

**ЛАБОРАТОРНЫЙ
ПРАКТИКУМ
ПО КУРСУ ОБЩЕЙ
АСТРОНОМИИ**

М. М. ДАГАЕВ

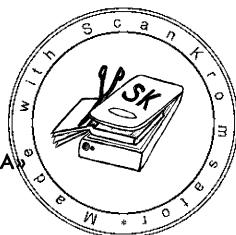
ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО КУРСУ ОБЩЕЙ АСТРОНОМИИ

ИЗДАНИЕ 2-Е,
ДОПОЛНЕННОЕ И ИСПРАВЛЕННОЕ

Допущено Министерством просвещения СССР в качестве учебного пособия для студентов педагогических институтов



ИЗДАТЕЛЬСТВО «ВЫСШАЯ ШКОЛА»
Москва — 1972



Дагаев М. М.
Д14 Лабораторный практикум по курсу общей астрономии. Учеб. пособие для ин-тов. Изд. 2-е, доп. и испр. М., «Высш. школа», 1972.

424 с. с илл.

Практикум содержит описание 49 лабораторных работ, 87 планшетов к ним, краткие указания для самостоятельных наблюдений и некоторые справочные таблицы, необходимые для выполнения работ. В отличие от первого издания (в 1963 г.) в нем пересмотрено содержание и сокращено описание некоторых работ, продумана более рациональная форма отчетов, включен ряд новых работ по общей структуре Галактики, звездным системам, элементам радионаблюдений и др.

Предназначается для студентов физических и физико-математических факультетов педагогических институтов.

2—6—1
55—72

52

Михаил Михайлович Дагаев

**ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО КУРСУ
ОБЩЕЙ АСТРОНОМИИ**

Редактор Иванов И. А.
Художественный редактор Пономаренко В. И.
Технический редактор А. К. Нестерова
Корректор М. М. Малиновская

Сдано в набор 9/VII—71 г. Подп. к печати 24/XII—71 г.
Формат 60×90^{1/16}. Объем 26,5+вкл. 0,5 п. л. Уч.-изд. л. 1074.
Изд. № ФМ—396. Тираж 11 000 экз. Цена 65 коп. Заб. 545.

План выпуска литературы для вузов и техникумов
издательства «Высшая школа» на 1972 г. Позиция № 57
Москва, Ю-51, Неглинная ул., д. 29/14. Издательство
«Высшая школа»

Ярославский полиграфкомбинат Главполиграфпрома Ко-
митета по печати при Совете Министров СССР. Ярос-
лавль, ул. Свободы, 97.



ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящее, второе издание «Лабораторного практикума по курсу общей астрономии» отличается от первого тем, что пересмотрено содержание и сокращено описание некоторых работ, исключены формы отчетов ряда работ (студентам предлагается составить формы отчетов самостоятельно), исключены не нашедшие применения работы «Небесная сфера и небесный глобус» и «Радянты метеорных потоков», но включены новые лабораторные работы № 36 «Общая структура Галактики», № 37 «Звездные системы» и № 38 «Элементы радионаблюдений».

Значительно пересмотрено содержание работ для самостоятельных наблюдений (работы № 1н, 2н, 5н) и добавлены новые работы № 7н «Определение экваториальных координат светила по его горизонтальным координатам», № 9н «Наблюдения Солнца» и № 11н «Наблюдения искусственных спутников Земли». Таким образом в «Лабораторном практикуме» теперь содержится 49 работ, из которых 11 требуют от студентов самостоятельных наблюдений.

Некоторые задачи, органически связанные с выполнением работ «Лабораторного практикума», по-прежнему заимствованы из «Сборника задач и упражнений по астрономии» проф. Б. А. Воронцова-Вельяминова, а работы № 3н и 6н — из «Практикума по астрономии» проф. П. И. Попова и доц. Н. Я. Бугославской.

Автор выражает свою глубокую благодарность профессорам В. В. Федьнскому, Д. Я. Мартынову и В. В. Радзиевскому за ценные критические замечания по содержанию «Лабораторного практикума» директору астрономической обсерватории МГПИ им. В. И. Ленина К. М. Макарову за помощь в оформлении некоторых материалов, преподавателям астрономии Горьковского государственного педагогического института им. М. Горького доценту С. Н. Паршину и ассистенту Е. Г. Демидовичу, замечания которых в опубликованной ими

рецензии автор учел при подготовке второго издания этой книги. научному сотруднику ГАИШа В. Ф. Заболотному за предоставление материалов к лабораторной работе № 38.

Автор с благодарностью воспримет все замечания, которые будут способствовать совершенствованию лабораторных работ по курсу общей астрономии в высших учебных заведениях нашей страны.

Автор

Указания к выполнению работ

«Лабораторный практикум по курсу общей астрономии» содержит описание 38 аудиторных лабораторных работ, 87 планшето́в к ним, краткие указания к одиннадцати работам самостоятельных наблюдений и некоторые справочные таблицы, которых, как правило, в распространенной литературе не содержится.

Последовательность лабораторных работ соответствует программе и основному учебнику по астрономии для физических и физико-математических факультетов педагогических институтов и, по существу, охватывает весь курс общей астрономии, излагаемый на этих факультетах. Однако «Практикум» может быть использован и на других факультетах и специальностях, так как количество и степень трудности предлагаемых лабораторных работ и наблюдений позволяет варьировать их выбор в зависимости от учебной программы и числа учебных часов, отведенных на практическое изучение курса общей астрономии. Поэтому соответствующим кафедрам полезно заранее составить списки работ, предназначенных к выполнению студентами различных специальностей. Так, студентам физической специальности можно в первую очередь рекомендовать выполнение лабораторных работ № 1, 2, 5, 6, 7, 8, 9, 14, 15, 18, 19, 23, 24, 28, 30, 33, 35, 36 и 37; студентам математической специальности — № 1, 2, 3, 5, 8, 9, 12, 15, 19, 23, 29, 30 и 33; студентам географической специальности — № 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9 и 14.

Каждая лабораторная работа содержит перечень пособий, необходимых для ее выполнения, список основной и дополнительной литературы, задачи, рекомендуемые для самостоятельного решения, теорию и задание. Теория описывает сущность и методы выполнения лабораторных работ, причем описания большинства работ составлены так, что для выполнения заданий требуется обязательное изучение основной литературы, под которой подразумеваются рекомендованные студентам учебники по курсу общей астрономии. И только в случаях отсутствия в основной литературе сведений, достаточных для выполнения работ, описания последних составлены более подробно. Такой принцип составления описаний приучает студентов к самостоятельной проработке необходимой литературы и к сознательному выполнению лабораторных работ. В целях более глубокого и детального ознакомления с изучаемыми вопросами студентам рекомендуется дополнительная литература и предлагаются задачи для самостоятельного решения после выполнения лабораторных работ, причем выбор

рекомендованных задач осуществляется по усмотрению самих студентов или преподавателей.

Задания лабораторных работ состоят из нескольких пунктов, обозначенных арабскими цифрами, и имеют максимальный объем, который в зависимости от условий занятий по усмотрению кафедры может быть уменьшен за счет исключения пунктов, не нарушающих целостности задания, но не за счет обобщающих выводов, обязательных в каждой работе. В виде примера укажем на лабораторную работу № 23, в которой можно ограничиться определением лучевой скорости звезды относительно Земли в день наблюдений, поскольку именно это определение помогает студентам уяснить сущность метода изучения лучевых скоростей небесных тел. Приведение же лучевой скорости звезды к Солнцу, хотя и весьма желательно для выяснения полной картины научных исследований, но в условиях студенческого лабораторного практикума может считаться некоторой детализацией. Содержание некоторых лабораторных работ (например, работ № 9 и 19) рассчитано на два занятия и их рекомендуется провести полностью.

Для облегчения отбора материала к заданиям минимального объема пункты, рекомендуемые к первоочередному выполнению, отмечены звездочкой (*).

Задания большинства работ составлены в 8-ми вариантах, обозначенных арабскими цифрами со скобками, например 1), 2), 3) и т. д., следующими за номерами пунктов заданий. Такое построение дает возможность давать студентам задания, одинаковые по характеру, но различные по количественным результатам. Опыт показывает, что наиболее оптимальным является распределение вариантов заданий по парам студентов с тем, чтобы студенты, совместно выполняющие один вариант, имели возможность обсуждать его в процессе выполнения работы. Рекомендуется, чтобы каждая пара студентов всегда выполняла вариант определенного номера. Однако в силу специфики наблюдательного материала некоторые задания составлены в меньшем числе вариантов, и тогда необходимо один и тот же вариант давать двум и более парам студентов. Пункты заданий, составленные лишь в одном варианте, обязательны к выполнению всеми студентами.

Указанные рекомендации отнюдь не ограничивают инициативы кафедр и преподавателей, поскольку по их усмотрению возможны и иные комбинации в объеме работ и распределении вариантов заданий.

Большинство лабораторных работ выполняется по планшетам, приложенным к «Лабораторному практикуму» в количестве, соответствующем числу вариантов задания. Среди планшетов имеется несколько таких, которые следует скопировать на кальку, во избежание их порчи в процессе выполнения лабораторных работ, что оговорено в тексте. Кроме того, необходимо обязательно скопировать на кальку планисферу с созвездиями к планшету 10, планшеты 25, 33 и 43, и схематические карты к планшетам 28 и 29.

Следует иметь в виду необходимость выработки у студентов навыков в правильном подходе к решению поставленных перед ними задач и к самостоятельному отысканию необходимых для этого исходных

данных. Поэтому выполнение каждой лабораторной работы предусматривает использование тех или иных пособий — звездных карт и атласов, глобусов и моделей, астрономических календарей и справочников, математических и астрономических таблиц, логарифмической линейки и арифмометра.

Основными справочными пособиями служат «Справочник любителя астрономии» П. Г. Куликовского, изд. четвертое, М., Наука, 1971, «Астрономический календарь — постоянная часть» Всесоюзного астрономо-геодезического общества, изд. пятое, Физматгиз, 1962 и «Астрономический календарь-ежегодник (переменная часть)» Всесоюзного астрономо-геодезического общества, издаваемый ежегодно издательством «Наука». Без использования этих пособий многие лабораторные работы теряют свой научно-методический смысл, а некоторые работы вообще не могут быть полностью выполнены.

В процессе выполнения лабораторных работ полезно критически оценивать получаемые результаты, т. е. сопоставлять их с реальными явлениями природы. Такая оценка позволяет сравнительно быстро обнаруживать и своевременно исправлять допущенные в вычислениях ошибки. Необходимо также помнить, что точность полученных результатов не может превосходить точности исходных данных.

О выполнении лабораторных работ студенты составляют индивидуальные письменные отчеты в виде протоколов, форма которых приложена к некоторым работам. Необходимо приучить студентов к самой сжатой форме записей вычислений, к кратким и четким формулировкам выводов и к опрятному оформлению графиков и отчетов. В целях экономии времени студентов и разгрузки их от чисто технической работы кафедрам рекомендуется иметь типографские бланки отчетов по всем лабораторным работам и выдавать эти бланки студентам не позже, чем за неделю до выполнения ими соответствующих работ.

Для успешного и плодотворного проведения самостоятельных наблюдений небесных тел студентам необходимо изучить «Краткие указания к наблюдениям», рекомендуемую в них литературу и ознакомиться с соответствующими астрономическими инструментами.

Рекомендованная литература в тексте обозначена номерами в квадратных скобках.

ЛИТЕРАТУРА

1. Попов П. И., Воронцов-Вельяминов Б. А., Кунский Р. В. Астрономия. Изд. 5-е. М., Просвещение, 1967.
2. Бакулин П. И., Кононович Э. В., Мороз В. И. Курс общей астрономии. Изд. второе. М., Наука, 1970.
3. Воронцов-Вельяминов Б. А. Сборник задач и упражнений по астрономии. Изд. 5-е. М., Физматгиз, 1963.
4. Дагаев М. М. Задачник-практикум по курсу общей астрономии. М., Просвещение, 1965.
5. Дагаев М. М. Модель небесной сферы (описание и упражнения). Главучтехпром-Учпедгиз, 1960.
6. Блажко С. Н. Курс сферической астрономии. М., Гостехиздат, 1954.

7. Б л а ж к о С. Н. Курс практической астрономии. М., Гостехиздат, 1951.
8. С у б б о т и н М. Ф. Введение в теоретическую астрономию. М., Наука, 1968.
9. О р л о в А. Я. и О р л о в Б. А. Курс теоретической астрономии, М., Гостехиздат, 1940.
10. Р я б о в Ю. А. Движения небесных тел. Изд. второе. М., Физматгиз., 1962.
11. М а р т ы н о в Д. Я. Курс практической астрофизики. Изд. второе. М., Физматгиз, 1967.
12. В о р о н ц о в - В е л ь я м и н о в Б. А. Курс практической астрофизики. М., Гостехиздат, 1940.
13. М а р т ы н о в Д. Я. Курс общей астрофизики. Изд. 2-е, М., Наука, 1971.
14. А л ь б и ц к и й В. А. и др. Курс астрофизики и звездной астрономии. Т. I. М., Гостехиздат, 1951.
15. А г е к я н Т. А. и др. Курс астрофизики и звездной астрономии. Т. II. М., Физматгиз, 1962.
16. В я з а н и ц ы н В. П. и др. Курс астрофизики и звездной астрономии. Т. III. М., Наука, 1964.
17. П а р е н а г о П. П. Курс звездной астрономии. Изд. 3-е. М., Гостехиздат, 1954.
18. Э й г е н с о н М. С. Внегалактическая астрономия. М., Физматгиз, 1960.
19. Строение звездных систем. М., ИЛ, 1962.
20. Л е в а н т о в с к и й В. И. Механика космического полета в элементарном изложении. М., Наука, 1970.
21. Ф е р т р е г т М. Основы космонавтики. М., Просвещение, 1969.
22. П о п о в П. И. Общедоступная практическая астрономия. М., Физматгиз, 1958.
23. Ш а р о н о в В. В. Природа планет. М., Физматгиз, 1958.
24. Б р о н ш т е н В. А. Планеты и их наблюдение. М., Гостехиздат, 1957.
25. М а р т ы н о в Д. Я. Планеты: решенные и нерешенные проблемы. М., Наука, 1970.
26. С ы т и н с к а я Н. Н. Луна и ее наблюдение. М., Гостехиздат, 1956.
27. С е в е р н ы й А. Б. Физика Солнца. Изд-во АН СССР, 1956.
28. П и к е л ь н е р С. Б. Солнце. М., Физматгиз, 1961.
29. Ш а р о н о в В. В. Солнце и его наблюдение. М., Гостехиздат, 1953.
30. А г е к я н Т. А. Звезды, галактики, метagalaktika. Изд. 2-е, М., Наука, 1970.
31. Ц е с е в и ч В. П. Что и как наблюдать на небе. Изд. 3-е. Физматгиз, 1963.
32. Ц е с е в и ч В. П. Переменные звезды и способы их исследования. М., Педагогика, 1970.
33. Б а р а б а ш о в Н. П. Природа небесных тел и их наблюдение. Издательство Харьковского университета, 1969.
34. Д а г а е в М. М. Наблюдения звездного неба. М., Наука, 1969.
35. Ш к л о в с к и й И. С. Радиоастрономия. Изд. 2-е. М., Гостехиздат, 1955.
36. К а п л а н С. А. Элементарная радиоастрономия. М., Наука, 1966.
37. А с т а п о в и ч И. С., К а п л а н С. А. Визуальные наблюдения искусственных спутников Земли. М., Гостехиздат, 1957.
38. Телескоп-рефрактор. Главучтехпром—Учпедгиз, 1960.

МАЛЫЕ ЗВЕЗДНЫЕ АТЛАСЫ

Цель работы. Ознакомление с содержанием малых звездных атласов и их использованием при изучении звездного неба.

Пособия: Малый звездный атлас Михайлова А. А. с титульным названием «Академия Наук СССР, А. А. Михайлов, звездный атлас. Четыре карты звездного неба до 50° южного склонения, содержащие все звезды до $5\frac{1}{2}$ величины. Изд. 3-е переработ. Изд-во АН СССР, 1958» (или изд. 4-е, переработ., «Наука», 1965). Фотографии участков звездного неба (планшеты 1—8); черный глобус.

Литература: [1], глава II, § 4, 5, 7; [2], глава I, § 7, 10, 11.

Дополнительная: [31], глава I, глава II, § 8; [33], глава II; [34], глава первая, § 1—3.

Звездные атласы служат пособием при изучении звездного неба и при выполнении научно-исследовательских работ по астрономии. Они состоят из нескольких звездных карт, каждая из которых изображает определенную область неба. Так как принципиально невозможно развернуть и совместить сферическую поверхность (небесную сферу) с плоскостью карты, то единственным способом изображения звездного неба на картах является проектирование звезд с небесной сферы на плоскость карт. Системы проекции выбираются такими, чтобы изображаемые на картах созвездия претерпевали при проектировании наименьшие искажения, т. е. чтобы вид созвездий на картах практически не отличался от вида созвездий на небе.

Для начального изучения звездного неба удобны малые звездные атласы, содержащие небольшое количество карт, ограниченное число звезд, границы и названия созвездий. Наилучшим из них является звездный атлас, составленный акад. А. А. Михайловым и выдержавший четыре издания. Этот звездный атлас состоит из четырех карт, на которых нанесены все видимые невооруженным глазом звезды северной небесной полусферы и большей части южной небесной полусферы. На смежных картах имеется по нескольку одних и тех же созвездий, облегчающих переход от одной карты к другой при изучении звездного неба.

Первая карта звездного атласа изображает северную полярную область неба и прилегающие к ней окрестности; центром карты является северный полюс мира. Сетка небесных экваториальных координат нанесена тонкими черными линиями: круги склонения — радиусами, небесные параллели — концентрическими окружностями. Круги склонения оцифрованы в часах, от 0^h до 23^h , черными цифрами, расположенными по обрезу карты около соответствующих кругов склонения; эти цифры обозначают прямое восхождение α каждого круга склонения. Небесные параллели оцифрованы в градусах красными цифрами, расположенными вдоль одного круга склонения. Оцифровка небесных параллелей обозначает их склонение δ , т. е. угловое расстояние от небесного экватора. Склонение северного полюса мира числом на карте не обозначено, так как известно, что оно равно $+90^\circ$.

Остальные три карты изображают экваториальный пояс неба, с

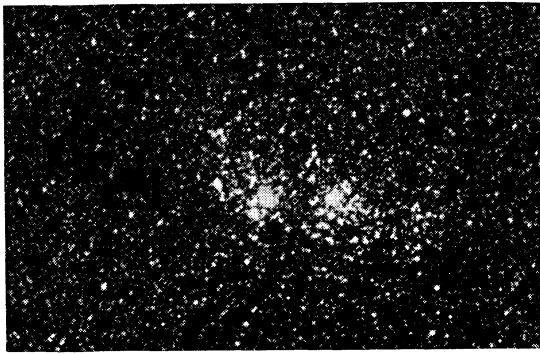


Рис. 1

прилегающими к нему окрестностями, и составлены в равнопромежуточной цилиндрической проекции: круги склонения изображены прямыми линиями (образующими круглого цилиндра), параллельными боковым обрезами карты, а небесные параллели — прямыми линиями (направляющими круглого цилиндра), параллельными верхнему и нижнему обрезами карты.

Оцифровка кругов склонения в часах проставлена на верхнем и нижнем обрезах карт. Оцифровка небесных параллелей в градусах проставлена на боковых обрезах карт. Небесный экватор выделен более жирной линией и оцифрован 0° . Выше него расположена северная небесная полусфера (склонение в ней положительно), а ниже — южная небесная полусфера (склонение в ней отрицательно). Синусоидальная линия на этих картах изображает эклиптику, т. е. путь видимого годового движения Солнца на фоне звезд, обусловленного действительным годовым обращением Земли вокруг Солнца. Точки пересечения эклиптики с небесным экватором называются: одна — точкой весеннего равноденствия $\Upsilon (\alpha=0^h, \delta=0^\circ)$, другая — точкой осеннего равноденствия $\cap (\alpha=12^h, \delta=0^\circ)$. На обрезах карт нанесена штриховка, позволяющая отсчитывать приближенные экваториальные координаты небесных объектов, изображенных на картах.

Перед измерениями необходимо установить цену одного деления штриховки карт по обоим экваториальным координатам α и δ . Если разность координат двух оцифрованных кругов есть $\Delta\alpha$ и $\Delta\delta$, а между ними умещается n делений штриховки карты, то, очевидно, цена одного деления по прямому восхождению будет

$$n_\alpha = \frac{\Delta\alpha}{n}, \quad (1)$$

а по склонению

$$n_\delta = \frac{\Delta\delta}{n}. \quad (2)$$

Красные цифры на обрезах карт обозначают даты (числа месяцев), в среднюю полночь которых круги склонения, оцифрованные ими, находятся в верхней кульминации, т. е. совпадают в этот момент с

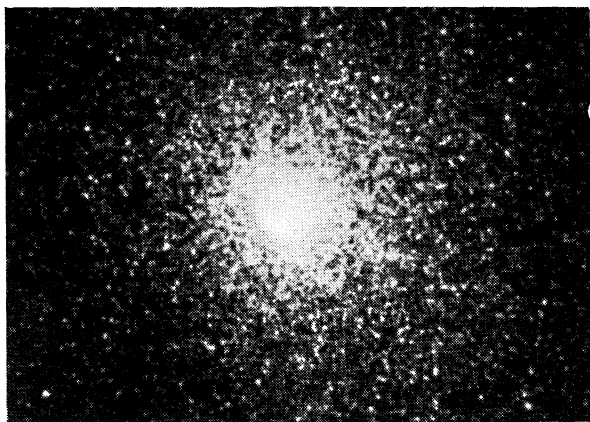


Рис. 2



Рис. 3

южной половиной небесного меридиана. В этот же момент Солнце находится вблизи диаметрально противоположного круга склонения, совпадающего с северной половиной небесного меридиана, т. е. находится вблизи нижней кульминации.

На картах звездных атласов изображены только те небесные объекты, экваториальные координаты которых (прямое восхождение α и склонение δ) остаются неизменными в течение длительных промежутков времени. Солнце, Луна и планеты на картах не показаны, поскольку их экваториальные координаты непрерывно изменяются. В действительности, даже у объектов, нанесенных на карты, эквато-

риальные координаты очень медленно изменяются главным образом из-за поворота экваториальной сетки координат, связанного с медленным поворотом земной оси (явление прецессии). Поэтому карты звездных атласов составляются по положению координатной сетки и значениям экваториальных координат небесных объектов на начало определенного года, называемого эпохой карт или эпохой равноденствия. Эпохой карт малого звездного атласа А. А. Михайлова является 1950.0, т. е. начало 1950 г.



Рис. 4.

Названия созвездий написаны на картах красными буквами. Звезды в созвездиях обозначены красными буквами греческого и латинского алфавита, причем, как правило, чем ярче звезда, тем более ранней буквой алфавита она обозначается, хотя имеются и исключения.

Собственные имена звезд, русские и латинские названия созвездий и списки различных объектов приведены в таблицах атласа, предшествующих картам. Списки объектов содержат их основные характеристики и составлены в порядке возрастания прямого восхождения α .

Границы созвездий на картах показаны сплошными красными линиями. Эти границы установлены в 1922 г. на I съезде Международного астрономического союза.

Небесные объекты изображены на картах различными знаками, значения которых приведены под нижним обрезом карт. Видимый блеск звезд различен и выражается в условных единицах, называемых звезд-

ными величинами (m). Наиболее яркие звезды считаются звездами нулевой видимой звездной величины (0^m). Звезды, блеск которых приблизительно в 2,5 раза слабее блеска звезд 0^m , считаются звездами первой видимой звездной величины (1^m). Звезды 2^m слабее звезд 1^m тоже приблизительно в 2,5 раза и т. д. На пределе видимости невооруженным глазом находятся звезды 6-й видимой звездной величины (6^m), которые слабее звезд первой видимой звездной величины в 100 раз. В звездном атласе А. А. Михайлова принята более точная градация видимого блеска звезд, а именно, через половину звездной



Рис. 5

величины ($0^m,5$). В зависимости от видимой звездной величины звезды постоянного блеска изображены черными кружочками различных диаметров,— чем звезды ярче, тем более крупными кружочками они изображены.

Звезды, меняющие по тем или иным причинам свой блеск, и поэтому называемые переменными звездами, обозначены черными кружками, обведенными ободком. Диаметр внутреннего черного кружка соответствует видимой звездной величине звезды в момент ее максимального блеска. Двойные звезды, двойственность которых обнару-

живается лишь в телескоп, обозначены черными перечеркнутыми кружками. Подчеркнутые черные кружки изображают близкие звезды, т. е. такие двойные, двойственность которых обнаруживается в бинокль. Семью маленькими точками обозначены целые группы звезд — звездные скопления (рис. 1 и 2). Наконец, колоссальные по своей протяженности пылевые (рис. 3) и газовые (рис. 4) облака, называемые галактическими туманностями, а также далекие от нас, грандиозные звездные системы (рис. 5), кажущиеся нам из-за своей отдален-

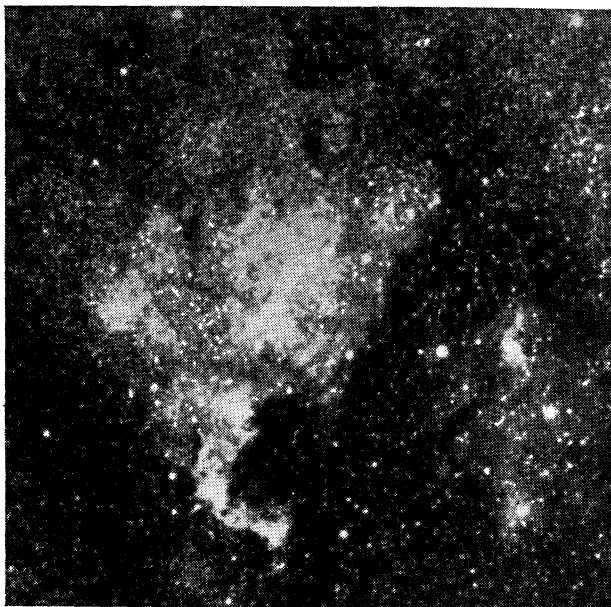


Рис. 6

ности туманными пятнами, изображены на картах штриховкой. Глубокой полосой изображен Млечный Путь — гигантское скопление слабых (телескопических) звезд (рис. 6), причем более яркие его области выделены более густой краской.

ЗАДАНИЕ

1. Оцифровать мелом на черном глобусе сетку небесных экваториальных координат и отождествить круги этой сетки с соответствующими линиями сетки карт звездного атласа.

2. Указать границы карт звездного атласа по прямому восхождению и по склонению.

3*. Определить цену наименьшего деления штриховки карт звездного атласа.

4*. По картам звездного атласа определить экваториальные координаты, характеристику и видимую звездную величину пяти наи-

более ярких звезд созвездия: 1) Возничего; 2) Кассиопеи; 3) Большого Пса; 4) Близнецов; 5) Ориона; 6) Лебедя; 7) Скорпиона; 8) Льва.

5*. Подсчитать количество звездных скоплений, двойных и переменных звезд в созвездии: 1) Лебедя; 2) Скорпиона; 3) Стрельца; 4) Змееносца; 5) Кассиопеи; 6) Возничего; 7) Персея; 8) Близнецов.

6*. Для того же созвездия указать название и видимую звездную величину наиболее яркой двойной звезды и наиболее яркой переменной звезды в максимуме блеска.

7*. По картам звездного атласа определить экваториальные координаты, характеристику и видимую звездную величину звезд: 1) Альдебарана и Фомальгаута; 2) Альтаира и Проциона; 3) Веги и Ригеля; 4) Арктура и Сириуса; 5) Кастора и Антареса; 6) Регула и Алголя; 7) Денеба и Поллукса; 8) Капеллы и Спика.

8. По картам и спискам объектов звездного атласа определить названия, принадлежность к созвездиям, основные характеристики и уточненные экваториальные координаты небесных объектов, приближенные экваториальные координаты которых равны:

- | | | | |
|---------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|
| 1) $\alpha = 2^h 15^m$, | $\delta = + 57^\circ$; | $\alpha = 18^h 00^m$, | $\delta = - 23^\circ$; |
| 2) $\alpha = 17^h 50^m$, | $\delta = - 35^\circ$; | $\alpha = 1^h 30^m$, | $\delta = + 30^\circ$; |
| 3) $\alpha = 6^h 30^m$, | $\delta = + 5^\circ$; | $\alpha = 18^h 20^m$, | $\delta = - 16^\circ$; |
| 4) $\alpha = 17^h 35^m$, | $\delta = - 32^\circ$; | $\alpha = 0^h 40^m$, | $\delta = + 41^\circ$; |
| 5) $\alpha = 5^h 25^m$, | $\delta = + 36^\circ$; | $\alpha = 18^h 00^m$, | $\delta = - 24^\circ$; |
| 6) $\alpha = 16^h 40^m$, | $\delta = + 37^\circ$; | $\alpha = 5^h 30^m$, | $\delta = - 5^\circ$; |
| 7) $\alpha = 21^h 30^m$, | $\delta = + 48^\circ$; | $\alpha = 10^h 20^m$, | $\delta = - 18^\circ$; |
| 8) $\alpha = 18^h 50^m$, | $\delta = - 6^\circ$; | $\alpha = 1^h 35^m$, | $\delta = + 16^\circ$. |

9. По звездному атласу отождествить на фотографии звездного неба одно созвездие, скопировать с фотографии на кальку его основные звезды и написать на кальке название созвездия, обозначения и видимую звездную величину его трех наиболее ярких звезд.

10*. Выписать названия ярких созвездий, по которым проходит Млечный Путь (яркими считаются созвездия, в которых имеются звезды второй видимой звездной величины и ярче).

Отчет о работе № 1

Дата выполнения работы:

2 и 3. Карты звездного атласа.

Номер карты	Границы карты				Цена деления	
	по прямому восхождению α		по склонению δ		по α	по δ
	от	до	от	до		
1						
2						
3						
4						

4. Созвездие.

Название звезды	Прямое восхождение α	Склонение δ	Характеристика	Видимая звездная величина m

5 и 6. Количество объектов в созвездии

Звездные скопления	Двойные звезды			Переменные звезды		
	количество	наиболее яркая		количество	наиболее яркая	
		название	m		название	m в максимуме

7. Сведения о звездах

Собственное имя звезды	Обозначение звезды в созвездии	Экваториальные координаты		m	Характеристика
		α	δ		

8. Сведения об объектах

Заданные приближенные экваториальные координаты		Уточненные экваториальные координаты		Название объекта	Название созвездия	Основные характеристики объекта
α	δ	α	δ			

9. На фотографии отождествлено созвездие

10. Яркие созвездия, по которым проходит Млечный Путь:

ПОДВИЖНАЯ КАРТА ЗВЕЗДНОГО НЕБА

Цель работы. Использование подвижной карты при изучении звездного неба.

Пособия: подвижная карта звездного неба (планшет 9); Малый звездный атлас А. А. Михайлова.

Литература: [1], глава II, § 4—7; [2], глава I, § 7, 10, 11.

Дополнительная: [22], глава V, § 17; [31], глава I, глава II, § 8; [34], глава первая, § 1, 2.

Подвижная карта звездного неба служит пособием для общей ориентировки по небу и, в частности, для определения расположения созвездий относительно истинного горизонта. На карте изображены сетка небесных экваториальных координат и основные созвездия, состоящие из сравнительно ярких звезд.

Карта составлена в проекции А. А. Михайлова, в которой небесные параллели изображаются концентрическими окружностями, а круги склонения — лучами, выходящими из северного полюса мира, расположенного в центре карты (рис. 7). Рядом с ним находится главная звезда α созвездия Малой Медведицы, называемая Полярной звездой. Круги склонения проведены через 30° (2^h) и оцифрованы в часах по одной из небесных параллелей, вблизи внутреннего обреза карты. Небесный экватор и три небесных параллели с интервалами в 30° оцифрованы в точках их пересечения с начальным кругом склонения ($\alpha=0^h$) и с диаметрально противоположным ему кругом склонения ($\alpha=12^h$). Оцифровка кругов склонения и небесных параллелей позволяет грубо оценивать значения экваториальных координат небесных светил.

Эксцентрический овал, пересекающийся с небесным экватором в двух диаметрально противоположных точках, изображает эклиптику. Точки пересечения небесного экватора с эклиптикой, называемые точками равноденствий, обозначаются знаками Υ (точка весеннего равноденствия: $\alpha=0^h$, $\delta=0^\circ$) и \cap (точка осеннего равноденствия: $\alpha=12^h$, $\delta=0^\circ$).

Область карты, заключенная внутри небесного экватора, представляет северную небесную полусферу; остальная часть карты изображает пояс южной небесной полусферы, заключенный между небесным экватором и небесной параллелью со склонением $\delta=-45^\circ$. Небесные параллели южной небесной полусферы изображаются на карте окружностями большего радиуса, нежели небесный экватор. Поэтому изображения созвездий южной полусферы растянуты, и их вид несколько отличается от привычного вида тех же созвездий на небе.

По наружному обрезу карты, называемому лимбом дат, нанесены календарные числа и названия месяцев года.

Накладной круг, прилагаемый к карте, позволяет установить вид звездного неба для любого времени суток произвольного дня года. Для этой цели внешний обрез круга, называемый часовым лимбом,

разделен на 24 часа, по числу часов в сутках. Штрихи на часовом лимбе нанесены через каждые 10 мин. Часовой лимб оцифрован в системе среднего времени, и, строго говоря, это обстоятельство должно учитываться при пользовании подвижной картой. Однако в самом начале изучения звездного неба можно, с некоторой погрешностью, полагать, что часовой лимб оцифрован в системе счета времени, по которой живет Советский Союз. По изучении же систем счета времени нужно пользоваться часовым лимбом в системе среднего времени.

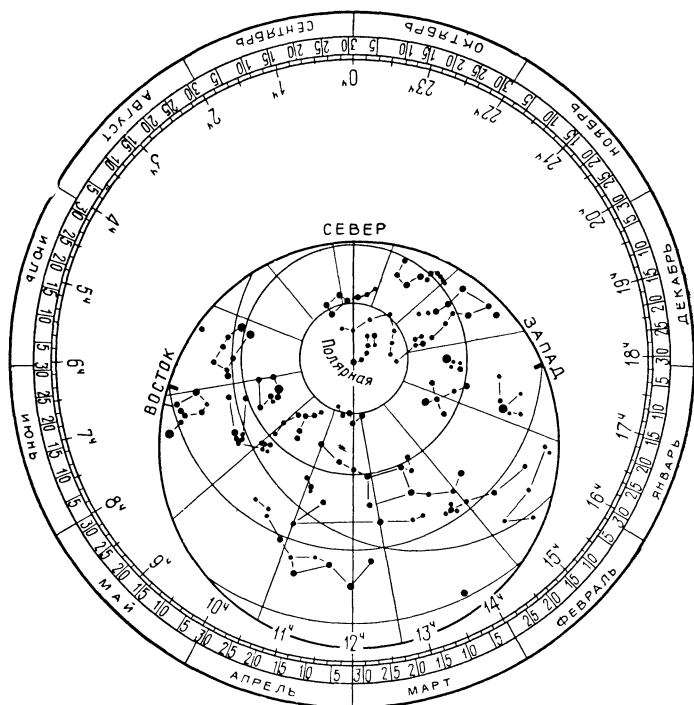


Рис. 7

В накладном круге имеется овальный вырез, положение которого определяется географической широтой места наблюдения. Он вырезается по тому овалу (из числа начерченных на накладном круге), который оцифрован значением географической широты, близкой к географической широте места наблюдения. Контур овального выреза изображает истинный или математический горизонт, и на нем нанесены названия четырех его главных точек — точек юга, запада, севера и востока. Между точками юга и севера полезно натянуть нить, изображающую небесный меридиан, т. е. большой круг небесной сферы, проходящий через полюс мира и зенит и пересекающийся с истинным горизонтом в точках севера и юга.

Положение зенита на нити определяется точкой ее пересечения с небесной параллелью, склонение δ которой равняется географической широте φ места наблюдения ($\delta = \varphi$). В частности, если овал в накладном круге карты вырезан для широты $\varphi = +56^\circ$, то нужно наметить на карте небесную параллель с $\delta = +56^\circ$ и отметить на нити ту точку ее пересечения с этой небесной параллелью, которая лежит вблизи центра выреза.

У овального выреза (горизонта) накладного круга проставлена цифровка в градусах — лимб азимутов, по которому можно приблизительно оценивать азимуты небесных светил.

Подвижная карта звездного неба позволяет приблизительно решать ряд задач практической астрономии. Так, для определения вида звездного неба в некоторый момент времени T заданного дня года (даты) n , нужно наложить накладной круг концентрично на звездную карту таким образом, чтобы штрих часового лимба, указывающий данный момент времени T , совпал со штрихом заданной даты n (см. рис. 7), а небесный меридиан (нить) — всегда проходил через северный полюс мира. Тогда в асимметрично расположившемся овальном вырезе окажутся те звезды, которые в заданный момент времени T видны над горизонтом. Звезды, находящиеся под горизонтом (и, следовательно, недоступные наблюдениям), будут закрыты накладным кругом. Над серединой овального выреза располагаются созвездия, находящиеся вблизи зенита. По направлениям от зенита к разным точкам истинного горизонта можно установить области небосвода, в которых находятся те или иные созвездия (южная, северо-восточная, юго-западная область и т. д.). При ориентировочной оценке допустимо делить небосвод на четыре области — восточную, южную, западную и северную, причем границами этих областей являются направления от зенита на точки северо-востока, юго-востока, юго-запада и северо-запада, лежащие на истинном горизонте.

Светила, которые окажутся на нити, проходят в данный момент времени T через небесный меридиан (кульминируют). В верхней кульминации, т. е. к югу от северного полюса мира, находятся те светила, которые располагаются на нити между северным полюсом мира и точкой юга. Одни из них проходят через небесный меридиан к югу от зенита (между зенитом и точкой юга), другие — к северу от зенита (между зенитом и северным полюсом мира).

Те светила, которые располагаются на нити между северным полюсом мира и точкой севера (а также под ней) находятся в данный момент времени T в нижней кульминации и проходят небесный меридиан к северу от северного полюса мира.

Созвездия, восходящие в заданный момент времени над горизонтом или заходящие за горизонт, следует искать соответственно на восточной или западной половине истинного горизонта. Восточной половиной является дуга истинного горизонта от точки севера, через точку востока, до точки юга. Западной половиной является дуга истинного горизонта от точки юга, через точку запада, до точки севера.

По подвижной карте звездного неба можно приблизительно указать день года (дату) n , в который то или иное светило восходит, кульминарует или заходит в заданный момент времени T суток. В этом случае, поворачивая накладной круг, устанавливают его на карте так, чтобы выбранное светило заняло заданное положение (восход, кульминация, заход). Тогда штрих часового лимба, обозначающий заданный момент времени T , совпадает с искомым днем n на лимбе дат.

Аналогично по заданной дате n можно определить приближенные моменты времени суток T интересующих явлений (обратная задача).

Многие звезды в момент нижней кульминации оказываются под горизонтом и их закрывает накладной круг карты. В этом случае для определения n и T накладной круг из своего нормального, симметричного положения сдвигается в направлении невидимой звезды до ее появления в точке севера. Нить (небесный меридиан) проводится через эту звезду и северный полюс мира и затем весь накладной круг аккуратно сдвигается вдоль нити в обратном направлении, в сторону точки юга, до прежнего концентричного расположения (данная звезда опять окажется под горизонтом), и уже после этого с часового лимба и с лимба дат снимаются необходимые отсчеты.

Конечно, определение дат n и моментов времени T по подвижной карте звездного неба является весьма приближенным, но вполне достаточным для уяснения общей картины явлений. Точные же их определения производятся соответствующими вычислениями.

Определяя по подвижной карте вид звездного неба в различные моменты суток, можно выяснить условия видимости созвездий, т. е. установить, все ли созвездия восходят над горизонтом и заходят за горизонт данного места Земли.

ЗАДАНИЕ

1*. Установить подвижную карту звездного неба на день и час занятий и указать расположение созвездий на небесном своде, отдельно отметив восходящие и заходящие в это время созвездия.

2. Изучить контуры созвездий Большой Медведицы, Малой Медведицы, Кассиопеи, Лебеда, Льва, Пегаса, Возничего и Ориона.

3*. Установить подвижную карту звездного неба последовательно на 0^h , 6^h , 12^h и 18^h 1 октября, указать расположение в эти моменты времени созвездий Большой Медведицы, Кассиопеи, Ориона и Лебеда и сформулировать выводы о характере и причине изменения вида звездного неба в течение суток.

4. Определить день года, в который в $8^h 30^m$ вечера в верхней кульминации находится звезда: 1) Вега; 2) Альдебаран; 3) Арктур; 4) Денеб; 5) Капелла; 6) Алголь; 7) Спика; 8) Регул.

5. Определить дату, в которую та же звезда, в тот же момент суток находится в нижней кульминации.

6*. В дни 21 марта, 22 июня, 23 сентября и 22 декабря найти моменты времени восхода, верхней кульминации, захода и нижней

кульминации звезды: 1) Альтаира; 2) Сириуса; 3) Поллукса; 4) Ригеля; 5) Антареса; 6) Бетельгейзе; 7) Прокциона; 8) Кастора.

7*. Определить время восхода и захода Большой Медведицы и Кассиопеи в произвольно выбранный день года.

8*. Из анализа результатов пунктов 4—7 сформулировать выводы:

а) о продолжительности промежутка времени между моментами верхней и нижней кульминации одних и тех же звезд в пределах суток;

б) об изменении моментов времени восхода, кульминаций и захода звезд на протяжении года, указав направление и величину этого изменения за полгода, за месяц, за полмесяца и за сутки;

в) об условиях видимости различных созвездий в данном месте Земли.

Отчет о работе № 2

Дата выполнения работы:

Все моменты времени приведены в 24-часовой системе счета.

1. Дата

Момент времени $T =$

Расположение созвездий

вблизи зенита	на юге	на западе	заходят	на севере	на востоке	восходят

3. Дата 1 октября.

Расположение созвездий в моменты времени

Созвездия	Расположение созвездий в моменты времени			
	$T=0^h$	$T=6^h$	$T=12^h$	$T=18^h$
Большая Медведица				
Кассиопея				
Орион				
Лебедь				

Выводы: _____

4—5.

Название звезды	Обозначение звезды в созвездии	Момент времени	Дата	
			верхняя кульминация	нижняя кульминация

6. Звезда _____ Обозначение в созвездии _____

Дата	Моменты времени T			
	восход	верхняя кульминация	заход	нижняя кульминация

7.

Дата	Созвездие	Моменты времени T	
		восхода	захода

8. Выводы:

- а)
- б)
- в)

ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ НЕБЕСНОЙ СФЕРЫ

Цель работы. Изучение основных элементов и суточного вращения небесной сферы на ее модели.

Пособия: модель небесной сферы; черный глобус; подвижная карта звездного неба (планшет 9).

Литература: [1], глава II, § 5—7; [2], глава I, § 10, 11; [5], упражнение 1.

Дополнительная: [31], глава II, § 5—7.

Задачи: 3, № 11, 12, 20, 21, 33.

Элементы небесной сферы могут быть изучены на ее модели (рис. 8), которая состоит из нескольких колец, изображающих основные круги небесной сферы. В кольце 1, изображающем небесный меридиан, жестко укреплена ось PP' — ось мира, вокруг которой вращается небесная сфера. Концевые точки P и P' этой оси лежат на небесном меридиане и представляют соответственно северный (P) и южный (P') полюсы мира.

Металлический круг 8 изображает истинный или математический горизонт, который при работе с моделью небесной сферы должен всегда устанавливаться в горизонтальном положении. Ось мира образует с плоскостью истинного горизонта угол, равный географической широте φ места наблюдения, и при установке модели на заданную географическую широту этот угол фиксируется винтом 11, после чего истинный горизонт 8 приводится в горизонтальное положение поворотом кольца 1 (небесного меридиана), которое закрепляется в подставке 9 зажимом 10.

Вокруг оси PP' (оси мира) свободно вращаются два скрепленных между собой кольца 2 и 3, плоскости которых взаимно перпендикулярны. Эти кольца изображают круги склонения — большие круги, проходящие через полюсы мира. Хотя на небесной сфере через полюсы мира проходит бесчисленное множество кругов склонения, на модели небесной сферы выполнено только четыре круга склонения (в виде двух полных колец), по которым можно представить себе всю

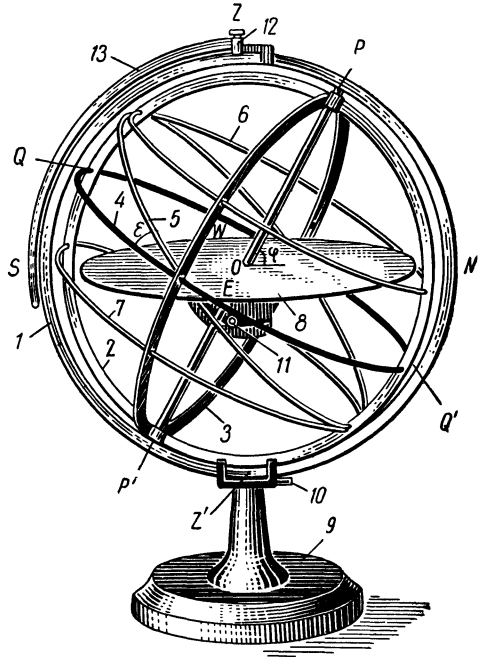


Рис. 8

сферическую поверхность. Следует обратить внимание на то обстоятельство, что кругом склонения называется не полная окружность, а лишь ее половина, заключенная между полюсами мира. Таким образом, два кольца модели изображают четыре круга склонения небесной сферы, отстоящие друг от друга на 90° ; они дают возможность продемонстрировать экваториальные координаты небесных светил.

Кольцо 4, плоскость которого перпендикулярна к оси мира, изображает небесный экватор. К нему под углом $\varepsilon = 23^\circ,5$ прикреплено кольцо 5, представляющее эклиптику.

Кольца, изображающие небесный меридиан 1, небесный экватор 4, эклиптику 5, круги склонения 2 и 3 и истинный горизонт 8, являются большими кругами небесной сферы — их плоскости проходят через центр O модели, в котором мыслится наблюдатель.

Перпендикуляр к плоскости истинного горизонта, восставленный из центра O модели небесной сферы, пересекает небесный меридиан в точках, называемых зенитом Z (над головой наблюдателя) и надиром Z' (надир находится под ногами наблюдателя и скрыт от него земной поверхностью).

В зените на небесном меридиане укрепляется подвижный рейтер 12 со свободно вращающейся на нем дугой 13, плоскость которой также проходит через центр модели небесной сферы. Дуга 13 изображает круг высоты (вертикал) и позволяет продемонстрировать горизонтальные координаты небесных светил.

Помимо больших кругов на модели небесной сферы показаны два малых круга 6 и 7 — две небесных параллели, отстоящие от небесного экватора на $23^\circ,5$. Остальные небесные параллели на модели не показаны. Плоскости небесных параллелей не проходят через центр небесной сферы, параллельны плоскости небесного экватора и перпендикулярны к оси мира.

К модели небесной сферы приложены две насадки, одна — в виде кружка, другая — в виде звездочки. Эти насадки служат для изображения небесных светил и могут быть укреплены на любом круге модели небесной сферы.

В дальнейшем все элементы модели небесной сферы именуется теми же терминами, которые приняты для соответствующих элементов небесной сферы.

На модели можно четко уяснить, какие элементы небесной сферы участвуют в ее суточном вращении и какие не участвуют, оставаясь неподвижными относительно наблюдателя. Небесный экватор вращается в своей плоскости вместе с небесной сферой, скользя в неподвижных точках востока E и запада W . В процессе суточного вращения все точки небесной сферы (кроме неподвижных точек) дважды в сутки пересекают небесный меридиан, один раз — южную его половину (к югу от северного полюса мира, дуга $PZSP'$), другой раз — северную его половину (к северу от северного полюса мира, дуга $PNZ'P'$). Эти прохождения точек через небесный меридиан называются, соответственно, верхней и нижней кульминацией. Через зенит Z проходят не все, а только определенные точки небесной сферы склонение δ которых (как это будет видно в дальнейшем) равно гео-

графической широте φ места наблюдателя ($\delta = \varphi$). Точки небесной сферы, находящиеся над истинным горизонтом, видны наблюдателю; полусфера, находящаяся под истинным горизонтом, наблюдениям недоступна.

Дуга NES истинного горизонта, над которой точки небесной сферы поднимаются, называется восточной его половиной и простирается на 180° от точки севера N , через точку востока E , до точки юга S . Противоположная, западная половина SWN истинного горизонта, за которую заходят точки небесной сферы, также содержит 180° и также ограничена точками юга S и севера N , но проходит через точку запада W . Восточную и западную половины истинного горизонта не следует смешивать с его сторонами, которые определяются по основным его точкам — точкам востока, юга, запада и севера.

Следует обратить особое внимание на то обстоятельство, что небесная сфера делится на северную и южную полусферы небесным экватором, а не истинным горизонтом, над которым всегда находятся области обеих полусфер, как северной, так и южной. Величина этих областей зависит от географической широты φ места наблюдения: чем ближе к северному полюсу Земли находится место наблюдения (чем больше его φ), тем меньшая область южной небесной полусферы доступна наблюдениям, и тем большая область северной небесной полусферы одновременно видна над истинным горизонтом (в южном полушарии Земли — наоборот).

Продолжительность пребывания точек небесной сферы на протяжении суток над истинным горизонтом (и под ним) зависит от соотношения склонения δ этих точек с географической широтой φ места наблюдения, а для определенной φ — только от их склонения δ . Поскольку небесный экватор и истинный горизонт пересекаются в диаметрально противоположных точках, то любая точка небесного экватора ($\delta = 0^\circ$) всегда полсуток находится над истинным горизонтом и полсуток — под ним, независимо от географической широты φ места наблюдения (кроме географических полюсов Земли, $\varphi = \pm 90^\circ$).

Весьма полезно представить себе соответствие элементов небесной сферы точкам и кругам земной поверхности. Для наглядности этого соответствия лучше всего представить радиус небесной сферы сколь угодно большим, но не бесконечным, так как в случае бесконечно большого радиуса участки сферы вырождаются в плоскость. При сколь угодно большом радиусе небесной сферы наблюдатель O , находящийся в некоторой точке земной поверхности, видит небесную сферу так же, как и из центра Земли C (рис. 9), но с сохранением прежнего направления на зенит Z . Тогда становится ясным, что отвесная линия OZ является продолжением земного радиуса CO в месте наблюдения O (Земля принимается за шар), ось мира PP' идентична земной оси вращения pp' , полюсы мира P и P' соответствуют географическим полюсам Земли p и p' , небесный экватор QQ' образован на небесной сфере плоскостью земного экватора qq' , а небесный меридиан $PZP'Z'P$ образован на небесной сфере плоскостью земного меридиана $pOqp'q'p$, на котором находится наблюдатель O . Плоскость же истинного горизонта является касательной к поверхности

Земли в точке наблюдения O . Этим и объясняется неподвижность небесного меридиана, зенита, надира и истинного горизонта относительно наблюдателя, которые вращаются вместе с ним вокруг земной оси. Полюсы мира P и P' также неподвижны относительно

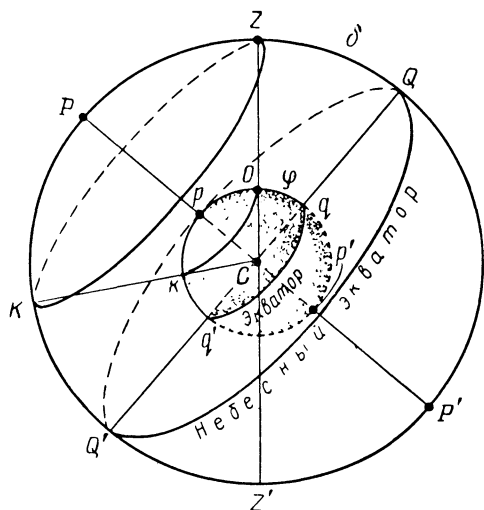


Рис. 9

наблюдателя, поскольку они лежат на земной оси, не участвующей в суточном вращении Земли. Любой земной параллели kO с географической широтой φ соответствует небесная параллель KZ со склонением $\delta = \varphi$. Поэтому точки этой небесной параллели проходят через зенит места наблюдения O .

Если изобразить на чертеже небесную сферу для наблюдателя в точке земной поверхности O , то центр небесной сферы будет находиться в этой точке наблюдения, и, по особому свойству небесной сферы, все ее элементы могут быть построены с помощью плоскостей и прямых линий, совпадающих

или параллельных соответствующим плоскостям и прямым, связанным с земной поверхностью.

ЗАДАНИЕ

1*. По модели небесной сферы изучить ее основные элементы и изменение их положения относительно наблюдателя в процессе суточного вращения небесной сферы.

2*. Указать расположение основных элементов небесной сферы относительно истинного горизонта.

3. Начертить мелом на черном глобусе те элементы небесной сферы, которые могут быть на нем изображены.

4. Отождествить на модели небесной сферы ее основные элементы, изображенные на подвижной карте звездного неба.

5*. Укрепить на одном из кругов склонения модели две насадки, изображающие небесные светила, одну — вблизи небесного экватора и другую — вблизи северного полюса мира. Вращая модель в направлении суточного вращения небесной сферы, показать сходство и различие в расположении небесных параллелей и в суточном движении небесных светил относительно небесного экватора и истинного горизонта.

6*. По результатам пункта 5 сформулировать выводы о характере суточного движения небесных светил и о продолжительности их ви-

димости на протяжении суток в зависимости от их склонения.

7. Начертить изображение небесной сферы в проекции на плоскость: а) небесного меридиана; б) истинного горизонта; в) небесного экватора.

Отчет о работе № 3

Дата выполнения работы: _____

Основные элементы небесной сферы		
название	положение относительно наблюдателя	расположение относительно истинного горизонта

3. На глобусе могут быть изображены: _____

4. На подвижной карте изображены: _____

5.	Расположение небесных параллелей относительно		Суточное движение небесных светил относительно	
	небесного экватора	истинного горизонта	небесного экватора	истинного горизонта
Сходство				
Различие				

6. Выводы: _____

7. Три чертежа прилагаются.

АСТРОНОМИЧЕСКИЕ КАЛЕНДАРИ И СПРАВОЧНИКИ

Цель работы. Ознакомление с содержанием и использованием астрономических календарей и справочников.

Пособия: Астрономический календарь — постоянная часть; Справочник любителя астрономии; Астрономический календарь-ежегодник; Школьный астрономический календарь; подвижная карта звездного неба (планшет 9); Малый звездный атлас А. А. Михайлова.

Литература: [31], глава II, § 24; [22], глава V, § 19.

Задачи: [3], № 48, 51, 52, 53.

Астрономические календари содержат сведения, необходимые для астрономических наблюдений, их обработки и решения многих астрономических задач. По своему содержанию астрономические календари делятся на две группы. Первая группа содержит краткое изложение теоретических основ различных разделов астрономии, справочные таблицы и сведения постоянного характера. К этой группе принадлежит «Астрономический календарь (постоянная часть) Всесоюзного астрономо-геодезического общества (ВАГО)». Справочные сведения постоянного характера содержатся также в «Справочнике любителя астрономии» П. Г. Куликовского, в различных каталогах и отдельных справочных таблицах. К другой группе астрономических календарей относятся астрономические ежегодники, содержащие сведения об астрономических явлениях текущего года: «Астрономический ежегодник СССР», «Астрономический календарь-ежегодник (переменная часть) Всесоюзного астрономо-геодезического общества», «Морской астрономический ежегодник», «Авиационный астрономический ежегодник», «Школьный астрономический календарь» и др. Характер и объем сведений, публикуемых в астрономических календарях-ежегодниках, зависят от их назначения.

«Астрономический календарь (постоянная часть) ВАГО» содержит целый ряд таблиц, из которых особенно существенными для решения задач по курсу общей астрономии являются:

№ таблицы	Название таблицы	Стр.
4	Астрономические постоянные	607
5а	Элементы орбит планет Солнечной системы	608
5б	Физические характеристики планет Солнечной системы	608
6	Элементы спутников планет	610
13	Перевод градусной меры углов в часовую	652
14	Перевод часовой меры углов в градусную	653
15	Перевод промежутков среднего времени в промежутки звездного	654
16	Перевод промежутков звездного времени в промежутки среднего	655
20	Средняя рефракция	662
22	Моменты восхода и захода Солнца на разных широтах	665

№ таблицы	Название таблицы	Стр
29	Названия и обозначения созвездий	680
30а	Годовая прецессия по прямому восхождению	683
30б	Годовая прецессия по склонению	685
31	Средние места звезд ярче $4^m.00$ для 1950.0	686
33а	Список двойных звезд	704
34	Нахождение общей звездной величины двух звезд	712

Таблицы 4—6, 20, 22, 29 и 30 не требуют разъяснений. В таблицах 13 и 14 часы обозначены латинской буквой *h*, минуты времени — буквой *m*, и секунды — буквой *s*. Следует обратить внимание на колонки, объединенные общими заголовками (например, «часы в дуге», «минуты времени в дуге» и т. д.). В левых колонках приведены значения углов в одной системе счета, а в соседних с ними — значения тех же углов в другой системе счета. При переводе значений углов из одной меры в другую заданные значения отыскиваются в левых колонках, а соответствующие им значения в другой мере выписываются из тех же строк правых колонок, и выписанные числа суммируются.

Таблицы 15 и 16 служат для перевода не моментов времени, а интервалов (промежутков) времени из одной системы счета времени в другую, поскольку продолжительность единиц звездного времени короче соответствующих одноименных единиц среднего времени. Во избежание ошибок при пользовании этими таблицами следует особое внимание обращать на заголовки колонок, так как одной и той же первой колонке соответствуют три последующих — вторая, третья и четвертая, а пятой колонке соответствуют шестая и седьмая. Заданные значения единиц интервалов времени в одной системе счета отыскиваются в первой и пятой колонках, а соответствующие им интервалы в другой системе счета времени выписываются из остальных колонок под одноименными заголовками. Переводы интервалов времени осуществляются только по этим таблицам, данные которых следует округлять до целых секунд.

Таблица 31 «Средние места звезд для 1950.0» содержит экваториальные координаты звезд на начало 1950 г. (эпоха 1950.0) и некоторые другие их характеристики. Звезды расположены в этой таблице не по созвездиям и не в порядке обозначений буквами греческого алфавита, а в порядке увеличения прямого восхождения. В первой колонке дается номер звезды по данному списку (каталогу), во второй — название звезды (ее обозначение в созвездии), третья колонка содержит ее видимую звездную величину *m* с точностью до $0^m.01$, четвертая — спектр звезды, пятая — ее прямое восхождение α в часах (*h*), минутах (*m*) и секундах (*s*) времени, с точностью до 0,1 сек, причем число часов указано только один раз и относится также ко всем последующим звездам. Шестая колонка содержит величину изменения прямого

восхождения звезды за один год. В седьмой колонке дается склонение звезды δ с точностью до $1''$ и в восьмой колонке — изменение склонения звезды за один год.

Следует обратить внимание на характер записей числовых величин, принятый в астрономии. Значки градусов ($^\circ$), минут ($'$), и секунд ($''$) дуги, часов (ч или h), минут (м или m) и секунд (с или s) времени, а также обозначение звездной величины (m) всегда проставляются в виде показателей степени целых чисел, а десятые, сотые и тысячные доли пишутся после запятой и этих значков. Кроме того, часто доли целых чисел отделяются не запятыми, а точками, например: $\alpha = 18^{\circ}34'44''.5$; $\delta = +16^{\circ}13'.7$; $m = 3^m.56$ и т. д.

Если требуется выписать из каталога сведения о звезде, буквенное обозначение которой не указано, но известно ее название (собственное имя), то сначала следует по таблице «Собственные имена звезд» в звездном атласе А. А. Михайлова определить буквенное обозначение звезды в созвездии, а затем уже по этому обозначению отыскивать звезду в каталоге.

Пример. Требуется найти сведения о звезде Вега; по таблице «Собственные имена звезд» устанавливаем, что Вегой называется звезда α Лиры, после чего отыскиваем в каталоге звезду α Лиры и требуемые о ней сведения.

Таблица 33а содержит сведения о ярких двойных звездах до 5.94 видимой звездной величины. В этой таблице приведены обозначения звезд в созвездии, номера этих звезд по каталогу двойных звезд Р. Эйткена (ADS), экваториальные координаты α и δ на начало 1900 г. (1900.0), суммарный блеск (видимая звездная величина двойной звезды), разность звездных величин Δm компонентов, видимое угловое расстояние ρ между компонентами в секундах дуги ($''$), позиционный угол ϑ более слабого компонента (определяющий его положение по отношению к более яркому компоненту) и эпоха E , для которой даны ρ и ϑ .

Таблица 34 служит для определения суммарной звездной величины двойных звезд по известным звездным величинам их компонентов.

Поначалу следует тщательно изучить таблицы 13, 14, 29 и 31, а с остальными знакомиться по мере прохождения курса общей астрономии.

Аналогичные таблицы имеются и в «Справочнике любителя астрономии» П. Г. Куликовского.

Как уже указывалось, сведения о текущих астрономических явлениях публикуются в астрономических календарях-ежегодниках, в предисловиях к которым даются объяснения к структуре и использованию их таблиц. «Астрономический календарь-ежегодник ВАГО» состоит из двух отделов: первый содержит таблицы с числовыми данными об астрономических явлениях (эти таблицы называются эфемеридами), а второй — научные статьи, обзоры, историко-астрономические исследования и библиографию.

Эфемериды Солнца и Луны составлены помесячно, размещены на соседних страницах и содержат ежедневные сведения об этих светилах. В эфемериде Солнца даются числа месяца, сплошной счет дней (дни

юлианского периода)*, моменты восхода и захода Солнца в пункте с географической долготой $\lambda=0^{\circ}0'0''$ ($0^{\circ}0'0''$) и географической широтой $\varphi=+56^{\circ}0'0''$; эти моменты даны по гринвичскому времени, называемому также мировым или всемирным временем. Азимуты точек восхода и захода Солнца в том же пункте даются от точки юга, причем для восхода азимут отрицателен, а для захода — положителен.

В следующих колонках приводятся прямое восхождение Солнца, уравнение времени, склонение Солнца и его изменение за 1 час, называемое часовым изменением склонения. Последняя колонка солнечной эфемериды содержит звездное время (часовой угол точки весеннего равноденствия Υ). Все эти величины даются на $0^{\circ}0'0''$ по всемирному времени, т. е. на момент начала новых календарных суток на гринвичском меридиане ($\lambda=0^{\circ}0'0''$). Эфемерида Солнца не содержит видимого углового радиуса Солнца, который дается в другой таблице под названием «Физические координаты Солнца». Внизу солнечной эфемериды приведены сведения о некоторых астрономических явлениях в текущем месяце года.

Эфемерида Луны содержит моменты восхода, верхней кульминации и захода Луны по гринвичскому (всемирному) времени, азимуты точек ее восхода и захода в пункте с $\lambda=0^{\circ}0'0''$ и $\varphi=+56^{\circ}0'0''$, а также ее прямое восхождение α , склонение δ и видимый угловой радиус r в среднюю гринвичскую полночь. Внизу таблицы приводятся сведения о фазах Луны и некоторых других явлениях. Основные фазы Луны обозначены: ● — новолуние; ☾ — первая четверть; ○ — полнолуние; ☾ — последняя (третья) четверть; рядом с обозначениями проставлены даты и моменты по гринвичскому времени наступления этих фаз Луны в текущем месяце года.

С содержанием таблиц ежегодника рекомендуется подробно ознакомиться постепенно, по мере изучения курса астрономии.

Школьный астрономический календарь, ежегодно издаваемый издательством «Просвещение» для учителей и учащихся средней школы, содержит сведения, необходимые для проведения учебных и кружковых занятий по астрономии в школе, в том числе и сведения о небесных явлениях текущего года. Содержание таблиц аналогично содержанию первого отдела «Астрономического календаря-ежегодника ВАГО», но все сведения в них даются в сокращенном виде и со значительно меньшей точностью, которая вполне удовлетворяет условиям изучения школьного курса астрономии. В школьном астрономическом календаре все моменты приведены по московскому декретному времени, отличающемуся от гринвичского времени ровно на +3 часа.

ЗАДАНИЕ

1*. Ознакомиться со структурой и содержанием «Астрономического календаря (постоянной части) ВАГО», «Астрономического календаря-ежегодника (переменной части) ВАГО» и «Школьного астрономического календаря».

* За начало счета принят средний гринвичский полдень 1 января 4713 г. до н. э. по юлианскому календарю.

2*. По соответствующим таблицам найти названия и видимую звездную величину звезд, положения которых определяются экваториальными координатами:

- 1) $\alpha = 200^{\circ}22'30''$, $\delta = -10^{\circ}47'.8$; $\alpha = 11^{\circ}12'45''$, $\delta = +57^{\circ}26'.7$;
- 2) $\alpha = 77^{\circ}52'45''$, $\delta = +45^{\circ}55'.7$; $\alpha = 184^{\circ}04'45''$, $\delta = -0^{\circ}16'.7$;
- 3) $\alpha = 151^{\circ}09'45''$, $\delta = +12^{\circ}18'.6$; $\alpha = 54^{\circ}58'30''$, $\delta = -10^{\circ}00'.0$;
- 4) $\alpha = 309^{\circ}45'45''$, $\delta = +45^{\circ}01'.8$; $\alpha = 25^{\circ}12'15''$, $\delta = -16^{\circ}18'.3$;
- 5) $\alpha = 76^{\circ}06'00''$, $\delta = -5^{\circ}10'.5$; $\alpha = 309^{\circ}05'45''$, $\delta = +15^{\circ}39'.9$;
- 6) $\alpha = 278^{\circ}38'30''$, $\delta = +38^{\circ}43'.1$; $\alpha = 75^{\circ}37'30''$, $\delta = -22^{\circ}27'.8$;
- 7) $\alpha = 213^{\circ}07'00''$, $\delta = +19^{\circ}32'.8$; $\alpha = 47^{\circ}16'30''$, $\delta = -29^{\circ}15'.7$;
- 8) $\alpha = 246^{\circ}16'45''$, $\delta = -26^{\circ}16'.7$; $\alpha = 66^{\circ}08'00''$, $\delta = +19^{\circ}01'.6$

3*. Из эфемерид Солнца и Луны (переменная часть *Астрономического календаря ВАГО*) выписать моменты времени восхода и захода этих светил в пункте с $\lambda=0^{\circ}$ и $\varphi=+56^{\circ}$, азимуты точек их восхода и захода и найти моменты их верхней кульминации для следующего дня года: 1) 11 января; 2) 5 февраля; 3) 7 марта; 4) 16 апреля; 5) 21 мая; 6) 20 июня; 7) 25 июля; 8) 29 августа.

