить широту и долготу любого места как географического места некоторого светила. Но для этого должно быть установлено, что светило находится точно в зените места наблюдения, что не всегда возможно сделать, тем более на самолете, да и редко данное светило может оказаться точно в зените данного места. Солнце и Луна в наших широтах никогда не бывают в зените.

§ 24. Определение местоположения по двум звездам

Почти всегда приходится наблюдать светило в некотором удалении от зенита. В таком случае мы измеряем секстаном высоту светила и находим его зенитное

расстояние, например, высота $h=63^\circ$, зенитное расстояние $z=90^\circ-63^\circ=27^\circ$.

На рис. 55 точка M представляет место наблюдения на Земле, точка A —географическое место светила, MS' —направление на светило из места наблюдения, OS —направление на то же светило из центра Земли. Благодаря чрезвычайной удаленности светила линия MS' параллельна OS и $\angle ZMS' = \angle MOA$. Это значит, что мы находимся на Земле в таком же угловом удалении от геогра-

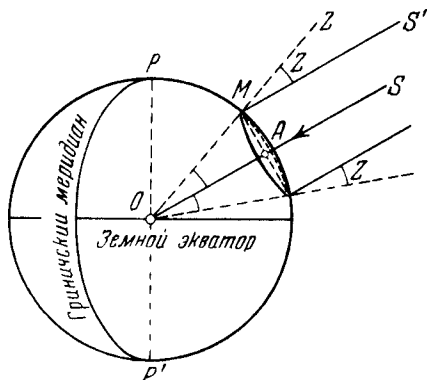


Рис. 55.

фического места A светила, в каком светило на небесной сфере удалено от зенита,—в нашем примере 27° .

Надо заметить, что такое же зенитное расстояние светила, а стало быть, и такая же высота его над горизонтом будут не только для нашего места, но и для всех точек на Земле, образующих на земной поверхности круг с центром в географическом месте светила. Этот круг называют *кругом равных высот* или *позиционным кругом*. Значит, определив зенитное расстояние светила, например 27° , мы можем только сказать, что мы удалены от географического места светила на 27° , но это может быть в любом месте позиционного круга с радиусом 27° .

Чтобы узнать, где мы находимся на этом круге, надо взять другое светило и по нему подобным же образом наметить круг нашего положения. Второе светило имеет иную высоту и зенитное расстояние, для него мы получим

иное географическое место A_1 и иной радиус позиционного круга A_1M (рис. 56).

Так как мы находимся на том и на другом круге, то точка пересечения кругов укажет место нашего положения на Земле. Хотя у двух кругов, собственно говоря, две точки пересечения, но они обычно значительно удалены на Земле друг от друга. Решить вопрос, какая из

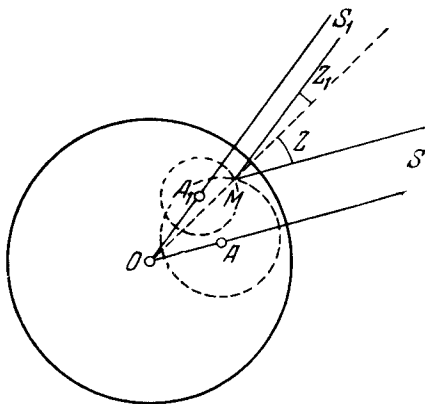


Рис. 56.

этих двух точек соответствует нашему положению, не представляет труда, когда мы знаем приблизительно район, в котором находимся. На корабле можно иметь земной глобус, на котором и вычерчиваются нужные позиционные круги. Но можно не вычерчивать полных кругов, а намечать только линии вблизи обозначающейся точки их пересечения. Учитывая это, можно пользоваться картой в большом масштабе вместо глобуса.

Радиусы позиционных кругов на Земле очень велики. В самом деле, 1° дуги земного меридиана, как мы знаем, имеет длину около 110 км; значит, при сравнительно большой высоте светила, положим 70° , и зенитном расстоянии $90^\circ - 70^\circ = 20^\circ$ радиус позиционного круга получается 2200 км. Поэтому на практике без особой погрешности можно изображать части кругов равных высот на карте большого масштаба в виде прямых линий. Эти отрезки

как бы выпрямленных дуг называются *линиями положения* или *линиями равных высот*.

Каждая из этих линий как дуга окружности перпендикулярна к своему радиусу. Радиус же позиционного круга MA (рис. 56)—это линия на земной поверхности, проведенная от места нашего нахождения к географическому месту светила и лежащая в плоскости круга высоты (в вертикали) светила, которая определяется азимутом светила. Направление радиуса, можно сказать, совпадает с направлением на светило. Это значит, что если на карте наметить направление по азимуту светила, то линия равных высот будет к этому направлению перпендикулярна.

Чтобы провести линии равных высот как отрезки прямых на карте, мы не можем уже пользоваться географическим местом светила как центром и вычерчивать круги. Точка, через которую надо провести линию, находится на карте, исходя из приближенного местонахождения корабля или самолета, а это местонахождение вычисляется на основании курса самолета, его скорости и протекшего времени.

Вычисленное таким образом или, как его называют, «счислимое» местоположение, отмеченное на карте, дает нам приближенную широту и долготу места ($\varphi_{\text{п}}$, $\lambda_{\text{п}}$). По показанию звездных часов мы будем иметь часовой угол: $t = s - \alpha$. Зная широту φ , склонение δ светила и часовой угол t , мы можем вычислить по одной из формул сферической астрономии (см. Приложение XIII, стр. 154), какова должна быть в данном месте высота светила.

По большей части счислимое место не совпадает с действительным. Если вычисленное зенитное расстояние больше наблюдаемого, то в действительности мы находимся ближе к географическому месту светила. В этом случае разность между вычисленным и наблюдаемым зенитным расстоянием покажет, как далеко по радиусу круга равных высот мы находимся от счислимого места в сторону светила. Если же вычисленное зенитное расстояние окажется меньше наблюдаемого, то разность будет отрицательной и покажет, как далеко мы находимся от счислимого места в сторону, противоположную от географического места светила. Вместо разности зенитных рас-

используемое для контроля пути. Вследствие движения наблюдателя это место может несколько отличаться от его действительного местонахождения.

Результаты получаются точнее всего, если у двух наблюдаемых звезд азимуты отличаются примерно на 90° , потому что точка пересечения двух прямых определяется увереннее всего, если эти прямые пересекаются не под острым, а под прямым углом. Выбор звезд для наблюдений может быть произведен на глаз или с помощью бортовой звездной карты, поставленной на данный день и час.

В пути вычислять высоту и азимут светила слишком долго и неудобно. Перед полетом заготавливаются специальные заранее вычисленные таблицы. Пользуясь этими таблицами, на которых берутся счислимые высота и азимут выбранной звезды, и измерив наблюдаемую высоту этой звезды в определенный момент, наносят на карту линии равных высот, как это было показано выше.

§ 25. Определение местоположения по Солнцу

При дневных астрономических определениях места приходится пользоваться только одним светилом—Солнцем. Поэтому мы не можем получить одновременно две линии равных высот, точка пересечения которых определит место на Земле. В этом случае можно вторично наблюдать Солнце уже через некоторый промежуток времени, когда благодаря суточному вращению изменится величина азимута Солнца. Поэтому надо, произведя первое наблюдение и прочертив первую линию равных высот, проследить внимательно за курсом самолета и его скоростью, чтобы возможно точнее рассчитать место на карте второго положения в момент второго измерения высоты Солнца.

На рис. 58 цифрой *I* помечена первая линия равных высот, проведенная в результате первого измерения высоты Солнца. По истечении некоторого промежутка времени самолет перешел из точки M_1 в точку M_2 . Произведя новое измерение высоты Солнца, построим для точки M_2 вторую линию равных высот, помеченную цифрой *II*. Чтобы определить истинное местоположение, перенесем параллельно в точку M_2 построение первой линии поло-

жения. Из точки M_2 проводим прямую, параллельную прямой M_1C , и откладываем на ней от точки M_2 расстояние, равное M_1C . В полученной точке восстанавливаем перпендикуляр, который будет параллелен линии I равных высот. Эта линия пересечется с линией II равных высот. Точка их пересечения M и есть местонахождение наблюдателя.

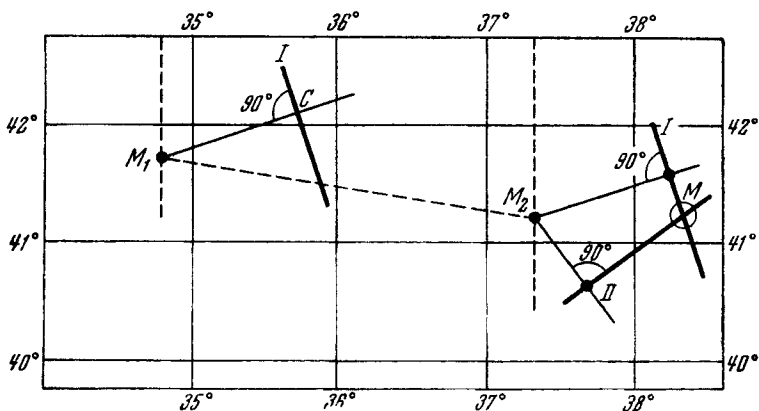


Рис. 58.