4. По эфемериде Луны определить даты и моменты времени четырех основных фаз Луны: 1) в январе; 2) в феврале; 3) в марте; 4) в апреле; 5) в мае; 6) в июне; 7) в июле; 8) в августе.

5*. По эфемеридам Солнца, Луны и планет, помещенным в «Школьном астрономическом календаре», ознакомиться со значениями их экваториальных координат в различные дни года и сформулировать вывод о причине, по которой положения этих светил не указываются на звездных картах.

6. Из Школьного астрономического календаря выписать экваториальные координаты, видимую звездную величину, температуру и цвет звезды: 1) Кастора; 2) Альтаира; 3) Поллукса; 4) Полярной; 5) Антареса; 6) Регула; 7) Спика; 8) Сириуса.

7*. Для середины месяца, указанного в пункте 4, проверить по подвижной карте описание вида звездного неба около полуночи, приведенное в разделе «Справочника наблюдателя» Школьного астрономического календаря, и указать созвездия, в которых в этот день находятся Солнце, Луна и планеты: 1) Меркурий; 2) Венера; 3) Марс; 4) Юпитер; 5) Сатурн; 6) Уран; 7) Нептун.

8. По подвижной карте звездного неба определить для той же даты приближенные моменты времени восхода и захода тех же светил.

9*. По результатам пункта 7 (и 8) сформулировать выводы о положении относительно Солнца и об условиях видимости Луны и планеты в заданный день года.

Отчет о работе № 4

Дата выполнения работы: _____

2.

Обозначение звезды в созвездии	Название звезды	α		δ
		в угловой мере	в единицах времени	

3. Дата _____

Светило	Моменты по всемирному времени			Азимуты точек	
	восход	верхняя кульминация	заход	восхода	захода
Солнце					
Луна					

4. Фазы Луны в _____ месяце 19 г.

Фаза	Дата	Момент времени

5. Вывод: _____

6.

Название звезды	Обозначение звезды в созвездии	α	δ	m	T°	Цвет

7 и 8. Дата _____ $T =$ _____

Светило	α	δ	Восход	Заход	Созвездие

9. Выводы: _____

КУЛЬМИНАЦИЯ СВЕТИЛ. ВИД ЗВЕЗДНОГО НЕБА НА РАЗНЫХ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ШИРОТАХ

Ц е л ь р а б о т ы. Изучение условий видимости небесных светил в различных местах земной поверхности.

Пособия: географическая карта с планисферой (планшет 10); модель небесной сферы; Астрономический календарь — постоянная часть или «Справочник любителя астрономии» П. Г. Куликовского.

Литература: [1], глава II, § 6—8; [2], глава I, § 10—14; [5], упражнения 5, 6 и 7.

Задачи: [3], № 23, 24, 67, 103—105, 107—109, 111, 115, 118, 119; [4], № 1—16.

Экваториальные координаты (прямое восхождение α и склонение δ) звезд, определяющие их положение на небесной сфере относительно небесного экватора, не зависят от положения наблюдателя на земной поверхности. В то же время вид самой небесной сферы, т. е. расположение ее элементов относительно истинного горизонта, зависит исключительно от географической широты φ места наблюдения, что находит свое выражение в теореме о высоте полюса мира. Поэтому изменение высоты и азимута небесных светил в суточном вращении небесной сферы и условия их видимости в разных местах Земли зависят не только от склонения светил, но и от географической широты мест земной поверхности. Качественная картина общих условий видимости небесных светил может быть выяснена по географической карте земного полушария с планисферой и на модели небесной сферы.

Географическая карта с планисферой наглядно показывает изменение вида звездного неба при перемещении наблюдателя по земному меридиану. Планисфера состоит из двух частей: на плотной бумаге изображена видимая наблюдателю половина небесной сферы, расположенная над истинным горизонтом NS с отвесной линией OZ и сеткой горизонтальных координат, а на кальку следует скопировать изображение всей небесной сферы с небесным экватором QQ' , осью мира PP' , сеткой экваториальных координат и несколькими созвездиями, расположенными в районах различных небесных параллелей. Чертеж видимой наблюдателю полусферы прикладывается к точке краевого меридиана карты полушария Земли так, чтобы истинный горизонт NS был касательным к меридиану в этой точке (место наблюдения), а отвесная линия OZ служила продолжением земного радиуса R в той же точке (рис. 10). Тогда дуга NZS изобразит небесный меридиан места наблюдения, точка N истинного горизонта, обращенная к северному полюсу Земли, будет точкой севера, а диаметрально противоположная ей точка S истинного горизонта — точкой юга. Изображение небесной сферы на кальке накладывается на чертеж видимой полусферы так, чтобы их центры O всегда совпадали, а ось мира была всегда направлена параллельно земной оси. Перемещающая планисферу вдоль краевого меридиана карты полушария Земли с сохранением параллельности оси мира PP' и земной оси, легко видеть изменение расположения элементов небесной сферы относи-

тельно истинного горизонта и изменение условий видимости созвездий в зависимости от географической широты мест земной поверхности.

В каждом месте земной поверхности с определенной географической широтой φ , условия видимости небесных светил зависят от их склонения δ , а точнее, от соотношения φ и δ . В зависимости от этого соотношения одни светила являются незаходящими в данном месте Земли, другие — совсем не восходят над горизонтом данного места,

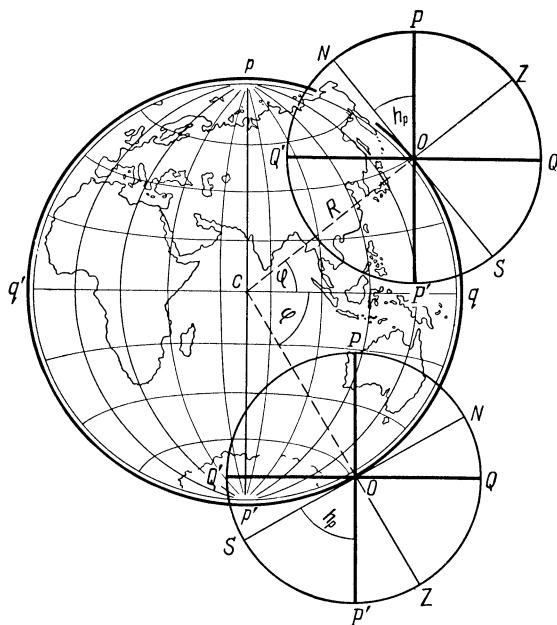


Рис. 10

третьи — восходят и заходят, причем продолжительность их пребывания над горизонтом на протяжении суток и положение точек их восхода и захода опять-таки зависят от соотношения φ и δ . Условия видимости светил выводятся из формул, определяющих их высоту в верхней и нижней кульминации. В самом деле, высота невосходящего светила в верхней кульминации $h_v \leq 0^\circ$, а высота незаходящего светила в нижней кульминации $h_n \geq 0^\circ$, откуда легко найти условия невосходящих и незаходящих светил, т. е. связь их склонения δ с географической широтой φ места наблюдения.

Соотношение между δ и φ определяет также расположение светила относительно зенита в момент верхней кульминации:

- при $\delta < \varphi$ светило кульминирует к югу от зенита;
- при $\delta = \varphi$ светило кульминирует в зените;
- при $\delta > \varphi$ светило кульминирует к северу от зенита.

Поэтому при вычислении зенитного расстояния z_v или высоты h_v светила в верхней кульминации, около числового результата необходимо проставлять буквы S или N (ю или с), указывающие направление верхней кульминации. Кроме того, поскольку высота светил может быть положительной и отрицательной, перед числовым ее значением следует обязательно ставить соответствующий знак.

Для определения условий видимости небесных светил в южном полушарии Земли нужно помнить, что над истинным горизонтом находится южный полюс мира, большинство видимых небесных светил принадлежит южной небесной полусфере и имеет отрицательное склонение ($\delta < 0^\circ$), причем в нижней кульминации светила проходят через небесный меридиан над точкой юга или под ней. Поэтому при расчетах прощѐ всего считать географическую широту φ точек южного полушария Земли и склонение δ небесных светил южной небесной полусферы положительными, а окончательному результату приписывать

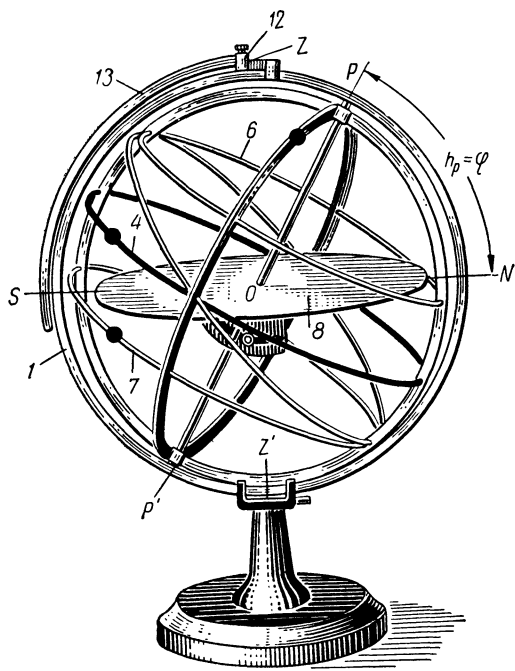


Рис. 11

противоположное направление (N вместо S и наоборот). При вычислениях полезно выполнять чертежи, которые дают наглядное представление о решаемых задачах и предохраняют от возможных ошибок.

Рассмотренные ранее условия видимости светил наглядно демонстрируются на модели небесной сферы. Помня, что всегда высота полюса мира $h_p = \varphi$, можно установить модель небесной сферы на определенную географическую широту φ (рис. 11: ● — насадки «светила») и, укрепив насадки-светила в разных точках модели (в точках с различным склонением), увидеть при вращении модели различные суточные пути светил, плоскости которых наклонены к плоскости истинного горизонта под одним и тем же углом $i = 90^\circ - \varphi$. Изменяя склонение δ насадок-светил, можно выяснить расположение точек их восхода и захода, условия их кульминации и условия невосходящих и незаходящих светил. Если же, не меняя δ светил, последовательно устанавливать модель небесной сферы на разную широту φ ,

то можно убедиться в изменении условий видимости одних и тех же светил в зависимости от φ . Особенно рекомендуется обратить внимание на продолжительность пребывания над горизонтом различных широт светил с $\delta=0^\circ$ и выяснить возможность наблюдения на разных широтах областей северной и южной полусферы. Установка модели небесной сферы для земного экватора ($\varphi=0^\circ$; $h_p=0^\circ$) и северного географического полюса ($\varphi=+90^\circ$; $h_p=+90^\circ$) показана соответственно на рис. 12 и 13. Что касается установки модели небесной сферы на

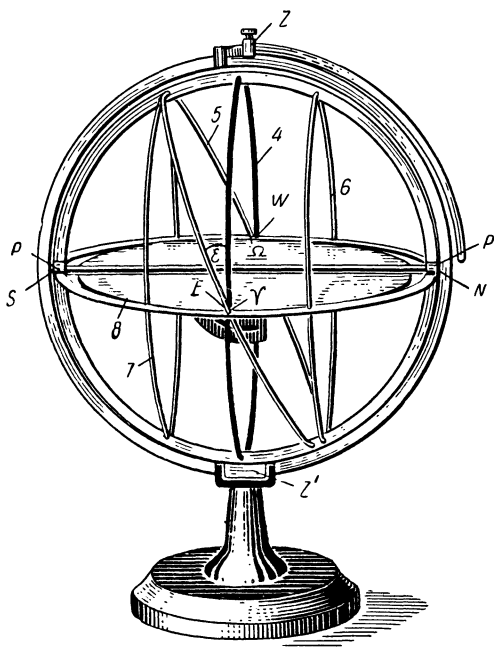


Рис. 12

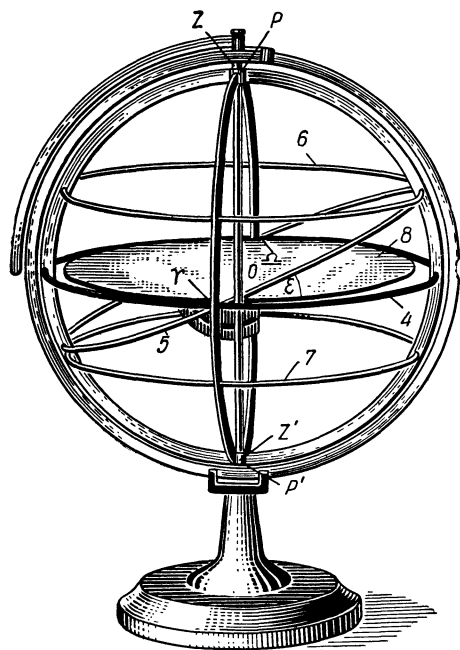


Рис. 13

географическую широту северного тропика ($\varphi=+23^\circ 27'$) и северного полярного круга ($\varphi=+66^\circ 33'$), то она легко осуществляется по положению небесной параллели $\delta=23^\circ 27'$, изображенной на модели (малый круг *б*): в первом случае эта небесная параллель должна проходить через зенит (см. рис. 15), а во втором случае — касаться истинного горизонта в точке севера (см. рис. 16).

ЗАДАНИЕ

1. По географической карте с планисферой изучить расположение основных элементов небесной сферы относительно истинного горизонта и общие условия видимости созвездий в точках земной поверхности с различной географической широтой.

2*. На модели небесной сферы изучить вид и особенности суточного вращения небесной сферы на экваторе, тропиках, полярных кругах и географических полюсах Земли.

3*. На модели небесной сферы отождествить величины, входящие в формулы зенитного расстояния и высоты небесных светил в моменты их верхней и нижней кульминации.

4*. Вычислить зенитное расстояние и высоту в верхней и нижней кульминации звезд на земном экваторе, северном тропике, северном полярном круге, северном географическом полюсе и в городах:

№ вар анта	Звезды	Города
1)	Капелла и Альфард	Ленинград и Владивосток
2)	Мирфак и Ригель	Пермь и Ереван
3)	Шедар и Спика	Мурманск и Сухуми
4)	Мицар и Фомальгаут	Петрозаводск и Фрунзе
5)	Алголь и Сириус	Новгород и Самарканд
6)	Вега и Антарес	Москва и Ашхабад
7)	Денеб и Мира	Архангельск и Ташкент
8)	Дубхе и Менкар	Владимир и Тбилиси

5*. Определить пояса географических широт, в которых эти звезды являются незаходящими и невосходящими.

6*. Определить географическую широту мест земной поверхности, в которых те же звезды кульминируют в зените.

7*. Определить склонение звезд, доступных наблюдениям в городах, указанных в пункте 4.

8. Изобразить на чертеже вид и направление вращения небесной сферы в произвольной точке поверхности южного полушария Земли.

9*. Из анализа результатов пунктов 1—7 сформулировать выводы о причине различия вида звездного неба и об условиях видимости небесных светил в разных местах земной поверхности.

Отчет о работе № 5

Дата выполнения работы:

1 и 2.

Место	φ	h_p	i	Относительная продолжительность видимости светил северной и южной небесной полусферы

Вывод об общих условиях видимости созвездий:

4. Формулы:
Примеры вычислений:

Место	φ	$90^\circ - \varphi$	Звезда $\delta =$				Звезда $\delta =$				
			z_B	h_B	z_H	h_H	z_B	h_B	z_H	h_H	

- 5 и 6. а) Условие незаходящих светил:
 б) Условие невосходящих светил:
 в) Условие прохождения светил через зенит:

Звезда	δ	Не заходит, пределы φ	Не восходит, пределы φ	Кульминирует в зените, φ

7.

Город	φ	$90^\circ - \varphi$	Пределы склонения	
			от δ	до δ

8. Чертеж прилагается.
 9. Выводы:

ВИДИМОЕ ГОДОВОЕ ДВИЖЕНИЕ СОЛНЦА

Цель работы. Изучение астрономических закономерностей, связанных с обращением Земли вокруг Солнца.

Пособия: модель небесной сферы; Малый звездный атлас А. А. Михайлова; подвижная карта звездного неба (планшет 9); Астрономический календарь — постоянная часть; Астрономический календарь-ежегодник.

Литература: [1], глава II, § 10; [2], глава I, § 15, 16; [5], упражнение 8. **Дополнительная:** [6], глава четвертая, § 27; [22], глава V, § 16; [31], глава II, § 9—11; [34], глава первая.

Задачи: [3], № 199, 200, 202—206, 209; [4], № 17—19, 25—29.

Вследствие годового обращения Земли вокруг Солнца в направлении с запада на восток нам представляется, что Солнце непрерывно перемещается на фоне звезд в том же направлении, навстречу суточному вращению небесной сферы, и один оборот по небесной сфере завершает за 1 год. Земля обращается вокруг Солнца, в определенной плоскости, называемой плоскостью земной орбиты, и поэтому видимое годовое движение Солнца происходит в этой же самой плоскости, которая пересекает небесную сферу по большому кругу, называемому эклиптической (рис. 14: ε — наклонение эклиптики, δ_{\odot} — склонение Солнца, Υ — точка весеннего равноденствия, \odot — точка летнего солнцестояния, \cap — точка осеннего равноденствия, χ — точка зим-

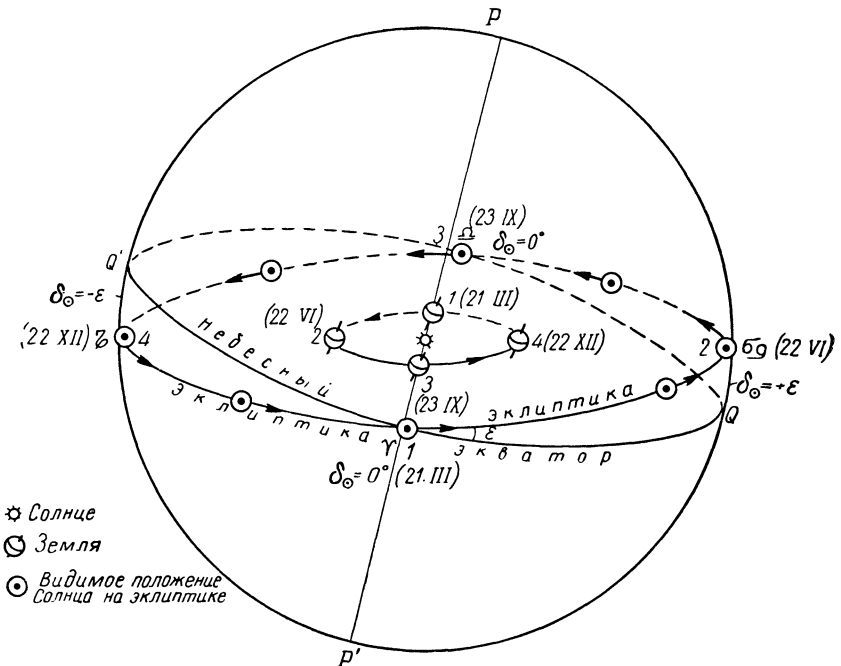


Рис. 14

него солнцестояния). Таким образом, плоскость эклиптики и плоскость земной орбиты идентичны.

Будучи большими кругами небесной сферы, эклиптика и небесный экватор пересекаются под определенным углом ε в двух диаметрально противоположных точках, называемых точками равноденствий. Этот угол ε называется наклоном эклиптики к небесному экватору, но правильнее его называть наклоном небесного экватора к эклиптике, так как плоскость земной орбиты (плоскость эклиптики) во многих задачах астрономии принимается за основную. Если вспомнить, что плоскость небесного экватора отождествляется с плоскостью земного экватора, то по наклону ε небесного экватора к эклиптике нетрудно вычислить угол наклона земной оси к плоскости земной орбиты.

Положение эклиптики на небесной сфере, т. е. экваториальные координаты α и δ точек эклиптики и ее наклонение ε к небесному экватору определяется из ежедневных наблюдений зенитного расстояния z_{\odot} Солнца в момент его верхней кульминации, называемый истинным полднем. На всех географических широтах φ северного полушария Земли, удовлетворяющих условию $90^{\circ} > \varphi > \varepsilon$, Солнце всегда кульминирует к югу от зенита, и наименьшее значение его зенитного расстояния бывает в день летнего солнцестояния (22 июня), а наибольшее — в день зимнего солнцестояния (22 декабря). Это означает, что в эти дни Солнце имеет, соответственно, наибольшее склонение $\delta_m = +\varepsilon$ и наименьшее склонение $\delta_n = -\varepsilon$, а так как в указанных выше пределах географической широты всегда

$$z_{\odot} = \varphi - \delta, \quad (1)$$

то по значениям z_{\odot} Солнца в дни солнцестояний легко вычислить наклонение эклиптики ε даже без знания географической широты φ места наблюдения, которая при известном ε вычисляется по той же формуле (1). Зная φ , можно по ежедневным измерениям z_{\odot} Солнца вычислить его экваториальные координаты α_{\odot} и δ_{\odot} для всех дней года и определить, таким образом, экваториальные координаты точек эклиптики, а по ним изобразить эклиптику на звездных глобусах и картах.

Видимое годовое движение Солнца хорошо уясняется на модели небесной сферы. На большой круг δ модели, изображающий эклиптику, помещается насадка — Солнце или, за ее отсутствием обычная канцелярская скрепка. Перемещая насадку (или скрепку) по эклиптике против суточного вращения небесной сферы (против часовой стрелки), можно проследить непрерывное изменение экваториальных координат Солнца α_{\odot} и δ_{\odot} на протяжении года, изменение его долготы λ_{\odot} и постоянство широты β_{\odot} , найти точки равноденствий, в которых Солнце пересекает небесный экватор, и точки солнцестояний, в которых абсолютная величина склонения Солнца максимальна.

Помещая насадку в разные точки эклиптики, соответственно времени года, и вращая небесную сферу вокруг оси мира, нетрудно проследить за изменением положения точек восхода и захода Солнца,

его суточного пути над (и под) горизонтом и изменением полуденной высоты Солнца в зависимости от его склонения, различного в разные времена года.

Моменты восхода $T_{\text{в}}$ и захода $T_{\text{з}}$ Солнца, как и азимуты точек его восхода $A_{\text{в}}$ и захода $A_{\text{з}}$, зависят не только от склонения Солнца δ_{\odot} , но и от географической широты φ места земной поверхности. Точные значения $T_{\text{в}}$, $T_{\text{з}}$, $A_{\text{в}}$ и $A_{\text{з}}$ вычисляются по соответствующим формулам сферической астрономии. В эфемериде Солнца Астрономического календаря-ежегодника ВАГО приведены значения этих величин для места с географической долготой $\lambda=0^{\text{h}}0^{\text{m}}0^{\text{s}}$ и географической широтой $\varphi=+56^{\circ}0'0''$, причем моменты $T_{\text{в}}$ и $T_{\text{з}}$ даны по гринвичскому (всемирному) времени.

Эти же значения $T_{\text{в}}$, $T_{\text{з}}$, $A_{\text{в}}$ и $A_{\text{з}}$ могут быть приняты в первом приближении для всех пунктов земной поверхности с географической широтой, близкой к $\varphi=+56^{\circ}$, причем $T_{\text{в}}$ и $T_{\text{з}}$ в этих случаях выражаются по среднему времени.

Приближенные значения тех же величин для определенной географической широты φ могут быть найдены по подвижной карте звездного неба и помогают уяснить закономерность и причину их изменения на протяжении года.

Изменение азимутов точек восхода и захода Солнца и его полуденной высоты наглядно изображается на чертеже-графике, начало координат которого принимается за точку юга; по оси абсцисс, в обе стороны от начала координат, откладываются азимуты точек восхода, севера, запада и точек восхода и захода Солнца в разные дни года, а по оси ординат — полуденная высота Солнца для тех же дней. Дуги, соединяющие точки одной даты, дают представление о суточном пути Солнца над горизонтом в разные дни года.

На картах звездных атласов основные точки эклиптики, как правило, ничем не обозначены, но легко отождествляются по их экваториальным координатам. Положение Солнца на картах малого звездного атласа А. А. Михайлова определяется по датам красного цвета, нанесенным на обрезках карт. Эти даты относятся к точкам эклиптики (α , δ), которые в среднюю полночь находятся в верхней кульминации, и поэтому экваториальные координаты Солнца

$$\alpha_{\odot} \approx 180^{\circ} + \alpha \approx 12^{\text{h}} + \alpha \quad (2)$$

и

$$\delta_{\odot} \approx -\delta. \quad (3)$$

Пользуясь этой оцифровкой, можно установить день вступления Солнца в то или иное зодиакальное созвездие и дату выхода Солнца из его пределов.

В зависимости от положения Солнца на эклиптике условия видимости созвездий на протяжении года непрерывно изменяются, и одно и то же созвездие в разные времена года видно в различное время суток. Условия видимости зодиакальных созвездий лучше всего могут быть выяснены по подвижной карте звездного неба, причем необходимо помнить, что звезды, расположенные в пределах около 15° к

востоку и западу от Солнца, не доступны наблюдениям, так как темное время суток наступает не сразу после захода Солнца, а спустя некоторый промежуток времени (вечерние сумерки); точно так же рассвет наступает раньше восхода Солнца (утренние сумерки).

ЗАДАНИЕ

1*. Вычислить наклонение эклиптики и определить экваториальные и эклиптические координаты ее основных точек по измеренному зенитному расстоянию Солнца в верхней кульминации в дни солнцестояний:

22 июня	22 декабря
1) $29^{\circ}48'$ ю	$76^{\circ}42'$ ю
2) $19^{\circ}23'$ ю	$66^{\circ}17'$ ю
3) $34^{\circ}57'$ ю	$81^{\circ}51'$ ю
4) $32^{\circ}21'$ ю	$79^{\circ}15'$ ю
5) $14^{\circ}18'$ ю	$61^{\circ}12'$ ю
6) $28^{\circ}12'$ ю	$75^{\circ}06'$ ю
7) $17^{\circ}51'$ ю	$64^{\circ}45'$ ю
8) $26^{\circ}44'$ ю	$73^{\circ}38'$ ю

2. Сформулировать причины видимого годового движения Солнца по эклиптике и ее наклонения к небесному экватору на определенный угол, приведя в качестве доказательства соответствующий чертеж.

3*. Определить наклонение видимого годового пути Солнца к небесному экватору на планетах Марсе, Юпитере и Уране.

4*. Определить наклонение эклиптики около 3000 лет назад, если по наблюдениям в ту эпоху в некотором месте северного полушария Земли полуденная высота Солнца в день летнего солнцестояния равнялась $+63^{\circ}48'$, а в день зимнего солнцестояния $+16^{\circ}00'$ к югу от зенита.

5*. По результатам пунктов 1 и 4 сформулировать вывод о причине и направлении изменения наклонения эклиптики и вычислить величину годичного изменения наклонения.

6. По картам звездного атласа установить названия и границы зодиакальных созвездий, указать те из них, в которых находятся основные точки эклиптики, и определить среднюю продолжительность перемещения Солнца на фоне каждого зодиакального созвездия.

7. По подвижной карте звездного неба выяснить изменение условий видимости зодиакальных и прилегающих к ним созвездий на протяжении года и объяснить причину этого изменения.

8. По подвижной карте звездного неба определить азимуты точек и моменты времени восхода и захода Солнца, а также примерную продолжительность дня и ночи на географической широте карты в дни равноденствий и солнцестояний.

9*. Из эфемериды Солнца выписать значения азимутов точек и моментов времени восхода и захода Солнца на географической широте

те $\varphi = +56^\circ$ и вычислить для той же широты продолжительность дня и ночи в дни равноденствий, солнцестояний и в следующие дни года:

- 1) 28 января, 1 мая, 11 августа и 14 ноября;
- 2) 3 февраля, 4 мая, 8 августа и 8 ноября;
- 3) 31 января, 8 мая, 4 августа и 11 ноября;
- 4) 6 февраля, 11 мая, 1 августа и 5 ноября;
- 5) 10 февраля, 15 мая, 28 июля и 1 ноября;
- 6) 29 января, 2 мая, 10 августа и 13 ноября;
- 7) 8 февраля, 13 мая, 30 июля и 4 ноября;
- 8) 1 февраля, 6 мая, 6 августа и 10 ноября

10*. Вычислить для дней равноденствий и солнцестояний полуденную и полуночную высоту Солнца в: 1) Москве; 2) Рязани; 3) Казани; 4) Витебске; 5) Омске; 6) Новосибирске; 7) Смоленске; 8) Красноярске.

11. Построить схематический чертеж-график дневного пути Солнца в дни равноденствий и солнцестояний.

12*. Из анализа результатов пунктов 9 и 10 сформулировать выводы о характере и причине изменения на протяжении года:

- а) азимутов точек восхода и захода Солнца;
- б) моментов времени восхода и захода Солнца;
- в) полуденной и полуночной высоты Солнца;
- г) продолжительности дня и ночи.

Отчет о работе № 6

Дата выполнения работы: _____

1. _____

Данные наблюдений

День	Солнце, $z_{\text{в}}$

Решение:

Эклиптика: $\varepsilon =$

Название точек эклиптики	Обозначение	α	δ	λ	β

2. Причины:

- а) видимого годового движения Солнца;
- б) наклона эклиптики $\varepsilon =$

Чертеж прилагается

3. _____

Планета	Наклон оси	ε

4.

Данные наблюдений		
День	Солнце	
	$h_{\text{в}}$	$z_{\text{в}}$

Решение:

Эклиптика: $\varepsilon =$

5.

Эпоха t	ε
Настоящая 3000 лет назад	

Годовое изменение
 $\Delta\varepsilon_0 =$

Разность $\Delta t =$ $\Delta\varepsilon =$
 Направление и причина изменения

6.

Зодиакальные созвездия			Основная точка эклиптики	Солнце			
название	границы			время года	даты		
	по α	по δ			n_1	n_2	$n_2 - n_1$

7.

Время суток	Весна	Лето	Осень	Зима
	Созвездия			
Утро				
Ночь				
Вечер				

Причина изменения:

8. $\varphi =$

Дата	Солнце						Продолжительность	
	α_{\odot}	δ_{\odot}	$A_{\text{в}}$	$A_{\text{з}}$	$T_{\text{в}}$	$T_{\text{з}}$	дня $\tau_{\text{д}}$	ночи $\tau_{\text{н}}$

9. $\varphi = +56^\circ$.

Дата	Солнце						$\tau_{\text{д}}$	$\tau_{\text{н}}$
	α_{\odot}	δ_{\odot}	$A_{\text{в}}$	$A_{\text{з}}$	$T_{\text{в}}$	$T_{\text{з}}$		

10. Город $\varphi =$

Дата	Солнце		
	δ_{\odot}	$h_{\text{в}}$	$h_{\text{н}}$

11. График прилагается

12. Выводы:

СМЕНА ВРЕМЕН ГОДА

Ц е л ь р а б о т ы. Изучение причин смены времен года на Земле и ознакомление с астрономическими признаками тепловых (климатических) поясов.

Пособия: Астрономический календарь — постоянная часть; Астрономический календарь-ежегодник; модель небесной сферы; теллурий; таблицы тригонометрических функций.

Литература: [1], глава II, § 10; [2], глава I, § 16, 17, глава IV, § 70; [5] упражнение 9.

Задачи: [3], № 201, 203, 208, 209; [4], № 20—24.

Регулярная смена времен года на Земле является следствием трех причин: годового обращения Земли вокруг Солнца, наклона земной оси к плоскости земной орбиты (к плоскости эклиптики) и сохранения земной осью своего направления в пространстве на протяжении длительных промежутков времени. Благодаря совместному действию трех указанных причин происходит видимое годовое движение Солнца по эклиптике, наклоненной к небесному экватору, и поэтому положение суточного пути Солнца над горизонтом различных мест земной поверхности на протяжении года изменяется, а следовательно изменяются условия их освещения и обогривания Солнцем.

Изменение суточного пути Солнца в течение года на разных географических широтах хорошо прослеживается на модели небесной сферы. Прежде всего следует твердо усвоить, что соседние точки эклиптики лежат на разных небесных параллелях, и поэтому имеют различное склонение, а каждая пересекающая эклиптику небесная параллель проходит через две точки эклиптики с одинаковым склонением, равным склонению данной небесной параллели. Все без исключения точки эклиптики участвуют в суточном вращении небесной сферы, двигаясь по соответствующим небесным параллелям, и дважды в сутки пересекают небесный меридиан (верхняя и нижняя кульминации). Высота разных точек эклиптики в верхней и нижней кульминации различна, зависит от их склонения и определяется по тем же формулам, по которым вычисляется высота кульминирующих небесных светил.

В процессе суточного вращения небесной сферы положение эклиптики относительно истинного горизонта непрерывно изменяется, причем самое высокое и самое низкое положение эклиптики занимает в моменты восхода и захода ее равноденственных точек. Полюсы эклиптики Π и Π' отстоят от соответствующих полюсов мира P и P' на угловом расстоянии ε и в течение суток движутся по небесным параллелям со склонением

$$\delta = \pm (90^\circ - \varepsilon). \quad (1)$$

Вследствие годового движения Солнца по эклиптике его склонение непрерывно меняется, т. е. строго говоря, Солнце непрерывно переходит с одной небесной параллели на другую. Для уяснения же

общей картины изменения суточного пути Солнца на протяжении года в первом приближении можно полагать, что Солнце в каждый день года находится на определенной небесной параллели, склонение которой равняется склонению Солнца в данный день. Поэтому в суточном вращении небесной сферы Солнце движется по этой небесной параллели, восходя и заходя в точках ее пересечения с истинным горизонтом и кульминируя в точках ее пересечения с небесным меридианом. Угол наклона плоскостей небесных параллелей к плоскости истинного горизонта зависит от географической широты места, и поэтому на разных географических широтах азимуты точек пересечения одних и тех же небесных параллелей с истинным горизонтом и высота точек их пересечения с небесным меридианом имеют различные значения. Этим и объясняются различные пределы годичного изменения азимутов точек восхода и захода Солнца, его полуденной высоты и продолжительности дня и ночи на разных географических широтах, что ведет к неодинаковому обогреванию мест земной поверхности с разной географической широтой и является причиной смены времен года и существования тепловых поясов на Земле.

Устанавливая модель небесной сферы на различную географическую широту, перемещая каждый раз насадку-Солнце по эклиптической модели против часовой стрелки и вращая модель вокруг ее оси по часовой стрелке, можно изучить положение суточного пути Солнца на небе в разные дни года и составить правильное представление об изменении этого пути на протяжении года в местах земной поверхности с различной географической широтой.

Неодинаковое обогревание Солнцем областей земной поверхности с различной географической широтой φ (или тех же областей в разные времена года) легко выясняется простым подсчетом. Обозначим через E_0 количество тепла, передаваемого единице площади земной поверхности отвесно падающими солнечными лучами (Солнце в зените). Тогда при другом зенитном расстоянии Солнца z та же единица площади получит количество тепла

$$E = E_0 \cdot \cos z. \quad (2)$$

Подставляя в формулу (2) значения z Солнца в истинный полдень разных дней года и деля полученные равенства друг на друга, найдем отношение количества тепла, получаемого от Солнца в полдень в эти дни года.

Моменты времени восхода и захода Солнца на разных географических широтах в различные дни года приведены в соответствующих таблицах астрономических календарей, в частности в таблице 22 постоянной части Астрономического календаря ВАГО (стр. 665—673). По этим моментам определяется продолжительность дня τ_d и продолжительность ночи τ_n .

Причины смены времен года и существования тепловых поясов на Земле особенно наглядно уясняются при одновременном использовании модели небесной сферы и теллурия, который состоит из небольшого глобуса, обращаемого на рейке вокруг электрической лампочки, изображающей Солнце. Пользоваться теллурием лучше всего в

затемненном помещении, чтобы на глобусе четко была видна граница света и тени, отделяющая дневное (освещенное) полушарие Земли от ночного (неосвещенного) полушария и называемая терминатором. Вследствие большого удаления Земли от Солнца ($149,6 \cdot 10^6$ км) можно считать плоскость терминатора перпендикулярной к солнечным лучам, которые падают на Землю параллельным пучком. В светлом помещении терминатор на глобусе виден нечетко и, чтобы судить о его положении, на глобус надевается терминаторное кольцо, плоскость которого при обращении глобуса поворачивается и всегда перпендикулярна к направлению на лампочку. В этом случае направление солнечных лучей показывается указателем, который имеет возможность перемещаться по вертикальной стойке и демонстрировать падение солнечных лучей на различные области земного шара, от его полюсов до экватора.

На теллурии можно проследить за изменением наклона солнечных лучей и продолжительности дня и ночи на протяжении года в разных местах земной поверхности, уяснить причину равенства продолжительности дня и ночи на всей Земле в дни равноденствий, проследить за изменением размеров областей полярного дня и полярной ночи вблизи географических полюсов Земли, выяснить причины существования тепловых поясов и приблизительное расположение их границ на земной поверхности. Точное положение границ тепловых поясов вычисляется по астрономическим признакам, из условий суточного пути Солнца над горизонтом. Так как склонение Солнца δ_{\odot} на протяжении года изменяется в строго определенных пределах, то Солнце может кульминировать в зените не на всех географических широтах, а только в определенном поясе земной поверхности, называемом жарким поясом, границами которого являются тропики — северный (в северном полушарии Земли) и южный (в южном полушарии Земли). Географическая широта тропиков вычисляется из условия прохождения Солнца через зенит, а суточный путь Солнца на тропиках в разные времена года уясняется на модели небесной сферы (рис. 15: ☉ — положение точки летнего солнцестояния в момент ее верхней кульминации, ☿ — положение точки зимнего солнцестояния в момент ее нижней кульминации, ● — Солнце в день летнего солнцестояния, ⊗ — Солнце в дни равноденствий, ○ — Солнце в день зимнего солнцестояния).

Холодными поясами земной поверхности называются прилегающие к географическим полюсам области, в местах которых Солнце в определенные дни года является незаходящим и невосходящим светилом, т. е. такие области, в пределах которых существуют полярные дни и полярные ночи. Продолжительность полярных дней и полярных ночей в разных местах холодных поясов различна и зависит от их географической широты. Теоретические границы холодных поясов называются полярными кругами, географическая широта которых вычисляется из условия незаходящих и невосходящих светил при наибольшем и наименьшем значении склонения Солнца. Суточный путь Солнца на полярных кругах также может быть изучен на модели небесной сферы (рис. 16: ☉ — положение точки летнего солнцестояния в момент ее

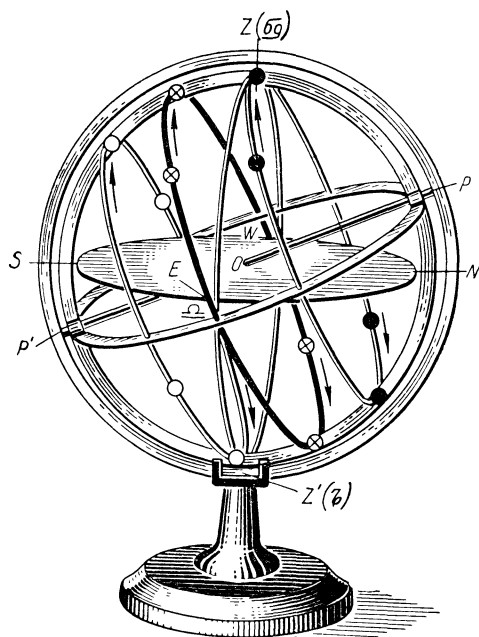


Рис. 15

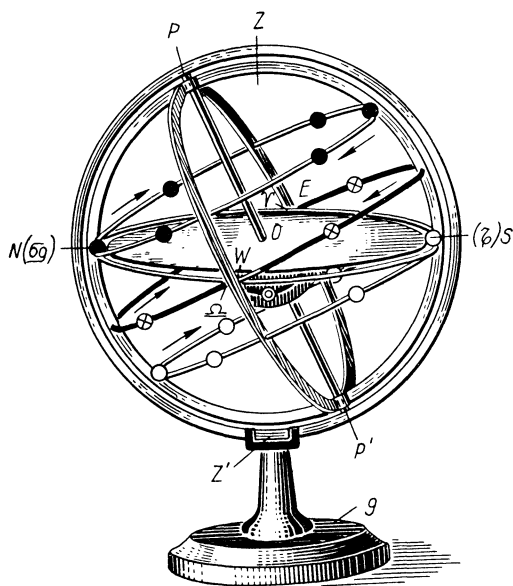


Рис. 16

нижней кульминации, χ — положение точки зимнего солнцестояния в момент ее верхней кульминации, \bullet — Солнце в день летнего солнцестояния, \otimes — Солнце в дни равноденствий, \circ — Солнце в день зимнего солнцестояния).

Действительные границы полярного дня и полярной ночи не совпадают с полярными кругами. Это совпадение имелось бы только в случае отсутствия у Солнца видимого диска (точечный вид Солнца) и отсутствия преломления и рассеяния света в земной атмосфере (рефракция, сумерки). В действительности же верхний край солнечного диска появляется над горизонтом раньше его центра, для которого даются координаты Солнца, и, кроме того, преломление света в земной атмосфере (рефракция) приподнимает видимое положение Солнца над горизонтом, а рассеяние света в земной атмосфере вызывает сумерки, т. е. наступление рассвета до восхода Солнца и наступление темного времени суток спустя некоторое время после его захода. В результате граница полярного дня смещается примерно на 2° в сторону экватора, а граница полярной ночи — на 2° в сторону географических полюсов Земли.

Аналогичным образом, исходя из условий неза-

ходящих и невосходящих светил, можно вычислить значения склонения Солнца δ_{\odot} , при которых оно становится незаходящим или невосходящим на заданной географической широте φ , найти по солнечной эфемериде Астрономического календаря-ежегодника по две даты n_1 и n_2 , соответствующие каждому вычисленному значению склонения δ_{\odot} , и по ним определить теоретическую продолжительность полярного дня τ_d и полярной ночи τ_n на данной географической широте.

Зная причины смены времен года и принципы проведения границ тепловых поясов на Земле, можно решить те же вопросы и для других планет. В этом случае термин «географическая широта» заменяется термином «планетографическая широта». Необходимые данные для решения этих вопросов содержатся в таблицах элементов больших планет, опубликованных в постоянной части Астрономического календаря ВАГО или любом другом астрономическом справочнике.

ЗАДАНИЕ

1*. Определить высоту точек эклиптики, находящихся в верхней и нижней кульминации в моменты восхода и захода точки весеннего равноденствия, и вычислить для этих моментов угол наклона эклиптики к истинному горизонту на северном географическом полюсе, на земном экваторе, а также на широте: 1) $+60^{\circ}30'$ и в Тбилиси; 2) $+70^{\circ}00'$ и в Ашхабаде; 3) $+66^{\circ}30'$ и во Фрунзе; 4) $+69^{\circ}30'$ и во Владивостоке; 5) $+67^{\circ}30'$ и в Ташкенте; 6) $+67^{\circ}00'$ и в Коканде; 7) $+68^{\circ}00'$ и в Алма-Ате; 8) $+69^{\circ}00'$ и в Ереване.

2*. Определить полуденную и полуночную высоту Солнца в дни равноденствий и солнцестояний в тех же местах земной поверхности.

3*. Найти по соответствующим таблицам моменты восхода и захода Солнца, а также вычислить продолжительность дня и ночи в указанные дни года (пункт 2) на тех же географических широтах.

4. На модели небесной сферы изучить качественную картину изменения суточного пути Солнца над горизонтом тех же мест земной поверхности на протяжении года.

5*. По общим результатам пунктов 1—4 обнаружить и объяснить закономерность изменения на протяжении года полуденной и полуночной высоты Солнца, а также продолжительности дня и ночи на разных географических широтах земной поверхности.

6. На теллурии изучить изменение освещенности различных областей земного шара на протяжении года, обратив особое внимание на перемещение терминатора в областях полярного дня и полярной ночи.

7. Сопоставить изменение освещенности различных областей земной поверхности с изменением полуденной высоты Солнца и продолжительности дня и ночи на разных широтах.

8*. Вычислить отношение количества тепла, получаемого в полдень от Солнца в дни солнцестояний одинаковой площадью земной поверхности двух мест, указанных в пункте 1.

9. Определить теоретические даты начала и окончания полярного дня и вычислить продолжительность полярного дня и полярной ночи на географических широтах: 1) $73^{\circ}45'$, $83^{\circ}15'$ и 90° ; 2) $74^{\circ}30'$, $85^{\circ}15'$ и 90° ; 3) $76^{\circ}15'$, $85^{\circ}30'$ и 90° ; 4) $73^{\circ}30'$, $84^{\circ}45'$ и 90° ; 5) $75^{\circ}15'$, $85^{\circ}45'$ и 90° ; 6) $76^{\circ}45'$, $86^{\circ}30'$ и 90° ; 7) $74^{\circ}45'$, $84^{\circ}15'$ и 90° ; 8) $73^{\circ}15'$, $83^{\circ}45'$ и 90° .

10. Результаты пункта 9 изобразить графически и объяснить причину зависимости продолжительности полярного дня и полярной ночи от географической широты места.

11*. Определить географическую широту мест земной поверхности, в которых Солнце кульминирует в зените: 1) 17 января и 24 августа; 2) 29 апреля и 26 ноября; 3) 19 июля и 22 октября; 4) 6 марта и 3 августа; 5) 10 сентября и 12 декабря; 6) 28 января и 2 сентября; 7) 27 июля и 4 октября; 8) 15 марта и 21 июля.

12*. Определить географическую широту тропиков и полярных кругов и вычислить для них расположение эклиптики по отношению к истинному горизонту в моменты восхода и захода точки весеннего равноденствия.

13*. Найти дни года, в которые Солнце кульминирует в зените, и дни года, в которые Солнце не заходит, на географической широте: 1) $\pm 12^{\circ}19'$, $\pm 27^{\circ}28'$ и $\pm 69^{\circ}37'$; 2) $\pm 10^{\circ}41'$, $\pm 30^{\circ}17'$ и $\pm 72^{\circ}42'$; 3) $\pm 18^{\circ}39'$, $\pm 35^{\circ}08'$ и $\pm 74^{\circ}26'$; 4) $\pm 20^{\circ}11'$, $\pm 41^{\circ}20'$ и $\pm 67^{\circ}43'$; 5) $\pm 17^{\circ}52'$, $\pm 45^{\circ}10'$ и $\pm 68^{\circ}54'$; 6) $\pm 9^{\circ}32'$, $\pm 50^{\circ}21'$ и $\pm 76^{\circ}30'$; 7) $\pm 21^{\circ}12'$, $\pm 55^{\circ}06'$ и $\pm 81^{\circ}16'$; 8) $\pm 7^{\circ}44'$, $\pm 59^{\circ}19'$ и $\pm 78^{\circ}25'$.

14*. Из анализа результатов пунктов 6—13 сформулировать вывод о причине, которая обуславливает расположение границ тепловых поясов.

15*. Вычислить планетографическую широту тропиков и полярных кругов на планетах Марсе, Юпитере и Уране, отметить особенности в расположении границ тепловых поясов на поверхности этих планет по сравнению с расположением таких же границ на Земле и сформулировать вывод о смене времен года на тех же планетах.

Отчет о работе № 7

Дата выполнения работы:

1. ε =

Место	φ	90° — φ	В момент восхода Υ			В момент захода Υ				
			точка δ =	точка δ =	наклон эклиптики к истинному горизонту ι	точка δ =	точка δ =	наклон эклиптики к истинному горизонту ι		
			h _В	h _Н		h _В	h _Н			

2.

Дата	δ_{\odot}	Высота Солнца							
		$\varphi = 0^\circ$		$\varphi =$		$\varphi =$		$\varphi = +90^\circ$	
		h_B	h_H	h_B	h_H	h_B	h_H	h_B	h_H

3.

	Дата $\delta_{\odot} =$				Дата $\delta_{\odot} =$				Дата $\delta_{\odot} =$				Дата $\delta_{\odot} =$			
	$\varphi =$	$\varphi =$	$\varphi =$	$\varphi =$	$\varphi =$	$\varphi =$	$\varphi =$	$\varphi =$	$\varphi =$	$\varphi =$	$\varphi =$	$\varphi =$	$\varphi =$	$\varphi =$	$\varphi =$	
	T_B															
T_3																
τ_d																
τ_H																

5. Закономерность и ее объяснение:

7. Сопоставление:

8.

Дата	δ_{\odot}	Место $\varphi =$		Место $\varphi =$		$\frac{E_1}{E_2}$ в разных местах
		z_B	$\cos z_B$	z_B	$\cos z_B$	

$$\frac{E}{E'} \text{ (в одном месте) =}$$

9. Формулы и примеры вычислений:

φ	Полярный день				Полярная ночь			
	δ_{\odot}	n_1	n_2	τ_d	δ_{\odot}	n_1	n_2	τ_H

10. Объяснение:

График прилагается

11.

Дата	δ_{\odot}	φ

Формула:

12. Условие: $\delta_{\odot} =$

$\varepsilon =$

$90^{\circ} - \varepsilon =$

Граница			Наклон эклиптики к истинному горизонту	
название	φ	$90^{\circ} - \varphi$	восход γ	заход γ

13.

φ	δ_{\odot} Солнца		Дни года	
	при $z_{\text{в}} = 0^{\circ}$	при $z_{\text{н}} < 90^{\circ}$	Солнце в зените	Солнце не заходит

14. Вывод:

15.

Планета	ε	Тропики φ	Полярные круги φ	Особенности

Вывод:

РАБОТА № 8
ЗВЕЗДНОЕ ВРЕМЯ

Цель работы. Выяснение сущности звездного времени и его связи с географической долготой пунктов земной поверхности.

Пособия: модель небесной сферы; Астрономический календарь — постоянная часть или Справочник любителя астрономии.

Литература: [1], глава II, § 11; [2], глава I, § 18, 19; [5], упражнение 10. Дополнительная: [31], глава II, § 12; [22], глава III, § 7; [6], глава V, § 34, 35; [33], глава II.

Задачи: [3], № 221—223, 226—231; [4], № 30—36.

Подобно тому как длина измеряется различными единицами длины, одни из которых соизмеримы друг с другом (например, метр, сантиметр, километр), а другие — несоизмеримы (например, метр и аршин, сантиметр и дюйм), так и промежутки времени могут быть измерены различными единицами времени, соизмеримыми или несоизмеримыми между собой. Но в отличие от единиц длины или единиц массы, выбираемых более или менее произвольно, основные единицы времени даются нам самой природой, и устанавливать их произвольно мы не имеем права, если не хотим вступить в противоречие с явлениями природы.

Несмотря на различные системы счета времени, применяемые в астрономии, основными единицами счета небольших промежутков времени являются только две — звездные сутки и средние солнечные сутки (или, короче, средние сутки), которые несоизмеримы между собой. Каждая из этих основных единиц времени делится на 24 часа (звездный час и средний час), каждый час — на 60 минут (звездная минута и средняя минута), каждая минута — на 60 секунд (звездная секунда и средняя секунда), причем эти производные одноименные единицы времени также несоизмеримы друг с другом, и соотношение между ними может быть получено с различной степенью точности. В обозначениях звездных и средних единиц времени не делается различий, так как в каждой системе счета времени приняты соответствующие единицы. В пределах суток время измеряется часовыми углами, которые непрерывно и равномерно увеличиваются, проходя в течение суток все значения от 0° до $24^{\circ}(360^{\circ})$.

Смена дня и ночи зависит от положения Солнца над горизонтом, и поэтому в практической жизни счет времени ведется средними единицами времени, включая и календарные даты, смена которых происходит по истечении средних солнечных суток. Но для вычисления положений небесных светил приходится измерять время не только средними, но и звездными единицами времени, так как именно звездное время связывает часовой угол и прямое восхождение светил. Эта связь наглядно демонстрируется на модели небесной сферы. Установив модель небесной сферы на произвольную географическую широту φ и равномерно вращая модель по часовой стрелке, легко убедиться в непрерывном и равномерном росте часового угла t_{γ} точки весеннего

равноденствия, значение которого, выраженное в единицах времени, дает звездное время S в каждый момент:

$$S = t\gamma. \quad (1)$$

Следовательно, чтобы использовать связь звездного времени S с часовым углом t и прямым восхождением α светил, необходимо t и α выражать в единицах времени. Перевод t и α из градусной меры в единицы времени (и обратно) осуществляется по известным соотношениям

$$1^{\text{ч}} = 15^{\circ}; \quad 4^{\text{м}} = 1^{\circ}; \quad 1^{\text{м}} = 15' \text{ и } 1^{\text{с}} = 15''.$$

Практически удобнее пользоваться переводными таблицами, имеющимися в астрономических справочниках и календарях.

Изучая на вращаемой модели небесной сферы изменение часового угла точки весеннего равноденствия, необходимо уяснить и запомнить значения звездного времени в моменты восхода и захода точек равноденствий и в моменты верхней и нижней кульминации всех основных четырех точек эклиптики, обратив внимание на взаимное расположение этих точек и их положение относительно истинного горизонта в указанные моменты времени. Необходимо также уяснить, что поворот небесной сферы на определенный угол Δt , соответствующий определенному интервалу звездного времени ΔS , вызывает увеличение часовых углов всех ее точек (кроме неподвижных) на ту же самую величину Δt .

Укрепив несколько насадок-светил (или скрепок) в разных точках модели небесной сферы и вращая ее, следует обратить особое внимание на неизменность взаимных положений звезд в суточном вращении небесной сферы и на прохождение ими небесного меридиана в строго определенные моменты звездного времени, выяснив связь этих моментов с прямым восхождением звезд α .

В один и тот же физический момент звездное время S в различных местах земной поверхности неодинаково и различается на разность географической долготы этих пунктов. Представим себе Землю (рис. 17) со стороны ее северного географического полюса p , от которого во все стороны расходятся земные меридианы. Стрелка A указывает направление суточного вращения Земли (с запада на восток), а стрелка B — направление суточного вращения небесной сферы (с востока на запад), вызываемого действительным вращением Земли. Выберем произвольные пункты 1 и 2, находящиеся на различных земных меридианах, и некоторый пункт Γ на гринвичском меридиане, от которого ведется счет географической долготы λ к востоку, в сторону суточного вращения Земли, так что $\lambda_2 > \lambda_1$. Поскольку плоскость небесного меридиана в каждом месте земной поверхности идентична плоскости географического меридиана того же места, то мы вправе изобразить небесные меридианы выбранных пунктов лучами, продолжениями направления соответствующих географических меридианов. Направления на точку весеннего равноденствия Υ (как на точку небесной сферы) из различных пунктов земной поверхности парал-

лельны друг другу и в один и тот же физический момент образуют с небесными меридианами этих пунктов различные углы $S_2 > S_1 > S_0$, являющиеся часовыми углами точки весеннего равноденствия в этих пунктах. Выраженные в единицах времени часовые углы S_2 , S_1 и S_0 дают звездное время на соответствующих географических меридианах λ_2 , λ_1 и на гринвичском меридиане ($\lambda_0 = 0^\circ$) в один и тот же физический момент.

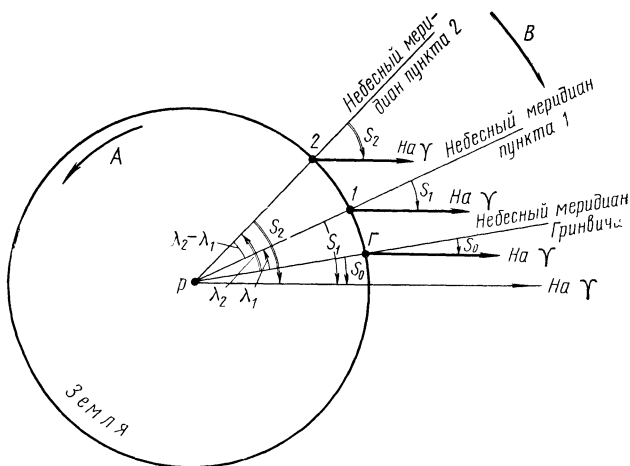


Рис. 17

Проведя аналогичное направление на точку весеннего равноденствия Υ из точки p , получим при ней такие же углы S_2 , S_1 и S_0 , причем

$$\begin{aligned} S_2 - S_1 &= \lambda_2 - \lambda_1, \\ S_2 &= S_0 + \lambda_2 \text{ и } S_1 = S_0 + \lambda_1, \end{aligned} \quad (2)$$

т. е. разность звездного времени в двух пунктах земной поверхности в один и тот же физический момент равна разности географической долготы этих пунктов, а звездное время S любого пункта связано с гринвичским звездным временем S_0 через географическую долготу λ этого пункта:

$$S = S_0 + \lambda^*. \quad (3)$$

Легко видеть, что чем восточнее расположен пункт земной поверхности, тем больше в нем звездное время по сравнению со звездным временем более западного пункта, и поскольку звездное время изменяется за звездные сутки от 0^h до 24^h , то и географическую долготу λ приходится выражать в единицах времени, отсчитывая ее лишь в одну сторону, к востоку от гринвичского географического меридиана.

* В некоторых астрономических ежегодниках восточная долгота λ считается отрицательной и тогда $S = S_0 - \lambda$, что весьма неудобно при вычислениях.

Перевод географической долготы из угловой меры в единицы времени осуществляется точно так же, как и перевод часовых углов. Иногда географическую долготу отсчитывают и к западу, приписывая ей отрицательный знак. Вследствие вращения Земли в направлении с запада к востоку одни и те же моменты звездного времени наступают поочередно на различных географических меридианах в обратном направлении. Например, начало звездных суток наступает сначала на востоке, а затем постепенно перемещается к западу. Точно так же перемещаются по земной поверхности все остальные моменты звездных суток.

ЗАДАНИЕ

1. На модели небесной сферы укрепить насадку, изображающую небесное светило, и, вращая модель по часовой стрелке, показать связь прямого восхождения и часового угла светила со звездным временем.

2*. Найти звездное время в моменты восхода и захода точек равноденствий, в моменты обеих кульминаций четырех основных точек эклиптики и указать момент, принимаемый за начало звездных суток.

3. Выразить в единицах времени географическую долготу:

- 1) Ленинграда, $\lambda = 30^{\circ}15'15''$ и Блумингтона (США), $\lambda = -86^{\circ}31'15''$.
- 2) Горького, $\lambda = 44^{\circ}00'15''$ и Монреаля (Канада), $\lambda = -73^{\circ}34'45''$;
- 3) Свердловска, $\lambda = 60^{\circ}35'30''$ и Колумбии (США), $\lambda = -92^{\circ}19'45''$;
- 4) Ташкента, $\lambda = 69^{\circ}17'45''$ и Лос-Анджелеса (США), $\lambda = -118^{\circ}12'30''$;
- 5) Енисейска, $\lambda = 92^{\circ}12'15''$ и Кордобы (Аргентина), $\lambda = -64^{\circ}11'45''$;
- 6) Иркутска, $\lambda = 104^{\circ}16'15''$ и Нью-Йорка (США), $\lambda = -73^{\circ}57'30''$;
- 7) Сретенска, $\lambda = 117^{\circ}41'30''$ и Олбани (США), $\lambda = -73^{\circ}46'45''$;
- 8) Владивостока, $\lambda = 131^{\circ}52'45''$ и Филадельфии (США), $\lambda = -75^{\circ}16'45''$.

4. Выразить в угловой мере географическую долготу: 1) Новосибирска и Аллегейни (США); 2) Нерчинска и Дублина (Эйре); 3) Якутска и Бирмингэма (Англия); 4) Минска и Каракаса (Венесуэла); 5) Рязани и Виктории (Канада); 6) Владимира и Маунт-Вилсон (США); 7) Витебска и Маунт-Паломар (США); 8) Орла и Фластгаффа (США).

5*. Определить звездное время в двух городах в момент известного звездного времени в третьем городе:

Известное звездное время

Искомое звездное время

- | | |
|--|-----------------------------------|
| 1) в Целинограде, $1^{\text{ч}}38^{\text{м}}16^{\text{с}}$; | в Евпатории и Сретенске; |
| 2) в Коканде, $2^{\text{ч}}09^{\text{м}}52^{\text{с}}$; | в Днепропетровске и Владивостоке; |
| 3) в Омске $1^{\text{ч}}51^{\text{м}}13^{\text{с}}$; | в Туле и Улан-Удэ; |
| 4) в Ашхабаде, $0^{\text{ч}}19^{\text{м}}34^{\text{с}}$; | в Запорожье и Хабаровске; |
| 5) во Фрунзе, $2^{\text{ч}}05^{\text{м}}44^{\text{с}}$; | в Москве и Баргузине; |
| 6) в Тобольске, $1^{\text{ч}}47^{\text{м}}11^{\text{с}}$; | в Новгороде и Якутске; |
| 7) в Уфе, $0^{\text{ч}}59^{\text{м}}32^{\text{с}}$; | в Одессе и Красноярске; |
| 8) в Ташкенте, $1^{\text{ч}}14^{\text{м}}55^{\text{с}}$; | в Феодосии и Благовещенске. |

6*. Для тех же моментов времени в трех городах вычислить часовые углы звезд, выразив их в угловой мере и в единицах времени: 1) Денеба и Поллукса; 2) Веги и Прокциона; 3) Кастора и Антареса; 4) Альдебарана и Спика; 5) Сириуса и Альтаира; 6) Бетельгейзе и Регула; 7) Алголя и Фомальгаута; 8) Капеллы и Арктура.

7*. Определить звездное время в тех же двух городах и прямое восхождение кульминирующих там звезд в моменты верхней и нижней кульминации звезды: 1) Сириуса; 2) Альтаира; 3) Бетельгейзе; 4) Регула; 5) Капеллы; 6) Мицара; 7) Ригеля; 8) Денеба.

8*. Для полученных в пункте 7 моментов звездного времени вычислить часовой угол той же звезды в тех же двух городах.

9*. Из анализа результатов пунктов 5—8 сформулировать выводы:

- о разности звездного времени в двух пунктах земной поверхности в один и тот же физический момент;
- о разности часовых углов различных небесных светил в один и тот же момент времени в одном пункте наблюдения;
- о разности часовых углов одного и того же светила на различных географических меридианах в один и тот же физический момент;
- о последовательности наступления одинаковых моментов звездного времени на различных географических меридианах.

Отчет о работе № 8

Дата выполнения работы:

- Связь S , t и α ;
- Звездное время в различные моменты

Точка	Звездное время S в момент			
	восхода	верхней кульминации	захода	нижней кульминации

За начало звездных суток принят момент

3 и 4.

Город	λ	λ

5 и 6. Формулы:

Город	λ	$\Delta \lambda$	S	Звезда $\alpha =$		Звезда $\alpha =$	
				t	t	t	t

7 и 8. Звезда

$\alpha =$

Моменты	Первый город $\lambda =$				Второй город $\lambda =$			
	S	t	α звезд в кульминации		S	t	α звезд в кульминации	
			верхн.	нижн.			верхн.	нижн.
Верхняя кульминация в первом городе								
Нижняя кульминация в первом городе								
Верхняя кульминация во втором городе								
Нижняя кульминация во втором городе								

9 Выводы:

СРЕДНЕЕ, ПОЯСНОЕ И ДЕКРЕТНОЕ ВРЕМЯ

Цель работы. Изучение различных систем счета времени.

Пособия: модель небесной сферы; подвижная карта звездного неба (планшет 9); Малый звездный атлас А. А. Михайлова; Астрономический календарь — постоянная часть; Астрономический календарь-ежегодник.

Литература: [1], глава II, § 11, 13; [2], глава I, § 20—24, 27; [5], упражнение 10.

Дополнительная: [6], глава V, § 34—40; [31], глава II, § 12—16; [22], глава III, § 7—9, глава IV, § 15; [33], глава II.

Задачи: [3], № 223—225, 257—260, 263—266, 272—278; [4], № 37—44.

В практической жизни счет времени ведется по положению Солнца относительно небесного меридиана. Вследствие годового обращения Земли вокруг Солнца его положение относительно небесного меридиана непрерывно расходится с положением точки весеннего равноденствия, часовым углом которой измеряется звездное время. Пусть (рис. 18) в момент весеннего равноденствия Земля находится в положении 1, центр Солнца C проектируется в точку весеннего равноденствия Υ (положение $\odot I$) и обе точки C и Υ в этот момент пересекают небесный меридиан пункта E земной поверхности и поэтому их часовые углы $t_{\odot} = t_{\Upsilon} = 0^{\circ} = 0^h$. Следовательно, рассматриваемый момент является для пункта E началом звездных суток (звездное время $S = 0^h 0^m 0^s$) и серединой истинных солнечных суток, называемой истинным полднем (истинное солнечное время $T_{\odot} = 12^h 0^m 0^s$).

В процессе суточного вращения Земли против часовой стрелки (стрелка D) часовые углы t_{Υ} и t_{\odot} непрерывно возрастают, что и позволяет вести по ним счет времени. Одновременно с суточным вращением Земля обращается по орбите вокруг Солнца в том же направлении (стрелка A). По завершении одного оборота вокруг оси Земля придет в положение 2, причем плоскость небесного меридиана пункта E снова пройдет через точку весеннего равноденствия ($t_{\Upsilon} = 0^{\circ} = 0^h$) — в этот момент в пункте E заканчиваются текущие ($S = 24^h 0^m 0^s$) и начинаются новые звездные сутки ($S = 0^h 0^m 0^s$). Таким образом, продолжительность звездных суток соответствует повороту Земли вокруг оси на 360° . Но в этот момент начала новых звездных суток истинный полдень в пункте E еще не наступит, т. е. истинные солнечные сутки

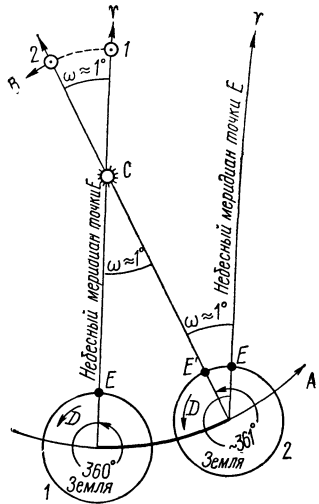


Рис. 18

* В действительности на $0^h, 14$ меньше за счет медленного перемещения точки весеннего равноденствия по эклиптике навстречу Солнцу (с востока на запад), называемого прецессией.