Иногда вторым светилом днем может служить Луна, для которой одновременно с Солнцем может быть также найдена линия равных высот. Под вечер, еще до наступления темноты, можно наблюдать яркие планеты, например Венеру, Юпитер.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изложенные в настоящей книге способы астрономической ориентировки только тогда могут быть по-настоящему и в любом случае быстро использованы, когда они будут не только хорошо поняты, но и усвоены путем многократных упражнений в наблюдениях простым глазом над небом, притом в разное время и при различных расположениях светил по отношению к горизонту и к полюсу мира (Полярной звезде).

Если вначале надо уделять для этих упражнений особое время, то в дальнейшем следует только каждый раз,

когда мы оказываемся под открытым безоблачным небом, стараться найти на нем те или иные созвездия и отдельные яркие звезды, начиная с Большой Медведицы и Полярной звезды, замечать их расположение, отмечать направление меридиана, кульминирующие звезды, звезды в восточной стороне, звезды в западной стороне неба, определять время по стрелке Б. Медведицы и т. д. Днем следует замечать положение Солнца и Луны, если последняя видна, и по ним определять основные направления относительно горизонта и время; по фазе Луны рассчитывать, какая часть ночи будет сопровождаться лунным освещением.

Для справок и проверки себя при наблюдениях неба следует из прилагаемых к книге листов со звездной картой и кругом для выреза сделать подвижную карту, как это указано в пояснениях к ней. Установив карту на данный день и час, легко освежить в памяти все названия созвездий и ярких звезд, видимых в это время на ночном небе, и их расположение по отношению к горизонту, а потом найти это все на небе вечером.

Тем, кто хотел бы получить более подробное знакомство с методами практической астрономии, применяемыми, например, в мореходном деле или в авиации, а также узнать больше о самих небесных светилах, можно рекомендовать прочесть еще книги, примерный список которых приводится на стр. 160.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ I

ГРЕЧЕСКИЙ АЛФАВИТ

Буквы	Названия	Буквы	Названия
Α, α	альфа	Ν, ν	ни
Β, β	бэта	Ξ, ξ	кси
Γ, γ	гамма	Ο, ο	омикрон
Δ, δ	дельта	Π, π	пи
Ε, ε	эпсилон	Ρ, ρ	ро
Ζ, ζ	дзета	Σ, σ, ς	сигма
Η, η	эта	Τ, τ	тау
Θ, θ, ϑ	тэта	Υ, υ	ипсилон
Ι, ι	йота	Φ, φ	фи
Κ, κ	каппа	Χ, χ	хи
Λ, λ	ламбда	Ψ, ψ	пси
Μ, μ	ми	Ω, ω	омега

ПРИЛОЖЕНИЕ II

ПЛАНЕТЫ

(видимые простым глазом)

Название планеты	Среднее расстояние от Солнца		Период обращения вокруг Солнца в годах	Диаметры, выраженные в земных диаметрах	Видимая звездная величина (в период наибольшего блеска)
	в млн. км	по отношению к земному			
Меркурий	58	0,39	0,24	0,40	—1,5
Венера	108	0,72	0,62	0,99	—4,9
Марс	228	1,52	1,88	0,54	—1,8
Юпитер	778	5,20	11,86	11,1	—2,4
Сатурн	1426	9,54	29,46	9,4	—0,2

ПРИЛОЖЕНИЕ III

СПИСОК СОЗВЕЗДИЙ

Таблица дает названия всех 88 созвездий неба, принятые международным соглашением 1922 г., и соответствующие латинские названия. Зодиакальные созвездия отмечены буквой З, созвездия, лежащие целиком или большей своею частью к северу от склонения $+40^\circ$, — буквой С и созвездия к югу от склонения -40° — буквой Ю. Созвездия *Carina* (Киль), *Puppis* (Корма), *Pixis* (Компас) и *Vela* (Парус) прежде считались за одно созвездие *Argo Navis* (Корабль Арго)

Русские названия	Латинские названия	Примечания	Русские названия	Латинские названия	Примечания
Андромеда	Andromeda		Дракон	Draco	С
Близнецы	Gemini	З	Единогор	Monoceros	
Большая Медведица	Ursa Major	С	Жеребёнок (Малый Конь)	Equuleus	
Большой Пёс	Canis Major		Жертвенник	Ara	Ю
Весы	Libra	З	Живописец	Pictor	Ю
Водолей	Aquarius	З	Жираф	Camelopardalis	С
Возничий	Auriga				
Волк	Lupus	Ю	Журавль	Grus	Ю
Волопас	Bootes		Заяц	Lepus	
Волосы Вероники	Coma Berenices		Змееносец	Ophiuchus	
Ворон	Corvus		Змея	Serpens	
Геркулес	Hercules		Золотая Рыба	Dorado	Ю
Гидра	Hydra		Индеец	Indus	Ю
Голубь	Columba		Кассиопея	Cassiopeja	С
Гонимые Собаки	Canes Venatici		Киль	Carina	Ю
			Кит	Cetus	
Дева	Virgo	З	Козерог	Capricornus	З
Дельфин	Delphinus		Компас	Pixis	
			Корма	Puppis	
			Лебедь	Cygnus	

Продолжение приложения III

Русские названия	Латинские названия	Примечания	Русские названия	Латинские названия	Примечания
Лев	Leo	З	Секстан	Sextans	
Летучая Рыба	Volans	Ю	Сетка	Reticulum	Ю
Лири	Lyra		Скорпион	Scorpius	З
Лисичка	Vulpecula		Скульптор	Sculptor	
Малая Медведица	Ursa Minor	С	Столовая Гора	Mensa	Ю
Малый Лев	Leo Minor		Стрела	Sagitta	
Малый Пёс	Canis Minor		Стрелец	Sagittarius	З
Микроскоп	Microscopium	Ю	Телескоп	Telescopium	Ю
Муха	Musca	Ю	Телец	Taurus	З
Насос	Antlia		Треугольник	Triangulum	
Наугольник	Norma	Ю	Тукап	Tucana	Ю
Овен	Aries	З	Феникс	Phoenix	Ю
Октан	Octans	Ю	Хамелеон	Chamaeleon	Ю
Орел	Aquila		Центавр	Centaurus	Ю
Орион	Orion		Цефей	Cepheus	С
Павлин	Pavo	Ю	Циркуль	Circinus	Ю
Парус	Vela	Ю	Часы	Horologium	Ю
Пегас	Pegasus		Чаша	Crater	
Персей	Perseus	С	Щит	Scutum	
Печь	Fornax		Эридан	Eridan	
Райская Птица	Apus	Ю	Южная Гидра	Hydrus	Ю
Рак	Cancer	З	Южная Корона	Corona	
Резец	Caelum			Austrina	
Рыбы	Pisces	З	Южная Рыба	Piscis	
Рысь	Lynx	С		Austrinus	
Северная Корона	Corona Borealis		Южный Крест	Cruce	Ю
			Южный Треугольник	Triangulum Australe	Ю
			Ящерица	Lacerta	С

ПРИЛОЖЕНИЕ IV

СПИСОК ЯРКИХ ЗВЕЗД
С ИХ ЭКВАТОРИАЛЬНЫМИ КООРДИНАТАМИ

№	Название	Звездная величина	Прямое восхо- ждение	Склоне- ние
1	α Андромеды (<i>Альферац</i>) . . .	2,2	0 ^h 5 ^m ,8	+28°47'
2	β Кассиопеи	2,4	0 6,5	+58 50
3	α Кассиопеи	2,1—2,6	0 37,7	+56 14
4	β Кита	2,2	0 41,1	—18 18
5	γ Кассиопеи	2,2	0 53,7	+60 25
6	β Андромеды	2,4	1 6,9	+35 19
7	α М. Медведицы (<i>Полярная</i>) . .	2,1	1 48,8	+89 00
8	γ Андромеды	2,3	2 0,8	+42 03
9	α Овна	2,2	2 4,3	+23 12
10	α Персея	1,9	3 20,7	+49 40
11	α Тельца (<i>Альдебаран</i>)	1,1	4 33,0	+16 24
12	β Ориона (<i>Ригель</i>)	0,3	5 12,1	— 8 16
13	α Возничего (<i>Капелла</i>)	0,2	5 13,0	+45 57
14	γ Ориона (<i>Беллатрикс</i>)	1,7	5 22,4	+ 6 18
15	β Тельца	1,8	5 23,1	+28 34
16	δ Ориона	2,5	5 29,5	— 0 20
17	ϵ Ориона	1,8	5 33,7	— 1 14
18	ζ Ориона	2,0	5 38,2	— 1 58
19	η Ориона	2,2	5 45,4	— 9 41
20	α Ориона (<i>Бетельгейзе</i>)	0,9—1,2	5 52,5	+ 7 24
21	β Возничего	2,1	5 55,9	+44 57
22	β Б. Пса	2,0	6 20,5	—17 56
23	γ Близнецов	1,9	6 34,8	+16 27
24	α Б. Пса (<i>Сириус</i>)	—1,6	6 42,9	—16 38
25	ϵ Б. Пса	1,6	6 56,7	—28 54

Продолжение приложения IV

№	Название	Звездная величина	Прямое восхо- ждение	Склоне- ние
26	δ Б. Пса	2,0	7 ^h 6 ^m ,4	—26° 18'
27	η Б. Пса	2,4	7 22,1	—29 12
28	α Близнецов (<i>Кастор</i>)	1,6	7 31,2	+32 01
29	α М. Пса (<i>Процион</i>)	0,5	7 36,7	+ 5 22
30	β Близнецов (<i>Поллукс</i>)	1,2	7 42,3	+28 10
31	α Гидры	2,2	9 25,1	— 8 25
32	α Льва (<i>Регул</i>)	1,3	10 5,7	+12 15
33	β Б. Медведицы (<i>Мирак</i>)	2,4	10 58,8	+56 41
34	α Б. Медведицы (<i>Дубхе</i>)	2,0	11 0,7	+62 04
35	β Льва (<i>Денебола</i>)	2,2	11 46,5	+14 53
36	γ Б. Медведицы	2,5	11 51,2	+54 01
37	ε Б. Медведицы	1,7	12 51,8	+56 16
38	ζ Б. Медведицы (<i>Мицар</i>)	2,4	13 21,9	+55 13
39	α Девы (<i>Спика</i>)	1,2	13 22,6	—10 52
40	η Б. Медведицы	1,9	13 45,6	+49 36
41	α Волопаса (<i>Арктур</i>)	0,2	14 13,4	+19 29
42	β М. Медведицы	2,2	14 50,8	+74 23
43	α Северной Короны (<i>Гемма</i>)	2,3	15 32,6	+26 54
44	δ Скорпиона	2,5	15 57,4	—22 28
45	α Скорпиона (<i>Антарес</i>)	1,2	16 26,3	—26 18
46	α Змееносца	2,1	17 32,6	+12 36
47	γ Дракона	2,4	17 55,4	+51 30
48	α Лиры (<i>Вега</i>)	0,1	18 35,2	+38 44
49	σ Стрельца	2,1	18 52,2	—26 22
50	α Орла (<i>Альтаир</i>)	0,9	19 48,3	+ 8 43
51	γ Лебедя	2,3	20 20,4	+40 04
52	α Лебедя (<i>Денеб</i>)	1,3	20 39,7	+45 05
53	ε Пегаса	2,5	21 41,7	+ 9 37
54	α Южной Рыбы (<i>Фомальгаут</i>)	1,3	22 54,9	—29 55

ПРИЛОЖЕНИЕ V

ТАБЛИЦА ШИРОТ И ДОЛГОТ ГОРОДОВ СССР

Город	Широта	Долгота
Абакан	53°42'	6°5 ^м ,8
Александровск-Сахалинский . . .	50 54	9 28,7
Алма-Ата	43 16	5 7,8
Анадырь	66 44	11 48,7
Астрахань	46 21	3 12,2
Ашхабад	37 57	3 53,6
Баку	40 21	3 19,4
Батуми	41 40	2 46,5
Белгород	50 36	2 26,3
Белосток	53 08	1 39,8
Биробиджан	48 48	8 51,8
Брест	52 06	1 34,9
Бухара	39 46	4 16,8
Вильнюс	54 41	1 41,0
Витебск	55 10	2 0,8
Владивосток	43 07	8 47,5
Владимир	56 08	2 41,6
Вологда	59 13	2 39,5
Воронеж	51 39	2 36,8
Выборг	60 43	1 54,9
Ганджа	40 41	3 5,4
Гомель	52 25	2 4,1
Горно-Алтайск	51 57	5 41,2
Горький	56 20	2 56,0
Гродно	53 41	1 35,4
Днепропетровск	48 28	2 20,3
Енисейск	58 27	6 8,8
Ереван	40 14	2 58,0
Житомир	50 15	1 54,6
Запорожье	47 50	2 20,7
Иваново	57 0	2 43,9
Йошкар-Ола	44 50	3 11,3
Иркутск	52 16	6 57,1
Казань	55 48	3 16,5
Калинин	56 52	2 23,6
Калининград	54 42	1 22,0
Калуга	54 31	2 25,0
Каменец-Подольск	48 40	1 46,3
Каунас	54 54	1 35,5
Кзыл-Орда	44 50	1 0
Киев	56 27	2 2,0
Киров	58 36	3 18,7

Продолжение приложения V

Город	Широта	Долгота
Кишинев	47°02'	1°55 ^м ,3
Коканд	40 32	4 43,2
Кокчетав	53 16	4 37,4
Кострома	57 46	2 43,7
Краснодар	45 03	2 35,8
Красноярск	56 01	6 11,4
Куйбышев	53 11	3 20,3
Куляб	37 55	4 39,1
Курган	55 26	4 21,3
Курск	51 44	2 24,8
Кустанай	53 13	4 14,5
Кутаиси	42 15	2 50,8
Ленинабад	40 17	4 38,5
Ленинград	59 57	2 1,0
Липецк	52 37	2 38,4
Львов	49 50	1 36,1
Магадан	59 35	10 2,8
Махач-Кала	42 59	3 10,0
Минск	53 54	1 50,2
Могилев	53 54	2 1,3
Москва	55 45	2 30,3
Мурманск	68 59	2 12,2
Нальчик	43 30	2 54,4
Нарьян-Мар	67 38	3 32,0
Нахичевань	39 12	3 1,7
Николаев	46 58	2 7,9
Николаевск-на-Амуре	53 08	9 22,9
Новгород	58 31	2 5,1
Новосибирск	55 1	5 31,7
Новочеркасск	47 25	2 40,4
Нукус	42 27	3 58,3
Одесса	46 29	2 3,0
Омск	54 59	4 53,5
Орел	52 58	2 24,3
Охотск	59 21	9 33,2
Орджоникидзе	42 02	2 58,7
Оренбург	51 45	3 40,4
Ош	40 32	4 51,2
Пенза	53 11	3 0,1
Пермь	58 01	3 45,1
Петрозаводск	61 47	2 17,6
Петропавловск-Камчатский	53 0	10 34,9
Полтава	49 35	2 18,3
Пржевальск	42 30	5 13,6

Продолжение приложения V

Город	Широта	Долгота
Псков	57°49'	1°53 ^м ,3
Рига	56 57	1 36,5
Ровно	50 38	1 41,4
Ростов-на-Дону	47 13	2 38,8
Рязань	54 38	2 39,0
Салехард	66 32	4 26,5
Самарканд	39 39	4 27,9
Саратов	51 32	3 4,3
Свердловск	56 49	4 2,4
Севастополь	44 37	2 14,1
Симферополь	44 57	2 16,4
Смоленск	54 46	2 18,2
Ставрополь	43 02	2 48,0
Сталинабад	38 33	4 35,6
Сталинград	48 42	2 58,1
Сталинири	42 13	2 55,9
Степанакерт	39 49	3 59,9
Сухуми	43 0	2 44,0
Таганрог	47 13	2 35,8
Таллин	59 26	1 39,0
Тамбов	52 44	2 45,8
Тарнополь	49 33	1 42,5
Ташауз	41 50	3 59,9
Ташкент	41 18	4 37,2
Тбилиси	41 42	2 59,2
Тобольск	58 12	4 33,1
Томск	56 30	5 39,8
Тула	54 12	2 30,5
Ужгород	48 38	1 29,0
Ульяновск	54 19	3 13,6
Уральск	51 12	3 25,4
Уфа	54 43	3 43,8
Фрунзе	42 53	4 58,5
Хабаровск	48 28	2 24,9
Харьков	50 00	2 24,9
Херсон	46 38	2 10,5
Челябинск	55 10	4 5,4
Чернигов	51 29	2 5,2
Черновцы	48 18	1 43,8
Чита	52 1	7 34,0
Южно-Сахалинск	46 57	9 31,7
Якутск	62 02	8 39,0
Ярославль	57 38	2 39,5

ПРИЛОЖЕНИЕ VI

ПЕРЕВОД ЕДИНИЦ СРЕДНЕГО ВРЕМЕНИ В ЕДИНИЦЫ ЗВЕЗДНОГО

Часы		Минуты			
Среднее время	Поправка прибавляется	Среднее время	Поправка прибавляется	Среднее время	Поправка прибавляется
1 ^ч	0 ^м 9 ^с ,86	1 ^м	0 ^с ,16	31 ^м	5 ^с ,09
2	0 19,71	2	0,33	32	5,26
3	0 29,57	3	0,49	33	5,42
4	0 39,43	4	0,66	34	5,60
5	0 49,28	5	0,82	35	5,76
6	0 59,14	6	0,99	36	5,91
7	1 9,00	7	1,15	37	6,08
8	1 18,85	8	1,31	38	6,24
9	1 28,71	9	1,48	39	6,41
10	1 38,56	10	1,64	40	6,58
11	1 48,42	11	1,80	41	6,74
12	1 58,28	12	1,97	42	6,90
13	2 8,13	13	2,13	43	7,06
14	2 18,00	14	2,30	44	7,23
15	2 27,85	15	2,46	45	7,40
16	2 37,70	16	2,63	46	7,56
17	2 47,56	17	2,80	47	7,72
18	2 57,42	18	2,96	48	7,89
19	3 7,27	19	3,12	49	8,05
20	3 17,13	20	3,29	50	8,21
21	3 27,00	21	3,45	51	8,38
22	3 36,84	22	3,61	52	8,54
23	3 46,70	23	3,78	53	8,71
24	3 56,56	24	3,94	54	8,87
Секунды		25	4,11	55	9,04
		26	4,27	56	9,20
		27	4,44	57	9,36
		28	4,60	58	9,53
		29	4,76	59	9,70
		30	4,93	60	9,86
10 ^с	0 ^м 0 ^с ,03				
20	0 0,05				
30	0 0,08				
40	0 0,11				
50	0 0,14				

Пример. Перевести 22^ч 14^м 15^с единиц среднего времени в звездные.

$$(22^{\text{ч}} + 3^{\text{м}}36^{\text{с}},84) + (14^{\text{м}} + 2^{\text{с}},30) + (15^{\text{с}} + 0^{\text{с}},04) = 22^{\text{ч}}17^{\text{м}}54^{\text{с}},18.$$

Итак, 22^ч14^м15^с средних единиц = 22^ч17^м54^с,18 звездных.