еще не закончатся, так как из-за перемещения Земли по орбите за протекшие звездные сутки на угол $\omega \approx 1^\circ$ Солнце сдвинется по эклип- тике к востоку от точки весеннего равноденствия на тот же угол ω (пунктирная стрелка B), и направления с Земли на центр Солнца (\odot) и точку весеннего равноденствия Υ теперь уже не будут совпа- дать. Истинный полдень в пункте E наступит после поворота Земли на угол $\omega \approx 1^\circ$ (положение E'), на что потребуется около четырех минут времени. Следовательно, продолжительность истинных солнечных суток соответствует повороту Земли вокруг своей оси приблизительно- но на 361° и превышает продолжительность звездных суток при- мерно на 4^m .

Смену календарных дат удобнее производить ночью, а не в пол- день, и поэтому за начало истинных солнечных суток принимается момент нижней кульминации Солнца, называемый истинной полно- чью, в которую часовой угол Солнца $t_\odot = 12^h 0^m 0^s$, а истинное солнечное время $T_\odot = 0^h 0^m 0^s$ (или $T_\odot = 24^h 0^m 0^s$ — конец предыдущих суток). Следо- вательно, в любой момент истинное солнечное время

$$T_\odot = t_\odot + 12^h, \quad (1)$$

в отличие от звездного времени S , которое измеряется часовым углом t_Υ точки весеннего равноденствия, без прибавления к нему 12^h , т. е. всегда

$$S = t_\Upsilon. \quad (2)$$

Благодаря неравномерному движению Земли вокруг Солнца и в особенности значительному наклонению эклиптики к небесному эква- тору, экваториальные координаты Солнца α и δ на протяжении года меняются неравномерно, что особенно хорошо заметно вблизи основных точек эклиптики. Если в различные дни года m_1 и m_2 экваториальные координаты Солнца были соответственно α_1, δ_1 и α_2, δ_2 , то средняя ско- рость их изменения за сутки будет:

$$\omega_\alpha = \frac{\alpha_2 - \alpha_1}{m_2 - m_1} = \frac{\Delta\alpha}{\Delta m} \quad (3)$$

и

$$\omega_\delta = \frac{\delta_2 - \delta_1}{m_2 - m_1} = \frac{\Delta\delta}{\Delta m}. \quad (4)$$

Величины ω_α и ω_δ на протяжении года периодически изменяются, вследствие чего продолжительность истинных солнечных суток в разные дни года различна, и поэтому пользоваться истинным солнеч- ным временем в практической жизни неудобно. Это обстоятельство и заставило ввести среднее солнечное время (или, короче, среднее вре- мя) T_m , измеряемое часовым углом t_c среднего экваториального солн- ца, увеличенным на 12^h , т. е.

$$T_m = t_c + 12^h. \quad (5)$$

В этой системе счета все единицы времени (средние единицы) имеют строго определенную продолжительность, причем за основную

единицу приняты средние солнечные сутки (средние сутки) — промежуток времени между последовательными одноименными кульминациями среднего экваториального солнца. Средние солнечные сутки начинаются в момент нижней кульминации среднего экваториального солнца, называемый средней полночью, в которую

$$t_c = 12^h 0^m 0^s$$

и

$$T_m = 12^h 0^m 0^s + 12^h = 24^h 0^m 0^s = 0^h 0^m 0^s.$$

В момент верхней кульминации среднего экваториального солнца, называемый средним полднем,

$$t_c = 0^h 0^m 0^s \text{ и } T_m = 12^h 0^m 0^s.$$

Построив чертеж, аналогичный рис. 17 (см. работу № 8 «Звездное время»), с заменой точки весеннего равноденствия сначала Солнцем, а затем — средним экваториальным солнцем, можно получить связь солнечного времени с географической долготой:

$$T_{\odot 2} - T_{\odot 1} = \lambda_2 - \lambda_1, \quad (6)$$

$$T_{\odot} = T_{\odot 0} + \lambda, \quad (7)$$

$$T_{m2} - T_{m1} = \lambda_2 - \lambda_1 \quad (8)$$

и

$$T_m = T_0 + \lambda, \quad (9)$$

где индексом «0» обозначено соответствующее время на гринвичском меридиане. Среднее гринвичское время T_0 называется мировым или всемирным временем.

Разность между средним и истинным солнечным временем называется уравнением времени

$$\eta = T_m - T_{\odot} = \alpha - \alpha_c^*, \quad (10)$$

значения которого на различные моменты суток разных дней года могут быть получены по данным астрономических календарей-ежегодников. Так, в Школьном астрономическом календаре уравнение времени дается в солнечной эфемериде на момент московской декретной полночи через каждые пять суток и на любой момент времени вычисляется линейным интерполированием. Пусть в одинаковые моменты суток двух разных дат m_1 и m_2 уравнение времени есть η_1 и η_2 . Тогда величина

$$\Delta\eta = \frac{\eta_2 - \eta_1}{24(m_2 - m_1)}$$

* В некоторых астрономических ежегодниках дается $\eta = T_{\odot} - T_m$; поэтому при использовании ежегодников нужно обращать на смысл η особое внимание.

даст изменение уравнения времени за 1 час, и на любой момент времени, отстоящий от принятого момента даты m_1 на интервал времени ΔT , уравнение времени

$$\eta = \eta_1 + \Delta\eta \cdot \Delta T. \quad (11)$$

В Астрономическом календаре-ежегоднике ВАГО уравнение времени приводится на момент средней гринвичской полночи, т. е. на момент начала календарных суток на гринвичском географическом меридиане.

Различие в звездном, истинном солнечном и среднем солнечном времени наглядно демонстрируется на модели небесной сферы, если одну насадку-светило поместить на эклиптику (истинное Солнце), а другую — на небесный экватор (среднее экваториальное солнце) недалеко от первой насадки. Вращая модель по часовой стрелке, можно видеть различие часовых углов точки весеннего равноденствия (t_γ), Солнца (t_\odot) и среднего экваториального солнца t_c , т. е. различие моментов, выраженных в разных системах счета времени. Немного сдвинув к востоку (навстречу суточному вращению небесной сферы) первую насадку по эклиптике, а вторую — по небесному экватору и снова повернув модель вокруг ее оси по часовой стрелке, легко заметить возрастание разностей $t_\gamma - t_\odot$ и $t_\gamma - t_c$, т. е. непрерывное расхождение звездного времени с истинным солнечным и средним солнечным временем, а также различие часовых углов и прямых восхождений Солнца и среднего экваториального солнца.

Непрерывное расхождение звездного и среднего времени поясняется чертежом (рис. 19), изображающим течение времени прямой стрелкой, на которой отмечены моменты — слева по звездному S , а справа — по среднему времени T_m . Пусть в среднюю полночь ($T_m = 0^h 0^m 0^s$) некоторой календарной даты m звездное время $s = 0^h 0^m 0^s$, т. е. в некоторый день года начало звездных суток совпадает с началом средних суток (это возможно вблизи дня осеннего равноденствия). Поскольку звездные сутки короче средних, то они закончатся раньше средних суток в пределах календарной даты m , и в момент начала новой календарной даты $m+1$, когда снова $T_m = 0^h 0^m 0^s$, звездное время $s \neq 0^h 0^m 0^s$, а будет иметь значение, равное разности σ между продолжительностью средних и звездных суток, т. е. за средние сутки звездное время уйдет вперед на величину σ . В последующие сутки это расхождение будет повторяться, и к началу $T_m = 0^h 0^m 0^s$ календарных дат $m+2$, $m+3$ и т. д. звездное время уйдет вперед на 2σ , 3σ и т. д., в связи с чем значение звездного времени s в среднюю полночь на протяжении года непрерывно увеличивается.

Приближенные значения звездного времени в различные моменты суток определенного дня года могут быть найдены по подвижной карте звездного неба. Для этого подвижная карта устанавливается на заданный момент среднего времени этого дня и по координатной сетке карты оценивается прямое восхождение α круга склонения, находя-

* Звездное время в среднюю полночь обозначается малой буквой s .

щегося в заданный момент времени в верхней кульминации. Так как в момент верхней кульминации $t=0^h$, то искомое звездное время

$$S = \alpha. \quad (12)$$

Точные моменты звездного времени вычисляются по географической долготе λ места и по звездному времени s_0 в среднюю гринвичскую полночь, значения которого на каждый день года даются в солнечных эфемеридах астрономических календарей-ежегодников*.

Необходимость применения систем поясного и декретного времени и их связь со средним временем не требуют разъяснений. Напомним только, что все моменты времени, если нет специальных оговорок, всегда задаются в системе счета, принятой в данной стране. Так, в Советском Союзе принято декретное время, кроме Татарской автономной республики, Краснодарского и Ставропольского краев, Горьковской и Костромской областей, которые живут по поясному времени. Поэтому все моменты, задаваемые без оговорок, выражаются по декретному времени, а в перечисленных выше зонах — по поясному времени. Моменты времени в других системах счета всегда оговариваются.

В каждой системе счета времени (кроме звездной) имеется своя полночь (начало суток) и свой полдень (середина суток), которые на одном географическом меридиане наступают в различные физические моменты времени. Последовательность наступления одноименных моментов времени в различных системах счета зависит от географической долготы λ места, его принадлежности к определенному часовому поясу n и от значения уравнения времени в данный день года.

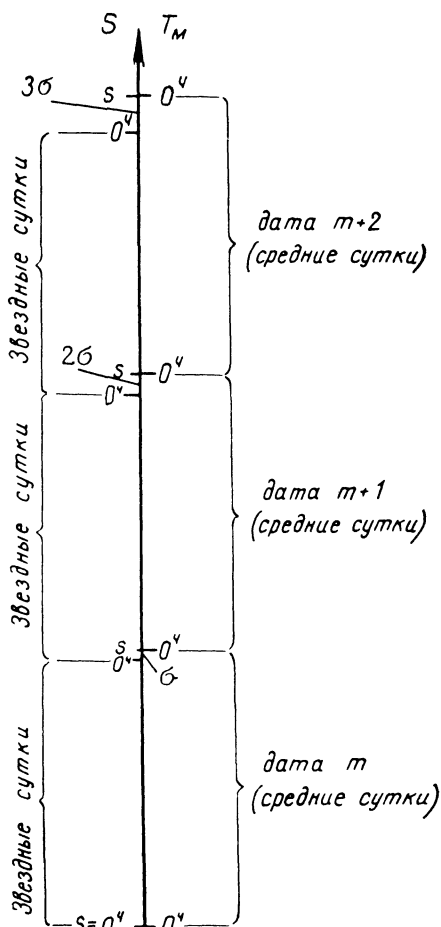


Рис. 19

* В Школьном астрономическом календаре значения звездного времени s_0 приведены для декретной полночи на московском географическом меридиане.

На центральных меридианах часовых поясов, в том числе и на гринвичском меридиане, поясная полночь и поясной полдень наступают одновременно со средними.

Смена календарной даты всегда происходит в полночь принятой системы счета времени.

При решении задач на различные системы счета времени прежде всего необходимо записать исходные данные, часть которых отыскивается в астрономических календарях или справочниках, и затем написать необходимые для решения формулы. Ход решения удобнее всего записывать столбцом по определенной схеме.

Пример. Определить среднее, поясное и декретное время в Николаевске-на-Амуре в момент $3^h 16^m 43^s$ дня декретного времени в Ижевске.

В таблице координат городов находим номер часового пояса и географическую долготу λ обоих городов и записываем исходные данные:

Ижевск, $n_1 = 3^h$, $\lambda_1 = 3^h 32^m 48^s$, $T_{д1} = 15^h 16^m 43^s$.	Ход решения: $- \frac{T_{д1} = 15^h 16^m 43^s}{(n_1 + 1) = 4^h} + \frac{T_0 = 11^h 16^m 43^s}{n_2 = 9^h}$
Николаевск-на-Амуре, $n_2 = 9^h$, $\lambda_2 = 9^h 22^m 52^s$	$+ \frac{T_0 = 11^h 16^m 43^s}{\lambda_2 = 9^h 22^m 52^s} + \frac{T_{д2} = 20^h 16^m 43^s}{1^h = 1^h}$ $T_{д2} = 20^h 39^m 35^s \quad T_{д2} = 21^h 16^m 43^s$

ЗАДАНИЕ

1*. Выписать из астрономического календаря-ежегодника значения звездного времени в среднюю гринвичскую полночь в указанные даты, построить график его изменения на протяжении года и обнаружить закономерность в расхождении звездного и среднего времени за сутки, месяц, полгода и год:

- 1) 1 января, 2 января, 1 февраля, 3 июля;
- 2) 17 марта, 18 марта, 16 апреля, 16 сентября;
- 3) 22 мая, 23 мая, 21 июня, 21 ноября;
- 4) 3 февраля, 4 февраля, 5 марта, 5 августа;
- 5) 29 апреля, 30 апреля, 29 мая, 29 октября;
- 6) 11 января, 12 января, 10 февраля, 13 июля;
- 7) 23 февраля, 24 февраля, 25 марта, 25 августа;
- 8) 19 апреля, 20 апреля, 19 мая, 19 октября.

2*. Определить дни года, в которые звездное время в среднюю полночь близко к 0^h , 6^h , 12^h и 18^h , и подсчитать число звездных суток в одном календарном году.

3. По подвижной карте звездного неба определить приближенное значение звездного времени в среднюю полночь и средний полдень:

- 1) 10 марта, 10 июня, 10 сентября и 10 декабря;
- 2) 20 января, 20 апреля, 20 июля и 20 октября;
- 3) 15 февраля, 15 мая, 15 августа и 15 ноября;
- 4) 5 марта, 5 июня, 5 сентября и 5 декабря;

- 5) 30 января, 30 апреля, 30 июля и 30 октября;
- 6) 25 февраля, 25 мая, 25 августа и 25 ноября;
- 7) 15 марта, 15 июня, 15 сентября и 15 декабря;
- 8) 5 февраля, 5 мая, 5 августа и 5 ноября.

4. По подвижной карте звездного неба определить для тех же дней приближенное значение среднего времени в момент звездного времени: 1) 2^h ; 2) 4^h ; 3) 8^h ; 4) 10^h ; 5) 14^h ; 6) 16^h ; 7) 20^h ; 8) 22^h .

5. Вывести соотношение между продолжительностью звездных и средних солнечных суток при условии обращения Земли вокруг Солнца в сторону, противоположную ее суточному вращению, сопроводив вывод соответствующим чертежом.

6*. Из анализа результатов пунктов 1 и 2 (1—5) сформулировать вывод о причине расхождения звездного и солнечного времени и ее влияния на величину и направление этого расхождения.

7*. Из солнечной эфемериды выписать экваториальные координаты Солнца в указанные ниже дни года, найти положение Солнца в те же дни на картах звездного атласа и сделать вывод о скорости изменения экваториальных координат Солнца за сутки вблизи дней равноденствий и солнцестояний, показав влияние этой скорости на продолжительность истинных солнечных суток:

- 1) 18 марта, 24 марта, 20 июня и 24 июня;
- 2) 20 сентября, 26 сентября, 20 декабря и 24 декабря;
- 3) 16 марта, 26 марта, 19 июня и 25 июня;
- 4) 18 сентября, 28 сентября, 19 декабря и 25 декабря;
- 5) 19 марта, 23 марта, 18 июня и 26 июня;
- 6) 21 сентября, 25 сентября, 18 декабря и 26 декабря;
- 7) 17 марта, 25 марта, 17 июня и 27 июня;
- 8) 19 сентября, 27 сентября, 17 декабря и 27 декабря.

8*. Из таблицы 22 постоянной части Астрономического календаря выписать для тех же дней года моменты восхода и захода Солнца и вычислить продолжительность пребывания Солнца над горизонтом и под горизонтом в: 1) Ярославле; 2) Ашхабаде; 3) Архангельске; 4) Тбилиси; 5) Киеве; 6) Москве; 7) Ленинграде; 8) Ташкенте.

9*. По солнечной эфемериде найти уравнение времени в те же дни года и вычислить экваториальные координаты среднего экваториального солнца, а также скорость их изменения за сутки вблизи дней равноденствий и солнцестояний.

10*. Определить продолжительность пребывания среднего экваториального солнца над горизонтом и под горизонтом в разное время года на различной географической широте и вычислить его высоту в средний полдень в городе, указанном в пункте 8.

11*. Сравнить продолжительность пребывания над и под горизонтом Солнца и среднего солнца в разные дни года в том же городе.

12*. Из сопоставления результатов пунктов 7—11 сформулировать вывод о необходимости введения среднего экваториального солнца и измерения времени средними солнечными сутками.

13. Определить с точностью до 1^m момент верхней кульминации Солнца по звездному, истинному солнечному, среднему, поясному и декретному времени в Ленинграде и Красноводске: 1) 15 января;

- 2) 11 февраля; 3) 21 марта; 4) 16 апреля; 5) 15 мая; 6) 14 июня.
7) 26 июля; 8) 2 сентября.

14. По общим результатам пункта 13 сформулировать вывод о причинах постоянства моментов кульминации Солнца в одной системе счета времени и их изменения в других системах счета.

15. Установить подвижную карту звездного неба на начало и середину звездных суток и показать в эти моменты расположение созвездий:

- 1) Большой Медведицы, Малого Пса, Лиры и Пегаса;
- 2) Большой Медведицы, Рака, Геркулеса и Андромеды;
- 3) Большой Медведицы, Персея, Змееносца и Кассиопеи;
- 4) Большой Медведицы, Ориона, Лебедя и Рыб;
- 5) Большой Медведицы, Тельца, Козерога и Льва;
- 6) Большой Медведицы, Возничего, Северной Короны и Малого Пса;
- 7) Большой Медведицы, Близнецов, Весов и Лебедя;
- 8) Большой Медведицы, Орла, Девы и Тельца.

16. По подвижной карте звездного неба определить те же моменты по звездному и среднему времени в дни равноденствий и солнцестояний и вычислить их по поясному и декретному времени в городе: 1) Москве; 2) Красноярске; 3) Горьком; 4) Витебске; 5) Омске; 6) Краснодаре; 7) Ярославле; 8) Костроме.

17. Из анализа результатов пунктов 15 и 16 сформулировать вывод о связи вида звездного неба с различными системами счета времени.

18*. Определить последовательность наступления полноты и полдня по различным системам счета времени:

- 1) 16 января и 16 мая в Архангельске и Ташкенте;
- 2) 25 января и 21 мая в Киеве и Томске;
- 3) 4 февраля и 26 мая в Москве и Тобольске;
- 4) 11 февраля и 31 мая в Баку и Новосибирске;
- 5) 20 февраля и 5 июня в Самарканде и Минске;
- 6) 27 февраля и 13 сентября в Уральске и Нерчинске;
- 7) 8 марта и 18 сентября в Семипалатинске и Краснодаре;
- 8) 17 марта и 23 сентября в Курске и Омске.

19. По известным моментам восхода и захода Солнца, выраженным по среднему времени, определить уравнение времени и вычислить в системах истинного солнечного, среднего, поясного и декретного времени:

- а) моменты восхода и захода Солнца;
- б) интервалы времени от восхода Солнца до полдня и от полдня до захода Солнца;
- в) продолжительность дня и ночи.

№ варианта	Город	Дата	Восход	Заход
1)	Кострома	7 ноября	7 ^ч 19 ^м	4 ^ч 07 ^м дня
2)	Златоуст	30 мая	3 ^ч 25 ^м	8 ^ч 31 ^м вечера
3)	Новосибирск	1 октября	6 ^ч 02 ^м	5 ^ч 36 ^м вечера

№ варианта	Город	Дата	Восход	Заход
4)	Владимир	17 января	8 ^ч 20 ^м	4 ^ч 02 ^м дня
5)	Свердловск	26 ноября	7 ^ч 58 ^м	3 ^ч 36 ^м дня
6)	Томск	19 апреля	4 ^ч 45 ^м	7 ^ч 15 ^м вечера
7)	Челябинск	21 мая	3 ^ч 37 ^м	8 ^ч 17 ^м вечера
8)	Казань	26 февраля	6 ^ч 59 ^м	5 ^ч 27 ^м вечера

20. По результатам пунктов 18 и 19 сформулировать выводы:
а) о причине последовательного наступления одноименных моментов суток на разных географических меридианах;

б) о причине несовпадения одноименных моментов суток в различных системах счета времени.

21*. Для момента 5^ч26^м18^с по всемирному времени вычислить среднее, поясное и декретное время в городах: 1) Новосибирске и Москве; 2) Актобинске и Хабаровске; 3) Чите и Волгограде; 4) Ленинграде и Барнауле; 5) Владивостоке и Челябинске; 6) Тбилиси и Нерчинске; 7) Петропавловске-Камчатском и Свердловске; 8) Семипалатинске и Минске.

22*. Точные городские часы Красноярска показывают 6^ч32^м вечера. Определить в этот момент среднее, поясное и декретное время в городах: 1) Горьком и Иркутске; 2) Киеве и Якутске; 3) Коканде и Охотске; 4) Ашхабаде и Хабаровске; 5) Сретенске и Курске; 6) Омске и Благовещенске; 7) Батуми и Чите; 8) Самарканде и Владивостоке.

23. Определить время пребывания телеграммы в пути, если она:

№ варианта	Подана по городским часам	Доставлена адресату в тот же день по городским часам
1)	Во Владивостоке в 2 ^ч 15 ^м дня	В Ленинграде в 11 ^ч 05 ^м
2)	В Охотске в 8 ^ч 10 ^м вечера	В Горьком в 18 ^ч 25 ^м
3)	В Баргузине в 14 ^ч 50 ^м	В Курске в 1 ^ч 30 ^м дня
4)	В Нерчинске в 19 ^ч 40 ^м	В Смоленске в 4 ^ч 20 ^м дня
5)	В Чите в 10 ^ч 35 ^м	В Краснодаре в 1 ^ч 45 ^м дня
6)	В Якутске в 1 ^ч 45 ^м дня	В Тбилиси в 14 ^ч 15 ^м
7)	В Хабаровске в 6 ^ч 30 ^м вечера	В Волгограде в 16 ^ч 10 ^м
8)	В Петропавловске-Камчатском 15 ^ч 05 ^м	В Одессе в 1 ^ч 30 ^м дня

24. Определить и объяснить продолжительность суток для пасса жиров самолетов противоположных рейсов, вылетевших утром и прибывших вечером того же дня:

1) Из Москвы в Иркутск; из Иркутска в Москву;

- 2) из Ленинграда в Ташкент; из Ташкента в Ленинград;
- 3) из Киева в Томск; из Томска в Киев;
- 4) из Тбилиси в Хабаровск; из Хабаровска в Тбилиси;
- 5) из Минска в Красноярск; из Красноярска в Минск;
- 6) из Горького в Читы; из Читы в Горький;
- 7) из Баку в Нерчинск; из Нерчинска в Баку;
- 8) из Одессы в Благовещенск; из Благовещенска в Одессу.

25. Определить продолжительность существования одной и той же календарной даты на Земле и указать места окончания старой и начала новой даты.

26. Определить продолжительность пребывания в пути корабля, вышедшего из Владивостока утром 1 мая и прибывшего в Сан-Франциско утром 10 мая того же года.

27. Определить продолжительность пребывания в пути корабля, вышедшего из Порт-Александера (в Канаде) вечером 3 июня и прибывшего в Петропавловск-Камчатский вечером 12 июня того же года.

Отчет о работе № 9

Дата выполнения работы:

1 и 2.

Дата	s_0

Расхождение со средним временем:

за сутки

за месяц

за полгода

за год

Число звездных суток в одном календарном году

График прилагается.

3 и 4.

Дата	Полночь $T_M = 0^h$	Полдень $T_M = 12^h$	$S =$
	s	S	T

5. Соотношение:

Чертеж прилагается.

6. Вывод:

7—12. Город

$\varphi =$

Дата	Солнце							
	α	δ	ω_α	ω_δ	T_B	T_Z	τ н/гор	τ п/гор

Дата	η	Среднее солнце							
		α_c	δ_c	ω_α	ω_δ	$\tau_{\text{н/гор}}$	$\tau_{\text{п/гор}}$	h_B	h_H

Выводы: по пункту 7:
по пункту 11:
по пункту 12:

13. Дата $\gamma_i =$ $\alpha =$ Формулы:

Город	λ	n	Момент верхней кульминации						
			S	T_{\odot}	T_M	T_0	T_n	T_d	

14. Вывод:

Созвездия	Расположение созвездий	
	$S=0^h 0^m$	$S=12^h 0^m$

16 Город $\lambda =$ $n =$
Поправка к $T_n =$ поправка к $T_d =$

Дата	Начало звездных суток				Середина звездных суток			
	S	T_M	T_n	T_d	S	T_M	T_n	T_d

17. Вывод:

Дата	η	Город	λ	n	$n-\lambda$	Истинная полночь $T_{\odot} = 0^h$			Истинный полдень $T_{\odot} = 12^h$		
						T_M	T_n	T_d	T_M	T_n	T_d

Последовательность:

19. Город

 $n =$ $\lambda =$ $n - \lambda =$

Дата	T_M	η	T_{\odot}	T_n	T_d	Формулы и схема решения
Восход						
Интервал						
Полдень						
Интервал						
Заход						
Продолжительность дня						
Продолжительность ночи						

20. Выводы: а)
б)

21.

Город	λ	n	T_0	T_M	T_n	T_d	Формулы и схема решения

22. Красноярск, $\lambda =$ $n =$

показание часов

 $T_0 =$

Город	λ	n	T_M	T_n	T_d

23.

Город	n	Время подачи	Время доставки	В пути

24. Продолжительность и причина:

а)
б)

25. Продолжительность:

Смена даты происходит на

26 и 27.

	Владивосток— Сан-Франциско	Порт-Александр— Петропавловск-Камчатский
Дата отправления Дата прибытия		
Разность Поправка		
Продолжительность		

ВЫЧИСЛЕНИЕ ЧАСОВЫХ УГЛОВ СВЕТИЛ И МОМЕНТОВ ВРЕМЕНИ

Ц е л ь р а б о т ы. Изучение применения различных систем счета времени.

Пособия: Астрономический календарь — постоянная часть; Астрономический календарь-ежегодник.

Литература: [1], глава I, § 11, 13; [2], глава I, § 19—24.

Д о п о л н и т е л ь н а я: [6], глава V, § 35, 38—40; [31], глава II, § 7, 16; [33], глава II.

Задачи: [3], № 247—250, 252—256; [4], № 33—36.

В практической жизни все моменты времени выражаются в системе счета, принятой в данной стране*. В этой же системе счета времени, как правило, отмечаются и моменты наблюдаемых астрономических явлений, но моменты предвычисленных явлений, публикуемые в астрономических календарях-ежегодниках, даются в различных системах счета:

в Астрономическом календаре-ежегоднике Всесоюзного астрономо-геодезического общества — по гринвичскому (всемирному, мировому) времени;

в Школьном астрономическом календаре — по московскому декретному времени;

в Астрономическом ежегоднике СССР — по специальному «эфемеридному» времени, несколько отличающемуся от гринвичского.

Принятая в астрономическом календаре-ежегоднике определенная единая система счета времени позволяет использовать календарь-ежегодник во всех странах мира и по его данным быстро вычислять моменты астрономических явлений в той системе счета времени, которая действует в данной стране. Но так как видимое положение небесных светил связано со звездным временем, то в астрономии приходится выражать одни и те же физические моменты в различных системах счета времени или, как принято говорить, «переводить время из одной системы в другую». Среднее, поясное и декретное время измеряется единицами среднего времени, которые продолжительнее соответствующих единиц звездного времени, а поэтому перевод времени возможен лишь при выражении его интервалов в единицах различных систем счета и при условии известного звездного времени в определенный момент календарных суток. В астрономических календарях-ежегодниках приводятся, как правило, значения звездного времени s_0 в среднюю гринвичскую полночь, т. е. для начала суток (календарной даты) на гринвичском меридиане. Поэтому удобнее всего осуществлять перевод времени для гринвичского меридиана и по найденным моментам гринвичского времени вычислять моменты времени в других пунктах земной поверхности.

Пусть требуется определить звездное время S в заданный момент времени T календарной даты m в некотором пункте с географической

* См. работу № 9.

долготой λ , находящемся в часовом поясе n . В зависимости от системы счета времени, в которой задан момент T , следует воспользоваться географической долготой λ или номером часового пояса n и вычислить среднее гринвичское время T_0 в тот же физический момент:

$$T_0 = T_M - \lambda, \quad (1)$$

$$T_0 = T_n - n^ч, \quad (2)$$

$$T_0 = T_d - (n^ч + 1^ч), \quad (3)$$

где T_M , T_n и T_d — соответственно, среднее, поясное и декретное время данного пункта.

Теперь задача сводится к определению звездного времени S_0 в Гринвиче в момент T_0 по среднему гринвичскому времени. Для уяснения сущности решения этой задачи обратимся к чертежу (рис. 20), изображающему течение времени стрелкой, на которой справа отмечены моменты среднего гринвичского времени T_0 , а слева — соответствующие им моменты звездного гринвичского времени S_0 . Календарные даты в Гринвиче начинаются в гринвичскую полночь, т. е. в моменты $T_0 = 0^ч 0^м 0^с$, и с полуночи до определенного момента времени T_0 , обозначенного на чертеже точкой A , протекает интервал среднего времени

$$\Delta T = T_0. \quad (4)$$

Этот же интервал, выраженный в единицах звездного времени, обозначен через ΔS , причем численно $\Delta S > \Delta T$, так как единицы звездного времени короче соответствующих единиц среднего времени. Тогда искомого звездного гринвичского времени S_0 , соответствующее моменту T_0 , определяется как

$$S_0 = s_0 + \Delta S, \quad (5)$$

где s_0 — звездное время в гринвичскую полночь, а звездное время S в пункте с географической долготой λ

$$S = S_0 + \lambda. \quad (6)$$

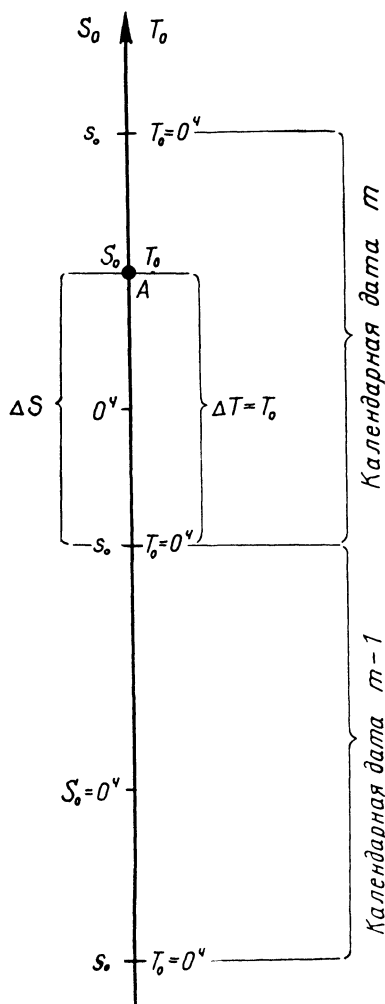


Рис. 20

Очевидно, что моменты времени T_m , T_n и T_d в некотором пункте определяются по значению звездного времени S в этом же пункте аналогичным образом, но в обратной последовательности (задача, обратная рассмотренной выше).

Перевод интервалов времени ΔT в ΔS и ΔS в ΔT осуществляется по таблицам, содержащимся в астрономических справочниках. Переводные таблицы составляются в двух вариантах. В первом варианте, более удобном для пользования, против каждого значения интервала времени, выраженного в одной системе единиц, проставляется соответствующее ему значение в единицах другой системы счета времени. Именно так составлены таблицы 15 и 16 постоянной части Астрономического календаря ВАГО, одна из которых (таблица 16) служит для перевода ΔS в ΔT , а другая (таблица 15) — для перевода ΔT в ΔS . Так, если требуется выразить интервал $\Delta T = 9^h 21^m 35^s$ в единицах звездного времени, то из таблицы 15 выписываем

$$\begin{array}{r} \Delta T \qquad \Delta S \\ 9^h \qquad 9^h 01^m 28^s \\ 21^m \qquad 21^m 03^s \\ 35^s \qquad 35^s \\ \hline \Delta S = 9^h 23^m 06^s. \end{array}$$

Обратный перевод осуществляется аналогичным образом по другой таблице.

Второй вариант переводных таблиц содержит интервалы времени в одной системе единиц и поправки для их перевода в интервалы другой системы счета времени.

Исходные данные и ход решения задачи записываются по указанной ниже схеме.

Пример. Вычислить момент времени, в который часовой угол звезды Веги 21 сентября в г. X равен $t = -18^\circ 23' 15''$, указав этот момент по среднему, поясному и декретному времени.

Из таблиц постоянной части Астрономического календаря ВАГО (или из другого справочника) выписываем прямое восхождение α звезды Веги (α Лиры), географическую долготу λ и номер часового пояса n г. X, а из солнечной эфемериды Астрономического календаря-ежегодника — звездное время s_0 в гринвичскую полночь 21 сентября.

<i>Исходные данные</i>	<i>Формулы</i>	<i>Ход решения</i>
Вега, α Лиры $\alpha = 18^h 34^m 34^s$ $t = -18^\circ 23' 15'' =$ $= -1^h 13^m 33^s$; г. X. $n = 2^h$ $\lambda = 2^h 10^m 28^s$ $m = 21$ сентября $s_0 = 23^h 58^m 31^s$	$S = \alpha + t$	$+ \alpha = 18^h 34^m 34^s$ $+ t = -1^h 13^m 33^s$ <hr/> $S = 17^h 21^m 01^s$ $- \lambda = 2^h 10^m 28^s$ <hr/>
	$S_0 = S - \lambda$	$- S_0 = 15^h 10^m 33^s + 24^h$ $s_0 = 23^h 58^m 31^s$ <hr/>
	$\Delta S = S_0 - s_0$	$\Delta S = 15^h 12^m 02^s$
$T_m = ?$ $T_n = ?$ $T_d = ?$	\downarrow ΔT (по таблицам)	\downarrow $\Delta T = 14^h 57^m 42^s$ <hr/> $11 \ 58$ <hr/> 02

$$T_M = T_0 + \lambda$$

$$T_n = T_0 + n^c$$

$$T_d = T_n + 1^c$$

$$\begin{array}{r} T_0 = \Delta T = 15^c 09^m 42^c \\ + \lambda = 2 \ 10 \ 28 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} T_M = 17^c 20^m 10^c \\ + T_0 = 15^c 09^m 42^c \\ \hline n = 2 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} + T_n = 17^c 09^m 42^c \\ + 1^c = 1^c \end{array}$$

$$T_d = 18^c 09^m 42^c .$$

В ходе решения оказалось, что численное значение $s_0 > S_0$. Это означает, что момент S_0 лежит в пределах заданной календарной даты m , но относится к последующим звездным суткам. Но так как календарная дата с окончанием звездных суток не связана, то для получения положительного значения ΔS достаточно к s_0 прибавить 24.

При решении обратной задачи, т. е. при определении S по известному моменту T_M , T_n или T_d определенной даты m может оказаться $T_0 < 0$. Это означает, что в Гринвиче еще идет предыдущая календарная дата $m-1$, и тогда к заданному моменту T_M (T_n или T_d) следует прибавить 24^c , а значение s_0 выписывать для предыдущей даты $m-1$, т. е. для даты Гринвича.

Необходимо обратить особое внимание на то обстоятельство, что звездное время s_0 в гринвичскую полночь не равно звездному времени s в среднюю, а тем более в поясную и декретную полночь мест с географической долготой λ , отличной от географической долготы Гринвича. Средняя полночь, как впрочем и все другие моменты суток, наступает не сразу на всей Земле, а последовательно переходит от восточных меридианов (λ_2) к западным (λ_1), и за промежуток времени этого перехода $\Delta t = \lambda_2 - \lambda_1$ звездное время успевает уйти вперед на величину Δs , соответствующую разности $\lambda_2 - \lambda_1$. Так, средняя полночь во Владивостоке ($\lambda_2 = 8^h 47^m 31^s$) наступает раньше, чем в Москве ($\lambda_1 = 2^h 30^m 17^s$) на $\Delta t = \lambda_2 - \lambda_1 = 6^h 17^m 14^s$, а за этот промежуток среднего времени звездное время уходит вперед на

$$\Delta s = \frac{3^m 56^c}{24^c} \cdot 6^h 17^m 14^s = \frac{236^c}{24^c} \cdot 6^h 2872 = 62^c = 1^m 02^c;$$

поэтому значение звездного времени в среднюю московскую полночь будет на $1^m 02^c$ больше, чем в среднюю полночь Владивостока. Лишь при приближенном решении задач с точностью, не превышающей 2^m , можно полагать звездное время s в среднюю полночь какого-либо пункта равным звездному времени s_0 в гринвичскую полночь. Но это допущение совершенно не приемлемо для значения звездного времени в поясную или декретную полночь, так как расхождение в моментах их наступления составляет 1^c , а по отношению к средней полночи это различие может достигнуть более полутора часов. Поэтому значение звездного времени в среднюю, поясную и декретную полночь определенного места проще всего вычислить через гринвичское время T_0 и S_0 рассмотренным выше способом, полагая соответственно $T_M = 24^h 0^m 0^c$, $T_n = 24^h 0^m 0^c$ и $T_d = 24^h 0^m 0^c$ предыдущей календарной даты.

ЗАДАНИЕ

1*. Выразить интервалы звездного времени в единицах среднего времени и сделать вывод о продолжительности звездных суток в единицах среднего времени:

- 1) $2^{\text{ч}}22^{\text{м}}41^{\text{с}}$; $11^{\text{ч}}15^{\text{м}}32^{\text{с}}$; $24^{\text{ч}}00^{\text{м}}00^{\text{с}}$;
- 2) $3^{\text{ч}}43^{\text{м}}19^{\text{с}}$; $12^{\text{ч}}06^{\text{м}}52^{\text{с}}$; $24^{\text{ч}}00^{\text{м}}00^{\text{с}}$;
- 3) $4^{\text{ч}}11^{\text{м}}09^{\text{с}}$; $13^{\text{ч}}37^{\text{м}}46^{\text{с}}$; $24^{\text{ч}}00^{\text{м}}00^{\text{с}}$;
- 4) $5^{\text{ч}}33^{\text{м}}21^{\text{с}}$; $14^{\text{ч}}18^{\text{м}}58^{\text{с}}$; $24^{\text{ч}}00^{\text{м}}00^{\text{с}}$;
- 5) $6^{\text{ч}}50^{\text{м}}33^{\text{с}}$; $15^{\text{ч}}42^{\text{м}}08^{\text{с}}$; $24^{\text{ч}}00^{\text{м}}00^{\text{с}}$;
- 6) $2^{\text{ч}}52^{\text{м}}45^{\text{с}}$; $10^{\text{ч}}14^{\text{м}}38^{\text{с}}$; $24^{\text{ч}}00^{\text{м}}00^{\text{с}}$;
- 7) $3^{\text{ч}}05^{\text{м}}37^{\text{с}}$; $11^{\text{ч}}27^{\text{м}}12^{\text{с}}$; $24^{\text{ч}}00^{\text{м}}00^{\text{с}}$;
- 8) $4^{\text{ч}}40^{\text{м}}25^{\text{с}}$; $12^{\text{ч}}53^{\text{м}}04^{\text{с}}$; $24^{\text{ч}}00^{\text{м}}00^{\text{с}}$.

2*. Выразить интервалы среднего времени в единицах звездного времени и сделать вывод о продолжительности средних солнечных суток в единицах звездного времени:

- 1) $5^{\text{ч}}01^{\text{м}}31^{\text{с}}$; $20^{\text{ч}}17^{\text{м}}50^{\text{с}}$; $24^{\text{ч}}00^{\text{м}}00^{\text{с}}$;
- 2) $6^{\text{ч}}45^{\text{м}}57^{\text{с}}$; $21^{\text{ч}}13^{\text{м}}26^{\text{с}}$; $24^{\text{ч}}00^{\text{м}}00^{\text{с}}$;
- 3) $7^{\text{ч}}10^{\text{м}}55^{\text{с}}$; $22^{\text{ч}}04^{\text{м}}35^{\text{с}}$; $24^{\text{ч}}00^{\text{м}}00^{\text{с}}$;
- 4) $2^{\text{ч}}08^{\text{м}}15^{\text{с}}$; $18^{\text{ч}}21^{\text{м}}54^{\text{с}}$; $24^{\text{ч}}00^{\text{м}}00^{\text{с}}$;
- 5) $3^{\text{ч}}34^{\text{м}}53^{\text{с}}$; $19^{\text{ч}}48^{\text{м}}22^{\text{с}}$; $24^{\text{ч}}00^{\text{м}}00^{\text{с}}$;
- 6) $4^{\text{ч}}26^{\text{м}}39^{\text{с}}$; $20^{\text{ч}}35^{\text{м}}56^{\text{с}}$; $24^{\text{ч}}00^{\text{м}}00^{\text{с}}$;
- 7) $5^{\text{ч}}49^{\text{м}}31^{\text{с}}$; $21^{\text{ч}}58^{\text{м}}19^{\text{с}}$; $24^{\text{ч}}00^{\text{м}}00^{\text{с}}$;
- 8) $2^{\text{ч}}22^{\text{м}}41^{\text{с}}$; $18^{\text{ч}}39^{\text{м}}16^{\text{с}}$; $24^{\text{ч}}00^{\text{м}}00^{\text{с}}$.

3*. Определить звездное время в Гринвиче:

- 1) 9 января в $7^{\text{ч}}28^{\text{м}}53^{\text{с}}$ и 25 июля в $8^{\text{ч}}33^{\text{м}}47^{\text{с}}$ вечера;
- 2) 18 января в $9^{\text{ч}}13^{\text{м}}27^{\text{с}}$ вечера и 3 июля в $11^{\text{ч}}05^{\text{м}}38^{\text{с}}$;
- 3) 30 января в $5^{\text{ч}}45^{\text{м}}26^{\text{с}}$ и 17 июля в $10^{\text{ч}}52^{\text{м}}06^{\text{с}}$ вечера;
- 4) 11 февраля в $3^{\text{ч}}43^{\text{м}}10^{\text{с}}$ дня и 4 августа в $2^{\text{ч}}11^{\text{м}}35^{\text{с}}$;
- 5) 28 февраля в $8^{\text{ч}}14^{\text{м}}36^{\text{с}}$ и 16 августа в $6^{\text{ч}}24^{\text{м}}50^{\text{с}}$ вечера;
- 6) 19 февраля в $4^{\text{ч}}41^{\text{м}}08^{\text{с}}$ дня и 29 августа в $3^{\text{ч}}19^{\text{м}}46^{\text{с}}$;
- 7) 1 марта в $9^{\text{ч}}31^{\text{м}}22^{\text{с}}$ и 13 сентября в $5^{\text{ч}}48^{\text{м}}17^{\text{с}}$ вечера;
- 8) 14 марта в $7^{\text{ч}}44^{\text{м}}15^{\text{с}}$ вечера и 23 сентября в $4^{\text{ч}}51^{\text{м}}30^{\text{с}}$.

4. Вычислить часовой угол звезды Веги в Гринвиче:

- 1) 1 мая и 1 ноября в $19^{\text{ч}}42^{\text{м}}13^{\text{с}}$;
- 2) 10 мая и 10 ноября в $23^{\text{ч}}16^{\text{м}}09^{\text{с}}$;
- 3) 18 мая и 18 ноября в $2^{\text{ч}}15^{\text{м}}52^{\text{с}}$;
- 4) 28 мая и 28 ноября в $21^{\text{ч}}27^{\text{м}}39^{\text{с}}$;
- 5) 5 июня и 5 декабря в $3^{\text{ч}}47^{\text{м}}26^{\text{с}}$;
- 6) 14 июня и 14 декабря в $0^{\text{ч}}51^{\text{м}}15^{\text{с}}$;
- 7) 21 июня и 22 декабря в $20^{\text{ч}}33^{\text{м}}05^{\text{с}}$;
- 8) 30 июня и 31 декабря в $4^{\text{ч}}02^{\text{м}}50^{\text{с}}$.

5*. Найти звездное время в средней, поясную и декретную московскую полночь: 1) 1 января; 2) 1 февраля; 3) 1 марта; 4) 1 апреля; 5) 1 мая; 6) 1 июня; 7) 1 июля; 8) 1 августа.

6*. По результатам пункта 5 сформулировать вывод о причине различия звездного времени в средней, поясную и декретную полночь одной и той же календарной даты.

7*. Вычислить часовые углы звезд:

- 1) Алголя 3 сентября в $20^{\circ}48'17''$ во Владивостоке;
Мицара 19 мая в $23^{\circ}10'53''$ в Симферополе;
- 2) Альдебарана 21 ноября в $18^{\circ}38'10''$ в Москве;
Регула 16 июня в $21^{\circ}26'32''$ в Ташкенте;
- 3) Альтаира 5 июля в $22^{\circ}45'14''$ в Краснодаре;
Ригеля 17 января в $0^{\circ}16'42''$ в Семипалатинске;
- 4) Миры 28 июня в $3^{\circ}53'48''$ в Новосибирске;
Проциона 6 февраля в $23^{\circ}18'06''$ в Ленинграде;
- 5) Арктура 25 марта в $4^{\circ}19'51''$ в Смоленске;
Сириуса 10 декабря в $20^{\circ}35'28''$ в Ашхабаде;
- 6) Антареса 23 мая в $3^{\circ}08'24''$ в Тбилиси;
Капеллы 8 октября в $23^{\circ}41'37''$ в Иркутске;
- 7) Денеба 30 июля в $21^{\circ}55'20''$ в Брянске;
Бетельгейзе 1 января в $2^{\circ}32'47''$ во Фрунзе;
- 8) Поллукса 20 марта в $18^{\circ}33'58''$ в Волгограде;
Фомальгаута 9 июня в $3^{\circ}13'25''$ в Хабаровске.

8*. Вычислить моменты по среднему, поясному и декретному времени, в которые указанные звезды имеют часовые углы в городе:

- 1) Денеб. $t=5^{\circ}19'48''$, 14 июня в Курске;
Ригель, $t=-38^{\circ}29'30''$, 29 декабря в Тбилиси;
- 2) Вега, $t=7^{\circ}28'07''$, 7 августа в Красноярске;
Капелла, $t=-62^{\circ}38'45''$, 20 марта в Брянске;
- 3) Поллукс, $t=-6^{\circ}31'15''$, 11 апреля в Охотске;
Фомальгаут, $t=9^{\circ}48'30''$, 31 октября в Ялте;
- 4) Бетельгейзе, $t=-3^{\circ}41'22''$, 15 января в Самарканде;
Полярная, $t=169^{\circ}36'45''$, 26 июля в Вологде;
- 5) Алголь, $t=4^{\circ}08'37''$, 3 марта в Якутске;
Мицар, $t=-170^{\circ}54'30''$, 17 июня в Киеве;
- 6) Арктур, $t=6^{\circ}15'26''$, 9 апреля в Улан-Удэ;
Сириус, $t=-14^{\circ}17'15''$, 22 сентября в Одессе;
- 7) Антарес, $t=-3^{\circ}12'51''$, 2 августа в Коканде;
Процион, $t=139^{\circ}13'45''$, 25 февраля в Москве;
- 8) Альдебаран, $t=-7^{\circ}50'43''$, 4 января в Ленинграде;
Регул, $t=163^{\circ}23'00''$, 13 мая в Намангане.

9*. Определить по звездному, среднему, поясному и декретному времени моменты верхней и нижней кульминации и вычислить в эти моменты высоту звезды:

- 1) Спика 17 февраля и 19 марта в Алма-Ате;
- 2) Кагора 3 сентября и 3 октября в Свердловске;
- 3) Фомальгаута 20 октября и 19 ноября в Ташкенте;
- 4) Капеллы 11 мая и 10 июня в Оренбурге;
- 5) Денеба 8 августа и 7 сентября в Барнауле;
- 6) Поллукса 2 января и 1 февраля в Красноярске;
- 7) Ригеля 16 декабря и 15 января в Баку;
- 8) Альтаира 19 июля и 18 августа в Уфе.

10*. Вычислить моменты восхода и захода точки весеннего равноденствия: 1) 22 марта в Ярославле; 2) 22 апреля в Ярославле; 3) 22 ию-

ня в Ярославле; 4) 22 декабря в Ярославле; 5) 6 февраля в Сухуми; 6) 8 марта в Сухуми; 7) 8 мая в Сухуми; 8) 7 ноября в Сухуми.

11*. По общим результатам пункта 10 для одного города построить график изменения моментов восхода и захода точки весеннего равноденствия по звездному и декретному времени на протяжении года и объяснить обнаруженную из графика закономерность.

12*. Из анализа результатов пунктов 9—11 сформулировать вывод о причине постоянства моментов восхода, захода и кульминаций точек небесной сферы в одной системе счета времени и изменения на протяжении года тех же моментов в других системах счета времени, указав величину и направление этого изменения за сутки, месяц, полгода и год.

Отчет о работе представить по самостоятельно разработанной форме.

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ НЕБЕСНЫХ СФЕРИЧЕСКИХ КООРДИНАТ

Ц е л ь р а б о т ы. Практическое применение параллактического и астрономического треугольников.

Пособия: модель небесной сферы; Астрономический календарь — постоянная часть; Астрономический календарь-ежегодник; таблицы тригонометрических функций и их логарифмов; арифмометр.

Литература: [1], глава II, § 9, 17, глава III, § 23, 24; [2], глава I, § 28—30; [5], упражнение 4.

Д о п о л н и т е л ь н а я: [6], глава IV, § 29, 30, глава VII, § 51, 52, 57, 58; [31], глава II, § 18—21.

Задачи: [3], № 77, 78, 84—87, 92—95, 172, 173; [4], № 29.

Вычисление сферических координат в одной системе по сферическим координатам другой системы называется преобразованием координат и осуществляется с помощью сферических треугольников. Сферический треугольник, образованный на небесной сфере дугами трех больших кругов — небесного меридиана, круга склонения и круга высоты, — называется параллактическим треугольником, который связывает горизонтальные координаты h и A небесного светила M с его экваториальными координатами δ и t и служит для преобразования этих координат. Величина сторон параллактического треугольника зависит от географической широты φ места наблюдения, склонения δ светила и его высоты h . В суточном вращении небесной сферы две стороны параллактического треугольника ($z_p=90^\circ-\varphi$ и $p=90^\circ-\delta$) остаются неизменными, а третья сторона ($z=90^\circ-h$) и все три угла непрерывно изменяются и в каждый момент времени имеют определенные значения, в чем легко убедиться на модели небесной сферы (рис. 21). Для этого в зените Z модели небесной сферы укрепляется рейтер с кругом высоты, а на одном из кругов склонения — насадка M . Круг высоты устанавливается так, чтобы он проходил над светилом M . Тогда на модели образуется параллактический треугольник ZPM , в котором угол MPZ при полюсе мира P равен t , угол PZM при зените Z равен $180^\circ-A$, а значение третьего угла PMZ , называемого параллактическим углом, не играет роли, так как этот угол в преобразовании сферических координат не участвует.

Вращая модель небесной сферы с востока на запад (по часовой стрелке) и все время перемещая круг высоты вместе со светилом M , легко видеть неизменность двух сторон параллактического треугольника и непрерывное изменение его третьей стороны $ZM=z$ и всех его углов. В частности, при восходе или заходе светило находится на истинном горизонте и его зенитное расстояние $z=90^\circ$.

В формулы параллактического треугольника входит истинное зенитное расстояние z , не искаженное рефракцией. Наблюдаемое же зенитное расстояние z' отличается от z на величину рефракции ρ , так что

$$z = z' + \rho,$$

или

$$h = h' - \rho. \quad (1)$$

записи логарифмов таких функций следует к их табличному значению приписывать — 10. Так, для $\lg \sin 8^{\circ}23'$ находим 9,16374, что записывается как 9,16374 — 10 и означает $\bar{1},16374$. Зато при вычислениях исключается необходимость неоднократного перевода мантисс из положительных значений в отрицательные и обратно.

В качестве примеров покажем отыскание произведения и частного двух функций, а также аргумента результата.

$$1) \cos x = \sin 25^{\circ}16' \cdot \cos 56^{\circ}41'.$$

В двух верхних строках находим 25° и заголовок «sin», а в крайней левой колонке находим $16'$; выписываем

$$\lg \sin 25^{\circ}16' = 9,63026 - 10.$$

В двух нижних строках находим 56° и заголовок «cos», а в крайней правой колонке находим $41'$; выписываем

$$\lg \cos 56^{\circ}41' = 9,73978 - 10.$$

В процессе вычислений это записывается так:

$$\begin{array}{r} + \lg \sin 25^{\circ}16' = 9,63026 - 10 \\ \lg \cos 56^{\circ}41' = 9,73978 - 10 \\ \hline \lg \cos x = 19,37004 - 20 = 9,37004 - 10. \end{array}$$

Далее, в колонке под заголовком «cos» находим наиболее близкое к искомому значение 9,37028 и так как заголовок «cos» стоит внизу, то аргумент отыскивается по нижней строке и по крайней правой колонке:

$$x = 76^{\circ}26' \text{ или } x = -76^{\circ}26' = 360^{\circ} - 76^{\circ}26' = 283^{\circ}34'.$$

$$2) \sin x = \frac{\sin 62^{\circ}39'}{\cos 19^{\circ}56'}.$$

В двух нижних строках находим 62° и заголовок «sin», в крайней правой колонке — $39'$ и выписываем логарифм; в двух верхних строках находим 19° и заголовок «cos», в крайней левой колонке — $56'$, и опять выписываем логарифм, что запишется так:

$$\begin{array}{r} - \lg \sin 62^{\circ}39' = 9,94852 - 10 = 19,94852 - 20 \\ \lg \cos 19^{\circ}56' = 9,97317 - 10 = 9,97317 - 10 \\ \hline \lg \sin x = 9,97535 - 10, \end{array}$$

откуда по таблицам, под заголовком «sin» находим логарифм 9,97536, который дает $x = 70^{\circ}53'$ или $x = 180^{\circ} - 70^{\circ}53' = 109^{\circ}07'$.

$$3) \sin x = \sin 106^{\circ}39' \cdot \cos 228^{\circ}19'.$$

Это уравнение может быть записано так:

$$\sin x = \cos 16^{\circ}39' (-\cos 48^{\circ}19') = -\cos 16^{\circ}39' \cdot \cos 48^{\circ}19',$$

т. е. в конечном итоге $\sin x < 0$ (отрицателен).

Как и в предыдущих случаях, находим значения логарифмов заданных функций, т. е. $\cos 16^{\circ}39'$ и $\cos 48^{\circ}19'$, и чтобы не забыть конечного знака, у одного из логарифмов приписываем букву n :

$$\begin{array}{r} + \lg \cos 16^{\circ}39' = 9,98140 - 10 \\ \lg (-\cos 48^{\circ}19') = 9,82283n - 10 \\ \hline \lg \sin x = 19,80423n - 20 = 9,80423n - 10, \end{array}$$

откуда простейший аргумент $x' = 39^{\circ}35'$, и так как $\sin x < 0$, то

$$x = 180^{\circ} + x' = 219^{\circ}35'$$

или

$$x = 360^{\circ} - x' = 320^{\circ}25'.$$

Выбор окончательного значения x зависит от конкретных условий решаемой задачи.

Если обе заданные функции отрицательны, то к логарифмам обеих функций приписывается буква n , которая в конечном результате опускается, так как произведение таких функций положительно.

Очевидно, все приведенные выше примеры могут быть распространены на произведение любого числа функций, причем четное количество n дает итог с положительным знаком, а нечетное — с отрицательным знаком.

Пусть по экваториальным координатам α и δ светила требуется вычислить его горизонтальные координаты h и A на определенный момент времени T заданного дня года в пункте земной поверхности с географическими координатами λ и φ . Выписав из астрономических календарей значения α и δ светила, λ , n и φ пункта и звездное время s_0 в гринвическую полночь, вычисляем звездное время S в заданный момент T в данном пункте, находим часовой угол светила t и выражаем его в угловой мере с той же степенью точности, с которой заданы φ и δ . Отыскав соответствующие тригонометрические функции φ , δ и t (или их логарифмы), вычисляем по теореме косинусов значение $\cos z$, однозначно определяющее z , так как $0^{\circ} \leq z \leq 180^{\circ}$. Выбор формулы для вычисления азимута A зависит от значения t : если t близко к 0° или 180° , то лучше пользоваться формулой синусов; если t близко к 90° или 270° , то рекомендуется формула пяти элементов. По этим формулам вычисляется либо сам азимут A (если $A < 90^{\circ}$), либо простейший аргумент A' , связанный с A соотношениями, зависящими от квадранта:

$$A = 180^{\circ} - A'; \quad A = 180^{\circ} + A' \quad \text{и} \quad A = 360^{\circ} - A'. \quad (2)$$

Квадрант, в котором лежит A , определяется по знакам $\sin A$ и $\cos A$, которые тождественны знакам правых частей формул, поскольку $\sin z$ всегда положителен.

Схема вычислений на арифмометре

Пункт	Дата	
$n =$	Момент $T =$	$+$ $\frac{\sin \varphi \cdot \sin \delta =}{\cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos t =}$
$\lambda =$	$[\lambda, n \text{ или } (n + 1)] =$	
$\varphi =$	$T_0 =$	$\cos z =$
$\sin \varphi =$	\downarrow	$\sin z =$
$\cos \varphi =$	$\Delta S =$	$\cos \delta \cdot \sin t =$
Светило	$s_0 =$	$\frac{-z =}{\rho =}$
$\alpha =$		$z' =$
$\delta =$	$+ S_0 =$	$A' =$
$\sin \delta =$	$\lambda =$	Результат:
$\cos \delta =$		$h' =$
	$- S =$	$A =$
$s_0 =$	$\alpha =$	
	$t =$	
	$t =$	
	$\sin t =$	
	$\cos t =$	

Вычисления z и A по логарифмам тригонометрических функций легко выполняются при приведении основных формул к виду, удобному для логарифмирования, для чего вводится вспомогательный угол N , определяемый формулами (при $m > 0$):

$$m \cdot \sin N = \sin \delta$$

и

$$m \cdot \cos N = \cos \delta \cdot \cos t. \quad (3)$$

Знаки $\sin N$ и $\cos N$ определяются соответственно знаками $\sin \delta$ и $\cos t$, так как $\cos \delta$ всегда положителен.

Определив из равенства (3) m и N , получаем рабочие формулы, которые логарифмируются:

$$\sin z \cdot \sin A = \cos \delta \cdot \sin t, \quad (4)$$

$$\sin z \cdot \cos A = m \cdot \sin(\varphi - N), \quad (5)$$

$$\cos z = m \cdot \cos(\varphi - N). \quad (6)$$

Простейший аргумент A' вычисляется по формуле

$$\operatorname{tg} A' = \frac{\cos \delta \cdot \sin t}{m \cdot \sin(\varphi - N)}, \quad (7)$$

а значение азимута A выбирается в соответствии со знаками $\sin A$ и $\cos A$ в формулах (4) и (5).

Схема вычислений с логарифмами

Пункт	Дата		
$n =$	Момент $T =$	$-\lg \operatorname{tg} \delta =$	$\varphi - N =$
$\lambda =$	$-\lceil \lambda, n, (n+1) \rceil =$	$\frac{-\lg \cos t =}{\lg \operatorname{tg} N =}$	$+\frac{\lg \sin (\varphi - N) =}{\lg m =}$
$\varphi =$	$T_0 =$	$\lg \operatorname{tg} N =$	$\frac{\lg C =}{\lg \cos \delta =}$
Светило	\downarrow	знак $\sin N$	$+$
$\alpha =$	$\Delta S =$	знак $\cos N$	$\frac{\lg \sin t =}{\lg C =}$
$\delta =$	$+ s_0 =$	$N' =$	$\frac{\lg B =}{\lg C =}$
$\lg \sin \delta =$	$+ S_0 =$	$N =$	$-\frac{\lg B =}{\lg C =}$
$\lg \cos \delta =$	$+ \lambda =$	$-\lg \sin \delta =$	$-\lg C =$
$\lg \operatorname{tg} \delta =$	$-\frac{S =}{\alpha =}$	$\frac{-\lg \sin N =}{\lg m =}$	$\frac{\lg \operatorname{tg} A' =}{A' =}$
$s_0 =$	$t =$		$+\frac{\lg \cos (\varphi - N) =}{\lg m =}$
	$t =$		$\lg \cos z =$
	$\lg \sin t =$		$-\frac{z =}{\rho =}$
	$\lg \cos t =$		$\frac{z' =}{z' =}$

Результат: $h' =$
 $A =$

Обратная задача, т. е. определение экваториальных координат α и δ светила по его горизонтальным координатам h' и A в заданный момент времени T , сводится к вычислению δ и t светила, так как α определяется по t и по звездному времени S . Освободив h' от влияния рефракции, находят зенитное расстояние z светила, и по формуле косинусов, написанной для $\sin \delta$, определяют склонение светила δ . Часовой угол t при значениях A , близких к 90° и 270° , вычисляют по формуле пяти элементов, написанной относительно произведения $\cos \delta \cdot \cos t$. Обе формулы легко выводятся из аналогичных формул для определения $\cos z$ и $\sin z \cdot \cos A$. При остальных значениях A часовой угол проще вычислять по формуле синусов. В обоих случаях вычисляется простейший аргумент t' , по которому уже, в соответствии со знаками $\sin t$ и $\cos t$, находят часовой угол t .

При вычислениях δ и t с таблицами логарифмов тригонометрических функций нужно положить (при $m > 0$)

$$\cos z = m \cdot \cos N \text{ и } \sin z \cdot \cos A = m \cdot \sin N \quad (8)$$

и получить рабочие формулы:

$$\cos \delta \cdot \sin t = \sin z \cdot \sin A, \quad (9)$$

$$\cos \delta \cdot \cos t = m \cdot \cos (\varphi - N), \quad (10)$$

$$\sin \delta = m \cdot \sin (\varphi - N), \quad (11)$$

логарифмируя которые, можно вычислить δ и t с учетом указанного ранее замечания относительно знаков.

Схема вычислений на арифмометре

Пункт	Дата	
$n =$	— Момент $T =$	— $\sin \varphi \cdot \cos z =$
$\lambda =$	— $[\lambda, n, (n + 1)] =$	$\cos \varphi \cdot \sin z \cdot \cos A =$
$\varphi =$	$T_0 =$	<hr style="width: 100%;"/>
$\cos \varphi =$	\downarrow	$\sin \delta =$ $\delta =$
$\sin \varphi =$	$\Delta S =$	$\cos \delta =$
<hr style="width: 100%;"/>	$+ S_0 =$	$\cos \varphi \cdot \cos z =$
Светило	<hr style="width: 100%;"/>	$+ \sin \varphi \cdot \sin z \cdot \cos A =$
$A =$ $h' =$	$+ S_0 =$	<hr style="width: 100%;"/>
$\sin A =$ $z' =$	$\lambda =$	$\cos \delta \cdot \cos t =$
$\cos A =$ $+ \rho =$	<hr style="width: 100%;"/>	$\cos t =$
$z =$	— $S =$	$t' =$ $t =$
$\sin z =$	$t =$	<hr style="width: 100%;"/>
$\cos z =$	$a =$	
<hr style="width: 100%;"/>		
$s_0 =$	Результат: $a =$	$\delta =$

Схема вычислений с логарифмами

Пункт	Дата		
$n =$	— Момент $T =$	$+ \lg \operatorname{tg} z =$	$\varphi - N =$
$\lambda =$	— $[\lambda, n, (n + 1)] =$	$+ \lg \cos A =$	$\lg \sin (\varphi - N) =$
$\varphi =$	$T_0 =$	<hr style="width: 100%;"/>	$\lg m =$
<hr style="width: 100%;"/>	\downarrow	$\operatorname{tg} N =$	<hr style="width: 100%;"/>
Светило	$\Delta S =$	$N' =$	$\lg \sin \delta =$
$A =$ $h' =$	$+ S_0 =$	Знак $\sin N$	$\delta =$
$\sin A =$ $z' =$	<hr style="width: 100%;"/>	Знак $\cos N$	$\lg \cos \delta =$
$\cos A =$ $+ \rho =$	$+ S_0 =$	$N =$	$+ \lg \sin z =$
$z =$	$\lambda =$	$\lg \cos z =$	$- \lg \sin A =$
$\lg \sin A =$ $\lg \sin z =$	<hr style="width: 100%;"/>	$\lg \cos N =$	<hr style="width: 100%;"/>
$\lg \cos A =$ $\lg \cos z =$	$+ S =$	$\lg m =$	$\lg \sin t =$
$\lg \operatorname{tg} z =$	$t =$	$\lg m =$	$t' =$
$s_0 =$	$a =$	$\lg m =$	$t =$
	Результат: $a =$		$\delta =$

Преобразование экваториальных координат α и δ в эклиптические λ и β осуществляется через сферический треугольник, часто называемый астрономическим треугольником, вершинами которого служат полюс мира P , полюс эклиптики Π и светило M (рис. 22). Так как ось мира PP' перпендикулярна к плоскости небесного экватора QQ' , а ось эклиптики $\Pi\Pi'$ перпендикулярна к плоскости эклиптики $\mathcal{E}\mathcal{E}'$, то полюс эклиптики Π отстоит от полюса мира P на угол $\varepsilon = 23^\circ 27'$. Таким образом, в астрономическом треугольнике одна сторона $PP = \varepsilon$, другая сторона $PM = \rho = 90^\circ - \delta$ и третья сторона $\Pi M = \Pi = 90^\circ - \beta$, что следует из самого определения координат в соответствующих системах.