ПРИЛОЖЕНИЕ VII ПЕРЕВОД ЕДИНИЦ ЗВЕЗДНОГО ВРЕМЕНИ В ЕДИНИЦЫ СРЕДНЕГО

Часы		Минуты			
Звездное время	Поправка вычитается	Звездное время	Поправка вычитается	Звездное время	Поправка вычитается
1 ^ч	0 ^м 9 ^с ,83	1 ^м	0 ^с ,16	31 ^м	5 ^с ,08
2	0 19,66	2	0,33	32	5,24
3	0 29,50	3	0,49	33	5,41
4	0 39,32	4	0,66	34	5,57
5	0 49,15	5	0,82	35	5,73
6	0 58,98	6	0,98	36	5,90
7	1 8,81	7	1,15	37	6,06
8	1 18,64	8	1,31	38	6,23
9	1 28,47	9	1,47	39	6,39
10	1 38,30	10	1,64	40	6,55
11	1 48,12	11	1,80	41	6,72
12	1 57,96	12	1,97	42	7,88
13	2 7,80	13	2,13	43	7,04
14	2 17,61	14	2,29	44	7,21
15	2 27,44	15	2,46	45	7,37
16	2 37,27	16	2,62	46	7,54
17	2 47,10	17	2,78	47	7,69
18	2 56,93	18	2,95	48	7,86
19	3 6,76	19	3,11	49	8,03
20	3 16,60	20	3,28	50	8,19
21	3 26,42	21	3,44	51	8,36
22	3 36,25	22	3,60	52	8,52
23	3 46,08	23	3,77	53	8,68
24	3 55,90	24	3,93	54	8,85
Секунды		25	4,10	55	9,01
		26	4,26	56	9,17
		27	4,42	57	9,33
		28	4,59	58	9,50
		29	4,75	59	9,67
		30	4,91	60	9,83
10 ^с	0 ^м 0 ^с ,03				
20	0 0,05				
30	0 0,08				
40	0 0,11				
50	0 0,14				

Пример. Выразить в единицах среднего времени 6^ч51^м32^с звездного времени.

$$(6^{\text{ч}} - 58^{\text{с}},98) + (51^{\text{м}} - 8^{\text{с}},36) + (32^{\text{с}} - 0^{\text{с}},08) = 6^{\text{ч}}50^{\text{м}}24^{\text{с}},58.$$

Значит, 6^ч51^м32^с звездных единиц = 6^ч50^м24^с,58 средних.

ПРИЛОЖЕНИЕ VIII

**СООТНОШЕНИЕ МЕЖДУ ДВУМЯ СИСТЕМАМИ
ИЗМЕРЕНИЙ ПРЯМЫХ ВОСХОЖДЕНИЙ**

	0 ^ч	1 ^ч	2 ^ч	3 ^ч	4 ^ч	5 ^ч	6 ^ч	7 ^ч	8 ^ч	9 ^ч	10 ^ч	11 ^ч	
00 ^м	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°	120°	135°	150°	165°	00 ^м
04	1	16	31	46	61	76	91	106	121	136	151	166	04
08	2	17	32	47	62	77	92	107	122	137	152	167	08
12	3	18	33	48	63	78	93	108	123	138	153	168	12
16	4	19	34	49	64	79	94	109	124	139	154	169	16
20	5	20	35	50	65	80	95	110	125	140	155	170	20
24	6	21	36	51	66	81	96	111	126	141	156	171	24
28	7	22	37	52	67	82	97	112	127	142	157	172	28
32	8	23	38	53	68	83	98	113	128	143	158	173	32
36	9	24	39	54	69	84	99	114	129	144	159	174	36
40	10	25	40	55	70	85	100	115	130	145	160	175	40
44	11	26	41	56	71	86	101	116	131	146	161	176	44
48	12	27	42	57	72	87	102	117	132	147	162	177	48
52	13	28	43	58	73	88	103	118	133	148	163	178	52
56	14	29	44	59	74	89	104	119	134	149	164	179	56

	12 ^ч	13 ^ч	14 ^ч	15 ^ч	16 ^ч	17 ^ч	18 ^ч	19 ^ч	20 ^ч	21 ^ч	22 ^ч	23 ^ч	
00 ^м	180°	195°	210°	225°	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°	00 ^м
04	181	196	211	226	241	256	271	286	301	316	331	346	04
08	182	197	212	227	242	257	272	287	302	317	332	347	08
12	183	198	213	228	243	258	273	288	303	318	333	348	12
16	184	199	214	229	244	259	274	289	304	319	334	349	16
20	185	200	215	230	245	260	275	290	305	320	335	350	20
24	186	201	216	231	246	261	276	291	306	321	336	351	24
28	187	202	217	232	247	262	277	292	307	322	337	352	28
32	188	203	218	233	248	263	278	293	308	323	338	353	32
36	189	204	219	234	249	264	279	294	309	324	339	354	36
40	190	205	220	235	250	265	280	295	310	325	340	355	40
44	191	206	221	236	251	266	281	296	311	326	341	356	44
48	192	207	222	237	252	267	282	297	312	327	342	357	48
52	193	208	223	238	253	268	283	298	313	328	343	358	52
56	194	209	224	239	254	269	284	299	314	329	344	359	56

ПРИЛОЖЕНИЕ IX

ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ГРАЖДАНСКИХ СУМЕРЕК

Дата \ φ		40°	44°	48°	52°	56°	60°	64°
Январь	1	0 ^ч 32 ^м	0 ^ч 35 ^м	0 ^ч 39 ^м	0 ^ч 43 ^м	0 ^ч 50 ^м	1 ^ч 1 ^м	1 ^ч 19 ^м
	11	0 32	0 34	0 38	0 42	0 48	0 58	1 13
	21	0 31	0 33	0 36	0 40	0 46	0 54	1 7
	31	0 30	0 32	0 35	0 38	0 43	0 50	1 2
Февраль	10	0 29	0 31	0 34	0 37	0 41	0 47	0 57
	20	0 28	0 30	0 33	0 36	0 40	0 45	0 53
	2	0 28	0 30	0 32	0 35	0 39	0 43	0 50
Март	12	0 28	0 30	0 32	0 35	0 38	0 43	0 49
	22	0 28	0 30	0 32	0 35	0 38	0 43	0 49
	1	0 28	0 30	0 32	0 36	0 39	0 45	0 52
Апрель	11	0 29	0 31	0 33	0 37	0 40	0 47	0 55
	21	0 29	0 32	0 34	0 38	0 43	0 50	1 2
	1	0 30	0 33	0 35	0 40	0 46	0 56	1 12
Май	11	0 31	0 34	0 37	0 43	0 50	1 3	1 32
	21	0 33	0 36	0 40	0 46	0 55	1 14	—
	31	0 34	0 37	0 42	0 49	1 1	1 30	—
Июнь	10	0 34	0 38	0 43	0 52	1 6	1 51	—
	20	0 35	0 38	0 44	0 53	1 8	2 16	—
	30	0 35	0 38	0 44	0 52	1 7	2 2	—
Июль	10	0 34	0 38	0 43	0 49	1 4	1 39	—
	20	0 33	0 37	0 42	0 48	0 59	1 22	—
	30	0 33	0 36	0 40	0 46	0 54	1 10	1 54
Август	9	0 32	0 35	0 38	0 43	0 50	1 1	1 21
	19	0 31	0 34	0 37	0 41	0 47	0 55	1 8
	29	0 30	0 33	0 35	0 39	0 44	0 51	1 1
Сентябрь	8	0 29	0 32	0 34	0 38	0 42	0 48	0 57
	18	0 29	0 32	0 34	0 37	0 41	0 46	0 54
	28	0 29	0 31	0 33	0 37	0 40	0 46	0 52
Октябрь	8	0 29	0 31	0 34	0 37	0 40	0 46	0 52
	18	0 30	0 32	0 34	0 38	0 41	0 47	0 53
	28	0 30	0 32	0 35	0 39	0 43	0 49	0 56
Ноябрь	7	0 31	0 33	0 36	0 40	0 44	0 51	1 0
	17	0 31	0 33	0 37	0 41	0 46	0 54	1 6
	27	0 32	0 34	0 38	0 42	0 48	0 57	1 12
Декабрь	7	0 32	0 35	0 38	0 43	0 50	1 0	1 17
	17	0 32	0 35	0 39	0 44	0 51	1 2	1 22
	27	0 32	0 35	0 39	0 44	0 51	1 2	1 21

Сумерки длятся всю ночь: на широте 61°—с 6 июня по 8 июля; 62°—с 30 мая по 16 июля; 63°—с 24 мая по 21 июля; 64°—с 19 мая по 26 июля.