Направление $O\Upsilon$ на точку весеннего равноденствия Υ перпендикулярно к плоскости круга склонения $PPQ'P'$, на котором лежат полюсы P и Π , и поэтому в астрономическом треугольнике угол при

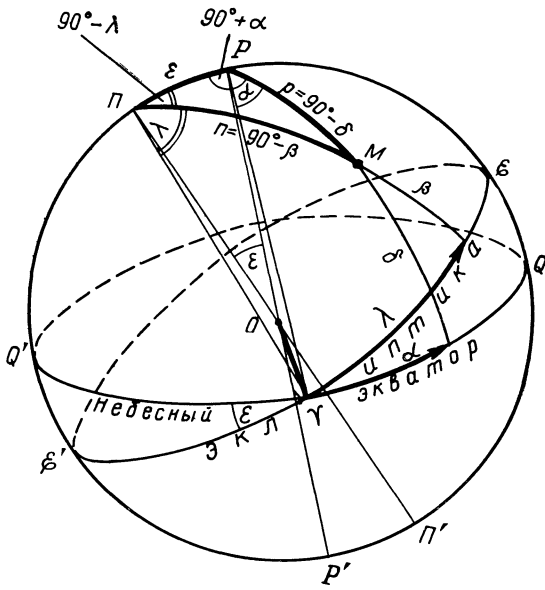


Рис. 22

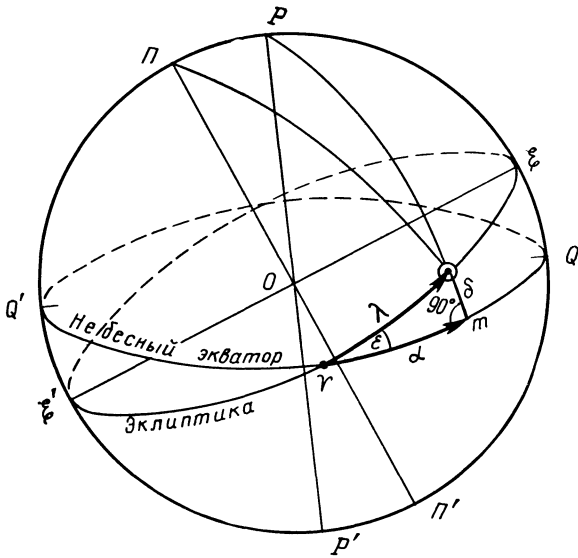


Рис. 23

полосе эклиптики $\angle MPP = 90^\circ - \lambda$, а угол при полюсе мира $\angle PPM = 90^\circ + \alpha$.

В суточном вращении небесной сферы все элементы астрономического треугольника остаются неизменными. Применяя к нему соответствующие теоремы, можно получить формулы синусов, косинусов и пяти элементов для преобразования координат.

Помня, что Солнце \odot находится на эклиптике ($\beta = 0^\circ$), можно для связи между его координатами α , δ и λ использовать прямоугольный сферический треугольник $\Upsilon m \odot$ (рис. 23), образованный дугами небесного экватора α , эклиптики λ и круга склонения δ . Измеряя зенитное расстояние z Солнца в момент его верхней кульминации и исправляя z' за рефракцию, находят склонение Солнца δ , по которому вычисляют его прямое восхождение α и долготу λ по формулам

$$\sin \alpha = \operatorname{tg} \delta \cdot \operatorname{ctg} \varepsilon \quad (12)$$

и

$$\sin \lambda = \sin \delta \cdot \operatorname{cosec} \varepsilon. \quad (13)$$

Эти формулы позволяют вычислять положение Солнца на эклиптике и всегда знать положение точки весеннего равноденствия Υ , хотя эта точка на небе ничем не отмечена.

ЗАДАНИЕ

1*. Вычислить высоту и азимут звезды:

- 1) Капеллы, 5 декабря в $17^{\text{h}}32^{\text{m}}18^{\text{s}}$ в Москве;
- 2) Капеллы, 5 декабря в $21^{\text{h}}32^{\text{m}}18^{\text{s}}$ в Москве;
- 3) Капеллы, 6 декабря в $1^{\text{h}}32^{\text{m}}18^{\text{s}}$ в Москве;
- 4) Капеллы, 6 декабря в $5^{\text{h}}32^{\text{m}}18^{\text{s}}$ в Москве;
- 5) Сириуса, 1 января в $18^{\text{h}}50^{\text{m}}41^{\text{s}}$ в Ташкенте;
- 6) Сириуса, 1 января в $22^{\text{h}}50^{\text{m}}41^{\text{s}}$ в Ташкенте;
- 7) Сириуса, 2 января в $2^{\text{h}}50^{\text{m}}41^{\text{s}}$ в Ташкенте;
- 8) Сириуса, 2 января в $6^{\text{h}}50^{\text{m}}41^{\text{s}}$ в Ташкенте.

2*. Сопоставив результаты вычислений для разных моментов времени в одном городе, сформулировать выводы о характере изменения часового угла, азимута и высоты светила на протяжении суток и объяснить возможность измерения часовых углов единицами времени и не допустить измерения азимута теми же единицами.

3. Вывести формулы для вычисления экваториальных координат светила по его горизонтальным координатам.

4. Вычислить экваториальные координаты светила по его измененным горизонтальным координатам*:

- 1) 30 июня в $23^{\text{h}}16^{\text{m}}42^{\text{s}}$ в Тбилиси, $h' = 53^\circ 19'$, $A = 71^\circ 14'$;
- 2) 9 февраля в $18^{\text{h}}37^{\text{m}}11^{\text{s}}$ в Целинограде, $h' = 42^\circ 55'$, $A = 101^\circ 10'$;
- 3) 14 сентября в $21^{\text{h}}02^{\text{m}}49^{\text{s}}$ в Киеве, $h' = 67^\circ 06'$, $A = 292^\circ 47'$;
- 4) 27 марта в $3^{\text{h}}53^{\text{m}}20^{\text{s}}$ в Хабаровске, $h' = 70^\circ 51'$, $A = 215^\circ 08'$;

* Если студентами самостоятельно измерены горизонтальные координаты звезд (см. работу № 7н), то этот пункт задания следует выполнять в первую очередь по данным самостоятельных измерений.

- 5) 19 августа в $21^{\text{ч}}13^{\text{м}}52^{\text{с}}$ в Ереване, $h' = 39^{\circ}48'$, $A = 62^{\circ}03'$;
6) 3 ноября в $19^{\text{ч}}36^{\text{м}}18^{\text{с}}$ в Чите, $h' = 81^{\circ}44'$, $A = 128^{\circ}01'$;
7) 23 апреля в $2^{\text{ч}}09^{\text{м}}28^{\text{с}}$ в Ленинграде, $h' = 55^{\circ}30'$, $A = 316^{\circ}23'$;
8) 12 декабря в $7^{\text{ч}}56^{\text{м}}32^{\text{с}}$ в Сретенске, $h' = 44^{\circ}15'$, $A = 247^{\circ}50'$.

5. Вычислить экваториальные и эклиптические координаты Солнца по его зенитному расстоянию, измеренному весной, в истинный полдень и указать день года, в который произведено измерение:
1) Алма-Ата, $z' = 34^{\circ}04'$; 2) Москва, $z' = 63^{\circ}58'$; 3) Тбилиси, $z' = 37^{\circ}25'$;
4) Ашхабад, $z' = 47^{\circ}50'$; 5) Ленинград, $z' = 42^{\circ}22'$; 6) Иркутск, $z' = 59^{\circ}32'$; 7) Николаев, $z' = 40^{\circ}19'$; 8) Ташкент, $z' = 52^{\circ}37'$.

Отчет о работе представить по самостоятельно разработанной форме.

ВЫЧИСЛЕНИЕ МОМЕНТОВ ВРЕМЕНИ И АЗИМУТОВ ТОЧЕК ВОСХОДА И ЗАХОДА СОЛНЦА

Цель работы. Применение параллактического треугольника к вычислению восхода и захода небесных светил.

Пособия: Астрономический календарь — постоянная часть; Астрономический календарь-ежегодник; таблицы тригонометрических функций и их логарифмов; арифмометр.

Литература: [1], глава II, § 17, 18; [2], глава I, § 30—32.

Дополнительная: [6], глава II, § 11, 12; [33], глава II, § 20, 22.

Задачи: [3], № 327—331, 333, 334, 339—342, 345, 350, 352, 355, 356.

Моменты времени восхода и захода небесных светил и положение на истинном горизонте точек их восхода и захода, определяемое азимутом, зависят от склонения δ светил и от географической широты φ места на Земле. Эти моменты и азимуты вычисляются по формулам параллактического треугольника, в котором одна сторона, являющаяся зенитным расстоянием z светила, должна быть равной 90° . Однако в момент своего видимого восхода и захода светило в действительности находится под горизонтом на величину рефракции ρ в горизонте и, следовательно, его истинное зенитное расстояние

$$z = 90^\circ + \rho. \quad (1)$$

При вычислении моментов восхода и захода Солнца необходимо еще учитывать его видимый угловой радиус r , так как сферические координаты задаются для центра солнечного диска, а моментом восхода (захода) Солнца считается момент появления (исчезновения) его верхнего края на горизонте, и в этот момент центр солнечного диска находится ниже его верхнего края на величину видимого радиуса r , т. е. истинное зенитное расстояние центра солнечного диска

$$z = 90^\circ + \rho + r. \quad (2)$$

Поскольку склонение Солнца изменяется непрерывно, то, строго говоря, нужно вычислять моменты восхода и захода Солнца отдельно с учетом его склонения в эти моменты времени. Однако для учебных целей вполне достаточно упрощенное решение задачи, и можно допустить, что склонение Солнца на протяжении дня равно его склонению в средний полдень.

В Астрономическом календаре-ежегоднике ВАГО склонение Солнца δ_0 и его часовое изменение $\Delta\delta$ даются на среднюю гринвичскую полночь, которая наступает в иной физический момент, чем средняя полночь на меридиане с географической долготой λ . Для решения же поставленной задачи необходимо знать склонение Солнца δ в средний полдень пункта с долготой λ . Очевидно

$$\delta = \delta_0 + 12 \cdot \Delta\delta - \lambda \cdot \Delta\delta, \quad (3)$$

где λ выражена в часах и его долях.

Точность значений δ , z и заданной географической широты φ должна быть одинаковой.

Поскольку мы полагаем склонение Солнца δ постоянным на протяжении светлого времени суток, то моменты восхода и захода Солнца должны быть симметричными относительно истинного полдня, а точки восхода и захода — симметричными относительно точки юга S .

Сначала по формуле косинусов вычисляется $\cos t$, который дает два значения часового угла $\pm t$, а так как часовые углы отсчитываются от небесного меридиана к западу, то часовой угол точки захода Солнца

$$t_3 = +t < 180^\circ, \quad (4)$$

а часовой угол точки его восхода

$$t_B = 360^\circ - t > 180^\circ, \text{ или } t_B = -t_3. \quad (5)$$

Вычисленные и выраженные в единицах времени часовые углы дают моменты восхода и захода Солнца по истинному солнечному времени:

$$T_{\odot B} = 12^h + t_B = 12^h - t_3 \quad (6)$$

и

$$T_{\odot 3} = 12^h + t_3. \quad (7)$$

Те же моменты по среднему времени

$$T_{MB} = T_{\odot B} + \eta \quad (8)$$

и

$$T_{M3} = T_{\odot 3} + \eta, \quad (9)$$

причем уравнение времени η заимствуется из солнечной эфемериды и интерполируется на полдень. Так как с достаточной степенью точности можно полагать уравнение времени изменяющимся в течение суток равномерно, то в средний полдень

$$\eta = \frac{\eta_1 + \eta_2}{2}, \quad (10)$$

где η_1 и η_2 — значения уравнения времени в среднюю гринвичскую полночь двух смежных дат, т. е. в начале и в конце заданной даты.

Зная моменты восхода и захода Солнца по среднему времени, нетрудно вычислить те же моменты по поясному или декретному времени, округлив окончательные результаты до 1^m .

Азимуты точек восхода (A_B) и захода (A_3) Солнца вычисляются по формуле синусов, но если t_B и t_3 близки к 90° или к 270° , то лучше воспользоваться формулой пяти элементов. В обоих случаях азимуты вычисляются с точностью до $1'$.

Вычисления проводятся либо на арифмометре, либо с таблицами логарифмов чисел и тригонометрических функций.

ЗАДАНИЕ

1*. Вычислить моменты времени и азимуты точек восхода и захода Солнца: 1) 21 марта в Архангельске; 2) 22 июня в Архангельске; 3) 23 сентября в Архангельске; 4) 22 декабря в Архангельске; 5) 21 марта в Ашхабаде; 6) 22 июня в Ашхабаде; 7) 23 сентября в Ашхабаде; 8) 22 декабря в Ашхабаде.

2*. Вычислить для той же даты продолжительность дня и ночи и высоту Солнца в истинный полдень в том же городе.

3*. По полученным результатам для одного города построить график зависимости продолжительности дня и ночи, полуденной высоты и азимутов точек восхода и захода Солнца от его склонения.

Отчет о работе № 12

Дата выполнения работы:

1 и 2. Дата

Часовое изменение $\Delta\delta =$

На 0^h $\eta_1 =$

На 24^h $\eta_2 =$

$\eta_1 + \eta_2 =$

На полдень $\eta =$

Восход и заход Солнца

Верхний край $z' =$

Рефракция $\rho =$

Угловой радиус $r =$

Центр Солнца $z =$

Склонение Солнца (0^h) $\delta_0 =$

Поправка на полдень $12 \cdot \Delta\delta =$

Поправка на λ $\lambda \cdot \Delta\delta =$

Склонение Солнца $\delta =$

Расчетные формулы:

Город

С о л н ц е

$n =$

$z =$

$\lambda =$

$\sin z =$

$\varphi =$

$\cos z =$

$\sin \varphi =$

$\delta =$

$\cos \varphi =$

$\sin \delta =$

$\cos \delta =$

$\frac{\cos z}{\sin \varphi \cdot \sin \delta} =$

$\sin \delta \cdot \sin t =$

$\sin z =$

$\sin A =$

$\Delta =$

$A' =$

$\cos \varphi \cdot \cos \delta =$

$A =$

$\cos t =$

$t' =$

$t =$

Истинный полдень

Восход

Заход

$\varphi =$

$\delta =$

$z =$

$h =$

$\rho =$

$h' =$

$t =$

$T_{\odot} =$

$T_M =$

$T_0 =$

$T_d =$

$A =$

3. График прилагается.

СТЕРЕОГРАФИЧЕСКАЯ СЕТКА

Цель работы. Использование стереографической сетки для приближенного решения некоторых задач сферической и практической астрономии.

Пособия: стереографическая сетка (планшет 11); Астрономический календарь — постоянная часть; Астрономический календарь-ежегодник; Малый звездный атлас А. А. Михайлова.

Литература: Астрономический календарь ВАГО (постоянная часть), изд. 5-е, стр. 195—214, Физматгиз, 1962.

Приближенное решение некоторых задач сферической и практической астрономии может быть получено без сложных вычислений с помощью стереографической сетки, представляющей проекцию больших кругов и параллелей сферической поверхности на плоскость одного из ее больших кругов, называемого основным кругом сетки. Центром проекции является точка сферы, удаленная от всех точек основного круга на 90° .

Стереографическая проекция обладает тем важным свойством, что дуги любых кругов на сфере изображаются в этой проекции также дугами кругов.

Отдельные элементы стереографической сетки называются: окружность сетки ($P_1Q_2P_2Q_1$) — основным кругом сетки; точки P_1 и P_2 , в которых сходятся большие круги сетки, — полюсами сетки; диаметр P_1P_2 , проходящий через полюсы сетки, — осью сетки; диаметр Q_1Q_2 , перпендикулярный к оси сетки, — экватором сетки.

В зависимости от характера решаемой задачи элементы сетки могут изображать различные точки и круги небесной сферы или земной поверхности. Так, в одном случае основной круг сетки может изображать небесный меридиан, экватор сетки — проекцию истинного горизонта, ось сетки — отвесную линию и проекцию первого вертикала, а полюсы сетки — зенит и надир; в этом случае точки востока и запада спроектируются в центр сетки, а точки юга и севера изобразятся точками Q_2 и Q_1 пересечения основного круга сетки с ее экватором. В другом случае основной круг сетки может также изображать небесный меридиан, но экватор сетки может быть уже принят за проекцию небесного экватора, а ось и полюсы сетки — за ось и полюсы мира; тогда точки востока и запада опять спроектируются в центр сетки, а точки юга и севера будут лежать на основном круге, на расстоянии $90^\circ - \varphi$ от экватора сетки, где φ — географическая широта места наблюдения.

Можно представить себе основной круг сетки, выполняющим роль истинного горизонта, небесного экватора, эклиптики, равноденственного колюра (круга склонения, проходящего через точку весеннего равноденствия) или, скажем, роль одного из земных меридианов.

Точность решения задач с помощью стереографической сетки зависит от ее масштаба. На прилагаемой к данной работе стереографической сетке (планшет 11) большие круги и параллели проведены через

2°, что обеспечивает решение многих задач с точностью до 0°,5 или до 2 мин. времени. Все необходимые построения при решении задач делаются не на самой сетке, а на листе кальки или прозрачной бумаги, накладываемом на сетку. Полезно начертить на кальке окружность радиусом, равным радиусу сетки, и два взаимно перпендикулярных диаметра. В дальнейшем такую скопированную окружность мы будем, для краткости, называть калькой, один ее диаметр — диаметром кальки (R_1R_2), другой диаметр — осью кальки (P_1P_2), а концевые точки этой оси — полюсами кальки (P_1 и P_2).

Разберем ряд примеров использования стереографической сетки. На всех рисунках, иллюстрирующих эти примеры, жирными линиями показаны построения на кальке, а тонкими — просвечивающие сквозь кальку круги стереографической сетки, которые на рисунках показываются далеко не все, а только необходимые для иллюстрации решения разбираемой задачи.

1. Определение углового расстояния между двумя точками с заданными сферическими координатами.

Данная задача постоянно решается при определении угловых расстояний между звездами и при прокладке курса корабля в открытом море. Наикратчайшим расстоянием между двумя точками сферы является дуга большого круга, проходящего через эти точки, которая на земной поверхности называется ортодромией и строится по географическим координатам пунктов отправления (λ_1, φ_1) и назначения (λ_2, φ_2) корабля. Подобным же образом угловое расстояние между звездами определяется по их сферическим координатам.

Примем полюс P_1 стереографической сетки за северный географический полюс Земли, а экватор Q_1Q_2 сетки — за земной экватор. Тогда все большие круги сетки изобразят географические меридианы, а все параллели сетки — земные параллели. Наложим кальку на сетку так, чтобы их полюсы (P_1 и P_2) и экваторы (R_1R_2 и Q_1Q_2) соответственно совместились (рис. 24), и от точки Q_1 экватора отложим по окружности дугу φ_1 , равную географической широте первого пункта A земной поверхности. При $\varphi_1 > 0$ дуга φ_1 откладывается в сторону северного полюса P_1 , а при $\varphi_1 < 0$ — в сторону южного полюса P_2 . Далее вычислим разность $\Delta\lambda$ географической долготы λ_1 и λ_2 двух заданных пунктов A и B , т. е.

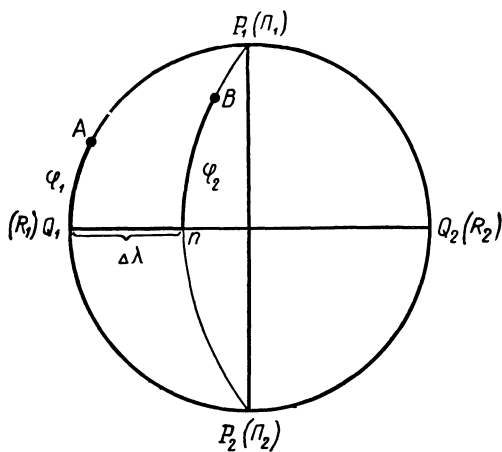


Рис. 24

$$\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1 \text{ или } \Delta\lambda = \lambda_1 - \lambda_2$$

(с тем, чтобы $\Delta\lambda$ была меньше 180°), и отложим ее по экватору сетки от точки Q_1 . Затем по большому кругу сетки, проходящему через конец n дуги $\Delta\lambda$, отложим значение φ_2 географической широты второго пункта B . Повернув кальку вокруг ее центра до совмещения точки A с полюсом сетки P_1 (рис. 25), измерим в градусах искомое расстояние $d=AB$ по дуге большого круга сетки, проходящего через обе точки A и B .

Подразумевая под φ_1 и φ_2 склонения δ_1 и δ_2 (или высоты h_1 и h_2) двух звезд A и B , а под λ_1 и λ_2 их прямые восхождения α_1 и α_2 (часовые углы t_1 и t_2 , азимуты A_1 и A_2), найдем аналогичным приемом угловое расстояние между звездами.

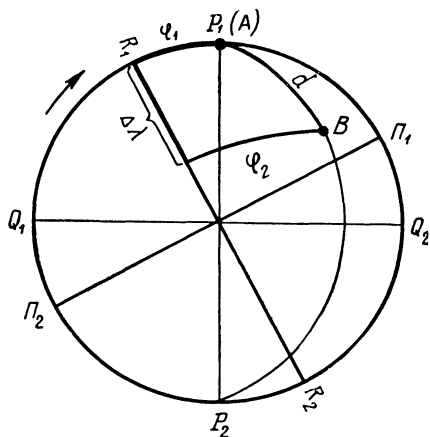


Рис. 25

2. Определение экваториальных координат светила по его горизонтальным координатам (преобразование горизонтальных координат в экваториальные).

Горизонтальные координаты светила задаются либо высотой h и азимутом A , либо зенитным расстоянием z и азимутом A , причем $z=90^\circ-h$. Эти координаты непрерывно изменяются в течение суток и их имеет смысл задавать лишь для определенного момента времени T . Экваториальные координаты светила задаются обычно прямым восхождением α и склонением δ , которые у звезд в течение суток не изменяются, а у Солнца, Луны и планет меняются сравнительно медленно.

Поэтому перейти непосредственно от координат h и A к координатам α и δ невозможно. Этот переход осуществляется только через звездное время S и часовой угол t , который в течение суток непрерывно и равномерно растет, но неизменно связан с прямым восхождением α светила и звездным временем S зависимостью

$$t = S - \alpha.$$

Следовательно, задача сводится к определению t и δ светила по его h и A и к вычислению значения звездного времени S в заданный момент T . Значение S вычисляется весьма просто и мы будем полагать его известным (см. работу № 10).

Экваториальные координаты δ и t светила определяются по его h и A следующим образом. Наложив кальку на стереографическую сетку и совместив их полюсы и экваторы (рис. 26), примем основной круг кальки (сетки) за небесный меридиан, ее экватор R_1R_2 — за истинный горизонт и полюсы Π_1 и Π_2 — соответственно за зенит Z и

надир Z' . Тогда большие круги стереографической сетки будут изображать круги высоты (вертикалы), а ее параллели — круги равных высот (альмукунтараты). Отметив на кальке точки севера N (R_1) и юга S (R_2) и пользуясь просвечивающей сквозь кальку сеткой как системой горизонтальных координат, отложим от точки юга S (R_2) по истинному горизонту R_2R_1 заданный азимут A . Если $A > 180^\circ$, то нужно откладывать $A' = 360^\circ - A$.

От полученной на истинном горизонте точки n отложим по кругу высоты, проходящему через эту точку, значение h . При $h > 0$ ее зна-

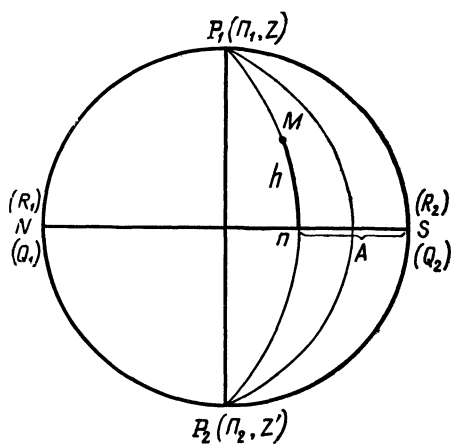


Рис. 26

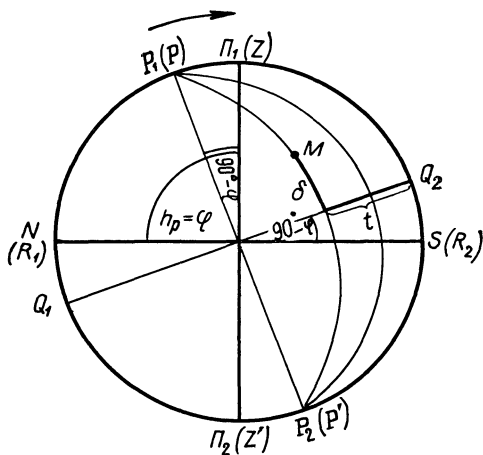


Рис. 27

чение откладывается вверх, в сторону Π_1 (зенита Z), при $h < 0$ вниз, в сторону Π_2 (надир Z'). Таким образом, на кальке отмечается точка M , изображающая светило с заданными координатами h и A .

Теперь повернем кальку по часовой стрелке на угол $90^\circ - \varphi$ и будем рассматривать сетку как стереографическую проекцию экваториальной системы координат t и δ на плоскость небесного меридиана (рис. 27). В этом случае полюсы сетки P_1 и P_2 будут являться полюсами мира P и P' , экватор сетки Q_1Q_2 — небесным экватором, полюсы кальки Π_1 и Π_2 будут по-прежнему изображать зенит Z и надир Z' , а экватор кальки R_1R_2 — истинный горизонт.

Пользуясь большими кругами стереографической сетки как кругами склонения, отсчитываем от небесного экватора Q_1Q_2 склонение δ светила M , а от точки Q_2 , по небесному экватору, — его часовой угол t . Если A был более 180° , то и $t > 180^\circ$, а поэтому найденное значение t следует вычитать из 360° .

Вычислив звездное время S на момент наблюдения и выразив t в единицах времени, найдем прямое восхождение светила

$$\alpha = S - t.$$

3. Определение горизонтальных координат светила по его экваториальным координатам (преобразование экваториальных координат в горизонтальные).

Эта задача является обратной предыдущей (см. задачу 2). На заданный момент времени T вычисляется значение звездного времени (см. работу № 10) и определяется часовой угол светила

$$t = S - \alpha,$$

который переводится в градусную меру.

Накладываем кальку на стереографическую сетку так, чтобы полюс сетки P_1 , изображающий северный полюс мира P , отстоял от точки севера $N(R_1)$ на угол φ (см. рис. 27) и, принимая экватор сетки Q_1Q_2 за небесный экватор, отмечаем на кальке точку M (светило) с заданными экваториальными координатами δ и t . Повернув кальку на угол $90^\circ - \varphi$ до совмещения ее экватора R_1R_2 с экватором Q_1Q_2 сетки (см. рис. 26) и пользуясь сеткой как системой горизонтальных координат, отсчитываем от истинного горизонта NS (экватора кальки R_1R_2) высоту h светила M , а по истинному горизонту от точки юга $S(R_2)$ — азимут A того же светила. Правило отсчета t и A остается прежним (см. задачу 2).

4. Определение эклиптических координат светила по его экваториальным координатам (преобразование экваториальных координат в эклиптические).

В эклиптической системе координат основным кругом является эклиптика, наклоненная к небесному экватору на угол $\varepsilon = 23^\circ 27'$. Положение полюсов эклиптики определяется в экваториальной системе координат значениями: северный полюс эклиптики — $\alpha_N = 270^\circ 0'$, $\delta_N = +66^\circ 33'$; южный полюс эклиптики — $\alpha_S = 90^\circ 0'$, $\delta_S = -66^\circ 33'$. Половина небесной сферы, расположенная от эклиптики в сторону ее северного полюса, называется северным эклиптическим полушарием. Противоположное полушарие называется южным эклиптическим полушарием.

Координатами светила в эклиптической системе являются широта β , отсчитываемая от эклиптики по проходящему через светило кругу широты, и долгота λ , отсчитываемая по эклиптике от точки весеннего равноденствия Υ , против часовой стрелки, до основания круга широты светила. В северном эклиптическом полушарии $\beta > 0$, в южном — $\beta < 0$; λ всегда отсчитывается в одну сторону в пределах от 0 до 360° .

Пусть по экваториальным координатам α и δ светила M требуется определить его эклиптические координаты λ и β . Примем основной круг кальки и сетки за круги склонения с прямым восхождением $\alpha = 90^\circ$ и $\alpha = 270^\circ$; плоскость этих кругов перпендикулярна к линии пересечения плоскостей небесного экватора и эклиптики (линия узлов небесного экватора), на которой лежат точки весеннего Υ и осеннего ϖ равноденствия, проектирующиеся в этом случае в центр кальки и сетки. Если принять, что точка весеннего равноденствия Υ , лежит «над центром» кальки (сетки), то тогда счет прямых восхождений α по небесному экватору и счет долгот λ по эклиптике следует вести от цен-

тра сетки вправо (до 90°), далее, «за сетку» влево (от 90 до 270°), и, затем, от левой полуокружности основного круга (270°) снова вправо, до центра сетки (360°).

Совместим полюсы и экватор кальки с полюсами и экватором сетки и, пользуясь сеткой как экваториальной системой координат, нанесем на кальку точку M (светило) с экваториальными координатами α и δ (рис. 28), предварительно выразив α в градусной мере. Помня правило счета α и δ , приходим к выводу, что $\alpha < 90^\circ$ откладывается по экватору вправо от центра сетки (Υ), при $90^\circ < \alpha < 180^\circ$ вправо от Υ откладывается аргумент $\alpha' = 180^\circ - \alpha$; при $180^\circ < \alpha < 270^\circ$ влево от Υ откладывается аргумент $\alpha' = \alpha - 180^\circ$; и, наконец, при $270^\circ < \alpha < 360^\circ$ влево от Υ откладывается аргумент $\alpha' = 360^\circ - \alpha$.

Повернув кальку по часовой стрелке на угол $\varepsilon = 23^\circ,5$, будем рассматривать сетку как эклиптическую систему координат (рис. 29). Тогда экватор сетки Q_1Q_2 изобразит эклиптику, полюсы сетки P_1 и P_2 — полюсы эклиптики, большие круги сетки — круги широты, а полюсы Π_1 и Π_2 и экватор R_1R_2 кальки будут, соответственно, полюсами мира P и P' и небесным экватором QQ' .

По кругу широты, проходящему через светило M , определяем его широту β , а по расстоянию λ' основания m этого круга широты от центра сетки (точка Υ) — долготу λ , причем λ' связано с λ теми же соотношениями, что и α' с α .

Преобразование эклиптических координат λ и β светила в его экваториальные координаты α и δ выполняется в обратной последовательности.

5. Определение часовых углов и азимутов точек восхода и захода светил.

В моменты восхода и захода светило находится на истинном гори-

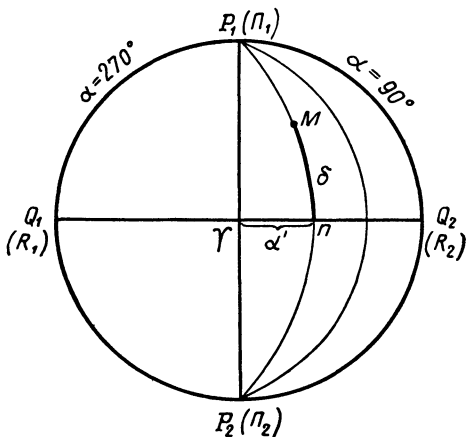


Рис. 28

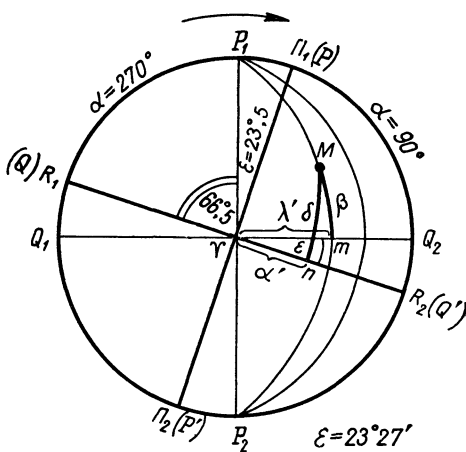


Рис. 29

зонте, и точки его восхода и захода расположены симметрично относительно небесного меридиана, т. е.

$$t_b = -t_3 \text{ и } A_b = -A_3,$$

где t_b , t_3 , A_b и A_3 — соответственно, часовые углы и азимуты точек восхода и захода.

Совместим полюсы и экваторы кальки и стереографической сетки и, принимая сетку за экваториальную систему координат, скопируем на кальку параллель ab сетки, отстоящую от ее экватора на величину δ светила (рис. 30). Повернув кальку вокруг центра сетки против часовой стрелки на угол $90^\circ - \varphi$ (рис. 31), отметим на кальке точку M

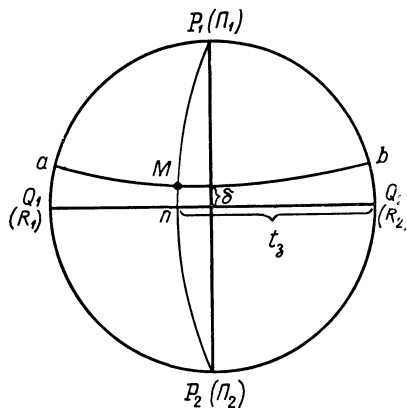


Рис. 30

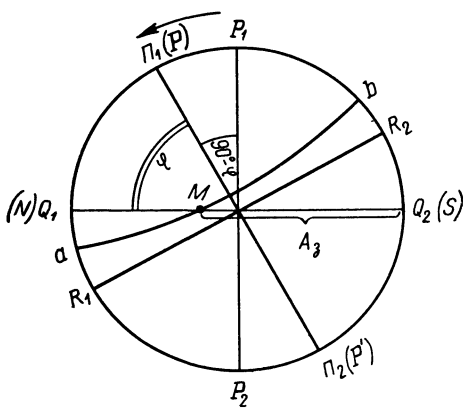


Рис. 31

пересечения скопированной параллели с экватором сетки Q_1Q_2 и, рассматривая сетку как горизонтальную систему координат, отсчитаем по ее экватору (истинному горизонту) от точки юга Q_2 азимут A_3 заходящего светила M .

Возвратив кальку в прежнее положение (см. рис. 30), отметим на кальке точку n , в которой круг склонения светила M пересекается с небесным экватором Q_1Q_2 , и от точки Q_2 отсчитаем ее часовой угол t_3 , равный часовому углу светила M .

Для восхода светила будем иметь

$$t_b = 360^\circ - t_3 \text{ и } A_b = 360^\circ - A_3$$

Продолжительность пребывания светила над горизонтом, очевидно, равна

$$\tau = 2t_3,$$

а так как $1^\circ = 4^m$, то в минутах

$$\tau = 8t_3$$

и в часах

$$\tau = \frac{2t_3}{15},$$

где t_3 выражен в градусах.

6. Определение продолжительности гражданских и астрономических сумерек.

Гражданские сумерки заканчиваются при погружении центра Солнца под горизонт на $h = -7^\circ$, а астрономические сумерки заканчиваются с наступлением полной темноты, при погружении центра Солнца под горизонт на $h = -18^\circ$. Приближенное значение продолжительности сумерек τ может быть определено по стереографической сетке.

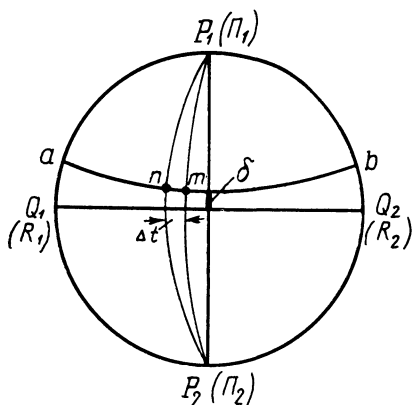


Рис. 32

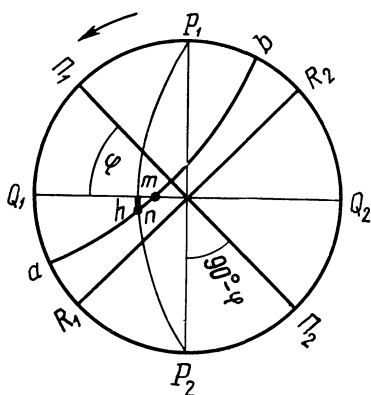


Рис. 33

Наложим кальку на стереографическую сетку, совместив их полюсы и экваторы. Принимая сетку за экваториальную систему координат, скопируем на кальку параллель сетки ab (небесную параллель), отстоящую от ее экватора Q_1Q_2 на величину склонения Солнца δ в данный день года (рис. 32). Затем, повернув кальку вокруг ее центра против часовой стрелки на угол $90^\circ - \varphi$ (рис. 33) и принимая сетку за горизонтальную систему координат, отметим на скопированной параллели две точки — точку m ее пересечения с истинным горизонтом и точку n , находящуюся под горизонтом на расстоянии h погружения центра Солнца под горизонт. Возвратив кальку в прежнее положение (см. рис. 32) и измерив по небесному экватору Q_1Q_2 расстояние Δt между кругами склонения точек m и n , найдем продолжительность сумерек в минутах:

$$\tau = 4 \cdot \Delta t, \text{ так как } 1^\circ = 4^m.$$

ЗАДАНИЕ

1. Приняв длину дуги в 1° равной 111,2 км, определить кратчайшее расстояние между городами: 1) Москвой и Ташкентом; 2) Ленинградом и Наманганом; 3) Мурманском и Оренбургом; 4) Архангельском и Целиноградом; 5) Батуми и Енисейском; 6) Тбилиси и Новосибирском; 7) Одессой и Свердловском; 8) Ялтой и Тобольском.

2*. Определить угловое расстояние между звездами:

- 1) Арктуром и Мицаром; Спикой и Регулом;
- 2) Вегой и Альтаиром; Бетельгейзе и Мирой;
- 3) Денебом и Вегой; Фомальгаутом и Альтаиром;
- 4) Алголем и Капеллой; Спикой и Арктуром;
- 5) Проционом и Поллуксом; Регулом и Антаресом;
- 6) Капеллой и Бетельгейзе; Денебом и Фомальгаутом;
- 7) Альдебараном и Кастором; Проционом и Мирой;
- 8) Мицаром и Регулом; Антаресом и Арктуром.

3*. По звездному атласу отождествить звезды, горизонтальные координаты которых измерены в данном городе в определенные моменты звездного времени:

№ варианта	Город	Момент по звездному времени	Высота	Азимут
1)	Москва	8 ^ч 48 ^м 5 ^ч 01 ^м	55°,5 4°,0	84°,0 332°,0
2)	Ленинград	1 ^ч 22 ^м 17 ^ч 42 ^м	18°,0 8°,0	243°,0 24°,0
3)	Волгоград	2 ^ч 27 ^м 19 ^ч 44 ^м	28°,0 17°,5	258°,5 37°,5
4)	Брянск	5 ^ч 51 ^м 23 ^ч 14 ^м	50°,0 16°,0	30°,5 339°,0
5)	Ялта	8 ^ч 31 ^м 18 ^ч 07 ^м	20°,5 3°,5	54°,0 213°,5
6)	Рязань	22 ^ч 07 ^м 12 ^ч 59 ^м	72°,5 5°,0	68°,0 319°,5
7)	Ашхабад	4 ^ч 12 ^м 11 ^ч 02 ^м	25°,0 34°,0	320°,0 124°,0
8)	Смоленск	20 ^ч 35 ^м 2 ^ч 10 ^м	12°,5 6°,0	106°,0 313°,0

4*. Определить горизонтальные координаты звезд в указанные моменты по звездному времени:

№ варианта	Город	Момент по звездному времени	Звезды
1)	Целиноград	17 ^ч 50 ^м	Арктур, ζ Стрельца;
2)	Баку	2 ^ч 26 ^м	Ригель, β Андромеды;
3)	Евпатория	13 ^ч 42 ^м	Вега, β Ворона;
4)	Тбилиси	10 ^ч 30 ^м	Бетельгейзе, α Гидры;
5)	Курск	4 ^ч 10 ^м	Сириус, γ Персея;
6)	Сретенск	19 ^ч 54 ^м	Мицар, α Козерога;
7)	Коканд	6 ^ч 05 ^м	Алголь, δ Большого Пса;
8)	Горький	11 ^ч 18 ^м	Капелла, δ Ворона.

5*. Определить высоту и азимут Солнца в Ялте и Петрозаводске в 4 часа дня по среднему времени: 1) 1 января и 1 июля; 2) 1 февраля

и 1 августа; 3) 1 марта и 1 сентября; 4) 1 апреля и 1 октября; 5) 1 мая и 1 ноября; 6) 1 июня и 1 декабря; 7) 15 января и 15 июля; 8) 15 февраля и 15 августа.

6*. По общим результатам пункта 5 построить график значений высоты, азимута и часового угла Солнца для одного и того же момента суток разных дней года в обоих городах и объяснить причину обнаруженной на графике закономерности изменения трех указанных координат Солнца.

7*. Определить часовые углы и азимуты точек восхода и захода Солнца, а также продолжительность гражданских и астрономических сумерек в тех же городах в те же дни года.

8*. По общим результатам пункта 7 построить графики изменения часовых углов и азимутов восхода и захода Солнца, а также продолжительности гражданских и астрономических сумерек на протяжении года в тех же городах.

9*. Из сопоставления построенных в пункте 8 графиков найти и объяснить закономерности изменения однородных величин на протяжении года в разных пунктах земной поверхности.

10. Определить эклиптические координаты звезд: 1) Бетельгейзе и β Скорпиона; 2) Веги и δ Большого Пса; 3) Проциона и ϵ Стрельца; 4) Денеба и α Ориона; 5) Спика и β Большой Медведицы; 6) Ригеля и γ Персея; 7) Арктура и β Козерога; 8) Фомальгаута и γ Большой Медведицы.

11. Определить эклиптические координаты Солнца:

- 1) 11 марта, 21 марта, 12 июня и 22 июня;
- 2) 13 сентября, 23 сентября, 12 декабря и 22 декабря;
- 3) 21 марта, 31 марта, 22 июня и 2 июля;
- 4) 23 сентября, 3 октября, 22 декабря и 1 января;
- 5) 12 марта, 22 марта, 13 июня и 23 июня;
- 6) 11 сентября, 21 сентября, 11 декабря и 21 декабря;
- 7) 22 марта, 1 апреля, 23 июня и 3 июля;
- 8) 24 сентября, 4 октября, 23 декабря и 2 января.

12. По результатам пункта 11 вычислить суточное изменение прямого восхождения и долготы Солнца вблизи дней равноденствий и солнцестояний и объяснить причину неравномерного изменения этих величин на протяжении года.

Отчет о работе представить по самостоятельно разработанной форме.

НЕКОТОРЫЕ ЗАДАЧИ ПРАКТИЧЕСКОЙ АСТРОНОМИИ

Цель работы. Изучение простейших методов определения географических и небесных координат и поправки часов.

Пособия: Астрономический календарь — постоянная часть; Астрономический календарь-ежегодник; географический глобус.

Литература: [1], глава III, § 21—23, 25; [2], глава VI, § 84—88, 90, 95, 96, 100.

Дополнительная: [7], глава VI, § 80, 83, 86, глава XI, § 111, глава XVI, § 152, 156; [22], глава III, § 10, 11, глава IV, § 13, 14, глава VI, § 20—23, глава VII, § 24, 25; [33], глава II, § 24.

Задачи: [3], № 126—128, 132—136; 172—176; 205, 206, 223, 228—232, 235, 236, 239—243; [4], № 44—50.

Разработка систем счета времени, определение и хранение точного времени, определение географических координат пунктов земной поверхности и местоположения кораблей и самолетов, а также решение многих других практических задач осуществляется методами практической астрономии. В основе всех этих методов лежит в конечном счете определение положений небесных светил в различных системах небесных сферических координат с точностью, необходимой для решения поставленной задачи.

Одним из астрономических инструментов, абсолютно необходимых для решения задач практической астрономии, являются точные часы и хронометры, проверка показаний которых проводится ежедневно по нескольку раз, как правило, в строго определенные моменты времени. Эта проверка сводится к определению поправки часов по отношению к моментам времени пункта, передающего радиосигналы точного времени.

Так, если они переданы Гринвичем, то поправка часов u_0 к гринвичскому времени T_0 будет

$$u_0 = T_0 - T_{\text{ч}}, \quad (1)$$

где $T_{\text{ч}}$ — показание часов в момент приема радиосигналов точного времени.

Поправка часов в других системах счета времени вычисляется по географической долготе λ и номеру часового пояса n пункта, часы которого проверяются. Пусть $T_{\text{м}}$, T_n и $T_{\text{д}}$ есть соответственно среднее, поясное и декретное время данного пункта в момент приема гринвичских радиосигналов точного времени T_0 , в который показание часов было $T_{\text{ч}}$. Тогда соответствующие поправки хронометра в указанных системах счета времени будут

$$u_{\text{м}} = T_{\text{м}} - T_{\text{ч}}, \quad (2)$$

$$u_n = T_n - T_{\text{ч}}, \quad (3)$$

$$u_{\text{д}} = T_{\text{д}} - T_{\text{ч}}. \quad (4)$$

Последовательно решая уравнения (2), (3), (4) совместно с выражением (1), получим:

$$u_m = u_0 + (T_m - T_0) = u_0 + \lambda, \quad (5)$$

$$u_n = u_0 + (T_n - T_0) = u_0 + n^ч \quad (6)$$

и

$$u_d = u_0 + (T_d - T_0) = u_0 + n^ч + 1^ч. \quad (7)$$

Если же принятые радиосигналы точного времени переданы по декретному времени T_d пункта, находящегося в часовом поясе n' , и, следовательно, непосредственно получена поправка часов u'_d к декретному времени часового пояса n' , т. е.

$$u'_d = T'_d - T_ч, \quad (8)$$

то проще всего найти в данный момент гринвичское время

$$T_0 = T'_d - (n' + 1^ч) \quad (9)$$

и по формулам (1), (5)—(7) вычислить требуемые поправки часов.

Используя значения звездного времени s_0 в среднюю гринвичскую полночь, приводимые в солнечной эфемериде астрономических календарей-ежегодников, можно на момент T_0 вычислить звездное гринвичское время S_0 и определить поправку звездных часов к звездному гринвичскому времени S_0 и к местному звездному времени S :

$$u_{s_0} = S_0 - S_ч, \quad (10)$$

$$u_s = S - S_ч, \quad (11)$$

или

$$u_s = u_{s_0} + \lambda, \quad (12)$$

где $S_ч$ — показание звездных часов в момент T_0 .

В практике постоянно приходится решать задачу определения географической долготы λ места по моментам местного среднего и звездного времени с использованием формул (5) и (12), что требует независимого определения поправки часов к местному времени. Эти поправки могут быть найдены различными методами. Один из них, дающий точность не выше $0^м,1$, состоит в определении момента $T_ч$ верхней кульминации Солнца по проверяемым часам. Так как в этот момент истинное солнечное время $T_{\odot} = 12^ч0^м$, то, зная уравнение времени η находим среднее время

$$T_m = T_{\odot} + \eta = 12^ч0^м + \eta,$$

откуда поправка часов

$$u_m = 12^ч0^м + \eta - T_ч. \quad (13)$$

Определение поправки часов указанным выше методом требует знания точного положения небесного меридиана.

Непосредственное определение поправки u_s звездных часов сводится к отсчету их показания S_q в момент верхней кульминации звезды с известным прямым восхождением α , а так как в этот момент звездное время

$$S = \alpha,$$

то

$$u_s = \alpha - S_q, \quad (14)$$

по которой можно вычислить поправки средних часов со значительно более высокой точностью, чем их дают наблюдения Солнца.

Поправки часов не остаются постоянными, а постепенно изменяются, что заставляет регулярно их определять. Изменения поправки часов за сутки и за час называются, соответственно, суточным (ω_c) и часовым (ω_q) ходом часов:

$$\omega_c = u_2 - u_1 \quad (15)$$

и

$$\omega_q = \frac{u_2 - u_1}{24}, \quad (16)$$

где u_2 и u_1 — поправки, полученные в моменты T_2 и T_1 , разделенные интервалом времени в одни сутки.

При положительном ходе часы постепенно отстают, т. е. их поправка увеличивается, а при отрицательном ходе — часы уходят вперед (спешат). Для любого момента времени T , заключенного в интервале $T_2 - T_1$, поправка часов

$$u = u_1 + \omega_q \cdot (T_q - T_{q1}), \quad (17)$$

где T_q и T_{q1} — показания часов для моментов T и T_1 , а разность $T_q - T_{q1}$ выражена в часах и его долях.

Вычисленная по формуле (17) поправка часов позволяет определять точное время T по показанию часов T_q в любой момент суток. Если же ход часов очень мал и на протяжении суток поправка часов изменяется в пределах допустимой точности отсчета времени, то в течение этих суток допустимо пользоваться одной поправкой.

Одной из основных задач практической астрономии является определение географических координат. Географическая долгота λ всегда вычисляется по разности среднего или звездного времени (в один и тот же физический момент) двух пунктов, долгота одного из которых известна. Географическая широта φ определяется по измерениям зенитного расстояния z звезд с известным склонением δ в моменты их верхней кульминации и, в зависимости от требуемой точности, с учетом или без учета рефракции.

ЗАДАНИЕ

1*. Определить поправку часов к среднему, поясному и декретному времени по их показанию в момент верхней кульминации Солнца:

№ варианта	Дата	Город	Показание часов
1)	19 января	Днепропетровск	11 ^ч 48 ^м 52 ^с
2)	8 февраля	Коканд	12 ^ч 09 ^м 21 ^с
3)	23 февраля	Орел	11 ^ч 51 ^м 07 ^с
4)	5 марта	Ташкент	12 ^ч 13 ^м 42 ^с
5)	21 марта	Петрозаводск	11 ^ч 40 ^м 22 ^с
6)	30 марта	Уфа	12 ^ч 15 ^м 05 ^с
7)	1 мая	Москва	11 ^ч 47 ^м 29 ^с
8)	17 мая	Красноводск	12 ^ч 21 ^м 35 ^с

2. Определить суточный и часовой ход хронометра по его поправкам на моменты времени T :

№ варианта	Дата	T	u	№ варианта	Дата	T	u
1)	2 января	12 ^ч 0 ^м 0 ^с	+9 ^м 22 ^с	5)	16 июня	23 ^ч 0 ^м 0 ^с	+0 ^м 10 ^с
	3 января	12 ^ч 0 ^м 0 ^с	+9 ^м 24 ^с		18 июня	23 ^ч 0 ^м 0 ^с	+0 ^м 03 ^с
	5 января	12 ^ч 0 ^м 0 ^с	+9 ^м 28 ^с		20 июня	23 ^ч 0 ^м 0 ^с	-0 ^м 04 ^с
2)	17 августа	15 ^ч 0 ^м 0 ^с	-2 ^м 35 ^с	6)	4 февраля	8 ^ч 0 ^м 0 ^с	-0 ^м 14 ^с
	19 августа	15 ^ч 0 ^м 0 ^с	-2 ^м 38 ^с		6 февраля	8 ^ч 0 ^м 0 ^с	-0 ^м 04 ^с
	21 августа	15 ^ч 0 ^м 0 ^с	-2 ^м 41 ^с		7 февраля	8 ^ч 0 ^м 0 ^с	+0 ^м 01 ^с
3)	20 апреля	19 ^ч 0 ^м 0 ^с	+5 ^м 10 ^с	7)	24 октября	16 ^ч 0 ^м 0 ^с	+4 ^м 18 ^с
	22 апреля	19 ^ч 0 ^м 0 ^с	+5 ^м 02 ^с		25 октября	16 ^ч 0 ^м 0 ^с	+4 ^м 21 ^с
	23 апреля	19 ^ч 0 ^м 0 ^с	+4 ^м 58 ^с		27 октября	16 ^ч 0 ^м 0 ^с	+4 ^м 27 ^с
4)	7 ноября	10 ^ч 0 ^м 0 ^с	-7 ^м 02 ^с	8)	9 мая	20 ^ч 0 ^м 0 ^с	-2 ^м 58 ^с
	8 ноября	10 ^ч 0 ^м 0 ^с	-6 ^м 59 ^с		11 мая	20 ^ч 0 ^м 0 ^с	-3 ^м 01 ^с
	10 ноября	10 ^ч 0 ^м 0 ^с	-6 ^м 53 ^с		13 мая	20 ^ч 0 ^м 0 ^с	-3 ^м 04 ^с

3. Определить точное время в момент показания того же хронометра: 1) 5 января, $T_{\text{ч}}=0^{\text{ч}}05^{\text{м}}26^{\text{с}}$; 2) 19 августа, $T_{\text{ч}}=2^{\text{ч}}58^{\text{м}}11^{\text{с}}$; 3) 21 апреля, $T_{\text{ч}}=7^{\text{ч}}52^{\text{м}}33^{\text{с}}$; 4) 9 ноября, $T_{\text{ч}}=21^{\text{ч}}57^{\text{м}}40^{\text{с}}$; 5) 19 июня, $T_{\text{ч}}=11^{\text{ч}}56^{\text{м}}05^{\text{с}}$; 6) 5 февраля, $T_{\text{ч}}=20^{\text{ч}}03^{\text{м}}52^{\text{с}}$; 6) Пскова; 7) 26 октября, $T_{\text{ч}}=4^{\text{ч}}02^{\text{м}}19^{\text{с}}$; 8) 10 мая, $T_{\text{ч}}=8^{\text{ч}}01^{\text{м}}38^{\text{с}}$.

4*. Определить поправку хронометра, идущего по московскому времени, к среднему, поясному и декретному времени: 1) Хабаровска; 2) Ленинграда; 3) Тбилиси; 4) Охотска; 5) Киева; 7) Сретенска; 8) Красноводска.

5*. Определить поправку городских часов, которые в момент передачи из Москвы 19-часового широкоэвещательного радиосигнала точного времени показывают: 1) в Омске 22^ч03^м; 2) в Улан-Удэ 23^ч56^м; 3) в Сретенске 1^ч05^м; 4) во Владивостоке 1^ч52^м; 5) в Енисейске 23^ч04^м; 6) в Чите 23^ч58^м; 7) в Нерчинске 1^ч06^м; 8) в Благовещенске 1^ч57^м.

6*. Определить поправку звездного хронометра по его показанию в момент верхней кульминации звезды:

- 1) β Тельца, $S_{\text{ч}} = 5^{\text{ч}}29^{\text{м}}28^{\text{с}}$;
- 2) γ Льва, $S_{\text{ч}} = 10^{\text{ч}}12^{\text{м}}33^{\text{с}}$;
- 3) η Волопаса, $S_{\text{ч}} = 13^{\text{ч}}56^{\text{м}}41^{\text{с}}$;

- 4) ϵ Гидры, $S_q = 8^h 31^m 48^s$;
 5) β Водолея, $S_q = 21^h 42^m 15^s$;
 6) β Кита, $S_q = 0^h 21^m 18^s$;
 7) δ Геркулеса, $S_q = 17^h 16^m 31^s$;
 8) δ Чаши, $S_q = 11^h 02^m 23^s$.

7*. Определить показание того же хронометра в момент нижней кульминации звезды: 1) ϵ Лебеда; 2) η Персея; 3) τ Ориона; 4) λ Андромеды; 5) ϵ Ворона; 6) δ Змееносца; 7) ρ Кормы; 8) η Рыб.

8. Вычислить экваториальные координаты звезд по измеренным зенитным расстояниям в моменты их верхней кульминации, которые отмечались по хронометру, идущему по звездному времени и имевшему в ночь наблюдений поправку u_s .

№ варианта	Город	u_s	S_q	z'
1)	Ташкент	$-2^m 52^s$	$17^h 33^m 13^s$ $19^h 15^m 25^s$	$78^\circ 18' S$ $26^\circ 16' N$
2)	Ленинград	$+1^m 19^s$	$20^h 14^m 04^s$ $23^h 36^m 02^s$	$72^\circ 36' S$ $17^\circ 25' N$
3)	Одесса	$-3^m 16^s$	$19^h 10^m 11^s$ $21^h 20^m 42^s$	$67^\circ 33' S$ $15^\circ 54' N$
4)	Москва	$+0^m 51^s$	$18^h 17^m 59^s$ $21^h 27^m 12^s$	$58^\circ 38' S$ $14^\circ 36' N$
5)	Ашхабад	$-1^m 06^s$	$17^h 45^m 20^s$ $19^h 17^m 06^s$	$77^\circ 48' S$ $15^\circ 32' N$
6)	Казань	$+3^m 21^s$	$18^h 39^m 18^s$ $22^h 05^m 50^s$	$82^\circ 43' S$ $2^\circ 10' N$
7)	Тбилиси	$-0^m 28^s$	$17^h 08^m 05^s$ $20^h 40^m 16^s$	$57^\circ 21' S$ $3^\circ 24' N$
8)	Горький	$+2^m 11^s$	$18^h 52^m 41^s$ $22^h 45^m 47^s$	$77^\circ 26' S$ $9^\circ 37' N$

9*. В момент показания S_q звездного хронометра экспедиция на территории Советского Союза приняла из Гринвича радиосигнал точного времени T_0 . В момент верхней кульминации звезды на зенитном расстоянии z' показание того же хронометра было S'_q . Определить географические координаты экспедиции:

№ варианта	Дата	S_q	T_0	Звезда	z'	S'_q
1)	12. X	$20^h 57^m 44^s$	$21^h 0^m 0^s$	β Возничего	$8^\circ 40' S$	$23^h 35^m 05^s$
2)	30. III	$7^h 04^m 57^s$	$19^h 0^m 0^s$	γ Большой Медведицы	$5^\circ 47' N$	$7^h 26^m 30^s$
3)	20. IV	$2^h 03^m 07^s$	$12^h 0^m 0^s$	δ Большой Медведицы	$6^\circ 06' S$	$3^h 42^m 54^s$
4)	15. II	$2^h 58^m 18^s$	$18^h 0^m 0^s$	λ Большой Медведицы	$3^\circ 12' N$	$5^h 29^m 23^s$
5)	10. XI	$14^h 48^m 41^s$	$15^h 0^m 0^s$	ϵ Кассиопеи	$7^\circ 37' S$	$16^h 34^m 14^s$
6)	18. V	$6^h 09^m 27^s$	$12^h 0^m 0^s$	α Дракона	$3^\circ 54' N$	$6^h 56^m 51^s$
7)	19. IX	$20^h 06^m 32^s$	$20^h 0^m 0^s$	δ Кассиопеи	$5^\circ 21' S$	$21^h 16^m 39^s$
8)	2. XII	$16^h 54^m 58^s$	$17^h 0^m 0^s$	γ Персея	$2^\circ 06' N$	$18^h 18^m 48^s$

10. Определить географические координаты пункта по измеренному положению одной звезды в моменты ее верхней и нижней кульминации и по радиосигналу точного времени, переданному из Москвы в $12^{\text{h}}00^{\text{m}}00^{\text{s}}$ и принятому в момент $T_{\text{м}}$ по среднему времени этого пункта:

- 1) $h'_{\text{в}} = 68^{\circ}32'S$, $z'_{\text{н}} = 78^{\circ}52'$, $T_{\text{м}} = 13^{\text{h}}32^{\text{m}}23^{\text{s}}$;
- 2) $z'_{\text{в}} = 12^{\circ}54'N$, $h'_{\text{н}} = 45^{\circ}20'$, $T_{\text{м}} = 19^{\text{h}}05^{\text{m}}22^{\text{s}}$;
- 3) $z'_{\text{в}} = 36^{\circ}40'S$, $z'_{\text{н}} = 77^{\circ}44'$, $T_{\text{м}} = 17^{\text{h}}57^{\text{m}}12^{\text{s}}$;
- 4) $h'_{\text{в}} = 83^{\circ}27'N$, $h'_{\text{н}} = 60^{\circ}51'$, $T_{\text{м}} = 13^{\text{h}}48^{\text{m}}17^{\text{s}}$;
- 5) $z'_{\text{в}} = 15^{\circ}15'S$, $h'_{\text{н}} = 25^{\circ}47'$, $T_{\text{м}} = 14^{\text{h}}28^{\text{m}}35^{\text{s}}$;
- 6) $h'_{\text{в}} = 88^{\circ}41'N$, $z'_{\text{н}} = 50^{\circ}15'$, $T_{\text{м}} = 11^{\text{h}}51^{\text{m}}30^{\text{s}}$;
- 7) $h'_{\text{в}} = 57^{\circ}50'S$, $h'_{\text{н}} = 21^{\circ}36'$, $T_{\text{м}} = 16^{\text{h}}43^{\text{m}}50^{\text{s}}$;
- 8) $z'_{\text{в}} = 9^{\circ}11'N$, $z'_{\text{н}} = 49^{\circ}25'$, $T_{\text{м}} = 15^{\text{h}}17^{\text{m}}42^{\text{s}}$.

11. Указать на географическом глобусе район следования корабля, определив его координаты по измеренной секстаном высоте Солнца в истинный полдень и по показанию в этот момент хронометра, идущего по гринвичскому времени, с поправкой u_0 :

№ ва- гранта	Дата	$h'_{\text{в}}$ (к югу от зенита)	$T_{\text{ч}}$	u_0
1)	28 марта	$40^{\circ}23'$	$2^{\text{h}}08^{\text{m}},3$	$-4^{\text{m}},6$
2)	3 февраля	$29^{\circ}46'$	$10^{\text{h}}02^{\text{m}},3$	$+3^{\text{m}},2$
3)	3 октября	$41^{\circ}47'$	$8^{\text{h}}41^{\text{m}},9$	$-7^{\text{m}},1$
4)	5 ноября	$24^{\circ}37'$	$1^{\text{h}}01^{\text{m}},8$	$+6^{\text{m}},6$
5)	10 октября	$35^{\circ}10'$	$13^{\text{h}}59^{\text{m}},4$	$-1^{\text{m}},8$
6)	27 июня	$41^{\circ}52'$	$9^{\text{h}}13^{\text{m}},7$	$+8^{\text{m}},5$
7)	29 мая	$39^{\circ}28'$	$1^{\text{h}}20^{\text{m}},8$	$-2^{\text{m}},7$
8)	16 августа	$35^{\circ}05'$	$23^{\text{h}}38^{\text{m}},1$	$+5^{\text{m}},3$

Отчет о работе представить по самостоятельно разработанной форме.

ЗАКОНЫ КЕПЛЕРА И КОНФИГУРАЦИИ ПЛАНЕТ

Цель работы. Изучение закономерностей в движении планет и вычисление их конфигураций.

Пособия: Астрономический календарь — постоянная часть или Справочник любителя астрономии; Астрономический календарь-ежегодник; Малый звездный атлас А. А. Михайлова; таблицы логарифмов; таблицы тригонометрических функций; логарифмическая линейка или арифмометр.

Литература: [1], глава IV, § 26—32; [2], глава II, § 34—40, глава III, § 61—64, 66.

Дополнительная: [8], глава I, § 2, 3, глава III, § 3—5, 10, 11; [9], глава первая, § 6, 7, глава вторая, § 7—11; [10], § 2.

Задачи: [3], № 386, 387, 390, 392, 393, 396, 398, 401, 402, 406, 408, 409, 412, 418, 426; [4], № 51—83, 197, 198.

Движение планет вокруг Солнца описывается законами Кеплера. Величина большой полуоси a орбиты планеты является средним расстоянием планеты от Солнца. Благодаря незначительным эксцентриситетам e и наклонениям i орбит больших планет, можно при решении многих задач полагать эти орбиты круговыми, имеющими радиус a и лежащими практически в одной плоскости — в плоскости эклиптики. Исключением являются орбиты планет Меркурия и Плутона, но и к ним часто применимо это допущение.

Угловая и линейная скорость планеты на орбите периодически изменяются в соответствии со вторым законом Кеплера, и их средние значения могут быть подсчитаны по среднему расстоянию a планеты от Солнца. В самом деле, средняя суточная угловая скорость планеты, называемая средним угловым движением планеты,

$$n = \frac{360^\circ}{T}, \quad (1)$$

где T — звездный (сидерический) период обращения планеты вокруг Солнца, выраженный в средних сутках.

Очевидно, для Земли

$$n_0 = \frac{360^\circ}{T_0}, \quad (2)$$

и тогда

$$n = n_0 \frac{T_0}{T}, \quad (3)$$

причем в формуле (3) T и T_0 могут быть выражены либо в сутках, либо в годах, но обязательно в одинаковых единицах времени.

Подставляя в формулу (3) отношение $\frac{T_0}{T}$, найденное из третьего закона Кеплера, получим n в функции среднего расстояния a планеты от Солнца.

Сравнивая среднюю линейную скорость движения планеты по орбите

$$v_a = \frac{2\pi a}{T}$$

со средней скоростью движения Земли

$$v_0 = \frac{2\pi a_0}{T_0}$$

и используя третий закон Кеплера, найдем зависимость v_a от a .

Формулы для n и v_a значительно упрощаются, если a выразить в а. е. и принять для Земли $n_0 \approx 1^\circ$ и $v_0 \approx 30$ км/сек.

Звездный T и синодический S периоды обращения планеты связаны между собой уравнением синодического движения, и проще всего вычислять эти периоды в годах, полагая для Земли ее звездный период обращения равным 1 (один год). В случае необходимости найденные значения S и T всегда могут быть выражены в сутках. Точно так же, третий закон Кеплера принимает наиболее простой вид при выражении T в годах и a в а. е.

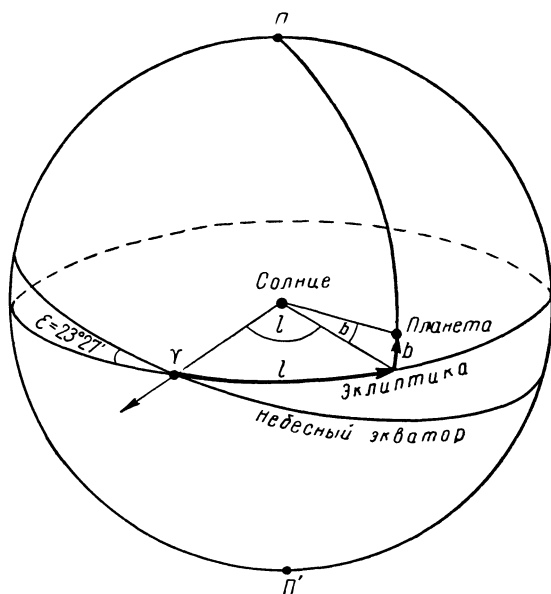


Рис. 34

Взаимное расположение планет легко устанавливается по их гелиоцентрическим эклиптическим сферическим координатам, значения которых на различные дни года публикуются в астрономических календарях-ежегодниках, в таблице под названием «гелиоцентрические долготы планет». Центром этой системы координат является центр

Солнца (рис. 34), а основным кругом — эклиптика, полюсы которой Π и Π' отстоят от нее на 90° . Большие круги, проведенные через полюсы эклиптики, называются кругами широты, и по ним отсчитывается от эклиптики гелиоцентрическая широта b , которая считается положительной в северном эклиптическом полушарии и отрицательной в южном эклиптическом полушарии небесной сферы. Гелиоцентрическая долгота l отсчитывается по эклиптике от точки весеннего равноденствия Υ против часовой стрелки до основания круга широты светила и имеет значения в пределах от 0° до 360° .

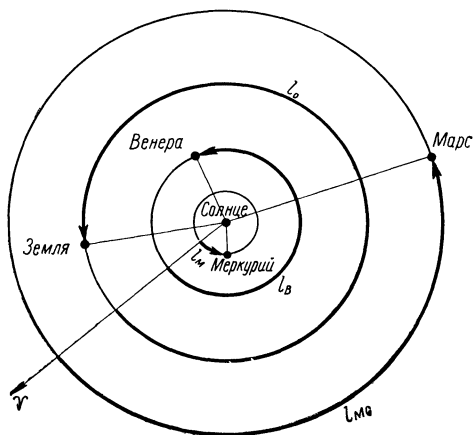


Рис. 35

Из-за малого наклона орбит больших планет к плоскости эклиптики (за исключением орбиты планеты Плутона) эти планеты всегда находятся вблизи эклиптики, и в первом приближении можно считать их гелиоцентрическую широту $b \approx 0^\circ$, определяя положение планеты относительно Солнца лишь одной ее гелиоцентрической долготой l . В этом случае расположение планет относительно Солнца изображается на чертеже, плоскость которого принимается за плоскость эклиптики (рис. 35)

и на котором одно из направлений принимается за направление на точку весеннего равноденствия Υ . Если задан день года, в который гелиоцентрическая долгота Земли l_0 имеет определенное значение, то сначала следует отметить на чертеже расположение Земли, а затем уже наносить на этот же чертеж расположения планет либо по их известной гелиоцентрической долготе l , либо по заданным конфигурациям. Гелиоцентрическая долгота Земли l_0 в определенные дни года может быть также найдена по геоцентрической долготой Солнца λ_\odot в эти же дни, так как если построить подобную систему эклиптических координат с началом в центре Земли, то всегда

$$\lambda_\odot = l_0 + 180^\circ, \quad (4)$$

поскольку Солнце и Земля всегда находятся на противоположных концах одного радиуса-вектора (рис. 36). Но геоцентрическая долгота λ планеты не связана подобной зависимостью со своей гелиоцентрической долготой l , что легко усматривается из чертежа (см. рис. 36), и равенство

$$l = \lambda + 180^\circ \quad (5)$$

действительно лишь для определенных конфигураций планет.

Построив по гелиоцентрическим долготам положения планет относительно Солнца, можно измерить транспортиром их геоцентрические долготы λ и по разности

$$\Delta\lambda = \lambda - \lambda_{\odot} \quad (6)$$

определить условия их видимости с Земли, полагая, что в среднем планета становится видимой при удалении от Солнца на угол около 15° . В действительности же условия видимости планет зависят не только от их удаления $\Delta\lambda$ от Солнца, но также от их склонения δ и от географической широты φ места наблюдения, которая влияет на продолжительность сумерек и на высоту планет над горизонтом.

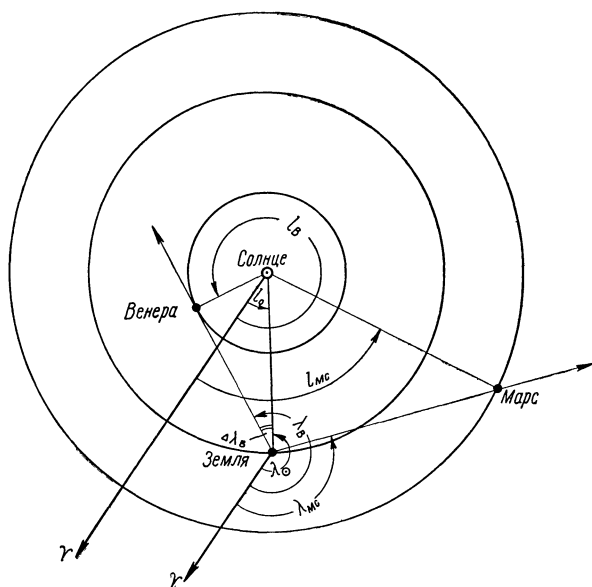


Рис. 36

Так как положение Солнца на эклиптике хорошо известно для каждого дня года, то по звездной карте и по значениям $\Delta\lambda$ легко указать созвездие, в котором находится планета в тот же день года. Решение этой задачи облегчается тем, что на нижнем обрезе карт Малого звездного атласа А. А. Михайлова красными числами проставлены даты, в которые отмеченные ими круги склонения кульминируют в среднюю полночь. Эти же даты показывают приблизительное положение Земли на своей орбите по наблюдениям с Солнца. Поэтому, определив по карте экваториальные координаты α_0 и δ_0 точки эклиптики, кульминирующей в среднюю полночь заданной даты, легко найти для этой же даты экваториальные координаты Солнца

$$\alpha_{\odot} \approx \alpha_0 + 12^{\text{ч}}$$

и

$$\delta_{\odot} \approx -\delta_0 \quad (7)$$

и по ним показать его положение на эклиптике.

По гелиоцентрической долготе планет легко вычислить дни (даты) наступления их различных конфигураций. Пусть в некоторый день года t_1 гелиоцентрическая долгота верхней планеты есть l_1 , а гелиоцентрическая долгота Земли — l_{01} (рис. 37). Верхняя планета движется медленнее Земли ($n < n_0$), которая догоняет планету, и в какой-то

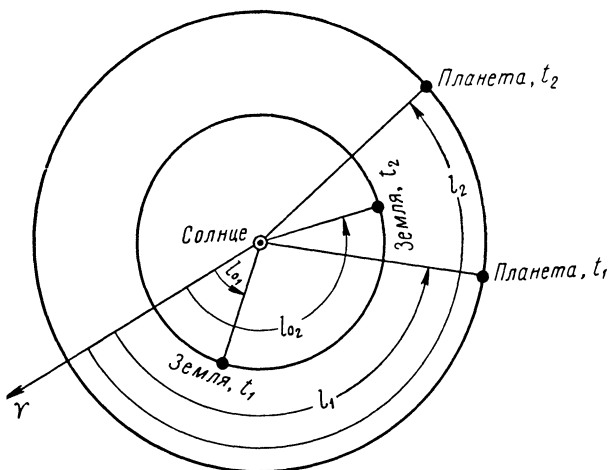


Рис. 37

день года t_2 при гелиоцентрической долготе планеты l_2 и Земли l_{02} наступит искомая конфигурация планеты. Тогда

$$l_2 = l_1 + n(t_2 - t_1) = l_1 + n \cdot \Delta t \quad (8)$$

и

$$l_{02} = l_{01} + n_0(t_2 - t_1) = l_{01} + n_0 \cdot \Delta t, \quad (9)$$

откуда, обозначив $l_2 - l_1 = \Delta l$, $l_{02} - l_{01} = \Delta l_0$ и $n_0 - n = \Delta n$, получим

$$\Delta t = \frac{\Delta l_0 - \Delta l}{\Delta n} = \frac{L}{\Delta n} \quad (10)$$

и найдем

$$t_2 = t_1 + \Delta t. \quad (11)$$

Легко видеть, что $\Delta l_0 - \Delta l = L$ представляет собой угловой путь Земли по орбите, проходимый Землей с относительной угловой скоростью $\Delta n = n_0 - n$ за промежуток времени Δt . Поэтому для вычисления Δt можно полагать планету неподвижной и, взяв разность L меж-

ду разностями гелиоцентрической долготы Земли и планеты в моменты времени t_2 и t_1 (или, найдя L по чертежу), сразу определить Δt . Для вычисления же гелиоцентрической долготы планеты l_2 и Земли l_{02} на дату t_2 используются формулы (8) и (9).

Очевидно, те же формулы (8)—(11) служат для вычисления дней наступления конфигураций нижних планет с той лишь разницей, что из-за большей скорости движения нижней планеты по сравнению со скоростью движения Земли в формулы следует подставлять $\Delta n = n - n_0$ и дугу L , которую пройдет нижняя планета от одной конфигурации до другой при условии неподвижной Земли (рис. 38).

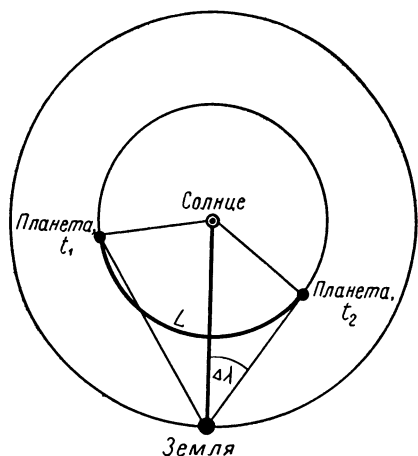


Рис. 38

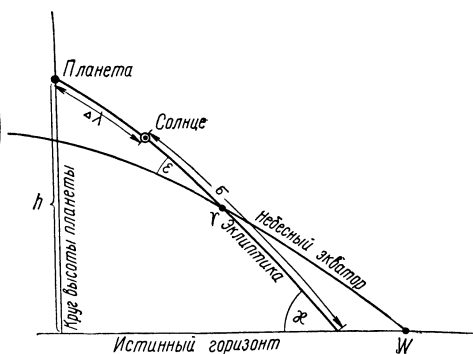


Рис. 39

Все рассмотренные выше задачи следует решать приближенно, округляя значения a до 0,01 а. е., T и S — до 0,01 года и Δt — до целых суток.

Пренебрегая незначительным наклоном орбит больших планет и полагая их находящимися на эклиптике, можно по величине углового удаления $\Delta \lambda$ планеты от Солнца вычислить ее высоту в определенный момент времени (рис. 39). Очевидно,

$$\sin h = \sin (\Delta \lambda + \sigma) \cdot \sin \kappa, \quad (12)$$

где σ — угловое расстояние Солнца от истинного горизонта, отсчитываемое вдоль эклиптики, а κ — угол между эклиптикой и истинным горизонтом в тот же момент времени.

ЗАДАНИЕ

1*. Вывести зависимость средней угловой и линейной скорости планеты от ее среднего расстояния от Солнца, выразив каждую скорость через соответствующую скорость Земли.

2*. Вычислить среднюю угловую и линейную скорость, а также сидерический и синодический периоды обращения планеты: 1) Меркурия; 2) Венеры; 3) Марса; 4) Юпитера; 5) Сатурна; 6) Урана; 7) Нептуна; 8) Плутона.

3*. По уравнению синодического движения и по общим результатам пунктов 1 и 2 построить на одном чертеже графики зависимости обоих периодов обращения, средней угловой и линейной скорости планет от их среднего расстояния от Солнца, указав пределы этих величин для больших планет Солнечной системы.

4*. Определить гелиоцентрическую долготу Земли и планет по их конфигурациям, сокращенно обозначенным:

нижнее соединение — н. с.; верхнее соединение — в. с.;

наибольшая восточная элонгация — в. э.;

наибольшая западная элонгация — з. э.;

соединение — с.; противостояние — п.;

западная квадратура — з. к.; восточная квадратура — в. к.

№ варианта	Дата	Меркурий	Венера	Марс	Юпитер
1)	21 марта	н. с.	з. э.	в. к.	с.
	22 июня	з. э.	в. э.	с.	п.
2)	23 сентября	в. с.	в. э.	п.	з. к.
	22 декабря	в. э.	з. э.	в. к.	с.
3)	21 марта	з. э.	н. с.	с.	в. к.
	22 декабря	в. с.	в. э.	з. к.	п.
4)	23 сентября	в. э.	н. с.	з. к.	с.
	22 июня	з. э.	в. э.	с.	п.
5)	22 декабря	н. с.	в. э.	с.	з. к.
	21 марта	з. э.	в. с.	в. к.	п.
6)	22 июня	в. с.	н. с.	з. к.	с.
	23 сентября	в. э.	з. э.	с.	п.
7)	21 марта	н. с.	в. с.	в. к.	з. к.
	22 июня	з. э.	в. э.	п.	с.
8)	23 сентября	в. э.	в. с.	з. к.	п.
	22 декабря	з. э.	в. э.	п.	с.

5. По известной дате указанной ниже конфигурации, взятой из Астрономического календаря-ежегодника, вычислить дату очередной такой же конфигурации планеты: 1) Меркурия (наибольшая западная элонгация); 2) Венеры (наибольшая восточная элонгация); 3) Марса (соединение); 4) Юпитера (противостояние); 5) Сатурна (соединение); 6) Урана (противостояние); 7) Нептуна (соединение).

6. Указать для тех же дат конфигурацию Земли по наблюдениям с той же планеты.

7. По значениям гелиоцентрической долготы определить видимость двух планет в заданный день года, указать созвездия, в которых находятся планеты, и вычислить ближайшие даты наступления их конфигураций:

№ варианта	Заданный день	Планеты	Конфигурация
1)	1 января	Меркурий Юпитер	Верхнее соединение Противостояние
2)	10 февраля	Венера Марс	Нижнее соединение Соединение
3)	2 марта	Меркурий Марс	Наибольшая восточная элонгация Противостояние
4)	11 апреля	Венера Юпитер	Верхнее соединение Соединение
5)	1 мая	Меркурий Юпитер	Наибольшая западная элонгация Противостояние
6)	10 июня	Венера Марс	Наибольшая восточная элонгация Соединение
7)	20 июля	Меркурий Марс	Нижнее соединение Противостояние
8)	9 августа	Венера Юпитер	Наибольшая западная элонгация Соединение

8. Для вычисленных в пункте 7 дат определить:

а) гелиоцентрическую долготу Земли и тех же планет;

б) геоцентрическую долготу тех же планет и Солнца.

9*. По известной дате определенной конфигурации планеты вычислить ближайший день наступления другой ее конфигурации:

№ варианта	Планеты	Дата	Конфигурация	Вычислить дату наступления
1)	Меркурий	21 февраля	Нижнее соединение	Наибольшей западной элонгации
	Венера	10 апреля	Нижнее соединение	Наибольшей восточной элонгации
2)	Меркурий	5 января	Верхнее соединение	Наибольшей восточной элонгации
	Венера	22 июня	Верхнее соединение	Наибольшей западной элонгации
3)	Меркурий	6 февраля	Наибольшая восточная элонгация	Нижнего соединения
	Венера	20 июня	Наибольшая западная элонгация	Верхнего соединения
4)	Меркурий	1 июня	Наибольшая восточная элонгация	Наибольшей западной элонгации
	Венера	20 июня	Наибольшая западная элонгация	Нижнего соединения
5)	Меркурий	20 марта	Наибольшая западная элонгация	Наибольшей восточной элонгации
	Венера	29 января	Наибольшая восточная элонгация	Нижнего соединения
6)	Меркурий	1 мая	Верхнее соединение	Наибольшей западной элонгации
	Венера	20 июня	Наибольшая западная элонгация	Наибольшей восточной элонгации
7)	Меркурий	8 сентября	Наибольшая восточная элонгация	Верхнего соединения
	Венера	10 апреля	Нижнее соединение	Наибольшей западной элонгации
8)	Меркурий	19 июля	Наибольшая западная элонгация	Наибольшей восточной элонгации
	Венера	29 января	Наибольшая восточная элонгация	Нижнего соединения

10. Вычислить синодический период обращения малой планеты:
 1) Андромахи, $a=482,76 \cdot 10^6$ км; 2) Фотографики, $a=331,51 \cdot 10^6$ км;
 3) Урании, $a=353,95 \cdot 10^6$ км; 4) Глазенапии, $a=327,77 \cdot 10^6$ км;
 5) Полигимнии, $a=429,65 \cdot 10^6$ км; 6) Эскулапии, $a=474,23 \cdot 10^6$ км;
 7) Психеи, $a=436,83 \cdot 10^6$ км; 8) Галатеи, $a=415,89 \cdot 10^6$ км.

11*. По синодическому периоду обращения, выраженному в годах, вычислить звездный период обращения и величину большой полуоси орбиты малой планеты: 1) Владилены, $S=1,398$; 2) России, $S=1,324$; 3) Лидии, $S=1,284$; 4) Москвы, $S=1,328$, 5) Бредихины, $S=1,215$; 6) Пулковы, $S=1,218$; 7) Белопольский, $S=1,191$; 8) Крымеи, $S=1,276$.

12. Пренебрегая наклоном орбиты Венеры, вычислить ее наибольшую возможную высоту в момент захода Солнца в: 1) Иркутске; 2) Ташкенте; 3) Краснодаре; 4) Москве; 5) Одессе; 6) Тбилиси; 7) Киеве; 8) Запорожье.

13. Указать время года, в которое Венера может иметь вычисленную высоту.

Отчет о работе № 15

Дата выполнения работы:

1. Вывод зависимостей:

2. Планета

$a =$

$$\sqrt{a} = \quad v_0 = \quad T = \quad \frac{1}{S} =$$

$$a\sqrt{a} = \quad 1 - T = \quad S =$$

$$n = \quad v_a = \quad T - 1 = \quad S =$$

3.

Планета	a	T	S	n	v_a

График прилагается:

Пределы: $a =$

$T =$

$S =$

$n =$

$v_a =$

4. Дата

Планета	$\Delta\lambda$	Δt	t
Земля			

Чертеж прилагается

5. Планета
Конфигурация

Дата $t_1 =$

$S =$

Дата $t_2 =$

6. Земля
7. Формулы:

Дата

Конфигурация

Планета	t_1	t_1	$\Delta\lambda$	Созвездие	n	Δn	Δt	L	Δt	t_2	Конфигурация

Чертеж прилагается.

8. Дата $t_2 =$ $\lambda_{\odot} =$

Небесное тело	t_1	$n \cdot \Delta t$	t_2	$\Delta\lambda_2$	λ_2
Земля Планета					

9.

Планета	t_1	Конфигурация (t_1)	$\Delta\lambda_1$	Δt_1	Конфигурация (t_2)	$\Delta\lambda_2$	Δt_2	L	n	Δn	Δt	t_2

10. Малая планета $a =$ км = $a.e.$
Формулы

$$\begin{aligned} \lg a &= T - 1 = \\ 3 \lg a &= S = \\ \lg T &= \\ T &= \\ a^3 &= \end{aligned}$$

11. Малая планета $S =$ $\lg T =$ $T^2 =$
 $S - 1 =$ $2 \lg T =$ $a =$
 $T =$ $\lg a =$

12 и 13. Чертеж прилагается.

Город $\varepsilon =$	$\varphi =$	$90^\circ - \varphi =$
Венера $\Delta\lambda =$	$z =$	$\sin z =$
Солнце $\sigma =$		$\sin(\Delta\lambda + \sigma) =$
$\Delta\lambda + \sigma =$		$\sin h =$
		$h =$

Время года

ДВИЖЕНИЕ ПЛАНЕТ И ЭЛЕМЕНТЫ ОРБИТ НЕБЕСНЫХ ТЕЛ

Цель работы. Построение орбит по их элементам. Определение эксцентриситета земной орбиты и оценка его влияния на смену времен года на Земле.

Пособия: Астрономический календарь — постоянная часть; Астрономический календарь-ежегодник; таблицы тригонометрических функций; логарифмическая линейка или арифмометр.

Литература: [1], глава IV, § 30, глава VI, § 52; [2], глава II, § 40, 41.

Дополнительная: любой курс аналитической геометрии, раздел о кривых второго порядка; [8], глава III, § 4, 5, 7; [9], глава вторая, § 7—10, 14; [10], § 2, 7.

Задачи: [3], № 444, 446—450, 452; [4], № 84—95.

Каждая эллиптическая орбита полностью определяется пятью геометрическими элементами, характеризующими ее размеры, форму и положение в пространстве, и одним кинематическим или временным элементом, который определяет положение тела на орбите в некоторый момент времени.

Ориентация орбит всех тел Солнечной системы определяется по отношению к плоскости эклиптики (плоскости земной орбиты), принятой за основную плоскость. Плоскость орбиты любого тела Солнечной системы (рис. 40)

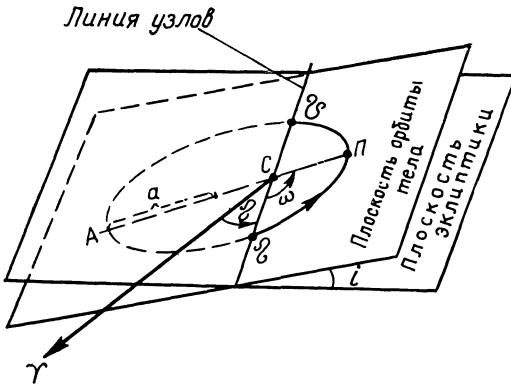


Рис. 40

пересекается с плоскостью эклиптики под углом i , называемым наклоном орбиты, значения которого для орбит различных тел могут лежать в пределах от 0° до 180° . При обращении тела вокруг Солнца против часовой стрелки, т. е. в направлении движения Земли, называемого прямым движением, наклонение $0^\circ < i < 90^\circ$; при обратном движении тела, т. е. по часовой стрелке, наклонение лежит в пределах от 90° до 180° . Прямая линия, по которой плоскость орбиты тела пересекается с плоскостью эклиптики, называется линией узлов орбиты. Точки пересечения линии узлов с эклиптикой называются узлами орбиты. Узел, в котором тело при своем движении переходит из южного эклиптического полушария в северное эклиптическое полушарие, называется восходящим узлом орбиты и обозначается знаком Ω (знак дракона); диаметрально противоположный узел орбиты, в котором тело переходит из северного эклиптического полушария в

ожное, называется нисходящим узлом орбиты ϑ^* . Линия узлов всегда проходит через Солнце S и ее положение определяется гелиоцентрической долготой восходящего узла, обозначаемой тем же знаком Ω и отсчитываемой в плоскости эклиптики от точки весеннего равноденствия Υ всегда против часовой стрелки, в пределах от 0° до 360° . Элементы орбиты i и Ω определяют положение плоскости орбиты в пространстве. Сама же орбита может иметь различную ориентацию в своей плоскости и эта ориентация определяется угловым расстоянием ω перигелия P орбиты от восходящего узла Ω , отсчитываемым всегда в сторону движения тела; при прямом движении тела ($0^\circ < i < 90^\circ$) ω отсчитывается против часовой стрелки, а при обратном ($90^\circ < i < 180^\circ$) — по часовой стрелке. Размеры и форма орбиты определяются ее большой полуосью a и эксцентриситетом e . Эти пять элементов i , Ω , ω , a и e полностью определяют эллиптическую орбиту небесного тела и позволяют изобразить ее в пространстве или в проекции на плоскость эклиптики**.

Орбиты почти всех больших планет имеют небольшие наклонения i и небольшие эксцентриситеты e , и поэтому на чертеже (в плоскости эклиптики) изображаются концентрическими окружностями, радиусы которых пропорциональны большим полуосям a орбит.

Наклонения и эксцентриситеты орбит малых планет (астероидов) значительно более разнообразны и доходят до $i=52^\circ$ (астероид Бетулия) и $e=0,827$ (астероид Йкар), так что ряд астероидов движется по орбитам, характерным для комет, орбиты которых имеют самые различные наклонения (от 0° до 180°) и, как правило, значительные эксцентриситеты. Орбиты некоторых комет, появление которых вблизи Солнца наблюдалось только однажды, считаются параболическими, хотя в действительности они могут быть и эллиптическими, с эксцентриситетами близкими к единице и с большой полуосью в несколько тысяч астрономических единиц. В виде примера укажем вторую комету 1889 г., большая полуось орбиты которой $a=6948$ а. е. и эксцентриситет $e=0,9997$, а период обращения вокруг Солнца $T=579\ 200$ лет. Естественно, что на протяжении небольшого промежутка времени наблюдения таких комет вблизи Солнца бывает трудно отличить параболическую орбиту от чрезвычайно вытянутой эллиптической. Этим и объясняется, почему кометные орбиты, как правило, определяют четырьмя элементами — i, Ω, ω и расстоянием перигелия орбиты от Солнца, называемым перигельным расстоянием $m q$, и только для периодических комет дается еще период обращения T , по которому можно вычислить большую полуось a и эксцентриситет орбиты e .

Взаимное расположение орбит Земли и другого небесного тела может быть показано на чертеже, плоскость которого принимается за плоскость эклиптики и при построении которого наклонением $i < 20^\circ$ и $i > 160^\circ$ пренебрегают, используя его только для определения на-

* На плоскостных чертежах (например, на рис. 40) узлы приходится изображать точками пересечения орбиты с плоскостью эклиптики.

** Часто (например, для больших планет) вместо ω дается долгота перигелия π , которая отсчитывается так же, как и долгота восходящего узла Ω .

правления движения тела по орбите. При $20^\circ < i < 160^\circ$ линейные элементы орбиты умножаются на $\cos i$.

По значениям a и e эллиптической орбиты вычисляют перигельное расстояние q , афелийное расстояние Q (т. е. расстояние афелия орбиты от Солнца) и малую полуось орбиты

$$b = a\sqrt{1-e^2}. \quad (1)$$

Выбрав в соответствии со значением a подходящий масштаб, проводят на листе бумаги окружность радиусом a_0 , изображающим в принятом масштабе одну астрономическую единицу ($a_0=1$ а. е.). Эта окружность представит земную орбиту (рис. 41), а ее центр C — Солнце, из которого произвольно проводится луч — направление на точку весеннего равноденствия Υ . От этого луча при центре окружности, по транспортиру, откладывается против часовой стрелки угол Ω и в этом направлении через центр окружности проводится прямая, изображающая линию узлов, концы которой обозначаются знаками Ω' и Υ' в соответствии с направлениями из Солнца на узлы орбиты.

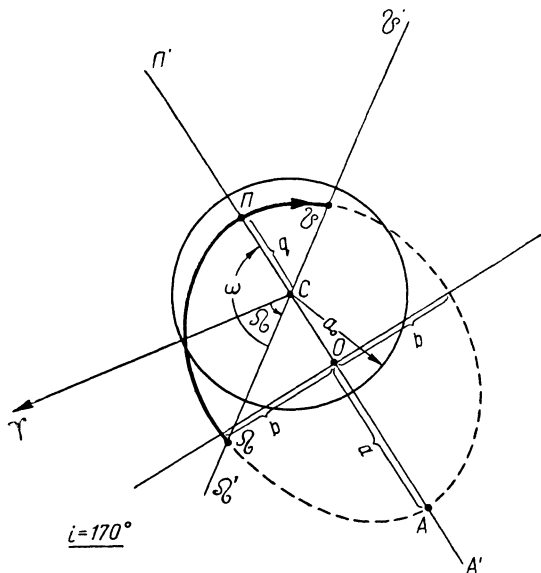


Рис. 41

От направления Ω' , также при центре окружности, откладывается угол ω в сторону движения тела, определяемого по наклонению орбиты i . Проведенная через Солнце в направлении ω прямая изобразит линию апсид, на которой лежит большая ось орбиты; эта линия в направлении ω обозначается буквой Π' (направление на перигелий), а в противоположном направлении — буквой A' (направление на афелий). Затем от Солнца по линии апсид, в сторону Π' откладывается q (в выбранном масштабе), и тогда полученная точка изобразит перигелий орбиты Π . В противоположном направлении от Солнца откладывается Q , определяющее афелий орбиты A . Отрезок ΠA делится пополам и через его центр O проводится перпендикуляр, по которому в обе стороны откладывается значение малой полуоси орбиты b . По полученным четырем точкам можно схематически изобразить орбиту небесного тела. Для построения же эллипса требуется большее число его точек, которые отыскиваются следующим образом. На большой оси ΠA эллипса, на расстоянии $q'=q$ от афелия A , отмечается

другой его фокус F (рис. 42), и из него различными произвольными радиусами R (при $q < R < a + c$) проводятся дуги; подобные же дуги радиусами $r = 2a - R$ проводятся из «Солнца» C . Точки пересечения соответственных дуг принадлежат эллипсу и по ним строится эллиптическая орбита небесного тела, которая пересекается с линией узлов в восходящем Ω и нисходящем \mathcal{U} узлах. Направление движения небесного тела отмечается на орбите стрелкой. Часть орбиты от Ω до \mathcal{U} (по движению тела) очерчивается более интенсивной линией, а остальная часть орбиты изображается пунктиром (см. рис. 41).

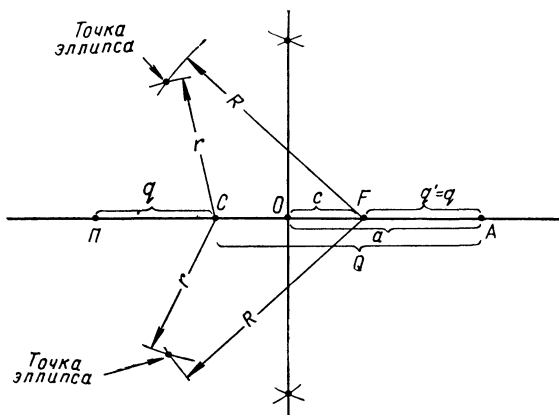


Рис. 42

Построение параболической орбиты небесного тела, вплоть до положения перигелия Π , полностью повторяет построение эллиптической орбиты. Для изображения самой параболы используют ее определение как геометрического места точек, расстояния которых от фокуса (C) и от директрисы равны между собой. Поэтому через точку D оси параболы, отстоящую на расстоянии q от ее вершины Π (и на $2q$, от C), проводят прямую, перпендикулярную к оси и являющуюся директрисой параболы, на которой откладывают произвольные равные (впрочем, это не обязательно) отрезки, и через их концы k, l, m, \dots проводят прямые kK, lL, mM, \dots , параллельные оси параболы (рис. 43). Концы k, l, m, \dots этих отрезков соединяют с фокусом параболы — «Солнцем» C и через середину полученных отрезков kC, lC, mC, \dots проводят перпендикуляры до пересечения с соответствующими прямыми kK, lL, mM, \dots . Полученные точки пересечения n, s, t, \dots являются точками параболы и соединяются плавной кривой. Определение положения узлов и расположения частей параболической орбиты относительно плоскости эклиптики производится так же, как и для эллиптической орбиты.

Видимый диаметр Солнца с разных планет имеет различные размеры, и даже с одной и той же планеты его размеры периодически меняются в некоторых пределах, зависящих от эксцентриситета пла-

нетной орбиты. Так как видимый диаметр d солнечного диска обратно пропорционален расстоянию планеты от Солнца, то наибольший видимый диаметр d_m и наименьший видимый диаметр d_n Солнца найдутся в отношении

$$\frac{d_m}{d_n} = \frac{Q}{q} = \frac{1+e}{1-e}, \quad (2)$$

что позволяет определить эксцентриситет орбиты планеты, а затем вычислить пределы изменения ее расстояния от Солнца. В частности эксцентриситет земной орбиты может быть определен по значениям видимого углового радиуса Солнца, публикуемым в астрономических ежегодниках, в разделе «Физические координаты».

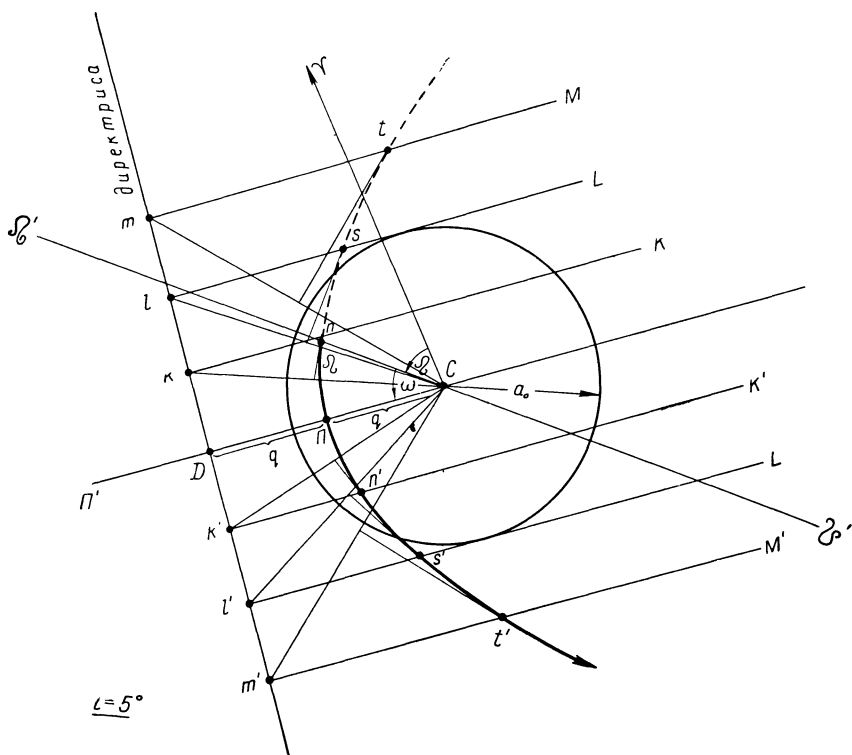


Рис. 43

Эксцентриситет e орбиты нижней планеты надежно определяется по значениям ее наибольшей элонгации, которые зависят от величины радиуса-вектора r планеты. Очевидно, значение наибольшей элонгации $\Delta\lambda_1$ планеты (рис. 44) при прохождении ею перигелия ($r=q < a$)

будет меньше значения наибольшей элонгации $\Delta\lambda_2$ при прохождении планетой афелия своей орбиты ($r=Q>a$). Тогда

$$q = r_{0_1} \cdot \sin \Delta\lambda_1 \quad (3)$$

и

$$Q = r_{0_2} \cdot \sin \Delta\lambda_2, \quad (4)$$

где r_{0_1} и r_{0_2} — значения радиуса-вектора Земли в моменты наибольшей элонгации планеты. В первом приближении (по крайней мере, для определения эксцентриситета орбиты Меркурия) можно считать $r_{0_1}=r_{0_2}=a_0=1$ а. е.

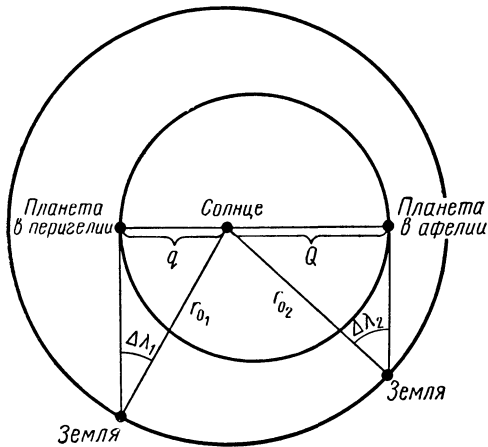


Рис. 44

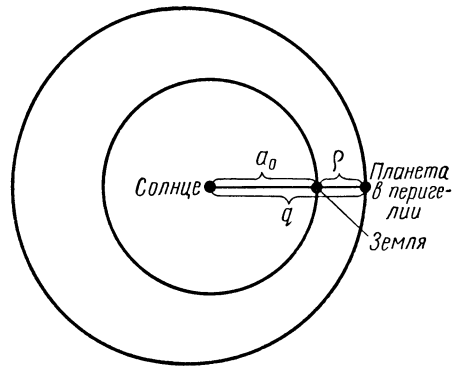


Рис. 45

Разделив выражение (4) на равенство (3) и выразив q и Q в функции большой полуоси a и эксцентриситета e орбиты планеты, получим простое выражение, из которого легко вычислить эксцентриситет e .

Эксцентриситет орбиты верхней планеты может быть вычислен по значению большой полуоси a ее орбиты и геоцентрическому расстоянию ρ в эпоху ее наиболее близкого (великого) противоястия (рис. 45), для которого

$$q = a_0 + \rho. \quad (5)$$

Линейная скорость планеты в разных точках ее орбиты определяется интегралом энергии*:

$$v^2 = \mu \left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right),$$

где r — расстояние планеты от Солнца (радиус-вектор планеты).

* В небесной механике это выражение часто называется интегралом живых сил, что нельзя признать удачным, поскольку в него входит не только кинетическая, но и потенциальная энергия.

Полагая r поочередно равным a , q и Q , получим формулы для линейной скорости планеты на среднем ее расстоянии от Солнца (v_a) в перигелии (v_q) и в афелии (v_Q), а разделив равенства для v_q и v_Q на равенство для v_a , получим выражения v_q и v_Q через среднюю скорость планеты v_a . Расстояния следует выражать в а. е., а v — в км/сек.

Времена года на Земле зависят от количества тепла, получаемого разными участками земной поверхности при различных положениях Земли на своей орбите. Если обозначить через I_q количество тепла, получаемого от Солнца Землей при прохождении ею своего перигелия, а через I_Q — при прохождении афелия, то относительное изменение количества тепла

$$\frac{I_q}{I_Q} = \frac{Q^2}{q^2}. \quad (6)$$

Относительное же изменение количества тепла из-за изменения склонения Солнца на протяжении года можно подсчитать для разных мест Земли по зенитному расстоянию Солнца z_1 и z_2 в полдень в дни летнего и зимнего солнцестояния, так как в первом случае количество тепла

$$E_1 = E_0 \cdot \cos z_1,$$

а во втором случае

$$E_2 = E_0 \cdot \cos z_2,$$

где E_0 — количество тепла от Солнца, находящегося в зените. Поэтому

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{\cos z_1}{\cos z_2}. \quad (7)$$

Сравнивая между собой результаты, полученные по формулам (6) и (7), можно сделать вывод о степени влияния эксцентриситета земной орбиты и наклона земной оси на смену времен года на Земле.

ЗАДАНИЕ

1*. Вывести формулы перигельного и афелийного расстояния в функции большой полуоси и эксцентриситета орбиты.

2*. Подсчитать промежутки времени, в течение которых Солнце проходит свой путь по эклиптике от точки весеннего до точки осеннего равноденствия и от точки осеннего до точки весеннего равноденствия, вычислить среднюю суточную угловую скорость Солнца за эти промежутки времени и указать соответствующие им сезоны года.

3*. По значениям видимого углового радиуса Солнца определить даты прохождения Землей перигелия и афелия своей орбиты.

4*. По значениям видимого углового радиуса Солнца вычислить эксцентриситет земной орбиты и пределы изменения радиуса-вектора Земли на протяжении года.

5*. По результатам пунктов 2—4 сформулировать вывод о характере изменения скорости движения Земли вокруг Солнца на протяжении года, установить дни, в которые она имеет минимальное и максимальное значение, и вычислить эти значения скорости.

6*. Определить отношение количества тепла, получаемого Землей от Солнца в перигелии и афелии, и отношение количества тепла, получаемого от Солнца в дни летнего и зимнего солнцестояния районами города: 1) Целинограда; 2) Москвы; 3) Ленинграда; 4) Новгорода; 5) Якутска; 6) Новосибирска; 7) Омска; 8) Сретенска.

7*. По результатам пункта 6 сформулировать вывод о зависимости смены времен года на Земле от эксцентриситета земной орбиты и от наклона земной оси.

8. Вычислить эксцентриситет орбиты планеты: 1) Меркурия — по значениям его наибольшей элонгации, меняющимся в пределах от 18° до 28° ; 2) Марса — по геоцентрическому расстоянию в эпоху великого противостояния, равному $56 \cdot 10^6$ км; 3) Юпитера — по геоцентрическому расстоянию в эпоху перигельного противостояния, равному $590 \cdot 10^6$ км; 4) Сатурна — по геоцентрическому расстоянию в эпоху перигельного противостояния, равному $1197 \cdot 10^6$ км; 5) Урана — по геоцентрическому расстоянию в эпоху перигельного противостояния, равному $2585 \cdot 10^6$ км; 6) Нептуна — по геоцентрическому расстоянию в эпоху перигельного противостояния, равному $4308 \cdot 10^6$ км; 7) Плутона — по геоцентрическому расстоянию в эпоху перигельного противостояния, равному $4285 \cdot 10^6$ км.

9. Вычислить средний угловой диаметр Солнца и относительное его изменение, видимое с планеты: 1) Меркурия; 2) Венеры; 3) Марса; 4) Юпитера; 5) Сатурна; 6) Урана; 7) Нептуна; 8) Плутона.

10. Вычислить линейную скорость той же планеты в перигелии и афелии и объяснить причину ее изменения.

11*. Построить на плоскости эклиптики орбиту Земли и проекции орбит Венеры, Марса, двух малых планет и двух комет, пренебрегая при построении наклоном орбит:

№ варианта	Малые планеты	Кометы
1)	Палес, Адонис	1835 I и 1927 I Неуймина II
2)	Офелия, Гермес	1833 и 1910 II Галлея
3)	Колхида, Аполлон	1826 III и 1945 II
4)	Поэзия, Икар	1702 и 1866 I
5)	Симеиза, Адонис	1931 IV и 1906 V Финлея
6)	Моцартия, Гермес	1930 VII и 1855 II
7)	Узбекистания, Аполлон	1862 II и 1949 III
8)	Гармония, Икар	1905 IV и 1864 II

12. Вычислить максимальные и минимальные расстояния от Солнца тех же комет и малых планет, сопоставить отношение этих расстояний с эксцентриситетом их орбит и сформулировать вывод о форме орбит этих небесных тел.

Отчет о работе № 16

Дата выполнения работы:

1. Формулы: $q =$ $Q =$

2.

День	Δt (дни)	n_{\odot}	Сезоны года
Весеннего равноденствия $t_1 =$ Осеннего равноденствия $t_2 =$	$t_2 - t_1 =$ $t_1 - t_2 =$		

3—4.

Солнце	Дата	Точка земной орбиты	Скорость Земли
Наибольший угловой радиус $r_m =$ Наименьший угловой радиус $r_n =$			

$$\frac{r_m}{r_n} =$$

$$e =$$

5. Земля

$$a_0 = 1 \text{ а. е.}$$

$$e =$$

$$v_0 = 29,8 \text{ км/сек}$$

$$Q =$$

$$q =$$

$$\frac{Q}{q} =$$

$$v_Q = \quad , \text{ дата}$$

$$v_q = \quad , \text{ дата}$$

$$\sqrt{\frac{Q}{q}} =$$

Вывод:

6 и 7. Земля

$$\frac{Q}{q} =$$

$$\frac{I_q}{I_Q}$$

Город \quad , $\varphi =$

22. VI, Солнце $\delta_1 =$

$$z_1 =$$

22. XII, Солнце $\delta_2 =$

$$z_2 =$$

$$\frac{E_1}{E_2} =$$

$$\cos z_1 =$$

$$\cos z_2 =$$

Вывод:

8. Планета

$$\Delta\lambda_1 =$$

$$\Delta\lambda_2 =$$

$$\sin \Delta\lambda_1 =$$

$$\sin \Delta\lambda_2 =$$

$$\left| \frac{\sin \Delta\lambda_1}{\sin \Delta\lambda_2} \right| = \quad e =$$

Планета \quad , $a =$

$$a_0 =$$

$$\rho =$$

$$q =$$

$$\left| \frac{q}{a} \right| =$$

$$e =$$

9. Земля, $a_0 = 1$ а. е., угловой радиус Солнца $r_{\odot} = 16'$

Планета , $a =$, $e =$, $q =$, $Q =$

Угловой диаметр Солнца $d_{\odot} = \frac{d_{\odot \text{макс}}}{d_{\odot \text{мин}}} =$

10. Земля, $v_0 = 29,8$ км/сек

Планета $a =$ $e =$

$\sqrt{a} =$ $v_a =$ $q =$ $Q =$

$\frac{Q}{q} =$ $\sqrt{\frac{Q}{q}} =$ $v_q =$ $v_Q =$

11 и 12. Земля, $a_0 = 1$ а. е.

Небесное тело	a (а. е.)	e	e^2	$1 - e^2$	$\sqrt{1 - e^2}$	b (а. е.)	i

Небесное тело	Ω	ω	q	Q	$\frac{Q}{q}$	Форма орбиты

ВЫЧИСЛЕНИЕ ЭФЕМЕРИДЫ МАЛОЙ ПЛАНЕТЫ

Цель работы. Вычисление видимых положений небесных тел по элементам их орбит.

Пособия: Астрономический ежегодник СССР (на определенный год); Малый звездный атлас А. А. Михайлова; арифмометр; таблицы тригонометрических функций и их логарифмов.

Литература: [1], глава VI, § 53—55; [2], глава II, § 41.

Дополнительная: [8], глава I, § 3, глава III, § 5, 10, 11, глава IV, § 1, 2, 5—7; [9], глава вторая, § 7—12, 18, глава третья, § 20.

Задачи: [3], № 458—460, 462.

Эфемеридой называется таблица, содержащая координаты видимых положений небесного тела на определенные моменты времени.

Как правило, эфемерида содержит экваториальные координаты — прямое восхождение α и склонение δ , но иногда в ней даются геоцентрические расстояния ρ небесного тела, выраженные в астрономических единицах.

Эфемериды планет и комет вычисляются по элементам их орбит: наклонению i , долготе восходящего узла Ω , расстоянию ω перигелия от восходящего узла, большой полуоси a , эксцентриситету e орбиты и моменту t_0 положения тела в какой-либо точке своей орбиты.

Период обращения T тела вокруг Солнца связан с большой полуосью орбиты a третьим законом Кеплера и поэтому известен.

Пусть требуется вычислить экваториальные координаты планеты на некоторый момент времени t , причем известно ее положение на орбите в предшествующий момент времени t_0 .

Прежде всего, по периоду обращения планеты T , выраженному в средних сутках, вычисляется угловой путь n , проходимый планетой за сутки, в предположении ее равномерного движения по круговой орбите радиусом a ; этот суточный угловой путь называется средним суточным угловым движением планеты (или средним движением) и находится по формуле

$$n = \frac{360^\circ}{T}. \quad (1)$$

Тогда (рис. 46) положение P_0 планеты на такой круговой орбите в момент времени t_0 определяется ее угловым расстоянием M_0 , отсчитываемым от перигелия Π в направлении движения тела и называемым

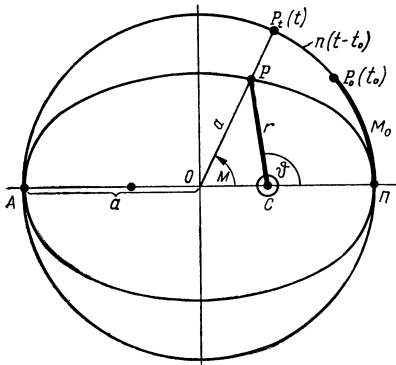


Рис. 46

средней аномалией в эпоху, а сам момент t_0 — эпохой средней аномалии, или просто — эпохой. Очевидно, что средняя аномалия в эпоху

$$M_0 = n(t_0 - T_0), \quad (2)$$

где T_0 — момент прохождения планеты через перигелий, причем разность $t_0 - T_0$ выражена в сутках и их долях.

Аналогично, положение P_t планеты на момент времени t определяется средней аномалией

$$M = n(t - T_0) \quad (3)$$

или

$$M = M_0 + n(t - t_0). \quad (4)$$

В действительности же, согласно первому закону Кеплера, планета движется по эллиптической орбите, в одном из фокусов которой находится Солнце C (см. рис. 46), и положение P планеты на ее орбите в каждый момент времени t определяется ее радиусом-вектором r и истинной аномалией ϑ , отсчитываемой от перигелия в сторону движения планеты. Очевидно, что в момент T_0

$$r = q = a(1 - e) \quad \text{и} \quad \vartheta = 0^\circ.$$

Величины r и ϑ являются полярными координатами, определяющими положение планеты в плоскости ее орбиты, и вычисляются по средней аномалии M :

$$r = a \left[1 - e \cos M - \frac{e^2}{2} (\cos 2M - 1) - \frac{e^3}{8} (3 \cos 3M - 3 \cos M) \right] \quad (5)$$

и

$$\begin{aligned} \vartheta = M + 57^\circ,2958 \left[2e \sin M + \frac{5}{4} e^2 \cdot \sin 2M + \right. \\ \left. + \frac{e^3}{12} (13 \sin 3M - 3 \sin M) \right], \quad (6) \end{aligned}$$

где множитель $57^\circ,2958$ служит для перевода радианной меры в градусную.

Однако при упрощенном решении задачи, когда a дается не точнее четырех значащих цифр и M не точнее $1'$, в формулах (5) и (6) можно отбросить члены с e^3 , и тогда

$$r = a(1 - e \cdot \cos M + e^2 \cdot \sin^2 M) = a \cdot \Delta_1 \quad (5')$$

и

$$\vartheta = M + 57^\circ,2958 (2e \cdot \sin M + 1,25e^2 \cdot \sin 2M) = M + 57^\circ,2958 \cdot \Delta_2. \quad (6')$$

Правильность вычислений может быть проверена по уравнению эллипса

$$r = \frac{a(1 - e^2)}{1 + e \cos \vartheta},$$

подстановкой в него значения истинной аномалии ϑ , найденного по формуле (6) или (6').

Используя значение ϑ , находят сферические координаты планеты, определяющие ее положение P' на небесной сфере с центром в Солнце (рис. 47). Эти координаты (гелиоцентрическая долгота l и гелиоцентрическая широта b) вычисляются по формулам:

$$\sin b = \sin(\omega + \vartheta) \cdot \sin i, \quad (7)$$

$$\sin(l - \Omega) \cdot \cos b = \sin(\omega + \vartheta) \cdot \cos i, \quad (8)$$

$$\cos(l - \Omega) \cdot \cos b = \cos(\omega + \vartheta). \quad (9)$$

По формуле (7) находят b , а деля выражение (8) на равенство (9), получают

$$\operatorname{tg}(l - \Omega) = \operatorname{tg}(\omega + \vartheta) \cdot \cos i, \quad (10)$$

по которому определяют $(l - \Omega)$ и, следовательно, l .

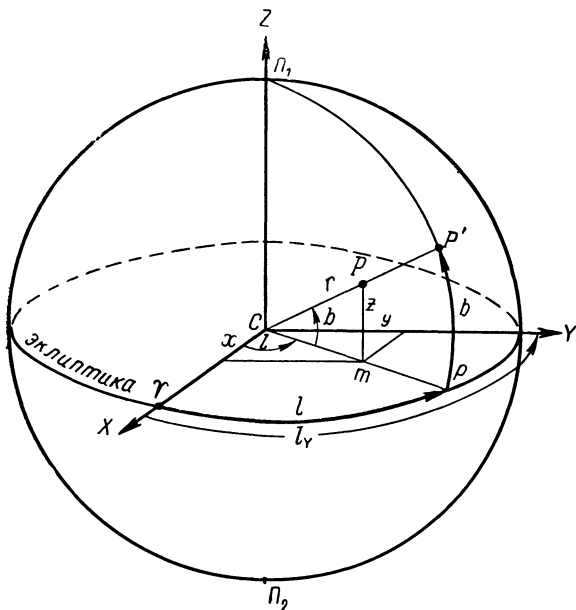


Рис. 47

Значение $(l - \Omega)$ выбирается по знакам $\sin(l - \Omega)$ и $\cos(l - \Omega)$ в формулах (8) и (9). Так как всегда $\cos b > 0$, то знак $\sin(l - \Omega)$ определяется знаком правой части формулы (8), а знак $\cos(l - \Omega)$ повторяет знак $\cos(\omega + \vartheta)$.

Опустив из положения P планеты перпендикуляр Pm на плоскость эклиптики (рис. 47), вычисляют прямоугольные гелиоцентрические эклиптические координаты планеты x , y и z : по оси x , проходящей через точку весеннего равноденствия Υ , по оси y , лежащей в плоскости эклиптики и имеющей гелиоцентрическую долготу $l_\Upsilon = 90^\circ$, и по оси z , направленной в северный полюс Π_1 эклиптики.

Очевидно,

$$x = r \cdot \cos b \cdot \cos l, \quad (11)$$

$$y = r \cdot \cos b \cdot \sin l, \quad (12)$$

$$z = r \cdot \sin b, \quad (13)$$

где r — радиус-вектор планеты.

Правильность вычислений проверяется тождеством

$$x^2 + y^2 + z^2 = r^2. \quad (14)$$

Повернув систему координат вокруг оси x на угол $\varepsilon = 23^\circ 27'$, найдем прямоугольные гелиоцентрические экваториальные координаты планеты x_0 , y_0 и z_0 , определяющие положение планеты относительно плоскости небесного экватора:

$$x_0 = x, \quad (15)$$

$$y_0 = y \cdot \cos \varepsilon - z \cdot \sin \varepsilon, \quad (16)$$

$$z_0 = z \cdot \cos \varepsilon + y \cdot \sin \varepsilon. \quad (17)$$

Теперь, не меняя направления осей прямоугольной экваториальной системы координат, перенесем ее начало в центр Земли O , при-

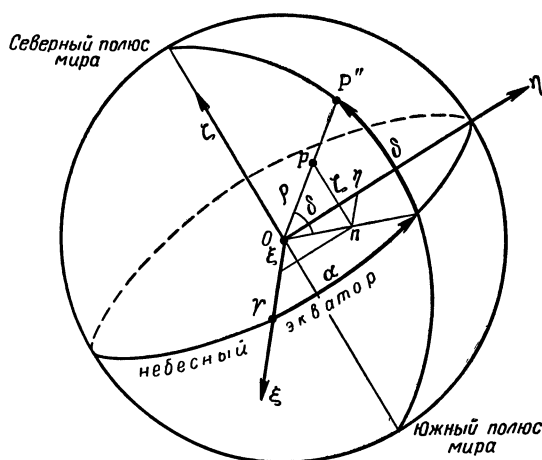


Рис. 48

бавив для этого к x_0 , y_0 и z_0 значения прямоугольных экваториальных координат X_0 , Y_0 и Z_0 Солнца относительно центра Земли, публикуемые в астрономических ежегодниках для каждого дня года. Тогда получим прямоугольные геоцентрические экваториальные координаты планеты (рис. 48):

$$\xi = x_0 + X_0, \quad (18)$$

$$\eta = y_0 + Y_0, \quad (19)$$

$$\zeta = z_0 + Z_0, \quad (20)$$

по которым вычисляются ее сферические экваториальные координаты α и δ , определяющие видимое положение P'' планеты на небесной сфере, и геоцентрическое расстояние ρ :

$$\rho \cdot \cos \delta \cdot \cos \alpha = \xi, \quad (21)$$

$$\rho \cdot \cos \delta \cdot \sin \alpha = \eta, \quad (22)$$

$$\rho \cdot \sin \delta = \zeta. \quad (23)$$

Деля выражение (22) на равенство (21), находят

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\eta}{\xi}, \quad (24)$$

причем α выбирается по знакам ξ и η , определяющим знаки $\cos \alpha$ и $\sin \alpha$ в формулах (21) и (22).

Найдя по таблицам тригонометрических функций значения $\sin \alpha$ и $\cos \alpha$, делят уравнение (23) на выражение (22) или на (21) и получают

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{\zeta}{\eta} \cdot \sin \alpha, \quad (25)$$

или

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{\zeta}{\xi} \cdot \cos \alpha. \quad (26)$$

Взяв из таблиц тригонометрических функций значение $\sin \delta$, вычисляют по формуле (23) величину ρ , которая всегда положительна. Правильность вычислений α , δ и ρ проверяется тождеством

$$\rho^2 = \xi^2 + \eta^2 + \zeta^2. \quad (27)$$

Запись вычислений ведется по одной из приведенных ниже схем, в зависимости от использования арифмометра или таблиц логарифмов тригонометрических функций.

Пример вычислений на арифмометре и схема записи

Вычислить положение малой планеты (787) Москвы на 3^ч по московскому времени 1 мая 1962 г.

Эта дата сокращенно записывается так: 1962, V, 1, 3^ч; но так как все вычисления проводятся по гринвичскому (всемирному) времени, то она запишется: $t = 1962, V, 1, 0^ч$. Так как M_0 дано на 1900 г., то к 1962 г. планета совершила несколько целых оборотов (k) вокруг Солнца, которые необходимо исключить при вычислениях.

Схема записи вычислений

Выписываем элементы орбиты			
1950.0	$a^3 16.387064$	$\cos M - 0.58920$	$2M 467^\circ 48' = 107^\circ 48'$
$i = 14^\circ.9 = 14^\circ 54'$	$T 4.0481$ года	$\sin M - 0.80799$	$\sin 2M + 0.95213$
$\Omega = 184^\circ 42'$	$t - t_0 62$ года	$\sin^2 M + 0.65285$	$e^2 \cdot \sin^2 M + 0.01536$
$= 184^\circ 42'$	121 сутки	$e^2 = 0.01613$	$1.25e^2 \cdot \sin 2M$
$\omega = 123^\circ.4$	$t - t_0 62.3313$ года	$e^2 \sin^2 M + 0.01053$	$+ 0.01920$

$\omega = 123^{\circ}24'$	$k = \frac{t-t_0}{T} \cdot 15 \text{ об.}$	$(1 + e^2 \sin^2 M)$	$2e \cdot \sin M = 0.20523$
$a = 2.540 \text{ а. е.}$		$+ 1.01053$	$\Delta_2 = 0.18603$
$e = 0.127$		$e \cdot \cos M = -0.07483$	$57^{\circ}.296 \Delta_2 = 10^{\circ}.6$
$t_0 = 1900 \text{ I, 0, 0}^{\text{ч}}$	рогов	$\Delta_1 + 1.08536$	$M 90^{\circ}.7$
$M_0 = 90^{\circ}.7 = 90^{\circ}42'$	$15T 60.7215 \text{ года}$	$r 2.7568 \text{ а. е.}$	$\vartheta 80^{\circ}.1$
Дата $t = 1962, \text{ V, 1, 0}^{\text{ч}}$	$t \rightarrow t_0 1.6098 \text{ года}$		$\vartheta 80^{\circ}06'$
	$T 1478.5 \text{ суток}$		
	$n 0^{\circ}.24349$		
	$t-t_0 588.0 \text{ суток}$		
	$n(t-t_0) 143^{\circ}.2$		
	$M_0 90^{\circ}.7$		
	$M 233^{\circ}.9$		
	$M 233^{\circ}54'$		

$(\omega + \vartheta) 203^{\circ}30'$	$\cos(\omega + \vartheta) < 0$	$\cos b + 0.99473$	$\cos b + 0.99473$
$\sin(\omega - \vartheta) = -0.39875$	$\text{tg}(\omega + \vartheta) + 0.43481$	$\cos l + 0.88701$	$\sin l + 0.46175$
	$\cos i + 0.96638$	$\cos b \cdot \cos l + 0.88234$	$\cos b \cdot \sin l + 0.45932$
$\sin i + 0.25713$	$\text{tg}(l - \Omega) + 0.42019$		
$\sin b = 0.10253$	$\sin(l - \Omega) < 0$	$r 2.7568 \text{ а. е.}$	$r 2.7568 \text{ а. е.}$
	$\cos(l - \Omega) < 0$	$x + 2.4324 \text{ а. е.}$	$y + 1.2663 \text{ а. е.}$
	$l - \Omega 202^{\circ}48'$	Контроль	$\sin b = 0.10253$
	$\Omega 184^{\circ}42'$	$x^{25}.9166$	$r 2.7568 \text{ а. е.}$
	$l 387^{\circ}30'$	$y^2 1.6035$	$z = 0.2827 \text{ а. е.}$
$b = -5^{\circ}53'$	$l 27^{\circ}30'$	$z^2 0.0799$	
		<hr/>	
		$\Sigma 7.6000$	
		$r^2 7.5999$	
		<hr/>	

Разность 0.0001 или 0.0014 %

$\epsilon 23^{\circ}27'$	$x + 2.4324 \text{ а. е.}$	$y + 1.2663 \text{ а. е.}$	$z = 0.2827 \text{ а. е.}$
$\cos \epsilon + 0.91741$		$y \cdot \cos \epsilon$	$y \cdot \sin \epsilon$
$\sin \epsilon + 0.39795$		$+ 1.16172 \text{ а. е.}$	$+ 0.50392 \text{ а. е.}$
		$z \cdot \sin \epsilon$	$z \cdot \cos \epsilon$
		$- 0.11250 \text{ а. е.}$	$- 0.25935 \text{ а. е.}$
Из ежегодника	$x_0 + 2.4324 \text{ а. е.}$	$y_0 + 1.2742 \text{ а. е.}$	$z_0 + 0.2446 \text{ а. е.}$
1962, V, 1	$X + 0.7702 \text{ а. е.}$	$Y_0 + 0.5961 \text{ а. е.}$	$Z_0 + 0.2585 \text{ а. е.}$
Всегда $\cos \delta > 0$	$\xi + 3.2026 \text{ а. е.}$	$\eta + 1.8703 \text{ а. е.}$	$\zeta + 0.5031 \text{ а. е.}$
	$\cos \alpha > 0$	$\sin \alpha + 0.50428$	
	$\text{tg} \alpha + 0.58399$	$\frac{\zeta}{\eta} + 0.26899$	
	$\alpha 30^{\circ}17'$	$\text{tg} \delta + 0.13565$	$\sin \delta + 0.13442$
	$\alpha = 2^{\text{ч}}01^{\text{м}}.1$	$\delta = + 7^{\circ}44'$	$\rho = 3.7427 \text{ а. е.}$

Контроль $\xi^2 = 10.2566$
 $\eta^2 = 3.4980$
 $\zeta^2 = 0.2531$

$\Sigma = 14.0077$
 $\rho^2 = 14.0078$

Разность 0,0001 или 0,0007 %

Результат: момент 1962, V, 1, 0^ч:
 гелиоцентрические координаты: $l = 27^{\circ}30'$, $b = -5^{\circ}53'$, $r = 2.757 \text{ а. е.}$;
 геоцентрические координаты: $\alpha = 2^{\text{ч}}01^{\text{м}}.1$, $\delta = + 7^{\circ}44'$, $\rho = 3.743 \text{ а. е.}$

Схема записи при вычислениях с логарифмами

i	$\lg a$	T		
Ω	$3\lg a$	$\lg 360$		
ω	$\lg T$	$\lg T$		
a	T	$\lg n$		
e	$t-t_0$	$t-t_0$		
t_0	$t-t_0$	$\lg (t-t_0)$		
M_0	$\lg (t-t_0)$	$\lg [n(t-t_0)]$		
Дата t	$\lg T$	$n(t-t_0)$		
	$\lg k$	M_0		
	$\lg (kT)$	M		
	kT	M		
	$t-t_0$			
$\lg e$		$\lg e$	$1,25 e^2 \cdot \sin 2M$	
$\lg \cos M$	$\lg \Delta_1$	$\lg \sin M$	$2e \cdot \sin M$	
$\lg (e \cdot \cos M)$	$\lg a$	$\lg 2$	Δ_2	
$\lg \sin M$	$\lg r$	$\lg (2e \cdot \sin M)$	$\lg \Delta_2$	
$2\lg \sin M$		$2M$	$\lg 57,2958$	
$2\lg e$	r	$\lg \sin 2M$	$\lg (57,2958 \cdot \Delta_2)$	
$\lg (e^2 \cdot \sin^2 M)$		$2\lg e$	$57,296 \cdot \Delta_2$	
$e^2 \cdot \sin^2 M$		$\lg 1,25$	M	
$e \cdot \cos M$		$\lg (1,25 e^2 \cdot \sin 2M)$	\emptyset	
			\emptyset	
Δ_1				
$\omega + \vartheta$	Знак $\cos (\omega + \vartheta)$	$\lg \cos b$	$\lg \cos b$	$\lg \sin b$
$\lg \sin (\omega + \vartheta)$	$\lg \operatorname{tg} (\omega + \vartheta)$	$\lg \cos l$	$\lg \cos l$	
$\lg \sin i$	$\lg \cos i$	$\lg r$	$\lg r$	$\lg r$
$\lg \sin b$	$\lg \operatorname{tg} (l - \Omega)$	$\lg x$	$\lg y$	$\lg z$
	Знак $\sin (l - \Omega)$	x	y	z
	Знак $\cos (l - \Omega)$	Контроль:		
	$(l - \Omega)'$	$2 \lg x$	$2 \lg y$	$2 \lg z$
	$l - \Omega$	x^2		
	Ω	y^2		
		z^2		
		<hr/>		
		\sum		$2 \lg r$
		r^2		
b	l	Разность		
ε	$\lg \sin \varepsilon$	$\lg \cos \varepsilon$		
	$\lg z$	$\lg z$		
	$\lg (z \cdot \sin \varepsilon)$	$\lg (z \cdot \cos \varepsilon)$		
	$\lg \cos \varepsilon$	$\lg \sin \varepsilon$		
	$\lg y$	$\lg y$		
	$\lg (y \cdot \cos \varepsilon)$	$\lg (y \cdot \sin \varepsilon)$		
	$y \cdot \cos \varepsilon$	$y \cdot \sin \varepsilon$		
	$z \cdot \sin \varepsilon$	$z \cdot \cos \varepsilon$		
x_0	y_0	z_0		
X_0	Y_0	Z_0		
ξ	η	ζ		
$\lg \xi$	$\lg \eta$	$\lg \zeta$	$\lg \zeta$	
	$\lg \xi$	$\lg \eta$	$\lg \sin \delta$	
	$\lg \operatorname{tg} \alpha$	$\lg \frac{\zeta}{\eta}$		
	Знак $\sin \alpha$	$\lg \sin \alpha$		
	Знак $\cos \alpha$			
	α'	$\lg \delta$	$\lg \rho$	
	α			
	α	δ	ρ	

Контроль:	$2 \lg \xi$	$2 \lg \eta$	$2 \lg \zeta$
	ξ^2		
	η^2		
	ζ^2		$2 \lg \rho$
	<hr style="width: 100%;"/>		
	Σ		
	ρ^2		
	<hr style="width: 100%;"/>		

Разность

Результат: момент
 гелиоцентрические координаты l b r
 геоцентрические координаты a δ ρ

ЗАДАНИЕ

1*. Вычислить на гринвичскую полночь 7 ноября 19.. г. видимое положение и геоцентрическое расстояние малой планеты: 1) (52) Европы; 2) (187) Ламберты; 3) (1094) Сибири; 4) (1071) Бриты; 5) (251) Софии; 6) (790) Претории; 7) (372) Пальмы; 8) (164) Евы.