ПРИЛОЖЕНИЕ X

ЗНАЧЕНИЯ ТРИГОНОМЕТРИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ

Угол	sin	cos	tg	ctg		Угол	sin	cos	tg	ctg	
0° 0'	0,00	1,00	0,00	∞	90° 0'	23° 0'	0,39	0,92	0,42	2,36	67° 0'
30	0,01	1,00	0,01	114,59	30	30	0,40	0,92	0,43	2,30	30
1 0	0,02	1,00	0,02	57,29	89 0	24 0	0,41	0,91	0,45	2,25	66 0
30	0,03	1,00	0,03	33,19	30	30	0,41	0,91	0,46	2,19	30
2 0	0,03	1,00	0,03	28,64	88 0	25 0	0,42	0,91	0,47	2,14	65 0
30	0,04	1,00	0,04	22,90	30	30	0,43	0,90	0,48	2,10	30
3 0	0,05	1,00	0,05	19,08	87 0	26 0	0,44	0,90	0,49	2,05	64 0
30	0,06	1,00	0,06	16,35	30	30	0,45	0,89	0,50	2,01	30
4 0	0,07	1,00	0,07	14,30	86 0	27 0	0,45	0,89	0,51	1,96	63 0
30	0,08	1,00	0,08	12,71	30	30	0,46	0,89	0,52	1,92	30
5 0	0,09	1,00	0,09	11,43	85 0	28 0	0,47	0,88	0,53	1,88	62 0
30	0,10	1,00	0,10	10,38	30	30	0,48	0,88	0,54	1,84	30
6 0	0,10	0,99	0,11	9,51	84 0	29 0	0,48	0,87	0,55	1,80	61 0
30	0,11	0,99	0,11	8,78	30	30	0,49	0,87	0,57	1,77	30
7 0	0,12	0,99	0,12	8,14	83 0	30 0	0,50	0,87	0,58	1,73	60 0
30	0,13	0,99	0,13	7,60	30	30	0,51	0,86	0,59	1,70	30
8 0	0,14	0,99	0,14	7,11	82 0	31 0	0,51	0,86	0,60	1,66	59 0
30	0,15	0,99	0,15	6,69	30	30	0,52	0,85	0,61	1,63	30
9 0	0,16	0,99	0,16	6,31	81 0	32 0	0,53	0,85	0,62	1,60	58 0
30	0,16	0,99	0,17	5,98	30	30	0,54	0,84	0,64	1,57	30
10 0	0,17	0,98	0,18	5,37	80 0	33 0	0,54	0,84	0,65	1,54	57 0
30	0,18	0,98	0,19	5,40	30	30	0,55	0,83	0,66	1,51	30
11 0	0,19	0,98	0,19	5,14	79 0	34 0	0,56	0,83	0,67	1,48	56 0
30	0,20	0,98	0,20	4,91	30	30	0,57	0,82	0,69	1,45	30
12 0	0,21	0,98	0,21	4,70	78 0	35 0	0,57	0,81	0,70	1,43	55 0
30	0,22	0,98	0,22	4,51	30	30	0,58	0,81	0,71	1,40	30
13 0	0,22	0,97	0,23	4,33	77 0	36 0	0,59	0,81	0,73	1,38	54 0
30	0,23	0,97	0,24	4,16	30	30	0,59	0,80	0,74	1,35	30
14 0	0,24	0,97	0,25	4,01	76 0	37 0	0,60	0,80	0,75	1,33	53 0
30	0,25	0,97	0,26	3,87	30	30	0,61	0,79	0,77	1,30	30
15 0	0,26	0,97	0,27	3,73	75 0	38 0	0,62	0,79	0,78	1,28	52 0
30	0,27	0,96	0,28	3,61	30	30	0,62	0,78	0,80	1,26	30
16 0	0,28	0,96	0,29	3,49	74 0	39 0	0,63	0,78	0,81	1,23	51 0
30	0,28	0,96	0,30	3,38	30	30	0,64	0,77	0,82	1,21	30
17 0	0,29	0,96	0,31	3,27	73 0	40 0	0,64	0,77	0,84	1,19	50 0
30	0,30	0,95	0,32	3,17	30	30	0,65	0,76	0,85	1,17	30
18 0	0,31	0,95	0,32	3,08	72 0	41 0	0,66	0,75	0,87	1,15	49 0
30	0,32	0,95	0,33	2,99	30	30	0,66	0,75	0,88	1,13	30
19 0	0,33	0,95	0,34	2,90	71 0	42 0	0,67	0,74	0,90	1,11	48 0
30	0,33	0,94	0,35	2,82	30	30	0,68	0,74	0,92	1,09	30
20 0	0,34	0,94	0,36	2,75	70 0	43 0	0,68	0,73	0,93	1,07	47 0
30	0,35	0,94	0,37	2,67	30	30	0,69	0,73	0,95	1,05	30
21 0	0,36	0,93	0,38	2,60	69 0	44 0	0,69	0,72	0,97	1,04	46 0
30	0,37	0,93	0,39	2,54	30	30	0,70	0,71	0,98	1,02	30
22 0	0,37	0,93	0,40	2,47	68 0	45 0	0,71	0,71	1,00	1,00	45 0
30	0,38	0,92	0,41	2,41	30						
	cos	sin	ctg	tg	Угол ↑		cos	sin	ctg	tg	Угол

Углы от 45 до 90° помещены в правой крайней колонке, счет их ведется снизу вверх и соответствующие им функции указаны внизу. Например, $\sin 53^\circ = 0,80$; $\operatorname{tg} 70^\circ 30' = 2,82$.

Для промежуточных значений углов берут значения функций ближайших углов в таблице и рассчитывают соответствующую разницу. Например, $\operatorname{ctg} 21^\circ 20'$ заключается между $\operatorname{ctg} 21^\circ$ и $\operatorname{ctg} 21^\circ 30'$. В этом промежуточное значение функции убывает от 2,60 до 2,54, т. е. на 0,06. За каждые 10' убывание на 0,02, а за 20, убывание 0,04. Следовательно, $\operatorname{ctg} 21^\circ 20' = 2,56$.

ПРИЛОЖЕНИЕ XI

ЭКВАТОРИАЛЬНЫЕ КООРДИНАТЫ СОЛНЦА, ЗВЕЗДНОЕ ВРЕМЯ И УРАВНЕНИЕ ВРЕМЕНИ

		Прямое восхождение	Склонение	Звездное время в полночь	Уравнение времени
Январь	1	18 ^h 44 ^m	—23°,1	6 ^h 40 ^m	+ 3 ^m 15 ^s
	11	19 27	—21,9	7 20	+ 7 40
	21	20 10	—20,1	7 59	+11 10
Февраль	1	20 56	—17,3	8 43	+13 34
	11	21 36	—14,2	9 22	+14 20
	21	22 15	—10,8	10 01	+13 50
Март	1	22 46	— 7,9	10 33	+12 37
	11	23 23	— 4,0	11 12	+10 20
	21	23 59	— 0,1	11 52	+ 7 32
Апрель	1	0 39	+ 4,2	12 35	+ 4 12
	11	1 16	+ 8,0	13 15	+ 1 20
	21	1 53	+11,7	13 54	— 1 06
Май	1	2 31	+14,8	14 33	— 2 50
	11	3 09	+17,7	15 13	— 3 41
	21	3 49	+20,0	15 52	— 3 34
Июнь	1	4 33	+21,9	16 36	— 2 27
	11	5 14	+23,0	17 15	— 0 42
	21	5 56	+23,5	17 54	+ 1 25
Июль	1	6 37	+23,2	18 34	+ 3 31
	11	7 19	+22,2	19 13	+ 5 15
	21	7 59	+20,6	19 53	+ 6 15
Август	1	8 42	+18,2	20 36	+ 6 20
	11	9 21	+15,5	21 16	+ 5 15
	21	9 58	+12,4	21 55	+ 3 19
Сентябрь	1	10 39	+ 8,6	22 34	+ 0 34
	11	11 15	+ 4,9	23 18	— 3 04
	21	11 51	+ 1,0	23 57	— 6 35
Октябрь	1	12 27	— 2,9	0 37	—10 02
	11	13 03	— 6,7	1 16	—13 00
	21	13 40	—10,4	1 55	—15 10
Ноябрь	1	14 23	—14,2	2 39	—16 18
	11	15 02	—17,2	3 18	—16 02
	21	15 43	—19,7	3 58	—14 19
Декабрь	1	16 26	—21,7	4 37	—11 16
	11	17 09	—22,9	5 17	— 7 08
	21	17 54	—23,5	5 56	— 2 19

Начало времен года

		1958 г.	1959 г.
Весна	Март	21, 3 ^ч 6 ^м	21, 8 ^ч 55 ^м
Лето	Июнь	21, 21 ^ч 57 ^м	22, 3 50
Осень	Сентябрь	23, 13 ^ч 10 ^м	23, 19 09
Зима	Декабрь	22, 8 ^ч 41 ^м	22, 14 35
Земля в перигелии	Январь	3, 13 ^ч 30 ^м	2, 0 27
Земля в афелии	Июль	5, 19 ^ч 37 ^м	5, 6 48

П Р И Л О Ж Е Н И Е XII

ВИДИМОСТЬ ПЛАНЕТ

Весна 1958 года

Венера—в лучах утренней зари, с апреля только в южных широтах СССР

Марс—в лучах утренней зари в восточной части неба

Юпитер—ночью в созвездии Девы, недалеко от α Девы (хорошая видимость), в апреле противостояние

Сатурн—во вторую половину ночи в южной части созвездия Змееносца

Лето 1958 года

Венера—утренняя звезда, до июля только в южных широтах СССР

Марс—во вторую половину ночи в созвездиях Рыб и Овна

Юпитер—по вечерам в созвездии Девы

Сатурн—ночью в южной части созвездия Змееносца, в июне противостояние

Осень 1958 года

Венера—до октября утренняя звезда

Марс—по вечерам и ночью около границы созвездий Овна и Тельца (хорошая видимость)

Юпитер—не виден

Сатурн—в лучах вечерней зари в юго-западной части неба

Зима 1958/59 года

Венера—с января 1959 г. вечерняя звезда

Марс—по вечерам и ночью в созвездиях Овна и Тельца (хорошая видимость)

Юпитер—сначала по утрам в созвездии Весов, потом восходит все раньше и раньше

Сатурн—не виден

Весна 1959 года

Юпитер—у границы Весов и Скорпиона, противостояние в мае, виден всю ночь невысоко над горизонтом

Сатурн—в Стрельце, противостояние в июне

П Р И Л О Ж Е Н И Е XIII

ФОРМУЛЫ ПЕРЕХОДА ОТ ЭКВАТОРИАЛЬНЫХ КООРДИНАТ
К ГОРИЗОНТАЛЬНЫМ

Когда светило кульминирует, то мы легко можем, измерив высоту или зенитное расстояние, вычислить его склонение, или, наоборот, зная склонение, вычислить его высоту по формулам

$$h = \delta + 90^\circ - \varphi \quad \text{или} \quad \varphi = \delta \pm z.$$

Но когда светило не в меридиане, приходится для вычисления экваториальных координат по горизонтальным, и обратно, решать треугольник на сфере, состоящий из дуг больших кругов. Такой треугольник называется сферическим, и формулы зависимости между его сторонами и углами выводятся в сферической тригонометрии.

Мы даем здесь без вывода лишь некоторые, могущие понадобиться, формулы в применении к астрономическому треугольнику

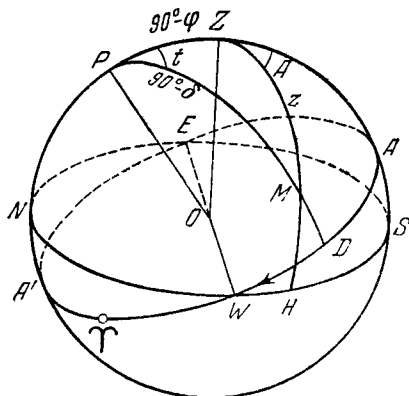


Рис. 59.

ZPM , вершинами которого служат зенит (Z), полюс мира (P) и светило (M) (рис. 59). Стороны этого треугольника следующие: $90^\circ - \varphi$; $90^\circ - \delta$; z . Внутренние углы: при вершине Z —дополнение до 180° азимута светила, т. е. $180^\circ - A$, при вершине P —часовой угол t .

Формулы перехода от экваториальных координат к горизонтальным:

$$\cos z = \sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos t,$$

$$\sin z \sin A = \cos \delta \sin t.$$

Здесь экваториальные координаты δ и t —склонение и часовой угол. Но мы всегда можем вместо t ввести прямое восхождение α по формуле $s=\alpha+t$ (см. рис. 59). Для этого, конечно, надо знать звездное время в момент наблюдения.

Эти формулы служат для расчета зенитного расстояния и азимута счислимого места при пользовании методом Акимова. Их можно также применять для определения широты, а при известной широте—для определения времени по светилу, не находящемуся в меридиане.

Пользуясь первой формулой, можно вычислять моменты восхода и захода светил. В этом случае зенитное расстояние светила $z=90^\circ$ и $\cos z=0$.

Формула примет вид

$$0 = \sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos t.$$

Отсюда

$$\cos t = -\frac{\sin \delta \sin \varphi}{\cos \delta \cos \varphi} = -\operatorname{tg} \delta \operatorname{tg} \varphi.$$

Подставив сюда числовое значение склонения светила δ и широты φ данного места, вычислим часовой угол t . Он будет иметь два значения, отличающихся друг от друга знаками плюс и минус. Так как часовой угол отсчитывается от южной стороны меридиана к западу, то знак плюс соответствует заходу светила, а знак минус—восходу. Зная часовой угол, можно вычислить время восхода и захода по формуле $s=\alpha+t$, где α —прямое восхождение светила, которое, как и склонение, берется из справочника (каталога звезд). В результате получается звездное время s восхода и захода. Его можно перевести в среднее, но для этого надо указать дату.

Подобным образом можно вычислить азимуты точек восхода и захода по формуле

$$\cos A = -\frac{\sin \delta}{\cos \varphi},$$

легко получаемой из предыдущих формул.

Пример. Определить время восхода звезды Арктур ($\alpha=14$ ч. 12 м.; $\delta=19^\circ 33'$) 1 мая в Москве ($\varphi=55^\circ 45'$):

$$\cos t = -\operatorname{tg} 19^\circ 33' \cdot \operatorname{tg} 55^\circ 45' = -0,35 \cdot 1,47 = -0,51;$$

$$t = \pm (180^\circ - 59^\circ) = \pm 121^\circ = \pm 8 \text{ ч. } 4 \text{ м.}$$

Для восхода надо взять $t=-8$ ч. 4 м. Звездное время восхода $s=\alpha+t=14$ ч. 12 м.—8 ч. 4 м.=6 ч. 8 м. Звездные часы 1 мая впереди гражданских приблизительно на 14 ч. 35 м. Отнимая это число от 6 ч. 8 м.+24 ч., получаем: время восхода Арктура по местному гражданскому времени 15 ч. 33 м., а по декретному в Москве около 16 часов.

ПРИЛОЖЕНИЕ XIV

СТЕРЕОГРАФИЧЕСКАЯ СЕТКА

Для графического решения задач на сфере (без формул) удобно пользоваться стереографической проекцией сетки сферических координат на меридиональную плоскость (см. прилагаемую сетку).

Положим, даны часовой угол t и склонение δ светила (например, $t=4$ ч. и $\delta=75^\circ$). Найти A и z для наблюдателя, находящегося на данной широте (например, $\varphi=56^\circ$).

Принимаем сетку за систему экваториальных координат. Накладывая на нее чистую кальку или прозрачную бумагу, наносим на последнюю светило по заданным его экваториальным координатам. Отмечаем на кальке северный полюс (верхняя точка, в которой сходятся все меридианы), центр сетки и положение светила по данным t и δ .

Теперь будем рассматривать ту же сетку как систему горизонтальных координат и экватор сетки примем за горизонт наблюдателя. Накладываем вновь ту же кальку, совмещая центр так, чтобы отмеченный на ней полюс мира поднимался над горизонтом на угол, равный широте места наблюдения φ . Отсчитываем по сетке A и z светила. В данном примере для широты 56° получаем $A=152^\circ$, $z=29^\circ$.

Стереографическая сетка позволяет решить и ряд других задач. Подробнее см. книгу П. Г. Куликовского «Справочник астронома-любителя», Гостехиздат, 1953.

ПРИЛОЖЕНИЕ XV

КАРТА МАГНИТНЫХ СКЛОНЕНИЙ СССР

(См. вкладку). Пользуясь картой магнитных склонений СССР, можно определить магнитное склонение, т. е. отклонение магнитной стрелки компаса от направления на географический полюс, для любого пункта. Например, Минск имеет восточное склонение 2° , так как он лежит на сплошной линии, в верхнем конце которой поставлено 2° . Москва находится между сплошными линиями 6° и 8° , несколько ближе к 6° . Значит, Москва имеет восточное склонение немного менее 7° . Такое же приблизительно магнитное склонение имеют Сталинград, Астрахань и др. Магнитное склонение, близкое к нулю, имеют Рига и Иркутск. Чита лежит между пунктирными линиями 4° и 6° и, следовательно, имеет западное магнитное склонение около 5° . Значит, в Чите северный конец стрелки компаса отклонен к западу от направления на географический полюс приблизительно на 5° .

ПРИЛОЖЕНИЕ XVI

ПОДВИЖНАЯ КАРТА ЗВЕЗДНОГО НЕБА

(См. вкладки.) Подробное описание изготовления см. на стр. 105.

ПРИЛОЖЕНИЕ XVII

ПОЛЯРНЫЕ ЗВЕЗДНЫЕ ЧАСЫ

(См. вкладку.) Описание изготовления и применения см. на стр. 75.

ПРИЛОЖЕНИЕ XVIII

СХЕМА И ПРИМЕР ЗАПИСИ НАБЛЮДЕНИЙ
ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПОПРАВКИ ЧАСОВ С ПОМОЩЬЮ
СОЛНЕЧНОГО КОЛЬЦА

(Часы идут по местному гражданскому времени)
Наблюдатель Александрова Н. Б.