2*. По звездному атласу указать звезды, вблизи которых находится в этот момент малая планета.

Отчет о работе представить по указанной в тексте схеме.

ЗАКОН ВСЕМИРНОГО ТЯГОТЕНИЯ И ЗАДАЧА ДВУХ ТЕЛ

Цель работы. Определение масс небесных тел и изучение гравитационного ускорения.

Пособия: Астрономический календарь — постоянная часть или Справочник любителя астрономии; таблицы логарифмов; логарифмическая линейка или арифмометр.

Литература: [1], глава VI, § 47, 49—51; [2], глава II, § 42—45, 48—51, 58.

Дополнительная: [8], глава I, § 3—6, глава III, § 1—5; [9], глава первая, § 1—5, 7—12; [10], § 3, 6, 7, 10; [20], глава 2, § 5, 6.

Задачи: [3], № 656—659, 664, 667—669, 672, 675, 676, 693, 698, 709—711; [4], № 96—127.

Из закона всемирного тяготения вытекают, как следствия, все три закона Кеплера, которые Ньютон вывел математически в более общем виде, применимом не только к обращению планет вокруг Солнца, но и к любым системам обращающихся небесных тел.

Задача определения орбиты одного небесного тела относительно другого называется задачей двух тел. При решении этой задачи небесное тело большей массы M , называемое центральным телом, полагается неподвижным и определяется орбита, по которой тело меньшей массы m движется относительно центрального тела. Ньютон показал, что в поле тяготения центрального тела любое другое небесное тело будет двигаться по одному из конических сечений — кругу, эллипсу, параболе или гиперболе, причем центральное тело всегда находится в одном из фокусов орбиты движущегося тела, линейная скорость v которого относительно центрального на данном расстоянии r определяется интегралом энергии:

$$v^2 = f(M + m) \left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right) = \mu \left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right), \quad (1)$$

где $\mu = f(M + m)$, a — большая полуось орбиты, r — радиус-вектор движущегося тела, f — гравитационная постоянная.

Согласно интегралу энергии, каждому расстоянию r от центрального тела соответствует ряд значений скорости v , определяющих род орбиты движущегося тела. Так, чтобы небесное тело обращалось вокруг центрального по круговой орбите радиуса $r=a$, оно должно на данном расстоянии $r=a$ обязательно иметь величину орбитальной скорости $v=v_a$, причем, согласно выражению (1),

$$v_a = \sqrt{\mu \left(\frac{2}{a} - \frac{1}{a} \right)} = \sqrt{\frac{\mu}{a}}, \quad (2)$$

или

$$v_a = \sqrt{\frac{\mu}{r}}. \quad (3)$$

Эта скорость v_a называется круговой скоростью.

Если на расстоянии r от центрального тела скорость v движущегося тела несколько превышает v_a , соответствующую расстоянию r , то

такое тело также будет спутником центрального и будет двигаться вокруг него по эллиптической орбите, большая полуось которой a может быть вычислена по интегралу энергии. Чем больше v превышает v_a , тем более вытянутой будет эллиптическая орбита ($0 < e < 1$). Наконец, если на данном расстоянии r от центрального тела скорость движущегося тела

$$v = v_a \sqrt{2}, \quad (4)$$

то оно уже не будет спутником центрального тела, а пройдет мимо него по параболической орбите. В самом деле, при подстановке

$$v^2 = 2v_a^2 = \frac{2\mu}{r}$$

в интеграл энергии получим $\frac{1}{a} = 0$, т. е. $a = \infty$, что характеризует параболическую орбиту ($e=1$). Поэтому скорость

$$v_{\text{п}} = v_a \sqrt{2} = \sqrt{\frac{2\mu}{r}} \quad (5)$$

называется параболической скоростью.

При $v > v_{\text{п}}$ движение тела происходит по гиперболе ($e > 1$).

При вычислении тех или иных величин приходится пользоваться самыми различными единицами измерений. Так, расстояния между небесными телами выражаются и в километрах ($км$), и в астрономических единицах (а. е.), массы небесных тел — в массах Земли, массах Солнца, а иногда и в граммах ($г$), время — в годах, средних солнечных сутках и в секундах, линейная скорость, как правило, — в $км/сек$ и т. д. Однако это отнюдь не означает, что при решении задач можно пользоваться произвольными единицами измерений — все зависит от условий решаемой задачи. Если однородные физические величины входят в уравнение в виде отношения, то они могут быть выражены в любых соответствующих, но обязательно одинаковых единицах измерения, вне зависимости от единиц измерения других величин, входящих в то же уравнение. Если же уравнением связаны разнородные физические величины, то все они должны быть выражены обязательно в одной определенной системе единиц.

Часто приходится применять абсолютную систему единиц СГС, в которой масса выражается в граммах ($г$), расстояние — в сантиметрах ($см$), время — в секундах ($сек$), скорость — в $см/сек$, ускорение — в $см/сек^2$, и тогда гравитационная постоянная $f = 6,668 \cdot 10^{-8} г^{-1} \cdot см^3 \cdot сек^{-2}$. В Международной системе единиц СИ, практически не используемой в астрономии, масса выражается в $кг$, расстояние — в $м$, время — в $сек$, скорость — в $м/сек$ и $f = 6,668 \cdot 10^{-11} кг^{-1} \cdot м^3 \cdot сек^{-2}$. Следует предупредить о бессмысленности вычисления масс небесных тел с точностью до $1 г$ или $1 кг$, а расстояний — с точностью до $1 см$ или $1 м$; речь идет лишь об их выражении в системе СГС или СИ, и поэтому при вычислениях достаточно ограничиваться числом из трех-четырёх значащих цифр, умножая его на 10 в определенной степени n (т. е. 10^n), полученной при вычислениях.

В астрономии часто применяется гауссова система единиц, в которой массы небесных тел выражаются в массах Солнца, единицей длины является астрономическая единица (а. е.), а единицей времени — средние солнечные сутки.

Если же массы небесных тел выражать в солнечных массах, расстояния — в астрономических единицах, а скорость — в км/сек, то $f=885,95$ и $\sqrt{f}=29,76$.

Полагая в равенстве (1) массу Солнца $M=1$ и пренебрегая в сравнении с массой Солнца малыми массами его спутников ($m=0$), получим $\mu=f=885,95$, и тогда скорость небесных тел в поле тяготения Солнца определится как

$$v = 29,76 \sqrt{\frac{2}{r} - \frac{1}{a}}, \quad (6)$$

где r и a — в астрономических единицах (а. е.), а v — в км/сек.

Выражение (6) позволяет вычислить скорость планет и комет на любом расстоянии r от Солнца. Положив в формуле (6) $a=r$, можно найти значение круговой скорости

$$v_a = \frac{29,76}{\sqrt{r}} \quad (7)$$

и значение параболической скорости $v_n = v_a \sqrt{2}$ на произвольном расстоянии r от Солнца.

При подстановке в равенство (7) $r=a$ и делении на него выражения (6), получается удобная формула для вычисления скорости v тел (в поле тяготения Солнца) по их круговой скорости v_a .

Из интеграла энергии (1) весьма просто выводится третий закон Кеплера в обобщенном виде, для чего достаточно эллиптическое движение спутника заменить движением по круговой орбите радиусом a , равным большой полуоси его эллиптической орбиты. Тогда круговая скорость спутника

$$v_a = \frac{2\pi a}{T}, \quad (8)$$

где T — период обращения спутника вокруг центрального тела, а так как, согласно формуле (2),

$$v_a = \sqrt{f \frac{M+m}{a}},$$

то

$$\frac{4\pi^2 a^3}{T^2} = f \frac{M+m}{a},$$

откуда

$$\frac{T^2 (M+m)}{a^3} = \frac{4\pi^2}{f}. \quad (9)$$

Массы m спутников, как правило, очень малы в сравнении с массой M центрального тела, и поэтому, пренебрегая в формуле (9) величиной m , можно вычислить массу центрального тела в определенной системе единиц.

Поскольку масса небесных тел обычно вычисляется в сравнении с солнечной или земной массой (т. е. в массах Солнца или в массах Земли), то значительно проще применить третий обобщенный закон Кеплера к двум системам обращающихся тел

$$\frac{T_1^2(M_1 + m_1)}{T_2^2(M_2 + m_2)} = \frac{a_1^3}{a_2^3}. \quad (10)$$

Здесь величины с индексом 1 относятся к одной системе центрального тела и его спутника, а те же величины с индексом 2 — к другой системе аналогичных тел.

При определении масс планет в массах Земли сравнивают движение спутника планеты с движением Луны вокруг Земли. Для этого в формуле (10) под M_1 подразумевают массу планеты, под a_1 и T_1 — большую полуось орбиты спутника и период его обращения вокруг планеты, а массой спутника m_1 пренебрегают ($m_1=0$). Считая M_2 массой Земли, m_2 — массой Луны, T_2 — звездным месяцем и a_2 — большой полуосью лунной орбиты, вычисляют массу планеты M_1 в массах Земли и Луны ($M_2 + m_2$), а затем уже, зная что $m_2 = \frac{1}{81,3} M_2$,

находят M_1 в массах Земли M_2 . При приближенном определении масс планет вполне допустимо пренебречь массой Луны m_2 и сразу вычислять массу планет непосредственно в массах Земли.

Зная массу M и радиус R небесного тела, можно вычислить ускорение силы тяжести g на его поверхности, причем удобнее всего вычислять g в сравнении с ускорением g_0 на Земле, а затем уже, в случае необходимости, найти его абсолютное значение. Очевидно, на поверхности небесного тела

$$g = f \frac{M}{R^2}, \quad (11)$$

а на земной поверхности

$$g_0 = f \frac{M_0}{R_0^2}, \quad (12)$$

и тогда

$$g = g_0 \frac{M}{M_0} \left(\frac{R_0}{R} \right)^2,$$

или

$$g = g_0 \frac{M}{R^2}, \quad (13)$$

где M выражена в массах Земли, а R — в радиусах Земли.

Аналогичным образом вычисляется гравитационное ускорение g_r небесных тел в поле тяготения центрального тела на расстоянии r от него:

$$g_r = f \frac{M + m}{r^2}, \quad (14)$$

или

$$g_r = f \frac{M}{r^2}, \quad (15)$$

если m мало в сравнении с M .

Формула (15) позволяет также вычислить массу центрального тела по известному гравитационному ускорению g_r .

Разделив равенство (15) на выражение (11), получим для вычисления g_r простую формулу, в которой r выражается в радиусах R небесного тела.

ЗАДАНИЕ

1. По движению Луны вокруг Земли определить массу Земли в системе СГС.

2*. Вычислить круговую, параболическую и действительную скорость на среднем, перигельном и афелийном расстояниях малой планеты: 1) Психеи; 2) Андромахи; 3) Эскулапии; 4) Урании; 5) Галатеи; 6) Глазенапии; 7) Полигимнии; 8) Фотографики.

3*. Из сопоставления вычисленных в пункте 2 скоростей сформулировать вывод о признаках, характерных для движения тел по эллиптической орбите.

4*. Определить в массах Земли массу Солнца и планеты: 1) Марса (по движению Фобоса); 2) Юпитера (по движению Ио); 3) Сатурна (по движению Титана); 4) Урана (по движению Ариэля); 5) Нептуна (по движению Тритона); 6) Марса (по движению Деймоса); 7) Юпитера (по движению Европы); 8) Сатурна (по движению Япета).

5*. Определить ускорение силы тяжести на поверхности Солнца, Луны и той же планеты.

6*. Вычислить свой вес на поверхности тех же небесных тел.

7*. Вычислить вес космического корабля-спутника «Восток» на поверхности Луны и той же планеты (вес этого корабля на Земле равен $4,7 \text{ тс}$).

8. Определить ускорение силы тяжести на расстояниях, равных одному, четырем и девяти радиусам от поверхности одного из тех же небесных тел.

9*. Вычислить гравитационное ускорение Земли и той же планеты в поле тяготения Солнца.

10*. Из анализа результатов пунктов 5—9 сформулировать вывод о причинах различия гравитационного ускорения в поле тяготения разных тел и графически изобразить зависимость гравитационного ускорения от соответствующих аргументов.

11. Вычислить ускорение силы тяжести на поверхности Солнца, Луны и той же планеты при условии увеличения их диаметров вдвое и при сохранении их средней плотности неизменной.

12. Определить гипотетическую массу Земли, при которой Луна обращалась бы вокруг нее с современным периодом, но на вдвое большем расстоянии, и сравнить гравитационное ускорение Луны в этом случае с действительным его значением.

13. Вычислить гипотетическую массу Солнца, при которой та же планета, сохраняя свою орбитальную скорость, перестала бы быть его спутником.

Отчет о работе № 18

Дата выполнения работы:

1 При решении на логарифмической линейке (или арифмометре).

Луна	Формула
$a =$	$\pi =$
$T =$	$\pi^2 =$
$a^3 =$	$4\pi^2 =$
$T^2 =$	$f =$
$\frac{a^3}{T^2} =$	$\frac{4\pi^2}{f} =$
	Земля $M =$

При решении с таблицами логарифмов

Луна	Формула
$a =$	$f =$
$T =$	$\pi =$
$\lg T =$	$+ 2 \lg \pi =$
$\lg a =$	$+ 3 \lg a =$

	$- \lg B =$
	$- \lg A =$

	$\lg M =$
	Земля $M =$

2 и 3. Малая планета

$$a = \quad e = \quad 1 - e = \quad 1 + e =$$

r	√r	v _a	v _п	v		Соотношение
a =					$\frac{Q}{q} =$	v
q =						< v <
Q =					$\sqrt{\frac{Q}{q}} =$	< v <

Вывод:

4.	Земля	Луна	Планета	Спутник	Солнце
T					
a					
$\left(\frac{T_2}{T_1}\right)$					
$\left(\frac{T_2}{T_1}\right)^2$					
$\left(\frac{a_1}{a_2}\right)$					
$\left(\frac{a_1}{a_2}\right)^3$					
M					

5 — 7.

	Земля	Солнце	Луна	Планета
M				
R				
g				
P				
P (Восток)				

8.

r	R	$2R$	$5R$	$10R$
r^2				
g_r				

9.

	Земля	Планета	Солнце $R =$ $g =$
$\frac{a}{R}$			
$\frac{a}{a}$			
$\left(\frac{R}{a}\right)^2$			
g_r			

10. Вывод:

График прилагается.

11.

	Солнце	Луна	Планета
g			
$\frac{R'}{R}$			
$\frac{g'}{g}$			

12. Условие

Решение

13. Условие

Решение

$M =$

ИСКУССТВЕННЫЕ СПУТНИКИ И КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ (КА)

Цель работы. Изучение теоретических основ запуска искусственных небесных тел.

Пособия: Астрономический календарь — постоянная часть или Справочник любителя астрономии; таблицы тригонометрических функций; таблицы логарифмов; логарифмическая линейка или арифмометр.

Литература: [1], глава VI, § 53, 54, 63, 64; [2], глава II, § 59, 60; Астрономический календарь — постоянная часть, § 20, Физматгиз, 1962.

Дополнительная: [10], § 17—20; [20], глава 2, § 1, 3, глава 4, § 1, 8, глава 7, § 1, 6, 7, глава 9, § 1—4, глава 14, § 1, 2, 7, глава 15, § 1, 3, 5; [21], глава 7—11.

Задачи: [3], № 383, 657, 677, 678, 681—685, 725; [4], № 128—132, 135, 136, 140—161.

Теоретической основой запуска и движения искусственных спутников является ограниченная задача двух тел, а движения космических аппаратов — ограниченная задача трех и более тел, поскольку массы m искусственных небесных тел ничтожно малы в сравнении с массой M Земли, Луны, планет или Солнца. Поэтому для искусственных небесных тел интеграл энергии имеет вид

$$v^2 = fM \left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right), \quad (1)$$

где M — масса небесного тела, с которого запущено искусственное небесное тело или вокруг которого оно движется.

Чтобы создать искусственное небесное тело, ему необходимо при выводе на орбиту сообщить некоторую начальную скорость v_n (скорость запуска), величина и направление которой определяется техническими возможностями и задачами запуска. Технически это осуществляется с помощью многоступенчатых ракет, последняя ступень которой сообщает искусственному небесному телу требуемую скорость запуска v_n и тем самым выводит его на орбиту на некоторой высоте h_n над поверхностью естественного небесного тела. Высота запуска h_n зависит от плотности слоев атмосферы, окружающей небесное тело, и, в частности, для Земли всегда $h_n \geq 160$ км.

При прочих равных условиях наименьшие значения величины начальной скорости v_n получаются при ее направлении, перпендикулярном к радиусу небесного тела. Поэтому, как правило, искусственные небесные тела выводятся на орбиту в горизонтальном направлении. Именно эти условия запуска и рассматриваются в дальнейшем.

Величина скорости запуска v_n зависит от поставленной задачи. Если нужно создать искусственный спутник с круговой орбитой, то ему на расстоянии r от центра небесного тела должна быть сообщена скорость

$$v_n = v_a = \sqrt{f \frac{M}{r}}, \quad (2)$$

где v_a — круговая скорость, при которой из уравнения (1) получается $r=a$, т. е. орбита искусственного спутника будет круговой (рис. 49).

При необходимости запуска искусственного спутника по эллиптической орбите с большой полуосью a скорость запуска v_n определяется неравенством

$$v_a < v_n < v_n$$

где v_n — параболическая скорость, причем v_n вычисляется из уравнения (1) по заданным значениям r и a .

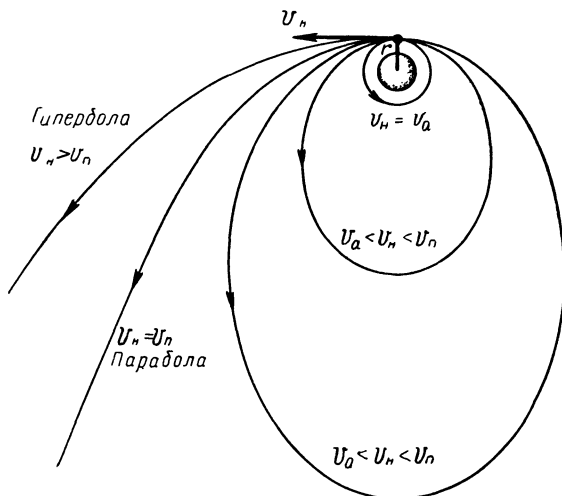


Рис. 49

Космические аппараты, предназначенные для исследования далеких областей космического пространства, должны преодолеть притяжение небесного тела, с которого они запущены, а это возможно только в том случае, если сообщенная им скорость запуска

$$v_n \geq v_n$$

При подстановке в уравнение (1) значения

$$v_n = v_n = \sqrt{2f \frac{M}{r}} \quad (3)$$

получим $a = \infty$, т. е. орбитой космического аппарата будет разомкнутая кривая второго порядка — парабола. При $v_n > v_n$ движение космического аппарата происходит по гиперболе.

Если считать, что искусственные спутники и космические аппараты запускаются непосредственно с поверхности небесного тела с массой M и радиусом R , то в формулах (2) и (3) следует положить

$$r = R$$

и, в частности, для Земли расчетный радиус $R = 6370$ км. Вычисленные для поверхности небесного тела ($r = R$) значения круговой v_a и

параболической $v_{\text{п}}$ скорости называются в технике, соответственно, первой и второй космической скоростью, причем параболическая скорость $v_{\text{п}}$ часто называется критической скоростью или скоростью освобождения.

Значения v_a и $v_{\text{п}}$ для поверхности небесного тела ($r=R$), которые мы обозначим, соответственно, через ω_a и $\omega_{\text{п}}$, легко определяются через ускорение силы тяжести g на поверхности небесного тела. В самом деле, поскольку из закона всемирного тяготения следует

$$g = f \frac{M}{R^2},$$

то

$$f = \frac{gR^2}{M}, \quad (4)$$

и, подставляя выражение (4) в формулы (2) и (3) при $r=R$, получим

$$\omega_a = \sqrt{gR} \quad (5)$$

и

$$\omega_{\text{п}} = \sqrt{2gR} = \omega_a \sqrt{2}. \quad (6)$$

В действительности же, как уже указывалось ранее, скорость запуска $v_{\text{п}}$ сообщается искусственному небесному телу на некоторой высоте $h_{\text{н}}$ над поверхностью небесного тела, поэтому, строго говоря, при расчетах скорости запуска следует полагать

$$r = R + h_{\text{н}},$$

и, согласно выражениям (2), (4) и (5), круговая скорость

$$v_a = \sqrt{g \frac{R^2}{r}} = \omega_a \sqrt{\frac{R}{r}} = \omega_a \sqrt{\frac{R}{R + h_{\text{н}}}}, \quad (7)$$

и параболическая скорость

$$v_{\text{п}} = \sqrt{2g \frac{R^2}{r}} = \omega_{\text{п}} \sqrt{\frac{R}{r}} = \omega_{\text{п}} \sqrt{\frac{R}{R + h_{\text{н}}}}, \quad (8)$$

причем всегда $v_{\text{п}} = v_a \sqrt{2}$.

Скорость космических тел всегда выражается в км/сек, радиусы небесных тел Солнечной системы — либо в км, либо в радиусах Земли, массы этих же тел — в массах Земли, а расстояния до них — в км, в радиусах Земли и в астрономических единицах. Поэтому при вычислении скорости, во избежание ошибочных результатов, необходимо строго придерживаться определенной системы единиц и выбирать соответствующее значение гравитационной постоянной f . Так, при выражении масс M небесных тел в массах Земли, расстояний r и a — в радиусах Земли, времени t — в секундах, а скорости v — в км/сек, значение $f=62,50$, а $\sqrt{f}=7,91$ (точнее, $\sqrt{f}=7,906$); поэтому уравнение (1) примет вид

$$v = 7,91 \sqrt{M \left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right)}, \quad (9)$$

откуда

$$v_a = 7,91 \sqrt{\frac{M}{r}} \quad (10)$$

и

$$v_{\Pi} = 7,91 \sqrt{\frac{2M}{r}} = 11,18 \sqrt{\frac{M}{r}}. \quad (11)$$

Если же M выражена в массах Земли, a и r — в км, t — в секундах и v — в км/сек, то

$$f = 398\,400 \text{ (точнее } f = 398\,350) \text{ и } \sqrt{f} = 631,1,$$

поэтому

$$v = 631,1 \sqrt{M \left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right)}, \quad (12)$$

$$v_a = 631,1 \sqrt{\frac{M}{r}} \quad (13)$$

и

$$v_{\Pi} = 631,1 \sqrt{\frac{2M}{r}} = 892,5 \sqrt{\frac{M}{r}}. \quad (14)$$

Искусственные спутники Земли, как правило, выводятся на эллиптические орбиты, общим фокусом которых является центр Земли C . Наинизшая точка Π орбиты спутника над поверхностью Земли называется перигеем (рис. 50), а наивысшая точка A — апогеем. По высоте h_q перигея и высоте h_Q апогея над земной поверхностью легко вычислить большую полуось a орбиты, перигейное расстояние q , апогейное расстояние Q и эксцентриситет e орбиты.

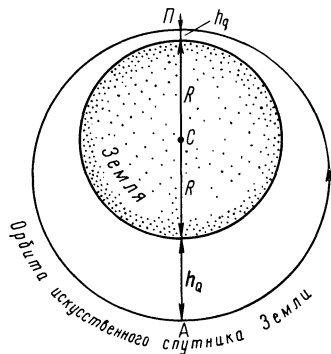


Рис. 50

Аналогично подсчитываются параметры орбиты искусственного спутника любого естественного небесного тела, но в этих случаях ближайшие и наиболее удаленные от небесного тела точки орбиты искусственного спутника получают несколько иные наименования, в зависимости от названия небесного тела. Так, если искусственный спутник обращается вокруг Луны, то

эти точки называются, соответственно, периселением (Π) и апоселением (A), происходящим от греческого названия Луны — Селена; для спутников Марса они называются периарием и апоарием, от греческого названия Марса — Арес, и т. д.

Период обращения T как естественных, так и искусственных спутников небесных тел связан с большой полуосью a орбиты спутника третьим законом Кеплера

$$\frac{T^2 (M + m)}{a^3} = \frac{4\pi^2}{f}, \quad (15)$$

где M — масса небесного тела, m — масса спутника и f — гравитационная постоянная.

Ограниченная задача двух тел позволяет придать третьему закону Кеплера вид

$$\frac{T^2 M}{a^3} = \frac{4\pi^2}{f}. \quad (16)$$

Поскольку для искусственных спутников всегда a задается в километрах, а T — в минутах и, кроме того, массы M естественных тел планетной системы проще всего выражать в массах Земли, то положив $f=398\ 350$ и переведя T в минуты, получим

$$T^2 = 275,25 \cdot 10^{-10} \frac{a^3}{M} \quad (17)$$

или

$$T = 16,59 \cdot 10^{-5} a \sqrt{\frac{a}{M}}. \quad (18)$$

При решении обратной задачи

$$a = 331,2 \sqrt[3]{MT^2}, \quad (19)$$

где по-прежнему a — в километрах, T — в минутах и M — в массах Земли.

Очевидно, для искусственных спутников Земли следует в формулах (17), (18) и (19) положить $M=1$.

Формула (17) позволяет вычислить массу M небесного тела в массах Земли по известной большой полуоси a и периоду обращения T его спутника. Если же имеется необходимость вычислить массу небесного тела в килограммах, то формула (17) примет вид

$$M = 164,46 \cdot 10^{15} \frac{a^3}{T^2}, \quad (20)$$

где a — в километрах и T — в минутах.

Так как искусственные спутники Земли выводятся на орбиту, как правило в перигее, то скорость запуска спутника v_n может быть принята за скорость v_q в перигее и вычислена по интегралу энергии (9) или (12), подстановкой в него $r=q$. Это же уравнение позволяет вычислить скорость спутника v в любой точке его орбиты на расстоянии r от центра Земли, но проще воспользоваться значением круговой скорости v_a , вычисленной по формуле (10) или (13) при $r=a$, а затем разделить равенство (1) на

$$v_a^2 = f \frac{M}{a}$$

и получить

$$v = v_a \sqrt{\frac{2a}{r} - 1}. \quad (21)$$

Положив в формуле (21) $r=q$ или $r=Q$, получим соответственно v_q или v_Q , т. е. скорость искусственного спутника в перигее и в апогее его орбиты.

Расчет орбит космических аппаратов значительно сложнее расчета орбит искусственных спутников, поскольку задача двух тел определяет только нижний предел начальной скорости v_n , необходимой для вывода аппарата на орбиту, а сама орбита и скорость движения космического аппарата определяется суммарным гравитационным воздействием небесных тел, в поле тяготения которых он движется (ограниченная задача трех и более тел).

Рассмотрим в упрощенном виде некоторые случаи движения космических аппаратов.

Примем, что запуск космического аппарата произведен к Луне в направлении орбитального движения Земли (рис. 51) в день, когда фаза Луны близка к последней четверти. При таком запуске начальная скорость аппарата V_n относительно Солнца складывается из его скорости запуска v_n относительно Земли и из орбитальной скорости Земли V_{\oplus} , т. е.

$$V_n = V_{\oplus} + v_n,$$

причем значение $v_n \geq v_n$ и $V_n < V_n$ параболической скорости относительно Солнца на расстоянии 1 а. е. от него.

По мере удаления от Земли скорость космического аппарата v относительно Земли (геоцентрическая скорость) постепенно уменьшается за счет земного притяжения, что вызывает уменьшение его скорости V относительно Солнца (гелиоцентрической скорости); поэтому в поле тяготения Солнца аппарат движется по эллиптической орбите с постепенно уменьшающимся эксцентриситетом.

Рассмотрим изменение геоцентрической скорости космического аппарата. При запуске аппарата с Земли его $v = v_n$ и кинетическая энергия относительно Земли

$$E_n = \frac{mv_n^2}{2}. \quad (22)$$

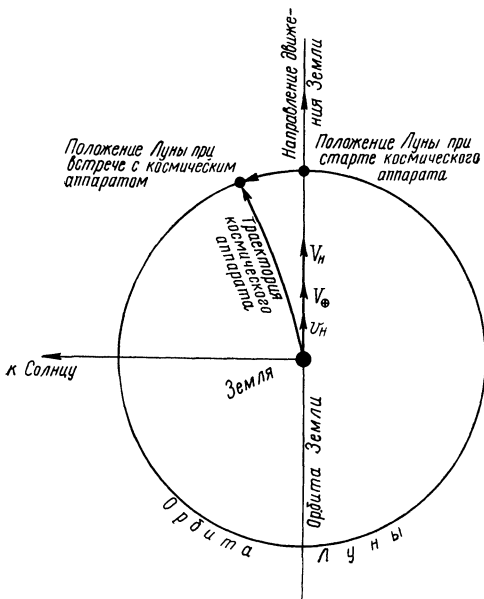


Рис. 51

Поле тяготения Земли, направленное против движения космического аппарата, уменьшает его скорость v , а поле тяготения Луны, направленное по движению аппарата, наоборот, увеличивает эту скорость. В результате скорость аппарата меняется совместным действием полей тяготения обоих небесных тел, но с целью значительного упрощения задачи мы будем рассматривать ее в рамках ограниченной задачи двух тел. Для этого пренебрежем действием на аппарат лунного притяжения вплоть до «точки равного притяжения», т. е. той точки пространства между Землей и Луной, в которой гравитационные ускорения полей тяготения обоих небесных тел численно равны между собой. Обозначив массы Земли и Луны соответственно через M_1 и M_2 , их радиусы — через R_1 и R_2 , расстояние между этими телами — через r_0 , а расстояния от них точки равного притяжения — через ρ_1 и $\rho_2=r_0-\rho_1$, получим

$$f \frac{M_1}{\rho_1^2} = f \frac{M_2}{(r_0 - \rho_1)^2} \quad (23)$$

и помня, что $M_2 \approx \frac{M_1}{81}$, а $r_0 \approx 60R_1$, найдем ρ_1 и ρ_2 в радиусах Земли.

В точке равного притяжения скорость космического аппарата уменьшается до минимума v_m , причем изменение кинетической энергии аппарата

$$\Delta E = E_n - E_m = \frac{mv_n^2}{2} - \frac{mv_m^2}{2}$$

сопровождается изменением $\Delta\Pi$ его потенциальной энергии относительно центра Земли, которая в момент старта аппарата была

$$\Pi_n = -mf \frac{M_1}{R_1},$$

а в точке равного притяжения стала

$$\Pi_m = -mf \frac{M_1}{\rho_1},$$

а так как $\Delta E = -\Delta\Pi$, то

$$\frac{mv_n^2}{2} - \frac{mv_m^2}{2} = mfM_1 \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{\rho_1} \right),$$

откуда

$$v_m^2 = v_n^2 - 2fM_1 \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{\rho_1} \right). \quad (24)$$

Полагая $M_1=1$, $R_1=1$ и принимая поэтому $f=62,50$, получим простое выражение для минимальной скорости v_m космического аппарата.

После прохождения аппаратом точки равного притяжения лунное поле тяготения действует на него сильнее земного, и поэтому по мере приближения аппарата к Луне его скорость снова возрастает. Теперь для простоты расчетов будем считать действие Земли на космический

аппарат незначительным (хотя это и не совсем верно) и учитывать только действие Луны. Тогда конечная скорость v_k сближения аппарата с Луной найдется из аналогичного равенства

$$v_k^2 = v_m^2 + 2fM_2 \left(\frac{1}{R_2} - \frac{1}{\rho_2} \right). \quad (25)$$

Расчет орбит для запуска космических аппаратов к планетам Солнечной системы также очень сложен и требует учета возмущений.

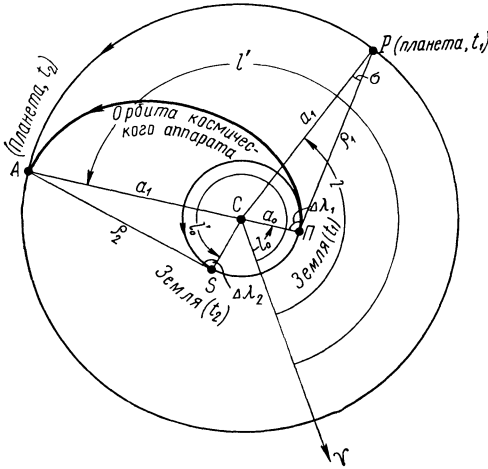


Рис. 52

В космическом пространстве такой аппарат, подобно телам Солнечной системы, будет двигаться под действием силы солнечного тяготения, и поэтому его простейшая орбита может быть представлена эллипсом, в одном из фокусов которого находится Солнце. Начальная скорость V_n космического аппарата относительно Солнца определяется условиями его полета и различна при запуске к верхним и нижним планетам, орбиты которых в первом приближении можно считать круговыми.

При запуске к верхним планетам перигельное расстояние космического аппарата

$$q = a_0,$$

а афелийное расстояние

$$Q = a_1,$$

где a_0 и a_1 — соответственно средние расстояния Земли и планеты от Солнца (рис. 52), выраженные в астрономических единицах (а. е.). Из этих соображений легко подсчитать величину большой полуоси a (в а. е.) орбиты космического аппарата и вычислить период T его обращения вокруг Солнца в годах, который затем, при необходимости, перевести в месяцы или сутки. Очевидно, что

$$t = \frac{T}{2} \quad (26)$$

даст продолжительность полета аппарата от Земли до планеты.

Скорость V_q в перигелии и V_Q в афелии вычисляется из интеграла энергии

$$V^2 = fM_{\odot} \left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right),$$

или

$$V = 29,76 \sqrt{\frac{2}{r} - \frac{1}{a}}, \quad (27)$$

где M_{\odot} — масса Солнца принята за единицу, r и a выражаются в астрономических единицах, а V — в км/сек.

Технически проще сначала найти по формуле (27) круговую скорость космического аппарата V_a (при $r=a$), а затем, разделив равенство (27) на выражение для V_a , получить формулу, аналогичную (21), по которой уже вычислять V_q и V_Q .

Следует иметь в виду, что вычисленное значение афелийной скорости V_Q будет отличаться от ее действительного значения за счет возмущающего действия на космический аппарат главным образом со стороны Земли, Луны и планеты, к которой аппарат направлен. Поэтому вычисленное значение V_0 правильнее назвать условной скоростью аппарата в афелии.

Поскольку запуск космического аппарата производится в перигелии его орбиты, то его начальная скорость относительно Солнца может быть принята $V_n = V_Q$, откуда нетрудно найти скорость аппарата v_d относительно Земли в направлении ее движения, называемую дополнительной скоростью:

$$v_d = V_n - V_{\oplus}, \quad (28)$$

где V_{\oplus} — орбитальная скорость Земли ($V_{\oplus} = 29,76$ км/сек $\approx 29,8$ км/сек).

Однако значение дополнительной скорости v_d часто оказывается меньшим скорости освобождения с Земли $v_n = 11,18$ км/сек, и поэтому v_d не может служить начальной скоростью запуска v_n космического аппарата с Земли. Для расчета величины начальной скорости v_n обратимся снова к интегралу энергии для поля земного тяготения

$$v^2 = fM \left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right),$$

который напомним в виде

$$v^2 = \frac{2fM}{r} + \text{const}, \quad (29)$$

где M — масса Земли.

Так как можно считать, что запуск космического аппарата производится с поверхности Земли при $r=R$, то, согласно выражению (29),

$$v_n^2 = \frac{2fM}{R} + \text{const}. \quad (30)$$

С другой стороны, если бы земное притяжение отсутствовало, то дополнительной скорости v_d было бы достаточно, чтобы аппарат ушел от Земли на расстояние $r \rightarrow \infty$, т. е., согласно (29),

$$v_d^2 = \frac{2fM}{\infty} + \text{const} = \text{const}. \quad (31)$$

Подставляя значение постоянной из формулы (31) в выражение (30) и помня, что $\frac{2fM}{R} = v_{\text{п}}^2$, получим начальную скорость запуска космического аппарата

$$v_{\text{н}} = \sqrt{v_{\text{п}}^2 + v_{\text{д}}^2}. \quad (32)$$

Подобным же образом выбирается простейшая орбита для запуска космического аппарата к нижним планетам, но техническое обеспечение начальной скорости $V_{\text{н}}$ здесь более затруднено тем обстоятельством, что эта скорость должна быть меньше орбитальной скорости Земли V_{\oplus} , так как при $V_{\text{н}} = V_{\oplus}$ аппарат будет обращаться вокруг Солнца по земной орбите, а при $V_{\text{н}} > V_{\oplus}$ — за орбитой Земли. В то же время скорость запуска $v_{\text{н}}$ с Земли опять-таки должна быть не ниже $v_{\text{п}}$, иначе аппарат станет спутником Земли. Поскольку в этом случае аппарат запускается в афелии своей орбиты, то $V_{\text{н}} = V_{\odot}$, и тогда

$$v_{\text{д}} = V_{\oplus} - V_{\text{н}}, \quad (33)$$

т. е. должна быть направлена навстречу орбитальному движению Земли. Скорость запуска аппарата с Земли вычисляется по формуле (32).

Зная продолжительность полета t космического аппарата к планете, можно определить конфигурации планеты в моменты t_1 запуска и t_2 сближения аппарата с планетой. Пусть в момент t_1 гелиоцентрическая долгота Земли, находящейся в точке Π , равна l_0 , а гелиоцентрическая долгота планеты P равна l (см. рис. 52). Через промежуток времени $t = t_2 - t_1$ Земля придет в точку S , а планета — в точку A , диаметрально противоположную Π , и в момент t_2 гелиоцентрическая долгота Земли будет

$$l'_0 = l_0 + n_0 t, \quad (34)$$

а гелиоцентрическая долгота планеты

$$l' = l + n_1 t = 180^\circ + l_0, \quad (35)$$

где n_0 и n_1 — соответственно средние угловые движения Земли и планеты за единицу времени, в которых выражен интервал t .

Легко видеть, что разность гелиоцентрических долгот планеты и Земли в момент t_1 равна:

$$l - l_0 = 180^\circ - n_1 t, \quad (36)$$

а в момент t_2

$$l' - l'_0 = 180^\circ - n_0 t. \quad (37)$$

Из треугольника $PC\Pi$ находим, что для момента t_1 конфигурация планеты

$$\Delta\lambda_1 = 180^\circ - (l - l_0) - \sigma, \quad (38)$$

причем $\sin \Delta\lambda_1 = \frac{a_1}{a_0} \sin \sigma$. (39)

Выразив из формулы (38)

$$\sin \sigma = \sin [(l - l_0) + \Delta\lambda_1]$$

и подставив это выражение в формулу (39), после простых преобразований получим

$$\operatorname{ctg} \Delta\lambda_1 = \frac{a_0}{a_1} \operatorname{cosec} (l - l_0) - \operatorname{ctg} (l - l_0), \quad (40)$$

откуда находится конфигурация $\Delta\lambda_1$.

Если же для того же момента t_1 необходимо вычислить геоцентрическое расстояние планеты

$$\rho_1 = \sqrt{a_0^2 + a_1^2 - 2a_0 a_1 \cdot \cos (l - l_0)}, \quad (41)$$

то конфигурацию планеты проще вычислить по формуле

$$\sin \Delta\lambda_1 = \frac{a_1}{\rho_1} \cdot \sin (l - l_0). \quad (42)$$

Аналогично вычисляется элонгация планеты $\Delta\lambda_2 = \angle ASC$ и ее геоцентрическое расстояние ρ_2 для момента t_2 .

Все вычисления в данной работе рекомендуется проводить на логарифмической линейке с точностью: a и r — до 0,01 а. е., v — до 0,1 км/сек, l — до 1° и t — до 5 суток.

ЗАДАНИЕ

1*. Вычислить круговую и параболическую скорость на поверхности Солнца, Луны, Земли и планет: 1) Марса; 2) Юпитера; 3) Сатурна; 4) Урана; 5) Нептуна; 6) Венеры; 7) Меркурия.

2*. Вычислить круговую и параболическую скорость на расстояниях, равных 3,0, 8,0 и 35,0 радиуса от поверхности одного из этих тел.

3*. Сравнить между собой вычисленные в пунктах 1 и 2 величины и сделать вывод о закономерности их изменения с расстоянием от центра небесного тела.

4. Определить период обращения и орбитальную скорость искусственного спутника Земли, обращающегося по круговой орбите на высоте: 1) 630 км; 2) 2630 км; 3) 4630 км; 4) 6630 км; 5) 8630 км; 6) 10 630 км; 7) 12 630 км; 8) 14 630 км.

5. По общим результатам пункта 4 построить на одном чертеже графики изменения периода обращения и скорости искусственного спутника Земли в зависимости от радиуса его орбиты и, сопоставив графики с результатами пункта 3, сформулировать вывод о причине изменения скорости и периода обращения с расстоянием.

6. Вычислить высоту над земной поверхностью, угловую и линейную скорость стационарного искусственного спутника Земли, об-

ращающегося с периодом в 1 звездные сутки в плоскости земного экватора по круговой орбите.

7. Установить условия видимости искусственного спутника Земли, обращающегося в плоскости земного экватора по круговой орбите, в направлении:

- 1) с запада к востоку, с периодом в 1 звездные сутки;
- 2) с запада к востоку, с периодом в 1 средние сутки;
- 3) с востока к западу, с периодом в 1 звездные сутки;
- 4) с востока к западу, с периодом в 1 средние сутки.

8. По общим результатам пунктов 6 и 7 сформулировать вывод о причине различных условий видимости искусственных спутников Земли, движущихся по сходным орбитам.

9. Определить большую полуось и эксцентриситет орбиты, период обращения, перигейное и апогейное расстояние, скорость запуска, скорость в перигее и апогее искусственного спутника Земли, высота полета которого меняется в пределах:

- 1) от 240 км до 613 км (Космос-23, 13 декабря 1963 г.);
- 2) от 196 км до 523 км (Космос-39, 18 августа 1964 г.);
- 3) от 232 км до 1052 км (Космос-42, 22 августа 1964 г.);
- 4) от 227 км до 1192 км (Космос-53, 30 января 1965 г.);
- 5) от 259 км до 1720 км (Космос-54, 20 февраля 1965 г.);
- 6) от 257 км до 1676 км (Космос-63, 15 марта 1965 г.);
- 7) от 229 км до 1154 км (Космос-70, 2 июля 1965 г.);
- 8) от 207 км до 521 км (Космос-95, 4 ноября 1965 г.).

10*. По высоте перигея и периоду обращения вычислить большую полуось и эксцентриситет орбиты, высоту апогея, скорость в перигее, скорость в апогее и скорость запуска:

- 1) советского корабля-спутника «Восток» (12 апреля 1961 г.), $h_q = 181$ км, $T = 1^{\text{ч}}29^{\text{м}}, 1$;
- 2) советского корабля-спутника «Восход-2» (18 марта 1965 г.), $h_q = 173$ км, $T = 1^{\text{ч}}30^{\text{м}}, 9$;
- 3) первого советского искусственного спутника Земли (4 октября 1957 г.), $h_q = 228$ км, $T = 1^{\text{ч}}36^{\text{м}}, 2$;
- 4) третьего советского искусственного спутника Земли (15 мая 1958 г.), $h_q = 226$ км, $T = 1^{\text{ч}}46^{\text{м}}, 0$;
- 5) советской научной космической станции «Электрон-3» (11 июля 1964 г.), $h_q = 405$ км, $T = 2^{\text{ч}}48^{\text{м}}, 2$;
- 6) советской научной космической станции «Электрон-4» (11 июля 1964 г.), $h_q = 459$ км, $T = 21^{\text{ч}}53^{\text{м}}, 9$;
- 7) советской научной космической станции «Протон-2» (2 ноября 1965 г.), $h_q = 191$ км, $T = 1^{\text{ч}}32^{\text{м}}, 6$;
- 8) советского второго спутника радиосвязи «Молния-1» (14 октября 1965 г.), $h_q = 500$ км, $T = 11^{\text{ч}}59^{\text{м}}, 0$.

11. Определить период обращения и орбитальную скорость искусственного спутника, обращающегося на высоте 500 км над поверхностью: 1) Луны; 2) Меркурия; 3) Венеры; 4) Земли; 5) Марса; 6) Юпитера; 7) Сатурна; 8) Урана.

12. По общим результатам пунктов 1, 2, 3 и 11 сформулировать вывод о причинах различия периодов и скорости обращения искус-

ственных спутников при одинаковой их высоте над поверхностью различных небесных тел.

13. Вычислить период обращения и большую полуось орбиты искусственного спутника, обращающегося со средней скоростью в 3 км/сек вокруг:

1) Юпитера; 2) Земли; 3) Марса; 4) Венеры; 5) Меркурия; 6) Урана; 7) Сатурна; 8) Нептуна.

14*. Вычислить скорость запуска, пределы высоты и пределы орбитальной скорости корабля-спутника, обращающегося с периодом в $4^{\text{ч}}$ по эллиптической орбите с эксцентриситетом $0,150$ вокруг:

1) Луны; 2) Меркурия; 3) Венеры; 4) Земли; 5) Марса; 6) Юпитера; 7) Сатурна; 8) Урана.

15*. Из анализа общих результатов пунктов 13 и 14 сформулировать вывод о причинах различных условий запуска искусственных спутников на орбиты со сходными параметрами вокруг естественных небесных тел.

16. По параметрам орбиты искусственного небесного тела, указанного в пункте 10, вычислить массу Земли в кг .

17*. Определить массу Луны в массах Земли и в кг по параметрам орбиты искусственного спутника Луны:

1) первый спутник, Луна-10 (3 апреля 1966 г.): $h_q = 350 \text{ км}$, $h_Q = 1017 \text{ км}$, $T = 2^{\text{ч}}58^{\text{м}}15^{\text{с}}$;

2) первый спутник, Луна-10 (сведения на 3 мая 1966 г.): $h_q = 361 \text{ км}$, $h_Q = 1007 \text{ км}$, $T = 2^{\text{ч}}58^{\text{м}}16^{\text{с}}$;

3) второй спутник, Луна-11 (28 августа 1966 г.): $h_q = 160 \text{ км}$, $h_Q = 1200 \text{ км}$, $T = 2^{\text{ч}}57^{\text{м}}39^{\text{с}}$;

4) третий спутник Луна-12 (25 октября 1966 г.): $h_q = 100 \text{ км}$, $h_Q = 1740 \text{ км}$, $T = 3^{\text{ч}}25^{\text{м}}00^{\text{с}}$;

5) космический аппарат Луна-16 (17 сентября 1970 г.): $h_q = h_Q = 110 \text{ км}$, $T = 1^{\text{ч}}58^{\text{м}}36^{\text{с}}$;

6) космический аппарат Луна-16 (19 сентября 1970 г.): $h_q = 15 \text{ км}$, $h_Q = 106 \text{ км}$, $T = 1^{\text{ч}}51^{\text{м}}12^{\text{с}}$.

18. Вычислить минимальную геоцентрическую скорость движения космического аппарата, направленного к Луне, и скорость его падения на лунную поверхность, принимая скорость запуска с Земли равной $11,3 \text{ км/сек}$.

19*. Вычислить большую полуось и эксцентриситет простейшей орбиты, а также продолжительность полета космического аппарата от Земли до: 1) Марса; 2) Венеры; 3) Юпитера; 4) Меркурия; 5) Сатурна; 6) Урана; 7) Нептуна; 8) Плутона.

20*. Вычислить для этого же космического аппарата начальную скорость его запуска с Земли и условную скорость в афелии.

21*. Определить геоцентрические конфигурации, в которых должна находиться планета в день старта космического аппарата с Земли и в день его сближения с той же планетой.

22*. По общим результатам пунктов 19—21 сформулировать выводы о зависимости подходящих конфигураций планет и эксцентриситета простейшей орбиты космического аппарата от геоцентрического расстояния планет.

Отчет о работе № 19

Дата выполнения работы:

1.

Небесное тело	M	R	M/R	√M/R	ω _a	ω _п
Земля						
Солнце						
Луна						
Планета						

2. Тело M = R = ω_a = Формулы

r	√r	v _a	v _п

3. Вывод:

4. $R = \sqrt[3]{a^3} = v_a =$ Формулы
 $h = a \sqrt[3]{a} =$
 $a = T =$

5. Вывод:

Чертеж прилагается.

6. $T = a = \omega =$
 $T^2 = R = v_a =$
 $\sqrt[3]{T^3} = h =$

При использовании логарифмов:

$T =$	$a =$	$\lg 360 =$	$\lg 631, 1 =$
$\lg T =$	$R =$	$\lg T =$	$\frac{1}{2} \lg a =$
$\frac{2}{3} \lg T =$	$h =$	$\lg \omega =$	$\lg v_a =$
$\lg 331, 2 =$		$\omega =$	$v_a =$
$\lg a =$			

7. Спутник T = Условия

Земля T₀ =
 Разность ΔT =

8. Вывод:

9. $R = \frac{Q}{g} = v_a =$
 $2R = \sqrt[3]{\frac{Q}{g}} = v_H = v_q =$
 $h_q = a \sqrt[3]{\frac{Q}{g}} = v_Q =$
 $h_Q = T =$
 $2a = \frac{Q}{g} =$
 $a =$

10. Спутник

$$\begin{array}{llll}
 T = & 2a = & q = & \sqrt{\frac{Q}{q}} = \\
 T^2 = & q = & \frac{q}{a} = & v_{\text{H}} = v_q = \\
 \sqrt[3]{T^2} = & Q = & e = & v_Q = \\
 a = & R = & \sqrt{\frac{e}{a}} = & \\
 h_q = & h_Q = & v_a = & \\
 R = & & \frac{Q}{q} = & \\
 q = & & &
 \end{array}$$

11. Небесное тело

$$\begin{array}{lll}
 R = & M = & a \sqrt{\frac{a}{M}} = \\
 h = & \frac{a}{M} = & T = \\
 a = & \sqrt{\frac{a}{M}} = & v_a =
 \end{array}$$

12. Вывод:

13. Небесное тело.

Спутник

$$\begin{array}{llll}
 M = & v_a = & \frac{M}{a} = & \sqrt{\frac{a}{M}} = \\
 R = & v_a^2 = & a = & a \sqrt{\frac{a}{M}} = \\
 & & & T =
 \end{array}$$

14. Небесное тело

$$\begin{array}{llllll}
 M = & T^2 = & q = & \frac{M}{a} = & v_q = \\
 R = & MT^2 = & R = & \sqrt{\frac{M}{a}} = & v_Q = \\
 & \sqrt[3]{MT^2} = & h_q = & v_a = & v_{\text{H}} =
 \end{array}$$

Спутник

$$\begin{array}{llll}
 e = & a = & 1 + e = & \frac{Q}{q} = \frac{1 + e}{1 - e} = \\
 T = & 1 - e = & \frac{Q}{R} = & \sqrt{\frac{Q}{q}} = \\
 & & h_Q = &
 \end{array}$$

15. Вывод:

16. Искусственное небесное тело

Земля $M =$

$$\begin{array}{lll}
 a = & T = & \frac{a^3}{T^2} = \\
 a^3 = & T^2 = &
 \end{array}$$

17. Искусственный спутник Луны

Луна

$$\begin{array}{llll}
 h_q = & a = & \frac{a^3}{T^2} = & R = \\
 h_{\text{Л}} = & a^3 = & & M = (\text{в массах Земли}) \\
 2R = & T = & & M = \quad \kappa_{\text{г}} \\
 2a = & T^2 = & &
 \end{array}$$

18.

Земля	Луна	Космический аппарат		
$R_1 =$	$R_2 =$	$v_H =$	$\frac{1}{R_2} =$	$v_H^2 =$
$M_1 =$	$M_2 =$	$\frac{1}{R_1} =$	$\frac{1}{\rho_2} =$	$v_m^2 =$
$f =$	$r_0 =$	$\frac{1}{\rho_1} =$	$\left(\frac{1}{R_2} - \frac{1}{\rho_2}\right) =$	$v_m =$
$\rho_1 =$	$\rho_2 =$	$\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{\rho_1}\right) =$	$2fM_2 \left(\frac{1}{R_2} - \frac{1}{\rho_2}\right) =$	$v_K^2 =$
$2fM_1 =$	$2fM_2 =$	$2fM_1 \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{\rho_1}\right) =$		$v_K =$

19 и 20. Земля, $a_0 =$
Космический аппарат

Планета

 $a_1 =$

$$\begin{array}{l}
 q = \\
 Q = \\
 2a = \\
 a = \\
 \sqrt{a} = \\
 T =
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 t = \\
 t = \\
 \frac{q}{a} = \\
 e = \\
 \frac{Q}{q} = \\
 \sqrt{\frac{q}{Q}} =
 \end{array}$$

$$\begin{array}{l}
 V_a = \\
 V_q = \\
 V_Q = \\
 V_H = \\
 V_{\oplus} = \\
 v_d =
 \end{array}$$

$$\begin{array}{l}
 v_H = \\
 v_H^2 = \\
 v_d^2 = \\
 v_H^2 = \\
 v_H = \\
 \text{Чертеж прилага-} \\
 \text{ется}
 \end{array}$$

21. Земля
 $t =$ $n_0 =$
 $a_0 =$ t_1 (запуск) t_2 (сближение)

Планета

 $n_1 =$ $a_1 =$ $\frac{a_0}{a_1} =$

$$\begin{array}{l}
 n_1 t = \\
 l - l'_0 = \\
 \operatorname{cosec}(l - l'_0) = \\
 \frac{a_0}{a_1} \operatorname{cosec}(l - l'_0) = \\
 \operatorname{ctg}(l - l'_0) = \\
 \operatorname{ctg} \Delta \lambda_1 = \\
 \Delta \lambda_1 =
 \end{array}$$

$$\begin{array}{l}
 n_0 t = \\
 l' - l'_0 = \\
 \operatorname{cosec}(l' - l'_0) = \\
 \frac{a_0}{a_1} \operatorname{cosec}(l' - l'_0) = \\
 \operatorname{ctg}(l' - l'_0) = \\
 \operatorname{ctg} \Delta \lambda_2 = \\
 \Delta \lambda_2 =
 \end{array}$$

22. Выводы:

ДВИЖЕНИЕ И ФАЗЫ ЛУНЫ

Ц е л ь р а б о т ы. Изучение смены лунных фаз и условий видимости Луны.

П о с о б и я: Астрономический календарь — постоянная часть; Астрономический календарь-ежегодник; подвижная карта звездного неба (планшет 9); логарифмическая линейка.

Л и т е р а т у р а: [1], глава I, § 15; [2], глава V, § 76—79.

Д о п о л н и т е л ь н а я: [26], глава I; [33], глава I; [34], глава третья.

З а д а ч и: [3], № 581, 582, 585, 586, 592, 593, 603, 612, 615.

Луна обращается вокруг Земли по эллиптической орбите в направлении с запада на восток. Плоскость лунной орбиты наклонена к плоскости земной орбиты (к плоскости эклиптики) под углом $i=5^{\circ}09'$ (наклонение лунной орбиты) и пересекает небесную сферу по большому кругу, называемому лунным путем (рис. 53), по которому с Земли видно перемещение Луны на фоне звезд.

Среднее суточное движение Луны n_{ζ} вычисляется по формуле

$$n_{\zeta} = \frac{360^{\circ}}{T}, \quad (1)$$

где T — звездный или сидерический месяц.

Лунный путь пересекается с эклиптикой под тем же углом $i=5^{\circ}09'$

в двух диаметрально противоположных точках, называемых лунными узлами и обозначаемых знаками Ω (восходящий узел) и Υ (нисходящий узел). Положение лунных узлов определяется их геоцентрической долготой λ_{Ω} и λ_{Υ} , отсчитываемой от точки весеннего равноденствия Υ по эклиптике против часовой стрелки. Вследствие возмущающего действия, главным образом со стороны Солнца, элементы лунной орбиты подвержены непрерывным изменениям. Так, величина эксцентриситета лунной орбиты периодически колеблется в некоторых, сравнительно узких пределах, и его значение может быть найдено по видимым угловым размерам лунного диска, подобно тому, как определяется эксцентриситет земной орбиты (см. работу № 16).

Линия апсид лунной орбиты поворачивается в направлении против часовой стрелки и, следовательно, перигей и апогей орбиты непрерыв-

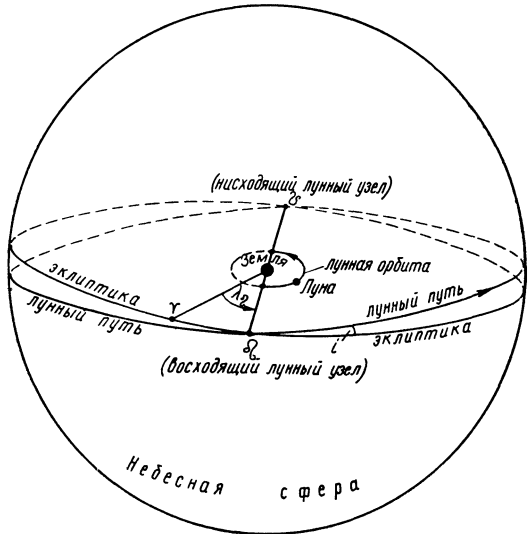


Рис. 53

но смещаются в восточном направлении, в сторону движения Луны по орбите («наступление» перигея и апогея). Лунные узлы, наоборот, все время перемещаются по эклиптике с востока к западу («отступление» лунных узлов), навстречу движению Луны, проходя последовательно все точки эклиптики. Движение лунных узлов оказывает существенное влияние на условия видимости Луны, так как положение суточного пути Луны над горизонтом зависит от ее склонения, пределы месячного изменения которого периодически меняются в зависимости от положения лунных узлов на эклиптике.

Смена лунных фаз, движение лунных узлов и его влияние на условия видимости Луны могут быть наглядно изучены на сравнительно простом чертеже. На листе миллиметровой бумаги по экваториальным координатам (α и δ) Солнца и Луны строится эклиптика и два положения лунного пути в различные месяцы года, лучше с интервалом в 6 месяцев. Для построения чертежа рекомендуются масштабы: по α —1 мм=1° (или 1 мм=1°,5) и по δ —2 мм=1° (или 1,5 мм=1°).

Измерив на чертеже расстояние лунных узлов от точки весеннего равноденствия Υ , получим их геоцентрическую долготу λ_1 и λ_2 в определенные дни года, разделенные интервалом времени Δt суток, откуда нетрудно найти величину и направление смещения лунных узлов за сутки (ω_0), за звездный месяц (ω) и за год (Ω) и вычислить период обращения лунных узлов по эклиптике

$$T_{\Omega} = \frac{360^{\circ}}{\Omega}. \quad (2)$$

Фазой Φ Луны называется отношение ширины b лунного серпа к диаметру d лунного диска, т. е.

$$\Phi = \frac{b}{d}. \quad (3)$$

Лунная фаза вычисляется по положению Луны относительно Солнца и Земли. Пусть (рис. 54) E — центр Земли, L — центр Луны и γ — угол между направлениями с Земли на Солнце и на Луну (угловое удаление Луны от Солнца), отсчитываемый в сторону движения Луны; AB — лунный терминатор, $CD=d$ — диаметр лунного диска, перпендикулярный к лучу зрения земного наблюдения. При некотором значении γ с Земли видна освещенная часть BLD лунного диска, имеющая вид серпа, концы рогов которого L_1 и L_2 проектируются на чертеже в точку L ; проекция точки B на диаметре CD определяет положение внутренней средней точки B' лунного серпа, ширина которого $b=B'D$. Так как $CD \perp EL$ и AB перпендикулярно к направлению на Солнце, то $\angle BLD = \gamma$ и

$$x = r \cdot \cos \gamma,$$

где $r = LB = LD$ — есть радиус лунного диска. Тогда

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

и лунная фаза

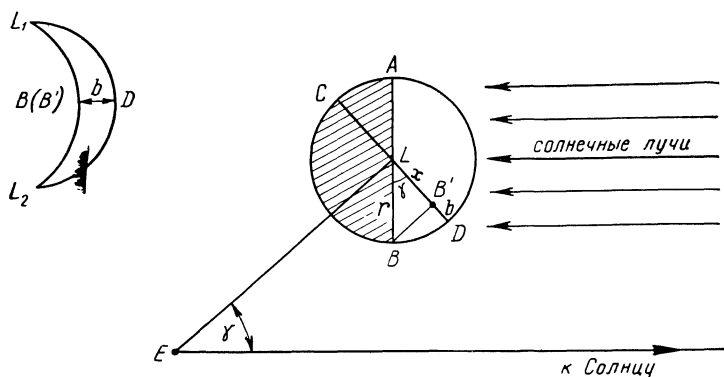


Рис. 54.

$$\Phi = \frac{b}{d} = \frac{r(1 - \cos \gamma)}{2r} = \frac{1 - \cos \gamma}{2} = \sin^2 \frac{\gamma}{2}. \quad (4)$$

Очевидно, что приближенное значение γ может быть найдено по продолжительности синодического месяца S и количеству дней t , протекших со дня новолуния:

$$\gamma = 360^\circ \cdot \frac{t}{S}. \quad (5)$$

ЗАДАНИЕ

1*. На листе миллиметровой бумаги изобразить прямой линией небесный экватор и по экваториальным координатам Солнца на 22 число каждого месяца построить положение эклиптики и обозначить ее основные точки.

2*. По экваториальным координатам Луны, взятым через интервалы в трое суток, построить на том же чертеже положения лунного пути для двух месяцев, в которых не имеется затмений и отстоящих друг от друга на полгода. На обоих положениях лунного пути обозначить лунные узлы.

3*. Выписать даты основных лунных фаз в выбранных месяцах и показать на чертеже положения Солнца \odot и Луны в эти дни, обозначив лунные фазы знаками: новолуние — \bullet , первая четверть — \odot , полнолуние — \circ , последняя четверть — \ominus .

4. Скопировать с подвижной карты звездного неба на кальку небесный экватор, эклиптику, границы и названия зодиакальных созвездий и нанести на кальку положения Солнца и Луны в те же дни.

5*. По измерениям на чертеже вычислить величину суточного смещения Луны относительно звезд и Солнца, указав направление этого смещения.

6. По чертежу и по скопированной кальке определить положение Луны относительно Солнца в дни основных лунных фаз, вычислить фазы Луны через три дня и через десять дней после новолуния, и сформулировать вывод о зависимости лунных фаз от положения Луны относительно Земли и Солнца, изобразив эту зависимость на графике.

7*. По значениям видимого радиуса Луны вычислить эксцентриситет лунной орбиты в: 1) январе; 2) феврале; 3) марте; 4) апреле; 5) мае; 6) июне; 7) июле; 8) августе.

8*. Для того же месяца года вычислить перигейное и апогейное расстояние Луны, установить дни прохождения Луной перигея и апогея своей орбиты и оценить приближенное значение экваториальных координат этих точек.

9*. Определить суточное изменение прямого восхождения Луны вблизи перигея и апогея.

10*. По общим результатам пунктов 7—9 сформулировать вывод об особенностях лунной орбиты.

11. По подвижной карте звездного неба или по Астрономическому календарю-ежегоднику определить моменты восхода и захода Солнца и Луны в дни основных лунных фаз одного из месяцев года и сформулировать вывод об изменении интервалов времени между моментами восхода (захода) обоих светил и последовательности их восхода (захода) при различных лунных фазах.

12. Вычислить среднее значение ежедневного запаздывания восхода и захода Луны и сформулировать вывод о его причине.

13. По данным Астрономического календаря-ежегодника определить период смены лунных фаз и сравнить его с продолжительностью сидерического месяца.

14. Вычислить продолжительность синодического месяца при условии обращения Луны вокруг Земли с тем же периодом, но в обратном направлении.

15. Из анализа результатов пунктов 12—14 сформулировать выводы о причине большей продолжительности синодического месяца по сравнению со звездным месяцем и о причине наступления одинаковых лунных фаз в различных созвездиях.

16*. Определить продолжительность звездных и солнечных суток на Луне.

17*. Измерить долготу лунных узлов при двух положениях лунного пути, определить величину и направление их смещения за сутки, звездный месяц и за год и вычислить период обращения лунных узлов по эклиптике.

18*. Схематически начертить два положения эклиптики и лунного пути относительно небесного экватора при совпадении лунных узлов с точками равноденствий, определить пределы изменения склонения Луны в течение месяца при этих положениях лунного пути и вычислить пределы изменения высоты Луны в верхней кульминации для обоих случаев в городе: 1) Целинограде; 2) Новгороде; 3) Ленинграде; 4) Ялте; 5) Баку; 6) Москве; 7) Волгограде; 8) Енисейске.

19*. Из анализа результатов пункта 18 сформулировать вывод о влиянии движения лунных узлов на условия видимости Луны.

20*. Вычислить для того же города высоту Солнца и Луны в моменты их верхней и нижней кульминации в дни новолуний и полнолуний в марте, июне, сентябре и декабре. Обнаружить и объяснить закономерность в изменении высоты обоих светил за полгода.

Отчет представить по самостоятельно разработанной форме.

СОЛНЕЧНЫЕ И ЛУННЫЕ ЗАТМЕНИЯ

Цель работы. Изучение условий наступления солнечных и лунных затмений.

Пособия: Астрономический календарь — постоянная часть; Астрономический календарь-ежегодник на год, в котором имеются затмения; подвижная карта звездного неба (планшет 9); стереографическая сетка (планшет 11); таблицы тригонометрических функций и их логарифмов; логарифмическая линейка или арифмометр.

Литература: [1], глава II, § 16; [2], глава V, § 80—83.

Дополнительная: [26], глава IV, § 21, 22; [31], глава IV, § 51.