5 апреля 1953 г.

Показание часов

Явление	До кульмин.	После кульмин.	Кульмин.
Штрих 74 ☉	10 ^ч 21 ^м 15 ^с	13 ^ч 48 ^м 39 ^с	12 ^ч 4 ^м 57 ^с
74 ☉	10 22 55	13 47 07	12 5 01
74 ☉	10 24 21	13 45 27	12 4 59
74 ☉	10 25 42	13 44 02	12 4 54
Момент истинного полудня (по часам наблюдателя)			12 ^ч 4 ^м 58 ^с
Момент истинного полудня по среднему местному времени (см. Приложение XI)			12 2 52
Поправка часов			— 2 06

ПРИЛОЖЕНИЕ XIX

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ШИРОТЫ МЕСТА
С ПОМОЩЬЮ СОЛНЕЧНОГО КОЛЬЦА

Пользуясь солнечным кольцом, можно определить высоту (h) Солнца по положению блика на шкале кольца (рис. 60). Высота Солнца определится углом, вершина которого лежит в центре отверстия кольца, а стороны: одна—направление солнечного луча, другая—горизонтальное направление. Горизонтальное направление проходит через центр отверстия и точку, лежащую по другую сторону подвеса на таком же расстоянии от него по кольцу. Эту точку можно отметить как постоянную на шкале и взять ее за начало шкалы O . Угол с вершиной на окружности измеряется, как известно из элементарной геометрии, половиной дуги, на которую он опирается: $\frac{OK}{2}$. Если вычислить предварительно цену каждого

деления шкалы в градусной мере при известном внутреннем радиусе кольца, то мы и узнаем высоту Солнца в градусах по тому делению шкалы, на котором виден блик. Цена деления шкалы $a = \frac{360^\circ}{n}$, где n —число делений шкалы в полной окружности $2\pi r$ (r —радиус кольца).

Чтобы определить широту места, надо сделать два наблюдения одной и той же высоты Солнца с промежутком в 1,5—2 месяца

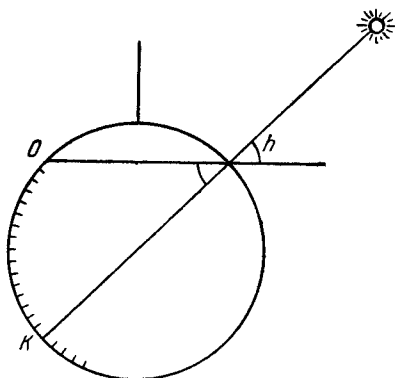


Рис. 60.

(например, 15 сентября и 1 ноября), когда значение склонения Солнца изменится на достаточную величину. Для каждого наблюдения можно написать формулу

$$\cos z = \sin \delta_1 \sin \varphi + \cos \delta_1 \cos \varphi \cos t_1,$$

$$\cos z = \sin \delta_2 \sin \varphi + \cos \delta_2 \cos \varphi \cos t_2,$$

где z —зенитное расстояние Солнца.

Вычитая из первого равенства второе, получим следующее:

$$0 = \sin \varphi (\sin \delta_1 - \sin \delta_2) + \cos \varphi (\cos \delta_1 \cos t_1 - \cos \delta_2 \cos t_2).$$

Откуда:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\cos \delta_2 \cos t_2 - \cos \delta_1 \cos t_1}{\sin \delta_1 - \sin \delta_2}.$$

Часовой угол Солнца для того и другого наблюдения можно определить, имея выверенные часы и моменты наблюдений, выраженные в звездном времени.

Кроме того, солнечное кольцо может быть использовано и для определения долготы места, так как с его помощью можно определить местное время.

ПРИЛОЖЕНИЕ XX

УСТРОЙСТВО УПРОЩЕННОГО ВЫСОТОМЕРА

На рис. 61 изображен общий вид упрощенного высотомера. Разделенный круг для него (см. вкладку) наклеивается на плот-

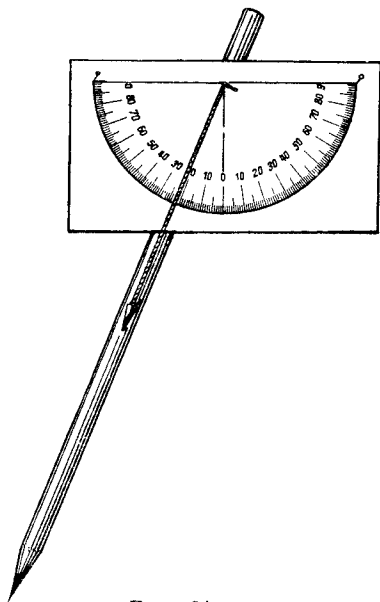


Рис. 61.

ный картон или фанерку, которая прикрепляется к деревянному колышку так, чтобы она могла вращаться. Два вбитых в диаметрально противоположные точки круга гвоздика служат визиром для наведения на светило. Нить с грузиком, прикрепленная к среднему гвоздику, дает возможность сделать отсчет.

При помощи высотомера можно определить высоту светила с точностью до $0^{\circ},5$, а по высоте Полярной с указанной точностью определить географическую широту.

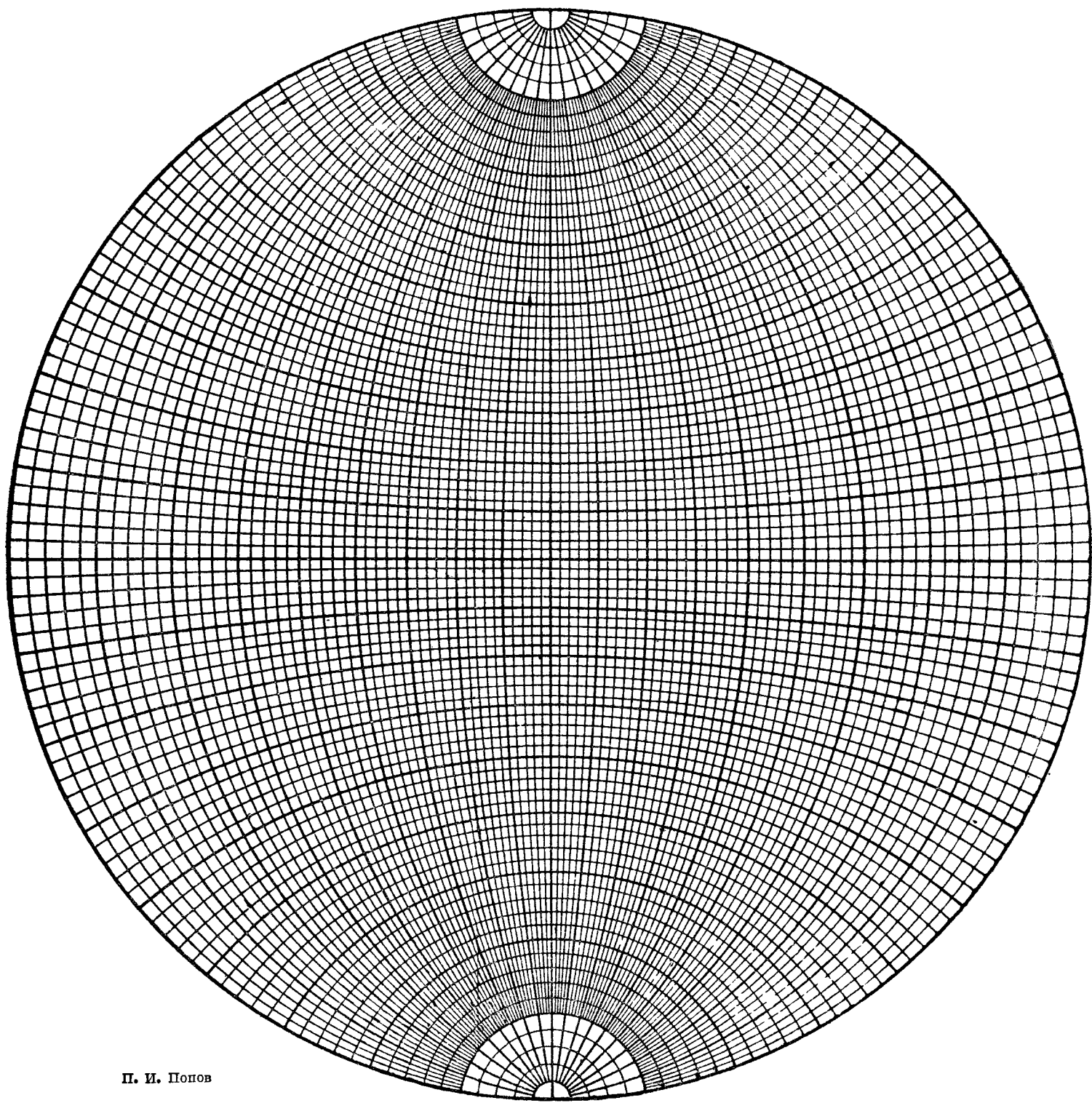
ПРИЛОЖЕНИЕ XXI

КАРТА ЧАСОВЫХ ПОЯСОВ

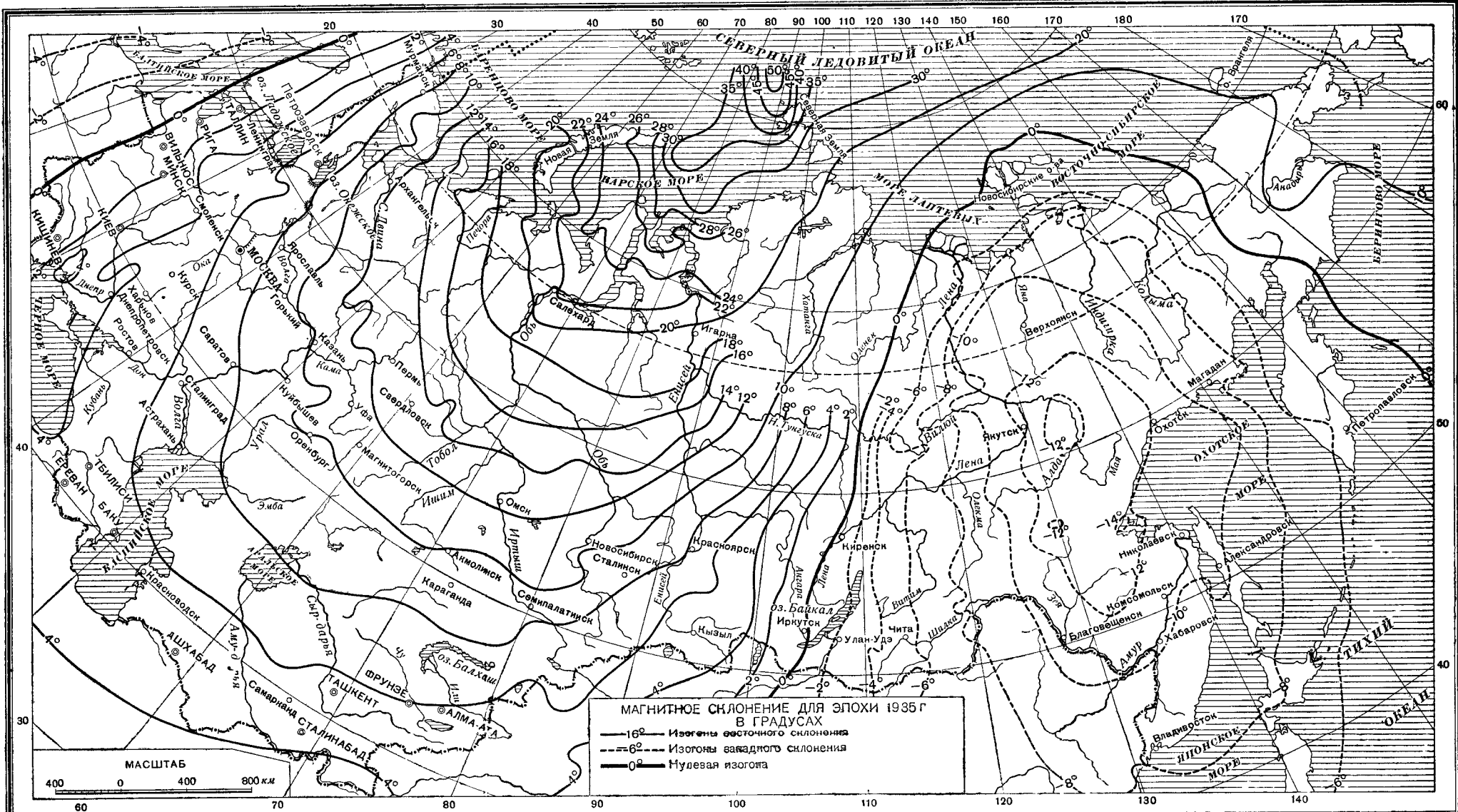
(См. вкладку). Подробное описание см. на стр. 69—70.

ЛИТЕРАТУРА

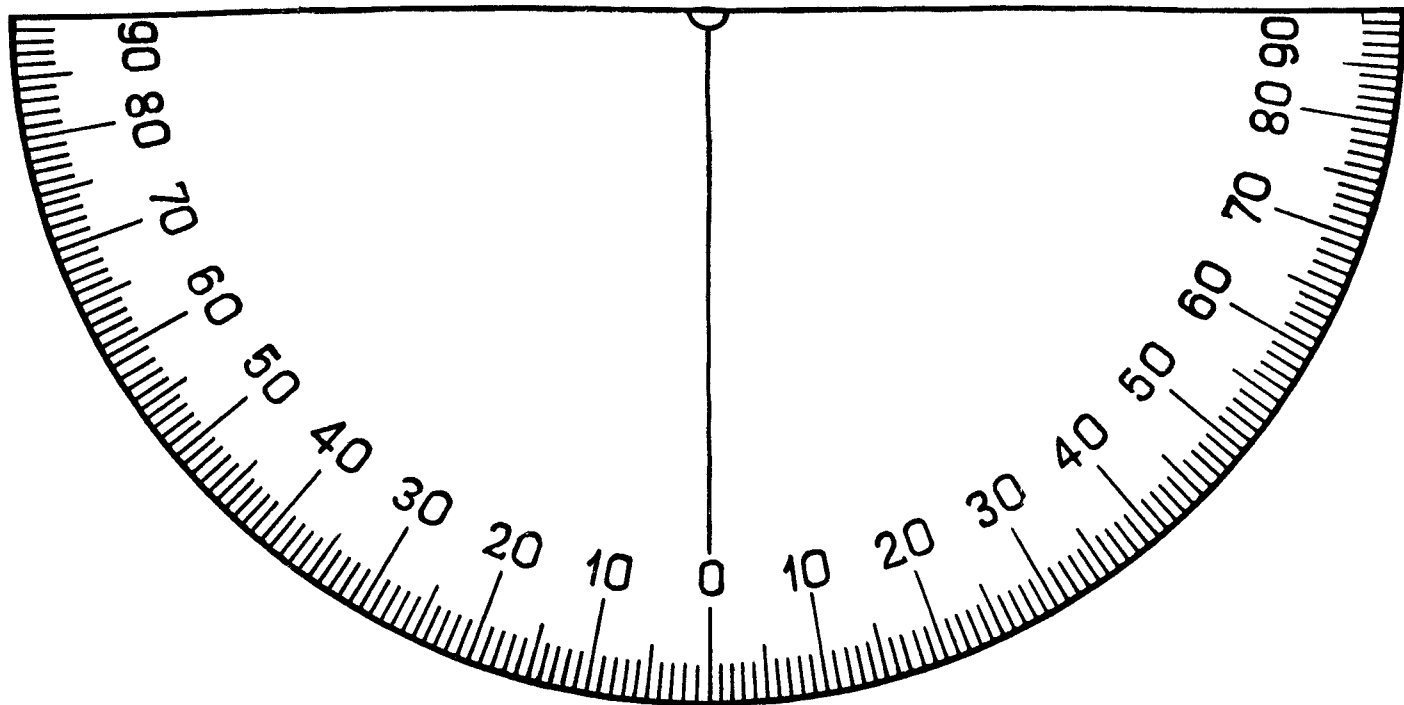
1. Р. В. К у н и ц к и й, Авиационная астрономия, Воениздат, 1947.
 2. Р. В. К у н и ц к и й, Курс авиационной астрономии, Воениздат, 1949.
 3. П. И. М и х а й л о в, Мореходная астрономия, Изд. Военно-морского училища связи, 1936.
 4. Б. П. Х л ю с т и н, Мореходная астрономия, Изд. «Морской транспорт», 1948.
 5. А. П. Б е л о б р о в, Мореходная астрономия, Гидрометеиздат, 1954.
 6. М. И. Г у р е в и ч, Астрономическая навигация, Речиздат, 1940.
 7. Б. С. К у з ь м и н, Основы астрономического метода измерения времени, Гостехиздат, 1954.
 8. П. И. П о п о в, К. Л. Б а е в, Б. А. В о р о н ц о в-В е л ь я м и н о в, Р. В. К у н и ц к и й, Астрономия, Учпедгиз, 1953.
 9. Н. Я. К о н д р а т ь е в, Астрономия в авиации, Воениздат, 1952.
 10. П. Г. К у л и к о в с к и й, Справочник астронома-любителя, Изд. 2-е, Гостехиздат, 1953.
 11. Астрономический календарь (на каждый год), Гостехиздат.
 12. Школьный астрономический календарь (на каждый год), Учпедгиз.
 13. С. Н. Б л а ж к о, Курс практической астрономии, Гостехиздат, 1951.
 14. П. И. П о п о в, Астрономия для географов, Учпедгиз, 1958.
-



КАРТА МАГНИТНЫХ СКЛОНЕНИЙ СССР



РАЗДЕЛЕННЫЙ КРУГ УПРОЩЕННОГО ВЫСОТОМЕРА



Опечатки

Страница	Строка	Напечатано	Должно быть
48	3 св.	$5^{\circ}44'$	$51^{\circ}44'$
100	16 сн.	δ Девы	\circ Девы
104	15 сн.	($=\delta+23^{\circ}27'$)	($\delta=+23^{\circ}27'$)

Зак. 18.

Page 1 of 1

THE UNIVERSITY OF CHICAGO
LIBRARY
1100 EAST 58TH STREET
CHICAGO, ILL. 60637