Задачи: [3], № 627, 628, 632, 638, 640, 641, 646—649.

Солнечные и лунные затмения наступают соответственно только во время новолуний и полнолуний, происходящих вблизи лунных

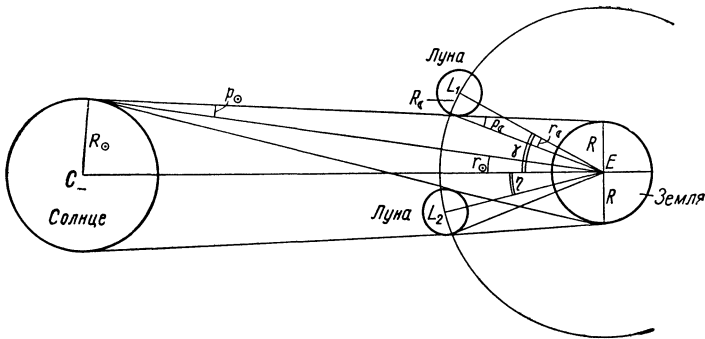


Рис. 55

узлов, что легко уясняется из чертежа, изображающего эклиптику и два положения лунного пути: одно — для месяца, в котором затмения отсутствуют, и другое — для месяца, в котором затмения имеют место. Построение такого чертежа описано в работе № 20 «Движение и фазы Луны». Нанеся на чертеж положения Солнца и Луны при новолуниях и полнолуниях в эти месяцы, можно увидеть различие в относительном расположении обоих светил и сделать выводы об общих условиях наступления затмений. Более точное определение условий наступления солнечных затмений может быть получено из следующих соображений. Пусть (рис. 55) C — центр Солнца, E — центр Земли, L_1 — предельное положение Луны при частном солнечном затмении и L_2 — предельное положение Луны при полном солнечном затмении. Видимые из центра Земли угловые расстояния γ и η между центрами Луны и Солнца для обоих случаев определяются по горизонтальным экваториальным параллаксам p_{\odot} , p_{\ominus} и угловым радиусам r_{\odot} , r_{\ominus} обоих светил. Так, из чертежа видно, что

$$\gamma = r_{\odot} + r_{\ominus} + p_{\odot} - p_{\ominus} \quad (1)$$

и является предельным (наибольшим) угловым расстоянием между центрами дисков светил, при котором обязательно наступает частное солнечное затмение. Аналогично можно подсчитать и угол η для обязательного наступления полных солнечных затмений. По углам γ и η вычисляются предельные расстояния Солнца l_{\odot} и Луны l_{ζ} от лунного узла Ω (или \mathcal{U}), при которых наступают частные и полные солнечные затмения. Так как CE есть след плоскости эклиптики, то углы γ и η представляют собой геоцентрическую широту Луны β_{ζ} для обоих

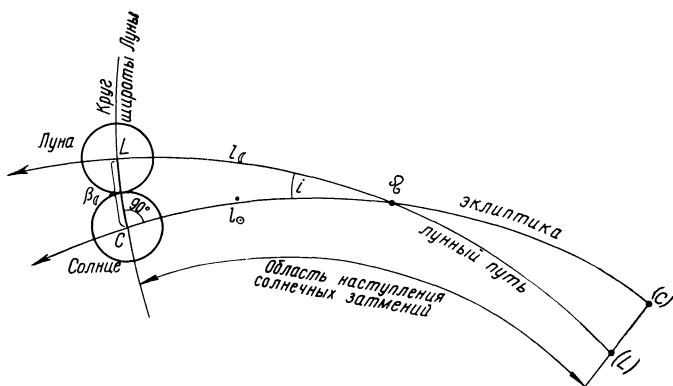


Рис. 56

случаев (рис. 56). Из прямоугольного сферического треугольника ΩCL , образованного дугами $l_{\odot} = \Omega C$, $l_{\zeta} = \Omega L$ и $\beta_{\zeta} = CL$, следует, что

$$\sin l_{\odot} = \operatorname{tg} \beta_{\zeta} \cdot \operatorname{ctg} i \quad (2)$$

и

$$\sin l_{\zeta} = \sin \beta_{\zeta} \cdot \operatorname{cosec} i, \quad (3)$$

где i — наклонение лунной орбиты.

Условия наступления лунных затмений определяются угловыми радиусами Луны r_{ζ} и земной тени r_{\bullet} на расстоянии Луны (рис. 57), причем r_{\bullet} вычисляется по угловому радиусу Солнца r_{\odot} и горизонтальным экваториальным параллаксам Солнца p_{\odot} и Луны p_{ζ} , показанным на рис. 58, на котором отрезки прямых AN и BM изображают границы (образующие) конуса земной тени.

Помня, что центр земной тени лежит на эклиптике, можно вычислить предельные расстояния центра тени l_{\bullet} и Луны l_{ζ} от лунного узла Ω (\mathcal{U}), при которых наступают лунные затмения (рис. 58). При частном затмении геоцентрическая широта Луны $\beta_{\zeta} = r_{\bullet} + r_{\zeta}$, а при полном — $\beta_{\zeta} = r_{\bullet} - r_{\zeta}$, откуда

$$\sin l_{\bullet} = \operatorname{tg} \beta_{\zeta} \cdot \operatorname{ctg} i \quad (4)$$

и

$$\sin l_{\zeta} = \sin \beta_{\zeta} \cdot \operatorname{cosec} i. \quad (5)$$

Положение центра земной тени на эклиптике всегда диаметрально противоположно положению центра Солнца, и поэтому Солнце находится на расстоянии $l_{\odot} \approx l_{\bullet}$ от противоположного лунного узла.

На протяжении каждого календарного года имеется два периода, в пределах которых наступают затмения и длительность τ которых определяется суточным движением Солнца по эклиптике. Из-за движе-

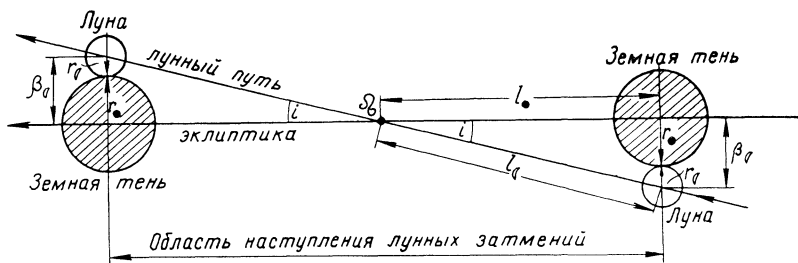


Рис. 57

ния лунных узлов эти периоды непрерывно смещаются, и их смещение во времени может быть подсчитано по продолжительности D_{\odot} драконического года, т. е. по промежутку времени между двумя последовательными прохождениями Солнцем одного и того же лунного узла.

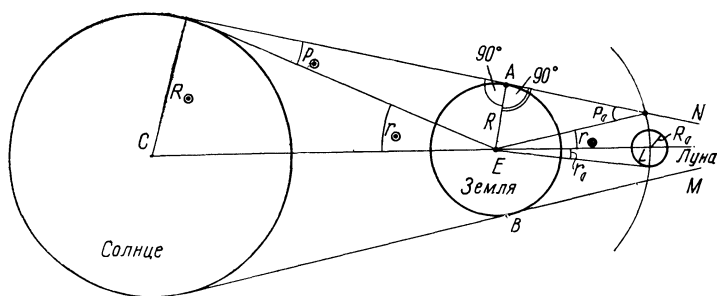


Рис. 58

Пройдя один из лунных узлов, Солнце возвратится к нему не через год, а несколько раньше, так как за год лунные узлы сдвинутся навстречу Солнцу на Ω и путь Солнца по эклиптике за драконический год выразится дугой $360^\circ - \Omega$, откуда

$$D_{\odot} = \frac{360^\circ - \Omega}{n_{\odot}}, \quad (6)$$

где n_{\odot} — суточное движение Солнца по эклиптике.

Зная D_{\odot} , легко подсчитать промежутки времени между периодами наступления затмений и сделать вывод об их смещении по календарным датам года.

Периодичность повторения каждого затмения связана, очевидно, не только с продолжительностью драконического года, но и с продолжительностью драконического и синодического месяцев, так как Луна возвращается к прежнему узлу своей орбиты по истечении драконического месяца D_{ζ} , а одни и те же лунные фазы повторяются через синодический месяц S . Продолжительность драконического месяца D_{ζ} вычисляется аналогично продолжительности драконического года D_{\odot} по смещению ω лунных узлов за звездный месяц и по среднему суточному движению Луны n_{ζ} . Зная продолжительность D_{\odot} , D_{ζ} и S , можно вычислить продолжительность цикла повторяемости затмений, известного под названием сароса.

ЗАДАНИЕ

1*. Изобразить на миллиметровой бумаге небесный экватор, эклиптику и положение лунного пути для двух месяцев — одно для месяца, в котором имеются солнечное и лунное затмения, и второе — до или через три месяца после них; обозначить точки равноденствий и лунные узлы.

2*. Нанести на чертеж положения Солнца и Луны в дни новолуний и полнолуний и измерить расстояния обоих светил от ближайшего к ним лунного узла.

3*. Измерить для тех же дней геоцентрическую широту Луны, выразив ее в градусах и в радиусах солнечного диска.

4. Наложить на подвижную карту звездного неба лист кальки и нанести на него положения Солнца и Луны в дни затмений.

5*. Сопоставить положение Солнца и Луны относительно друг друга и относительно лунных узлов при одинаковых лунных фазах, и из анализа пунктов 2—5 сформулировать вывод об общих условиях наступления солнечных и лунных затмений.

6*. Вычислить средние значения расстояний Солнца и Луны от лунного узла, при которых происходят частные и полные солнечные затмения.

7*. Вычислить средние значения расстояний Солнца и Луны от лунных узлов, при которых происходят лунные затмения.

8*. По результатам пунктов 6 и 7 вычислить длительность ежегодных периодов, в течение которых могут происходить солнечные и лунные затмения, и сформулировать вывод о возможном количестве каждого типа затмения в пределах одного периода.

9*. Вычислить продолжительность драконического года и промежутки времени между соседними периодами наступления затмений, указав направление их смещения.

10*. Из анализа результатов пунктов 8 и 9 сформулировать вывод о возможном количестве солнечных и лунных затмений на протяжении одного календарного года.

11. Вычислить продолжительность драконического месяца и продолжительность сароса.

12. Вычислить даты двух солнечных затмений, являющихся повторением полного солнечного затмения 19 июня 1936 г.

13. Вычислить максимальное расстояние Луны от Земли, при котором возможно полное солнечное затмение, и указать точку лунного пути, в которой в этом случае должна находиться Луна.

14*. Выписать из Астрономического календаря-ежегодника сведения об одном из лунных затмений и определить моменты его начала и конца, а также условия его видимости в городах: 1) Ленинграде и Владивостоке; 2) Батуми и Якутске; 3) Сухуми и Баргузине; 4) Красноводске и Охотске; 5) Баку и Чите; 6) Ялте и Улан-Удэ; 7) Новгороде и Хабаровске; 8) Симферополе и Иркутске.

15. Изобразить на чертеже положение Луны в земной тени в момент наибольшей фазы лунного затмения и определить величину этой фазы, если она наступила вблизи местной полночи, угловой радиус земной тени был равен $42'$, а склонение Солнца и Луны в этот момент было:

№ варианта	δ_{\odot}	δ_{C}	№ варианта	δ_{\odot}	δ_{C}
1)	$+19^{\circ}21'$	$-20^{\circ}06'$	5)	$+18^{\circ}10'$	$-18^{\circ}25'$
2)	$-17^{\circ}07'$	$+17^{\circ}42'$	6)	$-11^{\circ}12'$	$+11^{\circ}32'$
3)	$+12^{\circ}09'$	$-12^{\circ}49'$	7)	$+7^{\circ}21'$	$-7^{\circ}58'$
4)	$-5^{\circ}36'$	$+6^{\circ}01'$	8)	$-19^{\circ}16'$	$+19^{\circ}46'$

Отчет представить по самостоятельно разработанной форме.

КАЧЕСТВЕННЫЙ ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ АТМОСФЕРЫ СОЛНЦА

Ц е л ь р а б о т ы. Построение дисперсионных кривых спектрограмм, определение длин волн спектральных линий и отождествление линий химических элементов в спектрах небесных светил.

П о с о б и я: спектры Солнца и некоторых химических элементов (планшет 12); таблицы спектральных линий.

Л и т е р а т у р а: [1], глава VII, § 78—80, 82, 83; глава X, § 120; [2], глава VII, § 102, 106, 109, глава VIII, § 114, глава IX, § 117.

Д о п о л н и т е л ь н а я: [11], глава III, § 26; [12], глава шестая, § 62, 63, 65—73; [13], глава I, § 3; [16], глава II, § 7, 8, 10; [27], глава I, стр. 25—44; [28], стр. 7—16.

З а д а ч и: [3], № 797—801.

Спектры Солнца и подавляющего большинства звезд являются спектрами поглощения и по ним определяется химический состав атмосфер этих светил.

Основные линии солнечного спектра называются фраунгоферовыми и обозначаются буквами латинского алфавита. Некоторые линии в спектрах Солнца и звезд выделяются очень четко, и их принадлежность определенным химическим элементам легко устанавливается сравнением со спектрами химических элементов, полученными в лабораторных условиях. Чтобы отождествить другие линии, необходимо определить длину их волны λ и затем по таблицам или атласам спектральных линий установить их принадлежность химическим элементам.

Длина волны λ спектральных линий вычисляется по их положению в спектре. Но взаимное расположение в спектре линий одного и того же химического элемента во многом зависит от спектральных свойств аппаратуры, с помощью которой получен спектр. Так, если спектр получен с дифракционной решеткой (дифракционный спектр), то спектральные линии расположены друг от друга на расстояниях $l_2 - l_1$, пропорциональных разностям длин волн этих линий $\lambda_2 - \lambda_1$. Если же спектр получен на призменном инструменте (призменный спектр), то фиолетовая часть спектра выходит растянутой, а его красная часть — сжатой, и расстояния между спектральными линиями уже не будут пропорциональны разностям длин волн. Поэтому при обработке фотографии спектра, называемой спектрограммой, необходимо прежде всего установить масштаб различных участков спектра, т. е. интервал длин волн, укладывающийся на единице длины каждого участка спектрограммы. Этот масштаб, называемый дисперсией участка спектрограммы,

$$D = \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{l_2 - l_1} = \frac{\Delta\lambda_0}{\Delta l} \quad (1)$$

и выражается, как правило, в ангстремах на 1 мм ($\text{\AA}/\text{мм}$). Очевидно, что дифракционный спектр имеет постоянную дисперсию D на всем своем протяжении, в то время как дисперсия призменного спектра не постоянна и уменьшается при переходе от фиолетовой к крас-

ной части спектра (величина D увеличивается). Изменение дисперсии спектрограммы наглядно представляется дисперсионной кривой (рис. 59), которая строится по положению спектральных линий с известной длиной волны, например по линиям бальмеровской серии водорода. Одна из таких линий (лучше с наименьшей длиной волны) принимается за начальную λ_0 и от нее измеряются в миллиметрах расстояния l остальных линий, по которым строится дисперсионная кривая $l=f(\lambda)$. По дисперсионной кривой можно определить приближенное значение длины волны любой спектральной линии того же

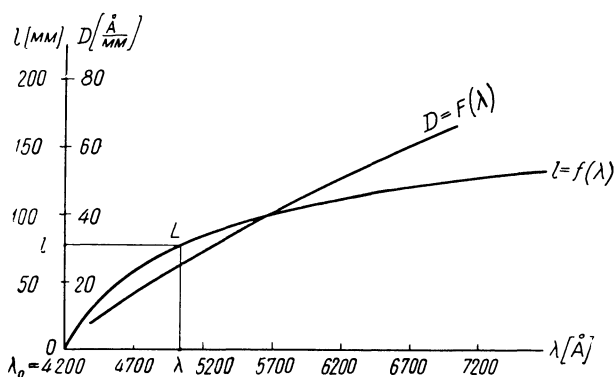


Рис. 59

спектра, для чего ее расстояние l от начальной линии откладывается на координатной оси l , из конца отложенного отрезка восстанавливается перпендикуляр до пересечения с дисперсионной кривой и из полученной точки L опускается перпендикуляр на координатную ось λ , по масштабу которой определяется длина волны λ спектральной линии. Для обеспечения достаточной точности определения длин волн дисперсионная кривая $l=f(\lambda)$ должна быть построена в крупном масштабе.

В каждой точке спектрограммы дисперсия

$$D = \frac{d\lambda}{dl}, \quad (2)$$

и поэтому, вычисляя ее по формуле (1), следует использовать спектральные линии с возможно близкими известными значениями λ_1 и λ_2 . Кривая $D=F(\lambda)$, показывающая дисперсию в различных точках спектрограммы, строится на том же графике, что и дисперсионная кривая $l=f(\lambda)$. Каждое полученное значение D соответствует значению

$$\lambda_c = \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{2}. \quad (3)$$

ЗАДАНИЕ

1*. Пользуясь известными длинами волн спектральных линий водорода, построить дисперсионные кривые $l=f(\lambda)$ и кривые изменения дисперсии $D=F(\lambda)$ для обеих спектрограмм водорода (б и д), указав принятые обозначения этих линий.

2*. Сравнить построенные одноименные кривые между собой, объяснить их отличие друг от друга и установить причину различного вида двух спектров водорода.

3*. По спектрам водорода, гелия и натрия отождествить линии в спектре Солнца и по таблицам спектральных линий определить их длину волны.

4*. По дисперсионной кривой определить приближенное значение длины волны спектральных линий *A, B, E, d, e, H* и *K* солнечного спектра и по таблицам спектральных линий установить их принадлежность химическим элементам и уточненное значение длины волны.

5*. Сформулировать вывод об основном химическом составе солнечной атмосферы.

Отчет о работе № 22

Дата выполнения работы:

1—2. Спектры водорода

№ линии	Обозначение	б					д				
		l	Δλ ₀	Δl	D	λ _c	l	Δλ ₀	Δl	D	λ _c
0											
1											
2											
⋮											
⋮											

График прилагается.
Объяснение.

3—4.

Обозначение линии в солнечном спектре	Приближенная λ	Химический элемент	Уточненная λ

5. Вывод:

ЛУЧЕВАЯ СКОРОСТЬ ЗВЕЗД

Ц е л ь р а б о т ы. Определение лучевой скорости небесных светил.

П о с о б и я: спектрограммы звезд (планшеты 13—16); стереографическая сетка (планшет 11); Астрономический календарь-ежегодник; измерительная лупа с миллиметровой шкалой; таблицы тригонометрических функций; логарифмическая линейка или арифмометр.

Л и т е р а т у р а: [1], глава VII, § 79, 80, 83, глава XI, § 136; [2], глава VII, § 107.

Д о п о л н и т е л ь н а я: [11], глава III, § 27; [12], глава шестая, § 76, 84—86, 89; [14], глава XVIII, § 87, 88, 95.

З а д а ч и: [3], № 760—764, 794, 795; [4], № 320—324, 328—332.

Лучевая скорость v_r небесных светил определяется по смещению линий в их спектрах (принцип Допплера — Белопольского)

$$v_r = c \frac{\Delta\lambda}{\lambda}, \quad (1)$$

где $c=3 \cdot 10^5$ км/сек — скорость света, λ — нормальная (лабораторная) длина волны данной спектральной линии и $\Delta\lambda$ — ее смещение, причем λ и $\Delta\lambda$ должны быть выражены в одних и тех же единицах длины.

Вследствие смещения спектральной линии на величину $\Delta\lambda$ ее наблюдаемая длина волны

$$\lambda' = \lambda + \Delta\lambda. \quad (2)$$

При направлении лучевой скорости v_r к наблюдателю (к Земле) спектральные линии смещаются в сторону фиолетового конца спектра и в этом случае $\lambda' < \lambda$, $\Delta\lambda < 0$ и $v_r < 0$. При противоположном направлении лучевой скорости спектральные линии смещены в сторону красного конца спектра, и тогда $\lambda' > \lambda$, $\Delta\lambda > 0$ и $v_r > 0$.

Смещение $\Delta\lambda$ спектральных линий измеряется относительно тождественных линий спектра сравнения, который впечатывается от лабораторного источника света на ту же фотографическую пластинку, по обе стороны от спектра небесного светила, и на фотографических отпечатках изображается светлыми линиями на темном фоне. Выше некоторых линий спектра сравнения проставляются четырехзначные числа, означающие длину волны этих линий в ангстремах и позволяющие построить дисперсионную кривую, пользуясь которой определяют длину волны λ' смещенных линий спектра звезды (см. работу № 22) и по формуле (2) вычисляют смещение $\Delta\lambda$ в ангстремах. Этот способ не дает большой точности и лучше всего найти дисперсию

$$D = \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{l_2 - l_1} \quad (3)$$

на используемых участках спектрограммы и, измерив в миллиметрах смещение линий Δx , вычислить

$$\Delta\lambda = D \cdot \Delta x, \quad (4)$$

причем Δx либо непосредственно измеряется по шкале измерительной лупы, либо определяется как

$$\Delta x = x - l, \quad (5)$$

где x — расстояние линии спектра звезды от начальной линии спектра сравнения, а l — расстояние соответствующей линии спектра сравнения от той же начальной линии. При измерении Δx следует обязательно учитывать знак смещения, который определяет знак лучевой скорости.

Для большей точности определения лучевой скорости измеряется смещение семи-восьми спектральных линий и по ним вычисляется столько же частных значений лучевой скорости v_{ri} , среди которых будут как близкие между собой значения, так и резко отклоняющиеся от них. Отбросив последние, по оставшимся n значениям v_{ri} вычисляют их среднее арифметическое

$$v_r = \frac{\sum_1^n v_{ri}}{n}, \quad (6)$$

которое и принимают за наиболее вероятное значение лучевой скорости светила. Точность полученного результата оценивается средней квадратичной ошибкой

$$\Delta v_r = \pm \sqrt{\frac{\sum_1^n (v_r - v_{ri})^2}{n(n-1)}}, \quad (7)$$

для чего предварительно составляются разности $v_r - v_{ri}$.

Результат записывается в виде

$$v_r = v_r \pm \Delta v_r, \quad (8)$$

и дает лучевую скорость звезды относительно Земли в день фотографирования ее спектра. Но полученная лучевая скорость не характерна для звезды, так как содержит проекцию орбитальной скорости Земли на направлении к звезде. В самом деле, если звезда S (рис. 60) имеет лучевую скорость V_r относительно Солнца C , то на протяжении одного полугодия проекция V_{\oplus}' орбитальной скорости Земли V_{\oplus} на луч зрения E_1S (Земля — звезда) направлена навстречу V_r , и тогда лучевая скорость звезды относительно Земли

$$v_r = V_r + V_{\oplus}',$$

а в течение другого полугодия направления V_{\oplus}' и V_r совпадают (E_2S) и

$$v_r = V_r - V_{\oplus}',$$

причем V_{\oplus}' непрерывно меняется и зависит не только от направления орбитальной скорости V_{\oplus} Земли, но и от положения звезды S отно-

сительно плоскости эклиптики. Поэтому лучевую скорость звезды v_r необходимо исправить за движение Земли и вычислить лучевую скорость звезды V_r относительно Солнца:

$$V_r = v_r - 29,8 \cdot \sin(\lambda_* - \lambda_{\odot}) \cdot \cos \beta_*, \quad (9)$$

где $29,8 \text{ км/сек}$ — есть средняя орбитальная скорость Земли, λ_* и β_* — геоцентрические эклиптические координаты звезды и λ_{\odot} — геоцентрическая долгота Солнца в день получения спектра звезды.

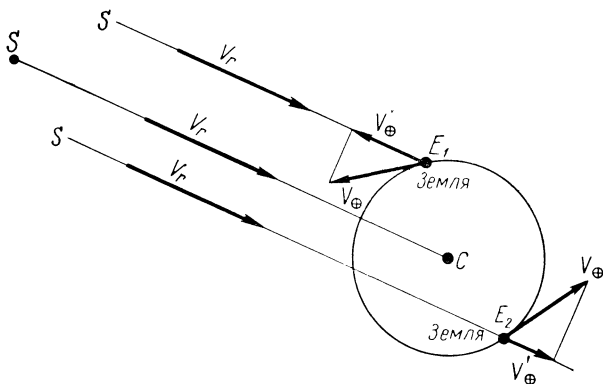


Рис. 60

Значение λ_{\odot} берется из Астрономического ежегодника или вычисляется по гелиоцентрической долготе Земли l_{\oplus} , поскольку всегда

$$\lambda_{\odot} = 180^\circ + l_{\oplus}. \quad (10)$$

Значения λ_* и β_* звезды определяются по ее экваториальным координатам α и δ либо по стереографической сетке (так как здесь вполне достаточна точность $\pm 0^\circ,5$), либо по формулам сферической тригонометрии

$$\cos \beta_* \cdot \cos \lambda_* = \cos \delta \cdot \cos \alpha, \quad (11)$$

$$\cos \beta_* \cdot \sin \lambda_* = \sin \varepsilon \cdot \sin \delta + \cos \varepsilon \cdot \cos \delta \cdot \sin \alpha, \quad (12)$$

$$\sin \beta_* = \cos \varepsilon \cdot \sin \delta - \sin \varepsilon \cdot \cos \delta \cdot \sin \alpha, \quad (13)$$

в которых $\varepsilon = 23^\circ 27'$ представляет наклонение небесного экватора к эклиптике.

Окончательный результат запишется в виде

$$V_r = v_r \pm \Delta v_r. \quad (14)$$

Точность результатов не должна превышать 1 км/сек .

ФОТОМЕТРИЯ ЗВЕЗД

Цель работы. Определение видимых звездных величин звезд.

Пособия: фотографии двух участков звездного неба в желтых и синих лучах (планшеты 17—20); Астрономический календарь — постоянная часть или Справочник любителя астрономии; таблицы логарифмов; измерительная лупа с миллиметровой шкалой; логарифмическая линейка или арифмометр.

Литература: [1], глава VII, § 69, 72—76, глава XI, § 141; [2], глава VII, § 103, глава XI, § 146.

Дополнительная: [11], глава II, § 10, глава III, § 18, 19; [12], глава V, § 40, 42, 44, 45, 51, 53—55; [14], глава XXII, § 123, 124, глава XXIV, § 141—144; [17], Введение, § 3, 4, глава первая, § 6, 7; [31], глава III, § 26, 27.

Задачи: [3], № 748—759, 839, 843, 999, 1007; [4], № 207—232.

Блеск E звезды характеризуется ее видимой звездной величиной m и связан с нею формулой Погсона. Одна и та же звезда может иметь различную видимую звездную величину, в зависимости от способа ее определения, — визуальную m_v , фотографическую m_{pg} , фотовизуальную m_{pv} , фотоэлектрическую m_{ph} , радиометрическую m_{rad} и т. д. Различные шкалы звездных величин являются относительными и позволяют лишь сравнивать между собой блеск звезд в различных лучах. Так, если блеск звезды определен непосредственно глазом с использованием визуального фотометра или без него, то блеск характеризуется визуальной звездной величиной m_v , в оценке которой имеют значение только лучи, воспринимаемые глазом. Поскольку глаз наиболее чувствителен к желто-зеленым лучам с длиной волны $\lambda = 5500 \text{ \AA}$, то эффективной длиной волны для визуальных звездных величин является $\lambda_e = 5500 \text{ \AA}$.

Если определять видимые звездные величины звезд по фотографиям, полученным на обычной фотографической пластинке, чувствительной, главным образом, к синим, фиолетовым и ультрафиолетовым лучам, то полученные звездные величины называются фотографическими m_{pg} , эффективной длиной волны которых является $\lambda_e = 4250 \text{ \AA}$.

Видимая звездная величина, определенная по фотографиям, полученным сквозь желтый светофильтр на очувствленных к желто-зеленым лучам фотопластинках (изоортохроматические фотопластинки), называется фотовизуальной звездной величиной m_{pv} , которая близка к визуальной звездной величине m_v и часто ее заменяет, в особенности при изучении телескопических звезд.

Звездная величина обозначается латинской буквой m и проставляется около целого числа в виде показателя степени, например, $2^m.09$, $0^m.61$, $7^m.42$ и т. д.

Разность

$$C = m_{pg} - m_v = m_{pg} - m_{pv} \quad (1)$$

называется показателем цвета, выражается в звездных величинах и характеризует цвет звезды.

В настоящее время, благодаря быстрому развитию электроники, стало возможным изучение блеска звезд фотоэлектрическими методами, значительно повышающими точность определения звездных величин в различных лучах. Определяя фотоэлектрическими методами звездные величины ряда звезд различного блеска в определенной области неба, создают стандарты звездных величин, пользуясь которыми определяют фотографическими методами звездные величины остальных звезд той же области. Эта новая система звездных величин основана на измерении излучения звезд в трех интервалах длин волн — желтом (V), синем (B) и ультрафиолетовом (U), почему и получила название

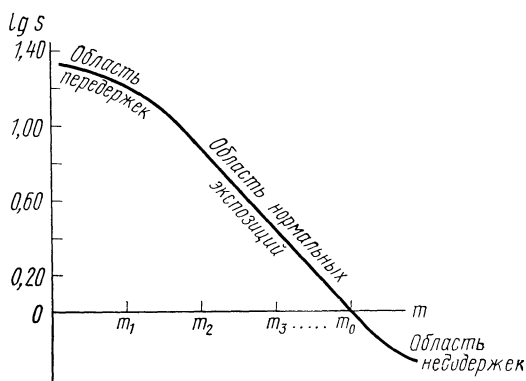


Рис. 61

U , B , V -системы. Звездные величины в этой системе обозначаются буквами U , B и V , причем основным показателем цвета является разность ($B-V$), которая для белых звезд принимается равной нулю. Звездная величина V получается на изоортохроматических фотопластинках, экспонированных сквозь желтый светофильтр, и по своему значению близка к m_{pv} . Для получения B -величин применяются обычные, несенсибилизированные фотопластинки, экспонируемые сквозь синий фильтр, отсекающий ультрафиолетовое излучение с $\lambda \leq 3800 \text{ \AA}$. Поэтому звездная величина B близка к m_{pg} только у звезд с бедной ультрафиолетовой областью излучения. У звезд же, обильно излучающих ультрафиолетовую часть спектра, расхождение B и m_{pg} весьма значительно, и ультрафиолетовое излучение этих звезд характеризуется ультрафиолетовым показателем цвета ($U-B$), для определения которого звезды фотографируются на несенсибилизированных фотопластинках сквозь ультрафиолетовый светофильтр, отсекающий видимую область спектра.

Фотовизуальные, фотографические, V , B и U звездные величины определяются по плотности изображения звезд на негативе, которая промеряется на приборах, называемых микрофотометрами. Чем ярче звезда, тем плотнее ее изображение на фотопластинке, но прямой пропорциональности здесь не имеется, и поэтому для определения звездных величин звезд необходимо знать зависимость степени почер-

нения фотопластинки от ее освещенности. Эта зависимость называется характеристической кривой фотопластинки и всегда изображается графически. Для построения характеристической кривой либо впечатывают на фотопластинку фотометрическую шкалу в виде кружков различной плотности, либо пользуются изображениями звезд с известной соответствующей звездной величиной.

Измерив и вычислив относительные почернения S фотометрируемых звезд, находят по характеристической кривой их видимую звездную величину m .

С меньшей точностью видимая звездная величина звезд может быть определена по измерению диаметров d их изображений, при допущении, что площади s изображений звезд на фотографиях пропорциональны почернению S . Измерив диаметры d изображений звезд с известной звездной величиной m , принимают за единицу диаметр d_0 изображения наиболее яркой (или наиболее слабой) звезды m_0 , вычисляют относительные площади изображений

$$s = \left(\frac{d}{d_0} \right)^2, \quad (2)$$

условно считаемые за почернения, и по ним строят характеристическую кривую, откладывая на оси абсцисс значения m , а на оси ординат — значения $\lg s = 2 \lg \frac{d}{d_0}$ (рис. 61). Измеряя диаметры изображений

изучаемых звезд и деля их на ранее принятый единичный диаметр d_0 , вычисляют $\lg s$ и по прямолинейному участку характеристической кривой находят их видимую звездную величину m . Криволинейных участков характеристической кривой, если таковые окажутся, использовать нельзя, так как один из них означает недодержанные (слишком слабые), а другой — передержанные (слишком плотные) изображения звезд.

Так как блеск представляет собой освещенность, то к нему применим закон обратных квадратов. Если светило при расстоянии r от Земли имеет блеск E , выражаемый видимой звездной величиной m , то при ином расстоянии r_1 блеск того же светила будет

$$E_1 = E \frac{r^2}{r_1^2}, \quad (3)$$

а соответствующая ему звездная величина

$$m_1 = m - 2,5 \lg \frac{E_1}{E}. \quad (4)$$

В звездных величинах выражается также блеск Солнца, Луны, планет, комет и других небесных объектов.

Зная, что видимая визуальная звездная величина Солнца $m_{\odot} = -26^m.8$, а полной Луны $m_{\zeta} = -12^m.6$, можно вычислить отношение освещенностей земной поверхности от этих светил, а по расстояниям планет от Солнца определить его видимую звездную величину с этих планет.

При вычислениях необходимо иметь в виду, что точность результатов не может превышать точности исходных данных.

ЗАДАНИЕ

1*. По изображениям и известной видимой звездной величине звезд № 1—6 построить характеристическую кривую фотопластинки, экспонированной:

1) в V -лучах (область 1); 2) в B -лучах (область 1); 3) в V -лучах (область 2); 4) в B -лучах (область 2).

2*. Пользуясь построенной характеристической кривой, определить соответствующую видимую звездную величину звезд: 1) 7, 9, 11 и 14; 2) 7, 9, 11 и 14; 3) 8, 10, 11 и 21; 4) 8, 10, 11 и 21; 5) 8, 13, 14 и 18; 6) 8, 13, 14 и 18; 7) 15, 16, 19 и 20; 8) 15, 16, 19 и 20.

3*. Определить показатель цвета тех же звезд и соотношение их блеска в синих и желтых лучах.

4*. Из анализа результатов пунктов 1—3 сформулировать вывод о причине различия блеска одних и тех же звезд в различных лучах.

5*. Вычислить отношение блеска в различных лучах звезд: 1) Мицара и ϵ Геркулеса; 2) Веги и θ Орла; 3) Сириуса и ϵ Персея; 4) Капеллы и β Дракона; 5) Проциона и ϵ Кассиопеи; 6) Антареса и ζ Персея; 7) Поллукса и β Водолея; 8) Альдебарана и ζ Большого Пса.

6*. Вычислить видимую звездную величину первой звезды пункта 5 при увеличении и уменьшении ее расстояния от Земли в два, четыре и десять раз.

7*. По результатам пункта 6 сформулировать вывод о влиянии расстояния на блеск звезд.

8. Определить число звезд видимой звездной величины $m = 12^m.50$, суммарный блеск которых равен блеску звезды: 1) Мицара; 2) Веги; 3) Сириуса; 4) Капеллы; 5) Проциона; 6) Антареса; 7) Поллукса; 8) Альдебарана.

9. Определить отношение освещенностей, создаваемых на Земле Солнцем и полной Луной.

10. Вычислить средний угловой диаметр и видимую звездную величину Солнца при наблюдениях его с планеты: 1) Меркурия; 2) Венеры; 3) Марса; 4) Юпитера; 5) Сатурна; 6) Урана; 7) Нептуна; 8) Плутона.

11. По общим результатам пункта 10 построить график зависимости видимого диаметра и видимой звездной величины Солнца от расстояния и сформулировать выводы о закономерностях изменения этих величин с расстоянием.

Отчет о работе № 24

Дата выполнения работы:

1. Область _____, снята в _____-лучах.

Характеристическая кривая

№ звезды	d	d/d ₀	lg d/d ₀	lg s = 2lg d/d ₀	V, B

Характеристическая кривая прилагается.

2—3.

№ звезды	d	d/d ₀	l	V	B	B-V	Цвет	lg E _V /E _B	E _V /E _B

4. Вывод: _____

5. Звезда _____, V₁ = _____ (B-V)₁ = _____ B₁ = _____
 Звезда _____, V₂ = _____ (B-V)₂ = _____ B₂ = _____

Отношение блеска в V-лучах: _____ Формула и решение.

Отношение блеска в B-лучах: _____

Вычисления:

6. Звезда _____, V = _____

r							
V							

7. Вывод:

8. Звезда _____ Формулы и вычисления:

$$m_1 =$$

$$m_2 = 12^m \cdot 50$$

9. m_☉ = _____ Вычисления:

$$m_{\text{C}} =$$

10.

Планета	a	m _☉	d _☉
Земля			

Вычисления:

11. Выводы:

График прилагается.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕКОТОРЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК БОЛЬШИХ ПЛАНЕТ

Цель работы. Изучение физических характеристик планет

Пособия: фотографии Венеры и Юпитера (планшеты 21—23); рисунок Сатурна (планшет 24); планетографическая координатная сетка (планшет 25); *Астрономический календарь* — постоянная часть или *Справочник любителя астрономии*; *Астрономический календарь-ежегодник*; логарифмическая линейка.

Литература: [1], глава VIII, § 87—95; [2], глава III, § 67, глава X, § 129, 134—139.

Дополнительная: [12], глава семнадцатая, § 251, 252, п. а; [13], глава VIII, § 33, 34, 36; [16], глава XII, § 84, 87, 88; [23], глава IV, § 20, глава V, § 27; [24], глава II, § 5, 6, глава III, § 12—15; [25], раздел 2, 3, 5; [31], глава IV, § 42—47; [33], глава I.

Задачи: [3], № 831, 853, 857, 858, 869, 872, 874; [4], № 188—195, 199, 200.

Линейный диаметр D планеты вычисляется по ее геоцентрическому расстоянию ρ (или горизонтальному экваториальному параллаксу p) и видимому угловому диаметру d , который измеряется либо микрометром при визуальных наблюдениях, либо шкалой измерительного прибора по фотографическому изображению планеты при известном масштабе фотографии μ' . В последнем случае, очевидно,

$$d = \mu' D', \quad (1)$$

где D' — измеренный в мм диаметр фотографического изображения планеты.

Диаметры планет, как правило, выражаются в диаметрах Земли. При различных экваториальном $D_э$ и полярном $D_п$ диаметрах планеты ее форма характеризуется сжатием

$$\varepsilon = \frac{D_э - D_п}{D_э}, \quad (2)$$

и тогда объем планеты

$$V = \frac{1}{6} \pi D_э^2 D_п. \quad (3)$$

Зная массу M планеты в массах Земли, можно вычислить среднюю плотность планеты δ в плотностях Земли δ_0 , а при необходимости — найти и абсолютное значение δ , поскольку известно, что $\delta_0 = 5,52 \text{ г/см}^3$.

Положение деталей на дисках планет определяется планетографическими координатами, которые измеряются специальными сетками и, подобно географическим координатам, отсчитываются от экватора планеты (планетографическая широта β) и от одного из ее меридианов, принимаемого за начальный (планетографическая долгота λ). В северном полушарии планеты β положительна, а в южном — отрицательна. Планетографическая долгота λ всегда отсчитывается в одном направлении, с запада к востоку, от 0 до 360° . Вследствие обращения планеты вокруг Солнца и ее вращения вокруг оси, имеющей постоянный (но различный у разных планет) наклон, видимое положение экватора и

начального меридиана на диске планеты меняется в определенных пределах и может быть найдено на каждый день года в таблицах «Физических координат», публикуемых в астрономических календарях-ежегодниках.

Измерив на двух фотографиях планеты, полученных в различные моменты времени T_1 и T_2 , планетографическую долготу λ_1 и λ_2 одной и той же детали, нетрудно вычислить период P вращения планеты вокруг оси, так как

$$P = \frac{360^\circ}{\lambda_2 - \lambda_1} (T_2 - T_1), \quad (4)$$

а зная P , — определить угловую ω и линейную v скорость различных точек ее поверхности. Очевидно,

$$\omega = \frac{360^\circ}{P} \quad (5)$$

и

$$v = \omega r, \quad (6)$$

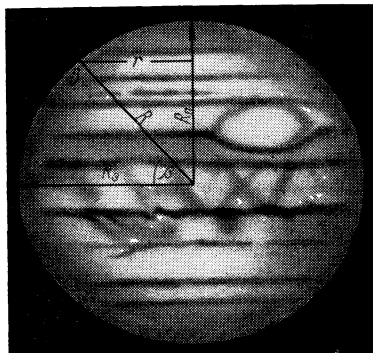


Рис. 62

где r — радиус вращения точки поверхности планеты (рис. 62), который определяется по планетографической широте β этой точки, экваториальному R_9 и полярному R_p радиусу планеты

$$r = \frac{R_9}{\sqrt{\operatorname{tg}^2 \beta + \left(\frac{R_p}{R_9}\right)^2}}, \quad (7)$$

или по ее сжатию ε :

$$r = \frac{R_9}{\sqrt{\operatorname{tg}^2 \beta + (1 - \varepsilon)^2}}. \quad (8)$$

Если сжатие планеты мало, то можно полагать $\varepsilon=0$, $R_p=R_9=R$, и тогда

$$r = R \cdot \cos \beta. \quad (9)$$

Строго говоря, при точном определении периода вращения P планеты необходимо учитывать смещение Земли по своей орбите за промежуток времени $T_2 - T_1$, но для быстро вращающихся планет этим смещением Земли можно пренебречь. Точность вычислений не должна превышать точности исходных данных.

ЗАДАНИЕ

1*. По фотографиям Венеры и Юпитера и рисунку Сатурна, выполненным в эпохи нижнего соединения и противостояния, определить угловые и линейные диаметры этих планет и вычислить их объем и среднюю плотность.

2*. Сравнить сжатие тех же планет со сжатием Земли и объяснить причину различия в сжатии этих небесных тел.

3*. Вычислить линейный диаметр и ширину трех колец Сатурна, ширину щели Кассини и угол наклона плоскости экватора планеты к лучу зрения наблюдателя в день получения рисунка.

4*. На двух фотографиях Юпитера, снятых в один вечер с небольшим интервалом времени, отождествить одну деталь в экваториальной и одну деталь в умеренной зоне, и по их положениям вычислить период вращения, угловую и линейную скорость этих зон планеты.

5*. Из анализа результатов пункта 4 сформулировать вывод о характере вращения Юпитера вокруг оси и объяснить причину такого вращения планеты.

6*. Вычислить (в сравнении с освещенностью Земли) освещенность Солнцем планеты: 1) Меркурия; 2) Венеры; 3) Марса; 4) Юпитера; 5) Сатурна; 6) Урана; 7) Нептуна; 8) Плутона.

7*. По общим результатам пункта 6 построить график освещенности планет Солнцем и сформулировать вывод о пригодности теплового режима планет Солнечной системы для жизни земного человека.

Отчет представить по самостоятельно разработанной форме.

СПЕКТРАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРИОДОВ ВРАЩЕНИЯ ПЛАНЕТ

Цель работы. Изучение спектрального метода определения периодов вращения планет и Солнца.

Пособия: спектрограмма Юпитера (планшет 26); спектрограмма Сатурна (планшет 27); Астрономический календарь — постоянная часть или Справочник любителя астрономии; измерительная лупа с миллиметровой шкалой; логарифмическая линейка или арифмометр.

Литература: [1], глава VII, § 80, 83, глава VIII, § 93, 94; [2], глава VII, § 107, глава X, § 137, 138.

Дополнительная: [11], глава III, § 27; [12], глава шестая, § 76, глава семнадцатая, § 252; [13], глава VIII, § 33; [16], глава I, § 6, глава XI, § 67, 68, 70—72; [23], глава V, § 28; [24], глава II, § 10, 11; [25], раздел 5.

Задачи: [3], № 849, 874; [4], № 196, 206.

Периоды вращения планет и Солнца вокруг оси могут быть определены по смещению линий в их спектрах. Так как планеты отражают солнечный свет, то их спектры идентичны спектру Солнца и, кроме того, содержат ряд полос, вызванных избирательным поглощением света в их атмосфере и в атмосфере Земли (теллурические линии).

Планета Сатурн обладает кольцом, обращающимся вокруг планеты в плоскости ее экватора. Поэтому спектрограмма Сатурна состоит из трех спектров, из которых центральный принадлежит диску планеты, а два остальных — ее кольцу. Ширина центрального спектра соответствует диаметру диска планеты, а ширина краевых спектров — ширине кольца. Вследствие отражения солнечного света от разных точек диаметра диска планеты и кольца, имеющих различную лучевую скорость по отношению к Земле, смещение разных точек спектральных линий неодинаково, и поэтому эти линии имеют наклон к продольной оси спектра (к направлению дисперсии). Спектр сравнения представлен белыми линиями на черном фоне, около которых проставлены длины волн в ангстремах (Å).

Выбрав в спектрах диска и кольца планеты семь-восемь четких линий, измеряют в мм расстояние Δx_v верхних и Δx_n нижних точек этих линий от тождественных линий спектра сравнения и, определив дисперсию D на использованных участках спектрограммы, находят смещения $\Delta \lambda_v$ и $\Delta \lambda_n$ тех же точек и по ним вычисляют лучевые скорости v_r краевых точек диска планеты и кольца относительно Земли (см. работу № 23). Вследствие неточности измерений, полученные по смещению разных линий значения v_{ri} одной и той же точки диска планеты (или кольца) будут несколько отличаться друг от друга, и поэтому по близким значениям v_{ri} следует найти их среднее значение

$$v_r = \frac{\sum_1^n v_{ri}}{n}, \quad (1)$$

где n — число использованных определений для одной и той же точки

диска планеты или ее кольца. Точность среднего значения v_r оценивается средней квадратичной ошибкой результата

$$\Delta v_r = \pm \sqrt{\frac{\sum_1^n (v_r - v_{ri})^2}{n(n-1)}}. \quad (2)$$

Найденные средние значения v_r состоят из лучевой скорости v_{r0} планеты относительно Земли и из линейной скорости $v_э$ диаметрально противоположных точек экватора планеты (или скорости v_k внешних и v_k' внутренних диаметрально противоположных точек кольца). Очевидно, что для этих точек экватора планеты

$$v_{r1} = v_{r0} + v_э \quad (3)$$

и

$$v_{r2} = v_{r0} - v_э, \quad (4)$$

откуда легко вычислить v_{r0} и линейную скорость $v_э$ вращения экватора планеты вокруг оси. Аналогично вычисляется линейная скорость v_k' внешних и v_k внутренних точек кольца.

Зная $v_э$, v_k и v_k' , нетрудно вычислить период P вращения планеты вокруг оси и периоды P_k и P_k' обращения различных зон кольца вокруг планеты, так как

$$P = \frac{2\pi r}{v}, \quad (5)$$

где r — расстояние соответствующих точек от центра планеты, а v в различных случаях имеет значение $v_э$, v_k и v_k' .

Следует напомнить, что при вычислениях необходимо выражать все величины в строго определенной системе единиц, а конечные результаты — в наиболее удобном для записи виде, придерживаясь реальной точности полученных величин. Так, точность определения v не может превышать 0,1 км/сек, ω — выше 0°,1 в минуту, а P — не более 1 минуты.

ЗАДАНИЕ

1*. Определить линейную и угловую скорость, а также период:

- 1) вращения экватора планеты Юпитера;
- 2) вращения экватора планеты Сатурна;
- 3) обращения вокруг Сатурна внутренней зоны его кольца;
- 4) обращения вокруг Сатурна внешней зоны его кольца.

2*. По общим результатам пункта 1 построить на одном чертеже графики лучевой и угловой скорости точек экваторов обеих планет и точек кольца Сатурна в функции их расстояния от центра диска планеты и объяснить причину обнаруженных на графиках закономерностей в изменении этих скоростей.

Отчет о работе представить по самостоятельно разработанной форме.

ФИЗИЧЕСКАЯ ПРИРОДА ЛУНЫ

Цель работы. Изучение топографии Луны и определение размеров лунных объектов.

Пособия: фотографическая карта видимого полушария Луны (планшет 28); фотография части обратного полушария Луны (планшет 29); списки лунных объектов (планшеты 30 и 31); рельефная фотография полной Луны (планшет 32); ортогональная координатная сетка (планшет 33); фотография участка лунной поверхности (планшет 34); Астрономический календарь — постоянная часть; таблицы тригонометрических функций; логарифмическая линейка.

Литература: [1], глава VIII, § 96—101; [2], глава X, § 132.

Дополнительная: [13], глава VIII, § 35; [16], глава X, § 60, 61; [26], глава II, глава III, глава V; [31], глава IV, § 48, 49; [33], глава I.

Задачи: [3], № 822—826.

Лунная поверхность покрыта горами, цирками и кратерами, протяженными горными хребтами, имеет обширные впадины, изрезана глубокими трещинами. Самая обширная впадина называется Океаном Бурь, а остальные — морями. На лунной поверхности зарегистрировано около 200 000 деталей, из которых 4800 занесено в каталоги. Главнейшие горные хребты имеют земные названия. Размеры цирков и кратеров — различны, от 240 км до десятков метров в диаметре. Крупные цирки и кратеры названы именами ученых.

Изучение лунной поверхности осуществляется по фотографиям и картам, составленным на их основе, к которым прилагаются кальки с начерченными и занумерованными контурами лунных образований, а также списки их названий под теми же номерами. Как правило, фотографии и карты воспроизводят телескопическое (перевернутое) изображение Луны, на котором ее северный полюс находится внизу.

До октября 1959 г. человечество могло изучать только одно, обращенное к Земле лунное полушарие. 7 октября 1959 г. первая в мире советская автоматическая межпланетная станция сфотографировала обратное полушарие Луны с расстояния около 67 000 км, а 20 июля 1965 г. и 11 августа 1969 г. советские межпланетные станции «Зонд-3» и «Зонд-7» получили уникальные фотографии того же полушария с расстояния 10 000 км. На фотографиях обнаружено свыше 1000 различных образований, наиболее крупным из которых присвоены названия — Море Москвы с заливом Астронавтов, Море Мечты, кратеры Ломоносов, Циолковский, Жюлио-Кюри, Паренаго, Шаронов и др. На обратном полушарии Луны найдены небольшие светлые равнинные участки, названные талассоидами (т. е. мореподобными объектами), а также продолжение нескольких морей, расположенных на краю видимого полушария.

Определение линейных размеров лунных образований по четким фотографиям не представляет затруднений. Обозначим линейный диаметр Луны, выраженный в км, через D_{\odot} , ее угловой диаметр — через D' и линейный диаметр ее фотографического изображения в мм — через D . Тогда масштабы фотографического снимка будут:

линейный масштаб

$$\mu = \frac{D_c}{D}, \quad (1)$$

и угловой масштаб

$$\mu' = \frac{D'}{D}. \quad (2)$$

Видимый угловой диаметр Луны изменяется в зависимости от ее параллакса, и его значения на каждый день года приводятся в астрономических календарях-ежегодниках, но при приближенном решении задач можно принять $D' = 32'$.

Измерив в *мм* размеры d лунного объекта на фотографии с известными масштабами, получим угловые d' и линейные d_n его размеры

$$d' = \mu' d \quad (3)$$

и

$$d_n = \mu d. \quad (4)$$

Вследствие шарообразности Луны вид объектов лунной поверхности, расположенных вне центральной области лунного диска, заметно искажен и это искажение достигает максимальной величины у его краев. Искажению подвержены размеры объектов по всем направлениям за исключением направления, перпендикулярного к радиусу диска, вдоль которого искажение является наибольшим. Поэтому формулы (3) и (4) применимы только для неискаженных размеров, а для размеров в направлении лунного радиуса применимы формулы:

$$d' = \mu' \frac{d}{\cos \psi} \quad (5)$$

и

$$d_n = \mu \frac{d}{\cos \psi}, \quad (6)$$

где ψ — угловое расстояние центра объекта от центра лунного диска, определяемое с точностью до 1° по экватору ортографической координатной сетки диаметром $D_c = 100$ *мм*, которая накладывается на фотографию Луны такого же диаметра так, чтобы экватор сетки прошел через объект и центр лунного диска. Если диаметр ортографической сетки не соответствует диаметру фотографии Луны, то $\cos \psi$ может быть найден по наибольшему d_m и наименьшему d_n диаметрам цирков и кратеров, расположенных в области измерений, так как действительная круглая форма этих образований искажается перспективой в отношении

$$\frac{d_n}{d_m} = \cos \psi. \quad (7)$$

По известным масштабам μ и μ' фотографии полной Луны нетрудно определить масштабы μ_1 и μ'_1 фотографии участка лунной поверхности, для чего необходимо отождествить одинаковые объекты и измерить в *мм* размеры d и d_1 их изображений на обеих фотографиях. Тогда в масштабе одной фотографии

$$d' = \mu' d$$

и

$$d_n = \mu d,$$

а в масштабе другой фотографии

$$d' = \mu'_1 d_1$$

и

$$d_n = \mu_1 d_1,$$

откуда

$$\mu'_1 = \mu' \frac{d}{d_1} \quad (8)$$

и

$$\mu_1 = \mu \frac{d}{d_1}. \quad (9)$$

Используя полученные масштабы μ'_1 и μ_1 , можно определить угловые и линейные размеры лунных объектов с достаточной точностью.

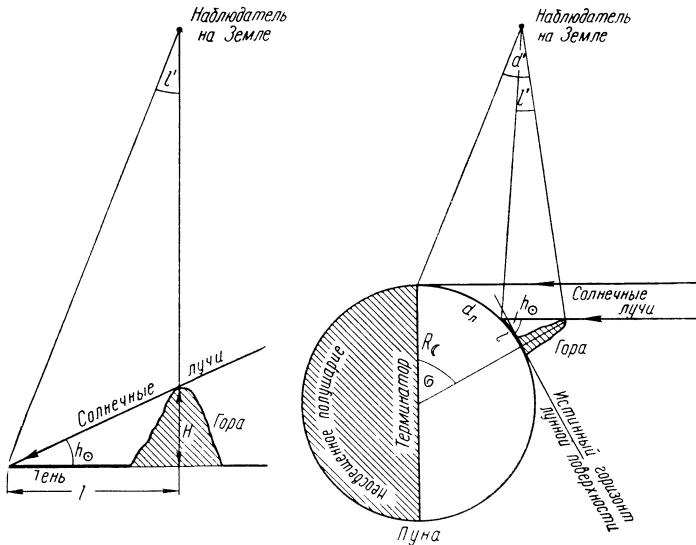


Рис. 63

Измерение длины l тени лунных гор позволяет вычислить их высоту H (рис. 63), если известна высота Солнца h_{\odot} над горизонтом лунной местности в моменты наблюдений (фотографирования), поскольку

$$H = l \cdot \operatorname{tg} h_{\odot} \quad (10)$$

Приближенное значение h_{\odot} легко определяется по линейному расстоянию d_n горы от терминатора. В самом деле, из-за значительного

расстояния Луны от Солнца солнечные лучи, освещающие Луну, можно считать параллельными, и поэтому высота Солнца, выраженная в градусах:

$$h_{\odot} = \sigma = 57^{\circ},3 \frac{d_{\text{л}}}{R_{\text{л}}}, \quad (11)$$

где σ — угол при центре Луны между вершиной горы и терминатором, $R_{\text{л}}$ — радиус Луны, а $d_{\text{л}}$ вычисляется в зависимости от положения горы по формулам (4) и (6).

Угол σ может быть непосредственно найден по координатной сетке, наложенной на фотографию Луны, или вычислен по формуле (11) с учетом формулы (6). Для объектов центральной области лунного диска, расположенных вблизи терминатора, вычисление h_{\odot} упрощается, поскольку можно пренебречь искажениями линейных размеров. В этом случае, линейное расстояние $d_{\text{л}}$ горы от терминатора весьма просто выражается через расстояние r Луны от Земли и видимое угловое расстояние d' горы от терминатора, усматриваемое с Земли и измеряемое на фотографиях лунной поверхности:

$$d_{\text{л}} = r d'_{\text{радиан}} = r \frac{d'}{57^{\circ},3 \cdot 60'}, \quad (12)$$

где d' выражено в минутах дуги.

Подставляя выражение (12) в формулу (11) и помня, что

$$\frac{r}{R_{\text{л}}} \approx 220, \text{ получим окончательно} \quad h_{\odot} = \sigma = 3,7 d', \quad (13)$$

где h_{\odot} и σ выражены в градусах, а d' — в минутах дуги.

Другой метод определения высоты лунных гор, принадлежащий Галилею, основан на том, что вершина горы освещается Солнцем раньше ее подножия и выглядит светлой точкой на темном фоне неосвещенного лунного полушария (рис. 64) на некотором расстоянии S от терминатора. Измерив расстояние S и зная радиус Луны $R_{\text{л}}$, можно по теореме Пифагора написать

$$(H + R_{\text{л}})^2 = R_{\text{л}}^2 + S^2$$

и, пренебрегая H^2 в сравнении с $2R_{\text{л}}$, вычислить высоту горы

$$H = \frac{S^2}{D_{\text{л}}}. \quad (14)$$

Положение точек (объектов) на лунной поверхности определяется селенографическими координатами (от греческого слова $\Sigma\epsilon\lambda\eta\gamma\eta$ — Луна), аналогичными географическим координатам. Селенографическая ши-

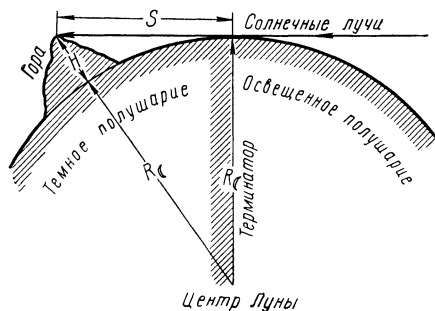


Рис. 64

рота β отсчитывается от лунного экватора и считается положительной в северном полушарии Луны и отрицательной в южном ее полушарии. Селенографическая долгота λ отсчитывается по лунному экватору от начального меридиана и в сторону видимого западного края Луны считается положительной, а в сторону видимого восточного края — отрицательной. Обе координаты выражаются в угловых единицах, причем часто в целых, десятых и сотых долях градуса, и отсчитываются по координатной сетке, накладываемой на фотографию Луны. Если два объекта имеют координаты, соответственно λ_1, β_1 и λ_2, β_2 , то угловое расстояние l' между объектами определяется по теореме косинусов

$$\cos l' = \sin \beta_1 \cdot \sin \beta_2 + \cos \beta_1 \cdot \cos \beta_2 \cdot \cos (\lambda_1 - \lambda_2), \quad (15)$$

и линейное расстояние между ними

$$L = \frac{2\pi R_{\odot}}{360^\circ} l', \quad (16)$$

где R_{\odot} — линейный радиус Луны.

ЗАДАНИЕ

1*. Вычислить угловой и линейный масштабы фотографической карты видимого полушария Луны и определить угловые и линейные размеры моря, протяженность горного хребта и диаметры двух кратеров:

№ варианта	Море	Хребет	Кратеры
1)	Дождей	Пиренеи	Коперник, Магин
2)	Ясности	Карпаты	Птолемей, Шиккард
3)	Кризисов	Алтай	Альфонс, Шиллер
4)	Нектара	Альпы	Гиппарх, Клавий
5)	Спокойствия	Кавказ	Альбатегний, Тихо
6)	Плодородия	Тавр	Снеллий, Лангрен
7)	Холода	Аппенины	Пурбах, Атлас
8)	Облаков	Кавказ	Теофил, Гевелий

2*. Установить названия объектов, значащихся под номерами: 1) 1 и 89; 2) 18 и 127; 3) 4 и 90; 4) 74 и 189; 5) 80 и 192; 6) 12 и 102; 7) 32 и 146; 8) 53 и 176.

3. Используя планшеты 32 и 33, определить угловое и вычислить линейное расстояние между теми же объектами.

4*. Определить названия и диаметры кратеров, значащихся под номерами: 1) 643, 740, 784, 918; 2) 645, 742, 834, 926; 3) 644, 710, 755, 942; 4) 647, 757, 801, 925; 5) 648, 745, 901, 930;

711, 787, 819, 922; 7) 713, 752, 821, 924; 8) 646, 744, 788, 912.

5*. Сопоставив фотографию обратной стороны Луны с фотографической картой ее видимого полушария, сформулировать предварительный вывод о сходстве и различии топографии обоих лунных полушарий.

6*. На фотографии участка лунной поверхности (планшет 34) отождествить горные хребты, море, два крупных кратера и находящийся вблизи них цирк, по размерам которых вычислить масштаб этой фотографии.

7. Вычислить высоту двух лунных гор, обозначенных на фотографии лунной поверхности числом и буквой: 1) 1 и *A*; 2) 2 и *B*; 3) 3 и *B*; 4) 4 и *Г*; 5) 5 и *Д*; 6) 6 и *Е*; 7) 7 и *Ж*; 8) 8 и *И*

8. По результатам пункта 7 сформулировать вывод о высоте лунных гор в сравнении с земными.

Отчет о работе представить по самостоятельно разработанной форме.

СОЛНЕЧНАЯ АКТИВНОСТЬ И ОБЩЕЕ ИЗЛУЧЕНИЕ СОЛНЦА

Цель работы. Изучение физической природы Солнца

Пособия: фотографии Солнца (планшеты 35—42); палетка солнечных пятен (планшет 43); фотографии протуберанцев (планшеты 44 и 45).

Литература: [1], глава X, § 118, 119, 122—130; [2], глава IX, § 116, 118, 119, 121—128.

Дополнительная: [13], глава I, § 1, 4, 7; [16], глава I, § 1, 2, глава III, § 11—13, 17, глава V, § 31, 33, 34; [27], главы III—V; [28], стр. 17—25 и 47—66; [29], глава V, § 30—32.

Задачи: [3], № 951, 953, 955, 956, 959, 960, 963—966, 976—978, 989; [4], № 201—205, 232, 233, 318, 319.

Солнечная активность характеризуется различными факторами и одним из них является пятнообразовательная деятельность Солнца, которая изучается статистическими методами. Статистика солнечных пятен сводится к подсчету числа g групп пятен и числа f всех пятен, включая входящие в группы и одиночные пятна, причем каждое ядро в общей полутени и каждая пара принимается в этом случае за отдельное пятно, а каждое отдельное пятно или пара — за самостоятельную группу. По результатам подсчета вычисляется относительное число пятен W_0 , называемое также числом Вольфа:

$$W_0 = 10g + f. \quad (1)$$

Так, если на Солнце имеется две группы пятен, одна из которых содержит четыре пятна, а другая — шесть пятен, и, кроме того, имеется семь отдельных пятен и пор, то число групп $g = 2+7=9$, число пятен $f=4+6+7=17$ и число Вольфа $W_0 = 10 \cdot 9 + 17 = 107$.

Статистическому изучению подвергается также площадь пятен, которая оценивается в миллионных (10^{-6}) долях площади солнечного диска по шкале специальной палетки, накладываемой на фотографию Солнца, причем площадью пятна считается площадь, ограниченная его полутенью, а площадью группы — сумма площадей пятен, входящих в нее. Так как форма пятен, расположенных на периферии солнечного диска, искажена перспективой, то их площадь оценивается шкалой, соответствующей наибольшему видимому их диаметру.

Зная угловой D' и линейный D_{\odot} диаметры Солнца, можно по диаметру D его фотографического изображения (в мм) установить угловой μ' и линейный μ масштабы фотографии:

$$\mu' = \frac{D'}{D} \quad \text{и} \quad \mu = \frac{D_{\odot}}{D}, \quad (2)$$

по которым вычислить угловые l' и линейные l размеры солнечных пятен и их групп. Площадь же этих образований в км^2 легко подсчитывается по шкале палетки, при известной площади солнечного диска в тех же единицах измерения.

Солнечная активность характеризуется также интенсивностью протуберанцев, высота выброса которых может быть измерена на фотографиях и затем вычислена в радиусах Солнца R_{\odot} или в км. Ско-

рость выброшенного вещества все время изменяется под действием магнитного поля Солнца и его пятен, солнечного поля тяготения и давления солнечного электромагнитного излучения, и поэтому определение скорости протуберанцев представляет довольно сложную задачу. Однако эту задачу можно решить с некоторым приближением. Пусть в последовательные моменты времени T_1 и T_2 высота протуберанца была h_1 и h_2 , а скорость его вещества на этой высоте — v_1 и v_2 . Тогда на участке пути $h_2 - h_1$ средняя скорость вещества протуберанца

$$v_{\text{ср}} = \frac{h_2 - h_1}{T_2 - T_1} = \frac{\Delta h}{\Delta T}, \quad (3)$$

причем эту скорость можно считать соответствующей среднему моменту времени

$$\tau = \frac{T_1 + T_2}{2}. \quad (4)$$

Определяя Δh для смежных интервалов времени ΔT , можно вычислить несколько значений $v_{\text{ср}}$ для ряда средних моментов τ этих интервалов и построить график $v_{\text{ср}} = f(\tau)$, по которому нетрудно определить приближенные значения скорости v вещества протуберанца в различные моменты времени T . Обычно скорость протуберанцев выражается в *км/сек*, и поэтому Δh и ΔT должны быть выражены в соответствующих единицах измерения.

Общее излучение Солнца легко подсчитать по солнечной постоянной $C = 1,96 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$. Сфера радиусом $a_0 = 1 \text{ а. е.}$ получает в течение 1 *мин* всю излучаемую Солнцем за этот же интервал времени энергию

$$E_0 = 4\pi a_0^2 C \text{ (кал)},$$

или

$$E_0 = 52,63 \cdot 10^7 a_0^2 C \text{ (эрг)}, \quad (5)$$

откуда нетрудно вычислить мощность солнечного излучения (количество энергии, излучаемой Солнцем за 1 *сек*) и годовое излучение Солнца, а затем определить ежесекундное и годовое уменьшение $\Delta \mathcal{M}$ массы Солнца, поскольку излучаемая энергия

$$E = c^2 \cdot \Delta \mathcal{M}, \quad (6)$$

где c — скорость света.

Главным источником излучаемой Солнцем энергии являются ядерные процессы превращения водорода в гелий, происходящие в недрах Солнца. При превращении каждого грамма водорода в гелий выделяется $\varepsilon = 7,14 \cdot 10^{18} \text{ эрг}$ энергии, и поскольку в настоящую эпоху, примерно, 70% солнечной массы \mathcal{M}_{\odot} составляет водород, то имеется возможность подсчитать продолжительность времени, на протяжении которого Солнце будет излучать энергию так же интенсивно, как оно излучает в настоящее время, при условии постоянства интенсивности излучения.

При вычислениях следует обратить особое внимание на правильное применение систем единиц измерения.

ЗАДАНИЕ*

1*. Вычислить угловой и линейный масштабы фотографии Солнца и площадь солнечного диска в км^2 .

2*. Определить число Вольфа, а также угловой и линейный диаметр самого большого и самого маленького пятна, сравнив их размеры с диаметром Земли.

3*. Определить площадь тех же двух пятен в сравнении с площадью территории Советского Союза ($22,4 \cdot 10^6 \text{ км}^2$).

4*. Вычислить угловой диаметр солнечного пятна, линейный диаметр которого равен диаметру Земли.

5*. Из анализа результатов пунктов 1—4 сформулировать вывод о видимых и действительных размерах солнечных пятен.

6*. Измерить высоту протуберанца, выразить ее в радиусах Солнца и в км и вычислить скорость вещества протуберанца в один из моментов его фотографирования.

7*. По общим результатам пункта 6 сформулировать вывод о характере изменения скорости вещества протуберанцев.

8. По значению солнечной постоянной вычислить мощность солнечного излучения, энергию солнечного излучения за год и уменьшение массы Солнца за секунду и за год.

9. Вычислить продолжительность современной интенсивности солнечного излучения в будущем.

Отчет о работе представить по самостоятельно разработанной форме.

* Пункты 1—3 желательно выполнять по материалам наблюдений, полученным студентами.

СПЕКТР ВСПЫШКИ

Цель работы. Изучение высоты распространения химических элементов в солнечной хромосфере.

Пособия: спектр вспышки (планшеты 46 и 47); таблицы спектральных линий; Астрономический календарь — постоянная часть; логарифмическая линейка или арифмометр.

Литература: [1], глава X, § 120, 125; [2], глава IX, § 117, 123, 124.

Дополнительная: [12], глава шестнадцатая, § 231—233; [13], глава I, § 3, 4; [16], глава IV, § 20—22; [27], глава II и глава III; [28], стр. 37—47; [29], глава III, § 18—20, 23.

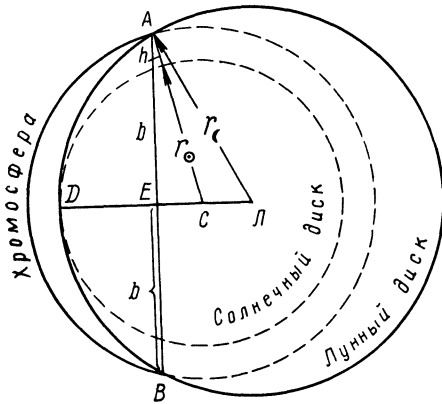


Рис. 65

Высота распространения химических элементов в солнечной хромосфере может быть изучена по спектру вспышки, сфотографированному вблизи центральной линии полосы полного солнечного затмения в момент начала полной фазы затмения (второй контакт) или же за 1—2 сек до ее окончания (до третьего контакта), когда солнечный диск закрыт Луной (рис. 65), а незакрытая часть ADB солнечной хромосферы выглядит узким серпом, и поэтому спектр вспышки состоит из серповидных монохроматических ярких линий, принадле-

жащих химическим элементам солнечной хромосферы. Проведя хорду через концы A и B серпа и соединив их с центрами C солнечного и L лунного дисков, получим

$$AC = r_{\odot} + h, \quad AL = r_{\ominus} \quad \text{и} \quad \frac{AB}{2} = b, \quad (1)$$

где r_{\odot} — видимый радиус солнечного диска, r_{\ominus} — видимый радиус лунного диска и h — высота распространения химического элемента над солнечной поверхностью.

Очевидно,

$$(r_{\odot} + h)^2 = b^2 + EC^2, \quad (2)$$

а так как

$$EC = EL - CL = EL - (DL - DC) = EL - (r_{\ominus} - r_{\odot})$$

и

$$EL^2 = r_{\ominus}^2 - b^2,$$

то

$$(r_{\odot} + h)^2 = b^2 + \left[\sqrt{r_{\odot}^2 - b^2} - (r_{\odot} - r_{\odot}) \right]^2, \quad (3)$$

откуда следует, что, измерив полухорду b серповидной монохроматической линии в спектре вспышки и зная r_{\odot} и r_{\odot} , можно вычислить высоту распространения в хромосфере химического элемента, образующего данную монохроматическую линию. Поскольку r_{\odot} и r_{\odot} выражаются в минутах дуги ($'$), то и полухорда b также должна быть выражена в тех же единицах измерения, что легко осуществить по масштабу μ' спектрограммы вспышки, который определяется по измеренному в миллиметрах расстоянию d между двумя непрерывными спектрами, образованными освещенными Солнцем краями лунного диска (светлые полосы, расположенные выше и ниже серпов.) Угловое расстояние между этими спектрами равно $2r_{\odot}$, откуда искомым угловой масштаб

$$\mu' = \frac{2r_{\odot}}{d}, \quad (4)$$

а линейный масштаб

$$\mu = \mu' \frac{R_{\odot}}{r_{\odot}}. \quad (5)$$

Вычислив по формуле (3) высоту h в минутах дуги, легко выразить ее в угловых r_{\odot} и линейных R_{\odot} радиусах Солнца, а затем, по известному значению R_{\odot} найти высоту H в км:

$$H = h \frac{R_{\odot}}{r_{\odot}}. \quad (6)$$

ЗАДАНИЕ

1*. По таблицам спектральных линий отождествить наиболее яркие линии в спектре вспышки и сформулировать вывод об основном химическом составе солнечной хромосферы.

2*. Приняв $r_{\odot} = 15',8$ и $r_{\odot} = 16',1$, вычислить высоту распространения над солнечной поверхностью трех основных химических элементов солнечной хромосферы.

Отчет о работе № 29

Дата выполнения работы:

1. Отождествленные линии λ Химический элемент

Вывод:

2. $r_{\odot} =$ $r_{\zeta} =$ $2r_{\zeta} =$ $d =$ $\mu' =$ $\mu =$

$R_{\odot} =$	ХИМИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ		
$2b$ (ММ)			
b (ММ)			
b (')			
r_{ζ}^2			
b^2			
$r_{\zeta}^2 - b^2$			
$\sqrt{r_{\zeta}^2 - b^2}$			
$r_{\zeta} - r_{\odot}$			
[·]			
[] ²			
$(r_{\odot} + h)^2$			
$r_{\odot} + h$			
r_{\odot}			
h (')			
$h(r_{\odot})$			
$h(R_{\odot})$			
H км			

СПЕКТРЫ И СВЕТИМОСТЬ ЗВЕЗД

Цель работы. Изучение классификации звездных спектров и определение светимости звезд.

Пособия: Справочник любителя астрономии; гарвардская классификация звездных спектров (планшет 48); щелевые спектрограммы звезд (планшеты 49—56); таблицы логарифмов; логарифмическая линейка.

Литература: [1], глава XI, § 134, 138—144, 153; [2], глава III, § 63—65, глава XI, § 145—148.

Дополнительная: [13], глава II, § 8, 10; [14], глава XVII, § 83, 85, 86; [17], Введение, § 4, 5, глава первая, § 7, 10; [30], глава I; [31], глава VII, § 71—73.

Задачи: [3], № 993—998, 1000—1006; [4], № 234—261.

Звездные спектры позволяют изучать физические характеристики звезд и судить о процессах, происходящих на звездах. Многообразие звездных спектров отнюдь не означает резкого различия в химическом составе звезд, состоящих в основном, как и Солнце, из водорода и гелия, а свидетельствует о различных физических условиях на звездах, в зависимости от которых атомы химических элементов проявляют себя по-разному. Основным фактором, определяющим общий вид спектра звезды, является ее температура, которая и положена в основу последовательности классов гарвардской классификации звездных спектров. В настоящее время получила большое распространение йеркская классификация звездных спектров, предложенная в 1943 г. Морганом и его сотрудниками и основанная на температуре и светимости звезд.

Сравнивая спектрограмму звезды со стандартными звездными спектрами, можно установить спектральный подкласс звезды и приближенно оценить ее температуру. При отождествлении спектров звезд следует обратить особое внимание на интенсивность линий поглощения водорода (H_β , H_γ , H_δ , H_ϵ) и ионизированного кальция (H и K), резко меняющуюся при переходе от ранних спектральных классов к поздним.

Различия в деталях спектров одного и того же подкласса позволяют оценивать светимость звезд, так как эти различия установлены на основе изучения спектров звезд известной светимости, вычисленной по их тригонометрическим параллаксам. Для вычисления светимости звезд необходимо знать абсолютную звездную величину M_\odot Солнца, видимая визуальная звездная величина которого $m_{\odot v} = -26^m,80$. Вычисление M_\odot производится по годовичному (а не по суточному) солнечному параллаксу π_\odot , значение которого находится по расстоянию Земли от Солнца a_0 , выраженному в парсеках (pc). Абсолютная звездная величина M и светимость L звезд получает свое название (визуальная, фотографическая, болометрическая и др.) по соответствующему названию видимой звездной величины m звезд и Солнца, положенной в основу вычисления M и L . Связь между визуальными m_v , M_v , фотографическими m_{pg} , M_{pg} , желтыми и синими звездными величинами осуществляется через показатели цвета

$$C = m_{pg} - m_v = M_{pg} - M_v \quad (1)$$

и

$$(B - V) = B - V = M_B - M_V. \quad (2)$$

Показатели цвета звезд содержатся в фотометрических каталогах или в общих списках звезд наравне с другими сведениями о них.

Следует иметь в виду, что слабые звезды обозначаются не буквами, а номерами, под которыми они значатся в различных звездных каталогах, название которых проставляется перед номером звезды. Так, обозначения «Росс 162» или «Струве 2116» (Σ 2116) означают, что звезда числится в каталоге Росса под номером 162 или в каталоге В. Я. Струве под номером 2116. Обозначение же «BD+5°1668» показывает, что звезда занесена в +5-градусную зону Боннского Обозрения (Bonner Durchmusterung) Ф. Аргеландера под номером 1668.

По видимым звездным величинам m_1 и m_2 двух звезд можно судить об отношении $\frac{L_2}{L_1}$ их светимости L_1 и L_2 , если известны расстояния r_1 и r_2 или годовые параллаксы π_1 и π_2 этих звезд. Чтобы сравнить между собой светимость L_1 и L_2 звезд, нужно полагать эти звезды находящимися на одинаковом расстоянии от Земли. Отнесем вторую звезду на расстояние r_1 , на котором находится первая звезда. Тогда в этом случае, по закону обратных квадратов, ее блеск

$$E'_2 = E_2 \frac{r_2^2}{r_1^2}, \quad (3)$$

и отношение светимости двух звезд

$$\frac{L_2}{L_1} = \frac{E'_2}{E_1} = \frac{E'_2}{E_2} \cdot \frac{E_2}{E_1}, \quad (4)$$

откуда, используя формулу Погсона и выражение (3), вычисляем $\frac{L_2}{L_1}$.

При вычислении фотометрических характеристик звезд необходимо придерживаться реальных результатов, точность которых не может превышать точности исходных данных.

ЗАДАНИЕ

1*. По стандартам звездных спектров установить спектральные подклассы, в которых линии поглощения водорода и ионизированного кальция достигают наибольшей интенсивности.

2*. Классифицировать сфотографированные щелевым спектрографом спектры звезд: 1) δ Орла, ε Дельфина, μ Большой Медведицы и β Ворона; 2) μ Близнецов, γ Водолея, ξ Лебедя и η Волопаса; 3) α Змееносца, ε Волопаса, ξ Близнецов и δ Ориона; 4) α Лиры, σ Кормы, ζ Геркулеса, κ Дракона; 5) η Геркулеса, δ Скорпиона, R Гидры и γ Девы; 4) τ^4 Эридана, ε Большой Медведицы, β Близнецов и δ Персея; 7) β Овна, γ Дракона, σ Ориона и η Стрельца; 8) β Андромеды, μ Девы, δ Кассиопеи и α Большой Медведицы.

3. Вычислить абсолютную визуальную звездную величину Солнца.

4*. Вычислить расстояние, абсолютную желтую и абсолютную синюю звездную величину, желтую и синюю светимость звезд: 1) Мизара, μ Близнецов, ϵ Ориона и BD — 15° 4042; 2) Альдебарана, ζ Персея, χ Дракона и звезды Каптейна; 3) Денеба, η Кассиопеи, η Скорпиона и Проксимы Центавра; 4) Капеллы, γ Водолея, α Зайца и Сириуса B; 5) Ригеля, ϵ Девы, δ Кассиопеи и Проциона B; 6) Арктика, γ Змееносца, η Льва и BD — 15° 4041; 7) Геммы, β Водолея, α Кита и ϵ Индейца; 8) Проциона, β Геркулеса, η Орла и 61 Лебеда A.

5*. Приписав звездам пункта 4, в соответствии с их спектральным подклассом, среднюю температуру, построить зависимость между показателем цвета и температурой звезд, указав на том же графике основные спектральные классы.

6*. По результатам пункта 5 сформулировать вывод о причине различия показателей цвета и спектров звезд.

7*. Вычислить отношения визуального блеска и визуальной светимости звезд: 1) Поллукса и α Волка; 2) Фомальгаута и δ Персея; 3) Спика и ζ Ориона; 4) Регула и ϵ Возничего; 5) Сириуса и γ Лебеда; 6) Веги и ρ Льва; 7) Альгаира и τ Ориона; 8) Дубхе и δ Большого Пса.

8*. Вычислить видимую звездную величину Солнца с расстояния одной из звезд, указанных в пункте 7.

9*. Из анализа общих результатов пунктов 3—8 сформулировать вывод о физической природе Солнца и звезд.

10. Схематически изобразить диаграмму Рессела, отметить на ней положение Солнца и заданных звезд (пункт 4) и указать последовательности, к которым принадлежат эти светила.

11. Приблизительно оценить пределы абсолютной звездной величины и светимости звезд в различных последовательностях.

Отчет о работе представить по самостоятельно разработанной форме.

ТЕМПЕРАТУРА ЗВЕЗД

Цель работы. Изучение некоторых методов определения температуры звезд.

Пособия: Справочник любителя астрономии; гарвардская классификация звездных спектров (планшет 48); микрофотограмма спектра звезды (планшет 57); характеристическая кривая фотопластинки (планшет 58); кривая спектральной чувствительности фотопластинки (планшет 59); таблицы спектральных линий; таблицы логарифмов; арифмометр или логарифмическая линейка.

Литература: [1], глава VII, § 78, 79, глава X, § 122, глава XI, § 144—148; [2], глава VII, § 108, глава IX, § 119, глава XI, § 149.

Дополнительная: [11], глава III, § 24; [12], глава шестая, § 103, глава одиннадцатая, § 167—169, 179; [13], глава II, § 8; [14], глава XXVIII, § 176, 177; [30], глава I; [31], глава VII, § 74, 75.

Задачи: [3], № 842, 1057, 1059, 1070—1072, 1075—1078; [4], № 292—299.

Под температурой звезды должна подразумеваться, строго говоря, температура ее фотосферы и она могла бы быть определена по спектру звезды, если бы он образовывался энергией, излучаемой только фотосферой. В действительности же излучение исходит не только от фотосферы, но и от прилегающих к ней глубинных слоев различной температуры. Это суммарное или эффективное излучение создает непрерывный фон спектра, темные линии и полосы которого вызываются избирательным поглощением в атмосфере звезды. Поэтому непрерывный спектр позволяет определить некоторую осредненную температуру, называемую эффективной. Солнце и звезды излучают энергию в огромном диапазоне длин волн и их излучение сходно с излучением абсолютно черного тела, чем и пользуются для определения их эффективной температуры. Следовательно, эффективной температурой звезды называется температура абсолютно черного тела, интенсивность излучения которого равна интенсивности излучения звезды.

Энергия излучается телом в виде электромагнитных волн всевозможной длины λ , от $\lambda=0$, до $\lambda=\infty$, причем волны различной длины переносят различное количество энергии. Различие в количестве энергии, переносимой волнами различной длины, называется распределением энергии по длинам волн, зависит от длины волны λ и абсолютной температуры T тела и выражается формулой М. Планка

$$\mathcal{E}_{\lambda, T} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5 \left(e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1 \right)}, \quad (1)$$

где h — постоянная Планка, c — скорость распространения электромагнитной энергии (скорость света), k — постоянная Больцмана.

Формула М. Планка позволяет подсчитать энергию, излучаемую за 1 сек в виде электромагнитных волн определенной длины λ каждым квадратным сантиметром поверхности абсолютно черного тела при температуре T . Подсчет показывает, что максимум излучения \mathcal{E}_m приходится на строго определенную длину волны λ_m , зависящую от аб-

солотной температуры T тела (рис. 66) и связанную с нею законом смещения Вина:

$$\lambda_m = \frac{k}{T}, \quad (2)$$

где k — постоянная, значение которой зависит от системы единиц. В системе СГС, в которой λ измеряется в $см$, $k=0,2897 \text{ см} \cdot \text{град}$; при выражении λ в ангстремах (\AA) $k=2897 \cdot 10^4 \text{\AA} \cdot \text{град}$.

Температура, найденная по формуле Вина, называется цветовой температурой, так как она вычисляется по одной длине волны λ (одного цвета), и поэтому несколько отличается от эффективной температуры.

Если уравнение Планка проинтегрировать по всем длинам волн в интервале от 0 до ∞ , то полученное выражение даст мощность общего излучения с 1 см^2 поверхности абсолютно черного тела, определяемую законом Стефана — Больцмана

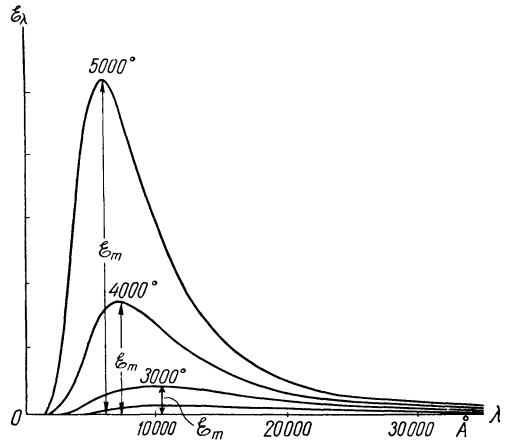


Рис. 66

$$\mathcal{E} = \int_0^{\infty} \mathcal{E}_{\lambda, T} \cdot d\lambda = \sigma T^4, \quad (3)$$

где $\sigma = 1,36 \cdot 10^{-12} \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{сек} \cdot \text{град}^4) = 5,73 \cdot 10^{-5} \text{ эрг}/(\text{см}^2 \cdot \text{сек} \cdot \text{град}^4)$.

Звезда, имеющая линейный радиус R , излучает в 1 сек со всей своей поверхности по всем направлениям энергию

$$\mathcal{E}_0 = \mathcal{E} \cdot 4\pi R^2, \quad (4)$$

которая на расстоянии r Земли от звезды равномерно распределяется по поверхности сферы радиусом r , и за ту же единицу времени на каждый квадратный сантиметр поверхности этой сферы падает энергия

$$E = \frac{\mathcal{E} \cdot 4\pi R^2}{4\pi r^2} = \mathcal{E} \frac{R^2}{r^2}, \quad (5)$$

а так как $\frac{R}{r} = \rho$ есть угловой радиус звезды, выраженный в радианах*, то

$$\mathcal{E} = \frac{E}{\rho^2}. \quad (6)$$

* $\rho = \frac{\rho'}{3438} = \frac{\rho''}{206265}$, где ρ' — угловой радиус в минутах дуги, ρ'' — в секундах дуги.

Следовательно, измерив E , можно использовать закон Стефана — Больцмана для определения температуры звезды только в том случае, если известен угловой радиус ρ звезды. Однако из-за огромных расстояний звезды представляются нам точками ($\rho=0$), и до настоящего времени удалось непосредственно измерить звездным интерферометром угловые радиусы всего лишь около 25 сравнительно близких к нам звезд.

К вычислению же температуры Солнца закон Стефана — Больцмана вполне применим, так как угловой радиус Солнца и солнечная постоянная E хорошо известны.

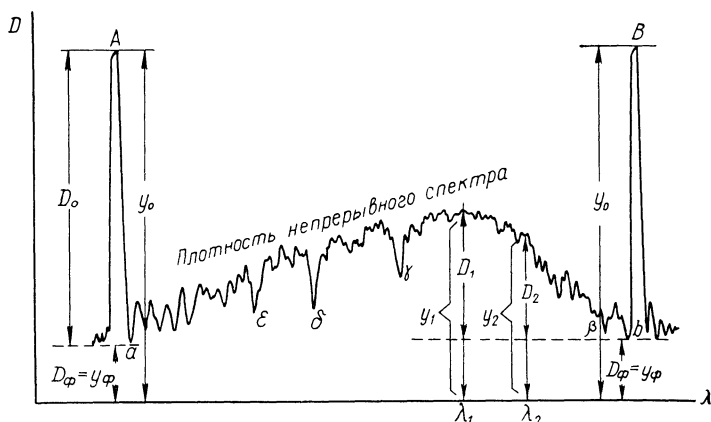


Рис. 67

Формула М. Планка и закон Вина не требуют знания угловых радиусов звезд и применимы ко всем звездам, в спектрах которых удастся тем или иным способом установить распределение энергии. Одним из таких способов является измерение плотности различных участков негативного изображения сфотографированных спектров звезд. Эти промеры плотности осуществляются, как правило, на саморегистрирующих микрофотометрах, промеряющих плотность на всей длине полученного спектра, включая и спектральные линии, и автоматически записывающих промеренную плотность в виде зазубренной кривой, называемой микрофотограммой (рис. 67).

Чем больше энергии приходится на данный участок спектра, тем больше плотность негативного изображения этого участка и тем выше располагаются на нем точки микрофотограммы. Чтобы получить на микрофотограмме точки A и B , соответствующие предельной плотности D_0 негатива, при которой луч света оптической системы микрофотометра совсем не проходит сквозь негатив, перекрывают на 1—2 сек доступ к нему светового луча. Плотность D_ϕ фона негатива, обусловленная его вуалью, промеряется вне изображения спектра и ей соответствуют наиболее низкие точки a и b микрофотограммы. Если бы спектр звезды не был перерезан спектральными линиями поглощения,

то микрофотограмма представилась бы плавной кривой. Спектральные линии поглощения, будучи темнее участков непрерывного спектра, выходят на негативе более светлыми, чем эти участки, и в местах расположения линий на микрофотограмме образуются острые впадины (β , γ , δ , ...). Сопоставляя взаимное расположение четко выраженных впадин с расположением наиболее интенсивных линий в стандартных звездных спектрах, можно отождествить на микрофотограмме спектральные линии с известной длиной волны и построить по ним дисперсионную кривую (см. работу № 22), а затем, учитывая спектральную чувствительность фотопластинки, определить по этой кривой длину волны λ_m и по формуле (2) вычислить цветовую температуру звезды.

Однако если спектр звезды раннего спектрального класса получен на менисковом рефлекторе, то микрофотограмма не будет отражать действительного распределения энергии в спектре, так как мениск срезает (не пропускает) часть ультрафиолетового излучения, в котором лежит максимум энергии таких звезд. В этом случае применение закона Вина исключено, но цветовая температура звезды может быть

вычислена по отношению $\frac{\mathcal{E}_2}{\mathcal{E}_1}$ измеренной энергии в двух длинах волн λ_2 и λ_1 различных участков непрерывного спектра. Этот метод определения цветовой температуры основан на том, что звездная величина m звезды зависит от энергии излучения в определенном интервале длин волн. Длина волны λ_e , оказывающая максимальное действие на этом интервале, называется эффективной длиной волны. Так, видимая визуальная звездная величина звезды определяется действием визуальной ее радиации, эффективной длиной волны которой является $\lambda_v = 5500 \text{ \AA}$, а видимая фотографическая звездная величина m_{pg} — фотографической радиацией с эффективной длиной волны $\lambda_{pg} = 4250 \text{ \AA}$.

Разность

$$C = m_{pg} - m_v = 2,5 \lg \frac{E_v}{E_{pg}} \quad (7)$$

называется обычным показателем цвета звезды.

Аналогично, для двух любых очень узких участков спектра с длинами волн λ_1 и λ_2 (при условии $\lambda_1 < \lambda_2$) можно найти звездные величины m_{λ_1} и m_{λ_2} , выражающие блеск E_{λ_1} и E_{λ_2} в этих длинах волн, а разность

$$C_\vartheta = m_{\lambda_1} - m_{\lambda_2} = 2,5 \lg \frac{E_{\lambda_2}}{E_{\lambda_1}} \quad (8)$$

назвать эквивалентом цвета.

Очевидно,

$$\frac{E_{\lambda_2}}{E_{\lambda_1}} = \frac{\mathcal{E}_{\lambda_2}}{\mathcal{E}_{\lambda_1}}, \quad (9)$$

где \mathcal{E}_{λ_2} и \mathcal{E}_{λ_1} — излучение в длинах волн λ_2 и λ_1 по формуле Планка (1).

Подставляя в выражение (8) значения \mathcal{E}_{λ_2} и \mathcal{E}_{λ_1} из формулы Планка и пренебрегая единицей в ее знаменателе (для оптического диапа-

зона длин волн и значений температуры звезд $e^{\frac{hc}{\lambda x T}} \gg 1$), найдем

$$C_{\text{э}} = 2,5 \lg \frac{E_{\lambda_2}}{E_{\lambda_1}} = 2,5 \lg \frac{\lambda_1^5 e^{\frac{hc}{\lambda_1 x T}}}{\lambda_2^5 e^{\frac{hc}{\lambda_2 x T}}} = 2,5 \frac{hc}{x} \lg e \left(\frac{1}{\lambda_1 T} - \frac{1}{\lambda_2 T} \right) + 12,5 (\lg \lambda_1 - \lg \lambda_2). \quad (10)$$

Поскольку $\lg e = 0,4343$, в системе СГС λ выражается в *см*, $h = 6,625 \cdot 10^{-27}$ *эрг·сек*, $x = 1,380 \cdot 10^{-16}$ *эрг/град* и $c = 2,998 \cdot 10^{10}$ *см/сек*, а для выбранных конкретных значений λ_1 и λ_2 величина $12,5(\lg \lambda_1 - \lg \lambda_2) = \text{const} = c_0$, то формула (10) примет вид

$$C_{\text{э}} = \frac{1,563}{T} \left(\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2} \right) + c_0,$$

но так как в практике астрофизических измерений λ_1 и λ_2 выражаются в ангстремах ($1 \text{ \AA} = 10^{-8}$ *см*), то более удобной для вычислений является формула

$$C_{\text{э}} = \frac{1,563}{T} \left(\frac{10^8}{\lambda_1} - \frac{10^8}{\lambda_2} \right) + c_0, \quad (11)$$

в которой λ_1 и λ_2 даются в \AA , а $C_{\text{э}}$ и c_0 выражены в звездных величинах с точностью до $0^m,01$.

Вычисление температуры звезды производится в такой последовательности. На микрофотограмме выбираются две точки непрерывного спектра (см. рис. 67), заведомо лежащие вне его ультрафиолетовой части. Длины волн λ_1 и λ_2 этих точек определяются по дисперсионной кривой, построенной по отождествленным линиям микрофотограммы. Затем от принятой на поле микрофотограммы оси абсцисс (ось λ) измеряются ординаты y_1 и y_2 выбранных точек непрерывного спектра, ординаты $y_{\text{ф}}$ точек фона и y_0 точек предельной плотности. Тогда предельная плотность негатива D_0 и плотность D_1 и D_2 на выбранных участках непрерывного спектра представляется разностями

$$D_0 = y_0 - y_{\text{ф}},$$

$$D_1 = y_1 - y_{\text{ф}}$$

и

$$D_2 = y_2 - y_{\text{ф}}, \quad (12)$$

а относительное почернение S' на тех же участках будет

$$S'_1 = \frac{D_1}{D_0} \quad \text{и} \quad S'_2 = \frac{D_2}{D_0}. \quad (13)$$

Для получения относительных интенсивностей E_{λ_1} и E_{λ_2} , характеризующих энергию \mathcal{E}_{λ_1} и \mathcal{E}_{λ_2} , необходимо иметь характеристическую кривую и кривую спектральной чувствительности фотопластины. Разделив S'_1 и S'_2 на коэффициенты d_1 и d_2 спектральной чувст-

вительности фотопластинки в области длин волн λ_1 и λ_2 , получают почернения

$$S_1 = \frac{S'_1}{d_1} \quad \text{и} \quad S_2 = \frac{S'_2}{d_2}, \quad (14)$$

откладывая которые по оси S характеристической кривой (рис. 68), находят на другой ее оси разность

$$\Delta \lg E = \lg E_{\lambda_2} - \lg E_{\lambda_1} = \lg \frac{E_{\lambda_2}}{E_{\lambda_1}}, \quad (15)$$

необходимую для вычисления эквивалента цвета C_s по формуле (8).

Положив в формуле (11) $T=11\,000^\circ\text{K}$ и $C_s=0^m,00$ (чисто белые звезды), вычисляют постоянную c_0 , а затем по той же формуле вычисляют температуру T звезды, используя для этого эквивалент цвета C_s , вычисленный по формуле (8).

Для обычных показателей цвета C , определяемых формулой (7), выражение (11) имеет вид:

$$T = \frac{7200}{C + 0^m,65}, \quad (16)$$

а для показателей цвета $(B - V)$ в трехцветной фотометрической системе U, B, V

$$T = \frac{7920}{(B - V) + 0^m,72}. \quad (17)$$

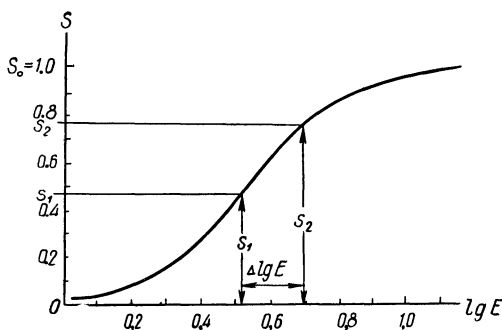


Рис. 68

ЗАДАНИЕ

1*. Пользуясь стандартами звездных спектров, отождествить на микрофотограмме звезды спектральные линии водорода и ионизированного кальция, построить по ним дисперсионную кривую и вычислить цветовую температуру звезды по эквиваленту цвета в двух длинах волн.

2*. Вычислить цветовую температуру Солнца и звезд: 1) Бетельгейзе и β Большого Пса; 2) Альдебарана и ϵ Ориона; 3) Проциона и γ Кассиопеи; 4) Спики и λ Водолея; 5) Антареса и ϵ Большого Пса; 6) Денеба и β Андромеды; 7) Капеллы и σ Ориона; 8) Регула и δ Девы.

3. Вычислить температуру Солнца по значению солнечной постоянной.

4. Из анализа результатов пунктов 2 и 3 сформулировать вывод о причине некоторого расхождения значений температуры одного и того же светила, определяемой разными методами.

КРАТНЫЕ ЗВЕЗДЫ

Цель работы. Определение блеска и светимости кратных звезд.

Пособия: Справочник любителя астрономии; таблицы логарифмов; логарифмическая линейка.

Литература: [1], глава VII, § 72—76, глава XII, § 155, 156; [2], глава VII, § 103, глава XI, § 154, 155.

Дополнительная: [12], глава десятая, § 155; [13], глава III, § 11; [15], глава III, § 17; [31], глава VII, § 76; [34], глава вторая, § 4.

Задачи: [3], № 786—788, 1006, 1086, 1087; [4], № 262—278.

Компоненты физических кратных звезд обозначаются, как правило, большими буквами латинского алфавита, в порядке уменьшения блеска компонентов, т. е. увеличения их видимой звездной величины, причем главная звезда обозначается буквой *A*.

Видимый блеск E кратной звезды равен сумме блеска E_i всех ее компонентов

$$E = E_1 + E_2 + E_3 + \dots, \quad (1)$$

и поэтому ее видимая m и абсолютная M звездная величина всегда меньше соответствующей звездной величины m_i и M_i любого компонента. Вычисление m кратной звезды по m_i ее компонентов легче всего осуществляется сравнением их блеска с блеском E_0 звезды нулевой видимой звездной величины $m_0 = 0$, если принять $E_0 = 1$. Тогда

$$\lg E = -0,4m \quad (2)$$

и

$$\lg E_i = -0,4m_i. \quad (3)$$

Определив по формуле (3) блеск E_i каждого компонента, используют формулу (1) и затем по формуле (2) вычисляют

$$m = -2,5 \lg E.$$

Вычисления удобнее всего вести по схеме

$$\begin{array}{l|l|l} m_1 = & \lg E_1 = -0,4 m_1 & E_1 = \\ m_2 = & \lg E_2 = -0,4 m_2 & E_2 = \\ m_3 = & \lg E_3 = -0,4 m_3 & E_3 = \\ \dots & \dots \dots \dots & \dots \end{array}$$

$$E = \quad ; \lg E = \quad ; m =$$

Если вместо звездной величины m_i некоторых компонентов заданы отношения их блеска

$$\frac{E_1}{E_2} = k, \quad \frac{E_2}{E_3} = x \quad \text{и т. д.},$$

то нет необходимости вычислять блеск каждого компонента в отдельности, а проще выразить его через блеск самого слабого компонента:

$$\begin{aligned} E_1 &= kE_2 = kxE_3, \\ E_2 &= xE_3, \\ E_3 &= 1 \cdot E_3, \\ E &= (1 + x + kx) E_3, \end{aligned}$$

причем в этом случае можно не определять E и E_3 , так как достаточно знать их логарифмы:

$$\lg E = \lg(1 + x + kx) + \lg E_3. \quad (4)$$

Обратные задачи решаются по аналогичным, но обратным схемам.

Видимая звездная величина m двойных звезд может быть также найдена по специальным таблицам, помещенным в Астрономическом календаре ВАГО (постоянная часть), в «Справочнике любителя астрономии» П. Г. Куликовского и в ряде других изданий. Если видимую звездную величину более яркого компонента обозначить через m_1 , а более слабого — через m_2 , то $m_2 > m_1$, и по разности

$$\Delta m = m_2 - m_1$$

в таблицах отыскивается поправка $\Delta m'$, позволяющая определить

$$m = m_1 - \Delta m'. \quad (5)$$

Этот табличный способ может быть последовательно применен к компонентам звезды любой кратности. Обратная задача решается по другим, аналогично построенным таблицам,

Компоненты физической кратной звезды находятся от Земли практически на одинаковом расстоянии r , по сравнению с которым взаимные расстояния компонентов очень малы, и поэтому соотношение видимого блеска E_i компонентов равно соотношению их светимости L_i , т. е.

$$\frac{L_1}{E_1} = \frac{L_2}{E_2} = \dots = \frac{L_i}{E_i} = \dots = \frac{L_n}{E_n}, \quad (6)$$

и общая светимость кратной звезды

$$L = \sum_1^n L_i, \quad (7)$$

где n — число компонентов.

Линейное расстояние d между компонентами физической двойной звезды может быть вычислено только в том случае, если известны годичный параллакс π звезды и наклонение i плоскости орбиты компонента-спутника к картинной плоскости, т. е. к плоскости, перпендикулярной к лучу зрения наблюдателя (картинная плоскость является касательной к небесной сфере в той ее точке, в которой находится звезда). Если же i не известно, то можно установить лишь нижний

предел d_{π} расстояния d , т. е. проекцию этого расстояния на картинной плоскости. В самом деле, с Земли проекция d_{π} видна под углом ρ'' (секунд дуги), которым выражается видимое угловое расстояние ρ между компонентами звезды, а со звезды большая полуось земной орбиты $a_0 = 1$ а. е. видна под углом π'' . Обозначив расстояние звезды от Земли через r , получим

$$d_{\pi} = r \cdot \sin \rho'' \quad \text{и} \quad a_0 = r \cdot \sin \pi'',$$

а так как ρ'' и π'' — очень малы, то

$$\frac{\sin \rho''}{\sin \pi''} = \frac{\rho''}{\pi''},$$

и тогда

$$d_{\pi} = \frac{\rho''}{\pi''}, \quad (8)$$

причем d_{π} вычисляется непосредственно в астрономических единицах.

При известном i , очевидно,

$$d = d_{\pi} \cdot \sec i. \quad (9)$$

ЗАДАНИЕ

1*. Вычислить проекцию на картинную плоскость линейного расстояния между компонентами, их светимость, суммарную видимую звездную величину и общую светимость двойных звезд; 1) ϵ Волопаса и ζ Геркулеса; 2) δ Змеи и β Лебеда; 3) γ Дельфина и η Персея; 4) θ Возничего и η Кассиопеи; 5) δ Близнецов и α Гончих Псов; 6) γ Девы и δ Геркулеса; 7) ζ Большой Медведицы и δ Лебеда; 8) γ Льва и α Рыб.

2. Определить по таблицам блеск двойной звезды: 1) π Андромеды; 2) $\beta 1$ Лебеда; 3) ζ Водолея; 4) π Волопаса; 5) $\beta 2$ Эридана; 6) γ Овна; 7) ξ Волопаса; 8) γ Кита.

3*. Вычислить блеск кратной звезды: 1) ϵ Лиры; 2) θ Ориона; 3) $\eta 12$ Рыси; 5) ξ Скорпиона; 5) γ Андромеды; 6) β Единорога; 7) ζ Рака; 8) ϵ Гидры.

4*. Определить блеск компонентов трехкратной звезды по ее видимой звездной величине m и соотношению блеска ее компонентов:

1) $m=3^m,62$; первый компонент ярче второго в 3,2 раза, а третий слабее второго в 1,6 раза;

2) $m=4^m,21$; первый компонент ярче второго в 1,5 раза, а второй ярче третьего в 2,1 раза;

3) $m=4^m,02$; второй компонент слабее первого в 2,5 раза и ярче третьего в 1,8 раза;

4) $m=4^m,56$; второй компонент слабее первого в 3,5 раза, а третий слабее второго в 1,2 раза;

5) $m=4^m,47$; первый компонент ярче второго в 2 раза и ярче третьего в 3,7 раза;

6) $m=5^m,23$; третий компонент слабее первого в 3,9 раза и слабее второго в 2,2 раза;

7) $m=5^m,48$; первый компонент ярче второго в 2,4 раза, а третий слабее второго в 1,3 раза;

8) $m=3^m,74$; первый компонент ярче второго в 3 раза, а второй ярче третьего в 1,9 раза.

5*. Определить звездную величину компонентов трехкратной звезды по ее общей звездной величине m и по соотношению блеска между компонентами:

1) $m=5^m,28$; первый компонент ярче второго в 2,1 раза, а второй ярче третьего на $0^m,56$;

2) $m=3^m,70$; второй компонент ярче третьего в 2,8 раза, а первый ярче третьего на $3^m,32$;

3) $m=5^m,43$; первый компонент ярче третьего в 4,2 раза и ярче второго на $0^m,95$;

4) $m=3^m,56$; первый компонент ярче второго на $0^m,87$, а второй ярче третьего на $1^m,21$;

5) $m=3^m,91$; второй компонент слабее первого в 1,4 раза и ярче третьего на $1^m,63$;

6) $m=4^m,83$; третий компонент слабее второго в 3,4 раза, а первый ярче третьего на $2^m,71$;

7) $m=4^m,71$; третий компонент слабее первого в 4,8 раза, а первый ярче второго на $1^m,82$;

8) $m=5^m,54$; третий компонент слабее второго на $1^m,53$ и слабее первого на $3^m,94$.

Отчет о работе представить по самостоятельно разработанной форме.

МАССЫ, РАЗМЕРЫ И ПЛОТНОСТЬ ЗВЕЗД

Ц е л ь р а б о т ы. Изучение методов определения масс и радиусов звезд.

Пособия: видимые положения Сириуса и его спутника (планшет 60); Справочник любителя астрономии; таблицы логарифмов; логарифмическая линейка или арифмометр.

Литература: [1], глава XI, § 147, 150—154, глава XII, § 156—158; [2], глава XI, § 147, 148, 150, 151.

Д о п о л н и т е л ь н а я: [11], глава III, § 25; [13], глава III, § 12, 13; [15], глава III, § 14; [31], глава VII, § 75—78.

Задачи: [3], № 1061—1068, 1081—1083, 1089, 1090, 1092, 1095—1098; [4], № 300—316.

Массы звезд всегда выражаются в массах Солнца ($\mathcal{M}_{\odot} = 1$) и надежно определяются только в системах физических двойных звезд, для которых известны период обращения P и параллакс π . Определив по данным наблюдений истинную орбиту спутника двойной звезды и сравнивая движение спутника вокруг главной звезды с движением Земли вокруг Солнца, можно по третьему обобщенному закону Кеплера вычислить сумму масс $\mathcal{M}_1 + \mathcal{M}_2$ компонентов двойной звезды в массах Солнца. Если же, кроме того, известно положение общего центра масс компонентов двойной звезды, т. е. средние расстояния a_1 и a_2 компонентов от общего центра их масс, то имеется возможность определить массу каждого компонента в отдельности, так как

$$\frac{\mathcal{M}_1}{\mathcal{M}_2} = \frac{a_2}{a_1}. \quad (1)$$

Строго говоря, для определения a_1 и a_2 необходимо построить истинные орбиты компонентов относительно их общего центра масс, но с некоторым упрощением эта же задача решается и без построения орбит. Так, при заметном собственном движении двойной звезды, которое накладывается на орбитальное движение компонентов, их видимые траектории за сравнительно большой промежуток времени представляются кривыми линиями переменной кривизны, а видимое перемещение общего центра масс компонентов происходит по дуге большого круга. Эта дуга, изображаемая на чертеже отрезком прямой линии, всегда проходит между компонентами, поскольку в любой момент времени компоненты расположены диаметрально противоположно относительно своего общего центра масс. Тогда по повторяющемуся взаимному расположению компонентов можно оценить период P их обращения вокруг общего центра масс, а измеряя на чертеже их видимые расстояния r_1 и r_2 от этого центра, определить отношения $\frac{r_2}{r_1}$ для различных моментов времени t и по числу измерений n вычислить среднее значение

$$\frac{a_2}{a_1} = \frac{\sum_1^n \frac{r_2}{r_1}}{n}, \quad (2)$$

позволяющее найти массу каждого компонента в отдельности.

Массы одиночных звезд оцениваются по статистической зависимости «масса — светимость», полученной на основе изучения масс и светимостей двойных звезд. Эта зависимость связывает массу \mathcal{M} звезды с ее абсолютной болометрической звездной величиной M_b , характеризующей суммарное излучение звезды во всех длинах волн и определяемой через абсолютную визуальную звездную величину M_v и болометрическую поправку b :

$$M_b = M_v + b. \quad (3)$$

Болометрическая поправка b выводится из закона излучения абсолютно черного тела, имеет различное (но всегда отрицательное) значение для звезд разной температуры T и приводится в соответствующих таблицах.

Для относительно слабых звезд ($M_b \geq +7^m,5$)

$$\lg \mathcal{M} = 1,78 - 0,26M_b, \quad (4)$$

а для более ярких звезд ($+7^m,5 > M_b \geq -0^m,3$)

$$\lg \mathcal{M} = 0,46 - 0,10 \cdot M_b. \quad (5)$$

Приближенное значение линейного радиуса звезды R , выраженное в радиусах Солнца ($R_{\odot} = 1$), может быть вычислено по температуре T или показателю цвета C звезды:

$$\lg R = \frac{5900^\circ}{T} - 0,20 M_v - 0,02 \quad (6)$$

и

$$\lg R = 0,82 C - 0,20 M_v + 0,51, \quad (7)$$

где M_v — абсолютная визуальная звездная величина звезды.

Для фотометрической системы U, B, V формула (7) имеет несколько иной вид

$$\lg R = 0,72 (B - V) - 0,20 M_v + 0,51, \quad (8)$$

где $(B - V)$ — показатель цвета, а M_v — абсолютная звездная величина в системе V , близкая к абсолютной звездной величине M_v . Напомним, что температура T связана с показателями цвета C и $(B - V)$ зависимостями

$$T = \frac{7200}{C + 0^m,65} \quad (9)$$

и

$$T = \frac{7920}{(B - V) + 0^m,72}. \quad (10)$$

По известной массе \mathcal{M} и линейному радиусу R звезды определяется ее средняя плотность

$$\delta = \delta_{\odot} \frac{\mathcal{M}}{R^3}, \quad (11)$$

где δ_{\odot} — средняя плотность солнечного вещества.

Если положить $\delta_{\odot} = 1$, то δ получится в сравнении со средней

плотностью солнечного вещества; если же требуется знать δ в $г/см^3$, то следует положить $\delta_{\odot} = 1,41 г/см^3$.

ЗАДАНИЕ

1*. По видимым положениям Сириуса и его спутника на протяжении 70 лет определить их массы (видимую большую полуось истинной орбиты спутника принять равной $a'' = 7'',57$).

2*. Вычислить температуру, визуальную светимость, радиусы и среднюю плотность этих звезд и сделать вывод об их положении на диаграмме Ресселла.

3. По температуре и показателю цвета вычислить линейные радиусы звезд:

- 1) Геммы, β Большого Пса и звезды Каптейна;
- 2) Альтаира, ϵ Ориона и Проциона *B*;
- 3) Веги, γ Кассиопеи и Струве 2398 *B*;
- 4) Спика, λ Водолея и Проксимы Центавра;
- 5) Антареса, ζ Большого Пса и Лаланд 21185;
- 6) Денеба, λ Близнецов и 61 Лебеда *A*;
- 7) Капеллы, σ Ориона и Кордоба 32416;
- 8) Регула, δ Девы и *BD* — $15^{\circ} 4041$.

4. Объяснить некоторое расхождение в значениях радиуса одной и той же звезды, вычисленных по разным формулам.

5. Вычислить массу и среднюю плотность тех же звезд.

6. Сопоставить вычисленные радиусы и массы звезд с их светимостью и спектральным классом и сформулировать общие выводы о взаимной связи этих параметров на диаграмме Ресселла и о существующем различии в светимости, размерах, массах и плотности звезд.

Отчет о работе № 33

Дата выполнения работы

1 и 2.

t	r_1	r_2	$\frac{r_2}{r_1}$

$$P = \quad n =$$

$$a'' =$$

$$\pi =$$

$$a =$$

$$a^3 =$$

$$P^2 =$$

$$\mathcal{M}_1 + \mathcal{M}_2 =$$

$$\sum \frac{r_2}{r_1} =$$

$$\frac{a_2}{a_1} =$$

$$\frac{\mathcal{M}_1}{\mathcal{M}_2} =$$

Значение	Сириус А	Сириус В
C		
$0^m 65$		
T		
π		
$1g \pi$		
$51g \pi$		
5		
m_v		
M_v		
0,82C		
0,20 M_v		
0,51		
$1g R$		
K		

Значение	Сириус А	Сириус В
\mathcal{M}		
R^3		
δ		
δ		
M_{\odot}		
$M_{\odot} - M_v$		
$\lg L$		
L		

Результаты:

Звезда	\mathcal{M}	R	δ	δ	T	M_v	L
Сириус А							
Сириус В							

Вывод: _____

3. Формулы:

Звезда	m_v	π	M_v	C	T	$\frac{5900^\circ}{T}$	$0,2M_v$	$\lg R$	R	$0,82C$	$\lg R$	R

4. Объяснение:

5. Формулы:

Звезда	Последовательность	M_v	b	M_b	kM_b	$\lg T$	$\lg \mathcal{M}$	$3 \lg R$	$\lg \delta$	δ	δ	\mathcal{M}	R

6. Сопоставление и выводы:

КРИВЫЕ БЛЕСКА ПЕРЕМЕННЫХ ЗВЕЗД*

Ц е л ь р а б о т ы. Изучение методов фотометрии переменных звезд.

Пособия: Справочник любителя астрономии; таблицы логарифмов; логарифмическая линейка или арифмометр.

Литература: [1], глава VII, § 72—76, глава XII, § 161, 164—167; [2], глава VII, § 103, глава XI, § 156—159.

Д о п о л н и т е л ь н а я: [12], глава четырнадцатая, § 204, 207—210; [13], глава V, § 21; [15], глава VI, § 41, глава VII, § 42, 43; [31], глава VII, § 79, 82—84; [32], глава II, глава IV.

Задачи: [3], № 791, 792, 1125—1128, 1133—1136; [4], № 281—288.

Многие характеристики переменных звезд могут быть получены из анализа кривых их блеска, которые строятся по фотометрическим наблюдениям этих звезд. Существуют визуальные, фотографические и фотоэлектрические методы определения блеска переменных звезд, каждый из которых позволяет изучать изменение блеска в соответствующих звездных величинах (m_v , m_{pg} , V , B , U и др.).

Визуальные оценки блеска переменных звезд проводятся способами Аргеландера, Пиккеринга и Блажко — Найланда, из которых мы рассмотрим только последний, соединяющий преимущества первых двух. Подбирается несколько звезд сравнения a , b , c , ..., из которых одни немного ярче переменной звезды x , а другие — несколько слабее. Различие в блеске двух звезд сравнения мысленно делится на несколько произвольных степеней N , и наблюдатель оценивает число степеней, отделяющих по блеску переменную звезду от обеих звезд сравнения, иногда попутно отмечая в тех же степенях различие в блеске между другими звездами сравнения. Так, если различие в блеске между звездами сравнения a и b оценено в 7 степеней ($N=7$), а переменная звезда x слабее звезды a , но ярче звезды b и по своему блеску значительно ближе к звезде a , чем к звезде b , то запись может быть такой

$$a\ 2x\ 5b\ 1c, \quad (1)$$

причем $b1c$ означает, что звезда сравнения b ярче звезды сравнения c на 1 степень. Проведя этим способом сравнение блеска переменной звезды с блеском нескольких пар звезд сравнения на протяжении ряда дней или недель, проводят обработку наблюдений, сущность которой излагается здесь в упрощенном виде. По фотометрическому каталогу звезд определяют видимые визуальные звездные величины звезд сравнения (m_a , m_b , m_c , ...) и находят цену одной степени блеска

$$x_1 = \frac{m_b - m_a}{N_1},$$

$$x_2 = \frac{m_c - m_b}{N_2},$$

* Эту работу желательно выполнять по личным наблюдениям переменных звезд студентами.

$$x_3 = \frac{m_d - m_c}{N_3} \text{ и т. д.}$$

по числу n использованных пар звезд сравнения, и затем определяют среднее значение степени в звездных величинах:

$$x = \frac{\sum_1^n x_i}{n}. \quad (2)$$

Используя записи наблюдений, определяют для соответствующих моментов времени визуальную звездную величину m_x переменной звезды; так, в случае записи (1),

$$m_x = m_a + \Delta \cdot x = m_a + 2x,$$

или

$$m_x = m_b - \Delta' \cdot x = m_b - 5x, \quad (3)$$

так как переменная звезда x слабее звезды a и ярче звезды b .

По полученным оценкам строится кривая блеска $m_x = f(t)$ переменной звезды, из анализа которой определяются тип переменности и фотометрические характеристики звезды. Так как большему блеску соответствует меньшая звездная величина m (и наоборот), то m откладывается по оси в направлении сверху вниз.

При построении кривой блеска переменных звезд с небольшими периодами переменности (короче двух суток) необходимо к полученным моментам времени придавать поправку t_0 за орбитальное движение Земли, неучет которой приводит к кажущемуся различию в периодах переменности звезды по наблюдениям, выполненным в разные месяцы, за счет периодического изменения расстояния Земли от звезды на протяжении года, изменения, правда, незначительного, но вполне достаточного, чтобы давать погрешность в периоде до 8 мин. Поэтому все моменты t изменения блеска переменных звезд с малыми периодами обязательно приводятся к Солнцу, т. е. вычисляются соответствующие гелиоцентрические моменты t_{\odot} для гипотетического наблюдателя, находящегося в центре Солнца. Очевидно,

$$t_{\odot} = t + t_0, \quad (4)$$

причем

$$t_0 = -8,312 \cos \beta \cdot \cos (\lambda_{\odot} - \lambda), \quad (5)$$

где λ и β — геоцентрические эклиптические координаты звезды, определяемые по ее экваториальным координатам α и δ , а λ_{\odot} — геоцентрическая долгота Солнца, публикуемая в астрономических календарях-ежегодниках.

Если окажется, что изученная переменная является цефеидой, то по зависимости «период — светимость», выражаемой аналитически формулой

$$M_c = -2,37 \lg P - 2,02, \quad (6)$$

можно определить медианную (среднюю) абсолютную звездную вели-

чину M_c звезды и, используя ее медианную видимую звездную величину

$$m_c = \frac{m_m + m_n}{2} \quad (7)$$

(m_m и m_n — соответственно, звездная величина в максимуме и минимуме блеска), вычислить фотометрический параллакс π звезды и расстояние r до нее.

ЗАДАНИЕ

1*. По визуальным оценкам блеска переменной звезды X Лебеда ($\alpha=20^{\text{h}}39^{\text{m}}5; \delta=+35^{\circ}14'$), произведенным П. П. Паренаго, построить кривую блеска этой звезды и определить ее основные характеристики: тип и период переменности, промежуток времени подъема блеска в долях периода, видимую визуальную звездную величину в максимуме и минимуме блеска и амплитуду его изменения.

Видимая визуальная звездная величина звезд сравнения:
 $m_a = 5^{\text{m}},94$; $m_b = 6^{\text{m}},30$; $m_c = 6^{\text{m}},50$; $m_d = 6^{\text{m}},72$; $m_e = 6^{\text{m}},88$.

№ варианта	Момент по всемирному времени	Оценка	
1)	1929 г., май	7, 21 ^ч 21 ^м	<i>a7x1b1c</i>
		11, 20 53	<i>b2c2x2d</i>
		13, 20 38	<i>b1c2x3d</i>
		14, 20 09	<i>c4x3d</i>
		17, 21 21	<i>d1x1e</i>
		18, 20 09	<i>b2c5x2d</i>
		20, 20 38	<i>b2c4x1d</i>
		21, 21 21	<i>b2c4x1d</i>
		22, 20 53	<i>b2c3x3d</i>
		24, 21 36	<i>a7x1b2c</i>
2)	1929 г., июль	12, 18 ^ч 58 ^м	<i>a6x1b</i>
		16, 19 26	<i>b2x1c</i>
		17, 19 12	<i>c1x4d</i>
		19, 18 58	<i>c2x3d</i>
		22, 18 43	<i>c3x2d</i>
		23, 18 58	<i>c4x0 d3e</i>
		24, 18 43	<i>c4x0d2e</i>
		26, 18 58	<i>d1x1e</i>
		27, 18 43	<i>c2x3d</i>
		28, 18 58	<i>a7x1b</i>

№ варианта	Момент по всемирному времени	Оценка
3)	1929 г., июль 28, 18 ^ч 58 ^м 29, 18 58 август 1, 18 58 3, 18 29 6, 18 43 8, 18 29 10, 20 38 12, 20 53 14, 18 43 15, 18 29	<i>a7x1b</i> <i>a6x2b</i> <i>b0x1c</i> <i>b2x4d</i> <i>c5x0d</i> <i>d1x1e</i> <i>c4x1d</i> <i>c3x1d</i> <i>a5x2b</i> <i>a5x3b</i>
4)	1929 г., май 22, 20 ^ч 53 ^м 24, 21 36 25, 20 53 26, 21 21 27, 21 07 29, 20 38 31, 21 36 июнь 2, 21 36 8, 21 36 11, 21 21	<i>b2c3x3d</i> <i>a7x1b2c</i> <i>a7x1b2c</i> <i>a7x1b1c</i> <i>b1x0c</i> <i>c3x2d</i> <i>c5x1d</i> <i>c6x0d</i> <i>a7x1b</i> <i>a6x2b</i>
5)	1929 г., август 12, 20 ^ч 53 ^м 13, 18 43 15, 18 29 17, 20 10 21, 18 29 24, 18 15 25, 20 24 27, 18 19 28, 20 10 29, 18 00	<i>c3x2d</i> <i>a6x1b</i> <i>a5x3b</i> <i>a6x1b</i> <i>c4x2d</i> <i>d1x2e</i> <i>d2x1e</i> <i>c4x1d</i> <i>c3x2d</i> <i>c1x4d</i>
6)	1929 г., июль 6, 19 ^ч 41 ^м 7, 19 55 9, 19 12 11, 19 26 12, 18 58 16, 19 26 18, 19 12 20, 18 43 22, 18 43 23, 18 58	<i>c4x2d</i> <i>c3x2d</i> <i>c3x4d</i> <i>a7x1b</i> <i>a6x2b</i> <i>b2x1c</i> <i>c1x4d</i> <i>c2x3d</i> <i>c3x2d</i> <i>c4x0d3e</i>

№ варианта	Момент по всемирному времени			Оценка
7)	1929 г., май	14, 20 ^ч 09 ^м	17, 21 21 18, 20 09 21, 21 21 22, 20 53 24, 21 36 25, 20 53 26, 21 21 29, 20 38 31, 21 36	<i>c4x3d</i> <i>d1x1e</i> <i>b2c5x2d</i> <i>c4x2d</i> <i>c3x3d</i> <i>a7x1b</i> <i>a7x1b</i> <i>a7x1b</i> <i>c3x2d</i> <i>c5x1d</i>
8)	1929 г., июль	20, 18 ^ч 43 ^м	22, 18 43 23, 18 58 25, 18 43 27, 18 43 28, 18 58 29, 18 58 звгуст 1, 18 58 4, 18 58 6, 18 43	<i>c2x3d</i> <i>c3x2d</i> <i>c4x0d3e</i> <i>d1x1e</i> <i>c2x3d</i> <i>a7x1b</i> <i>a6x2b</i> <i>b0x1c</i> <i>c2x3d</i> <i>c5x0d</i>

2* По зависимости «период — светимость» оценить медианную абсолютную визуальную звездную величину *X* Лебедя, определить расстояние до нее и вычислить ее параллакс.

Отчет представить по самостоятельно разработанной форме.

СОБСТВЕННЫЕ ДВИЖЕНИЯ И ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ СКОРОСТИ ЗВЕЗД

Цель работы. Ознакомление с методами изучения собственных движений и пространственных скоростей звезд.

Пособия: карточки положений звезд (планшеты 61—68); Справочник любителя астрономии; таблицы логарифмов и тригонометрических функций; логарифмическая линейка или арифмометр.

Литература: [1], глава VI, § 59, глава VII, § 73—76, 83, глава XI, § 135—139; [2], глава IV, § 72, 73, глава VII, § 103, 107, глава VI, § 91, 92, глава XII, § 165.

Дополнительная: [14], глава XII, § 61, 63; [15], глава XIX, § 136, 137; [17], Введение, § 3, глава первая, § 7, 10, глава вторая, § 14—16.

Задачи: [3], № 1008, 1009, 1019—1036, 1042, 1043, 1048, 1053, 1054; [4], № 333—353.

Скорость звезды в пространстве относительно Солнца (пространственная скорость звезды) характеризуется величиной V и направлением ϑ относительно радиуса-вектора r звезды, соединяющего звезду с Солнцем (рис. 69). Пространственная скорость V определяется через лучевую V_r и тангенциальную V_t скорость звезды, причем V_r вычисляется по принципу Доплера — Белопольского (с приведением к Солнцу), а V_t — по годичному параллаксу π и собственному движению μ звезды:

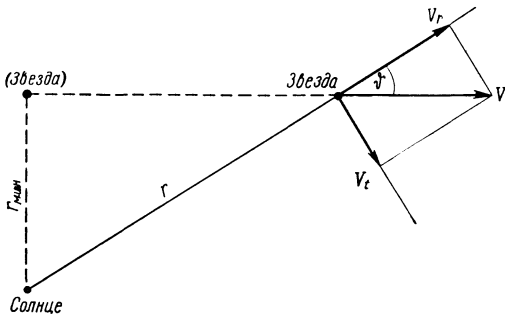


Рис. 69

$$V_t = 4,74 \frac{\mu}{\pi}, \quad (1)$$

или
$$V_t = 4,74 r \mu, \quad (2)$$

где r — расстояние до звезды, выраженное в парсеках (pc), μ и π — в секундах дуги ($''$), а V_t — в $км/сек$.

При определении V обязательно указывается угол ϑ , отыскиваемый по его функциям:

$$\sin \vartheta = \frac{V_t}{V} \quad (3)$$

и

$$\cos \vartheta = \frac{V_r}{V}, \quad (4)$$

причем ϑ лежит в пределах от 0° до 180° и его значение зависит от знака $\cos \vartheta$, т. е. от направления лучевой скорости звезды, которая

считается отрицательной при направлении к Солнцу и положительной — при противоположном направлении.

Из-за огромного удаления звезд от Солнца их собственные движения, как правило, очень малы, порядка десятых и сотых долей секунды дуги, и поэтому надежно определяются по изменениям экваториальных координат звезд лишь за значительные промежутки времени, исчисляемые десятками лет. В зависимости от имеющегося наблюдательного материала собственные движения звезд определяются абсолютным и относительным методами. Абсолютный метод основан на сравнении экваториальных координат звезд в разные эпохи t_1 и t_2 .

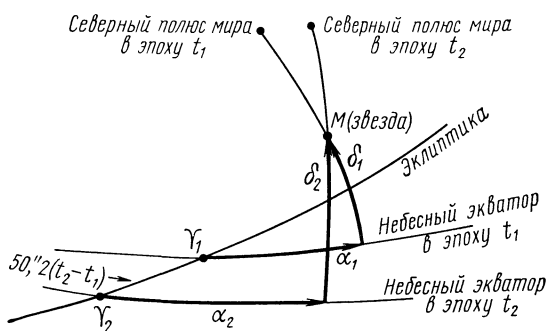


Рис. 70

причем эпохой называется определенный момент года, к которому отнесено положение сетки экваториальных координат и на который, следовательно, даются экваториальные координаты звезд. Эпоха всегда обозначается номером года и его десятными долями. Так, эпоха 1900.0 обозначает начало 1900 г., а эпоха 1950.0 — начало 1950 г.

Пусть в эпоху t_1 экваториальные координаты звезды M были α_1 и δ_1 , а в эпоху t_2 — соответственно, α_2 и δ_2 . За разность эпох $\Delta t = t_2 - t_1$ экваториальные координаты звезды изменятся не столько за счет ее собственного движения, сколько (и главным образом) за счет прецессионного поворота сетки экваториальных координат (прецессия) на $50''.2$ в год (рис. 70). Поэтому, чтобы определить собственное движение μ звезды, нужно прежде всего освободить изменение ее экваториальных координат от влияния прецессии, что достигается приведением экваториальных координат α_2 и δ_2 к координатной сетке первой эпохи t_1 . Для этого из α_2 и δ_2 вычитается прецессия за разность эпох Δt , и тогда новые экваториальные координаты звезды, приведенные к первой эпохе t_1 , будут

$$\alpha = \alpha_2 - P_\alpha \cdot \Delta t \quad (5)$$

и

$$\delta = \delta_2 - P_\delta \cdot \Delta t, \quad (6)$$

где P_α и P_δ — соответственно, годичная прецессия по прямому восхождению и по склонению.

Значения P_α и P_δ для экваториальных координат приводятся в специальных таблицах прецессии, в астрономических календарях и справочниках (см. табл. 3 и 4 в приложениях).

Если окажется, что $\alpha = \alpha_1$ и $\delta = \delta_1$, то собственное движение μ звезды очень мало и практически не заметно. При различии экваториальных координат находят компоненты собственного движения μ_α и μ_δ по обеим координатам (рис. 71) и по ним вычисляют собственное движение

$$\mu = \sqrt{\mu_\alpha^2 + \mu_\delta^2}, \quad (7)$$

причем оба компонента μ_α и μ_δ должны быть выражены обязательно в секундах дуги (").

Выражение μ_δ в секундах дуги не вызывает затруднений, так как μ_δ измеряется вдоль дуги большого круга, по кругу склонения звезды, и поэтому

$$\mu_\delta = \frac{\delta - \delta_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta\delta}{\Delta t}, \quad (8)$$

где $\Delta\delta$ выражается в секундах дуги.

Компонент же μ_α направлен вдоль дуги малого круга, по небесной параллели звезды, в то время как разность $\Delta\alpha = \alpha - \alpha_1$ измеряется дугой большого круга — небесного экватора, и поэтому по этой разности вычисляется не μ_α , а

$$\mu_\alpha^s = \frac{\alpha - \alpha_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta\alpha}{\Delta t}, \quad (9)$$

выраженное в секундах времени (s).

Если представить себе несколько звезд (рис. 72) с одинаковыми μ , μ_α и μ_δ , но с различным склонением δ , то численные значения μ_α^s у всех этих звезд будут различными из-за схождения кругов склонения к полюсам мира, и наибольшее значение μ_α^s будет у звезды с наибольшим по абсолютной величине склонением δ . Эта погрешность устраняется приведением μ_α^s к небесной параллели звезды, что достигается учетом ее склонения δ , и так как $1^s = 15''$, то выраженное в секундах дуги

$$\mu_\alpha = 15 \mu_\alpha^s \cdot \cos \delta; \quad (10)$$

это значение μ_α и подставляется в формулу (7).

В относительном методе определения собственных движений звезд на негативах звездного неба измеряются по α и δ прямоугольные координаты x и y звезды относительно заведомо «неподвижных» звезд, т. е. звезд, не имеющих заметного собственного движения и называемых

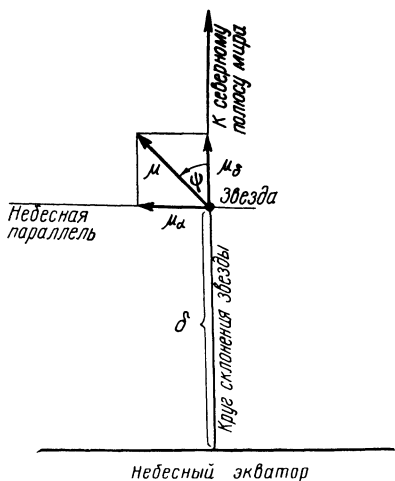


Рис. 71

опорными звездами. По значениям x_1, y_1 и x_2, y_2 одной и той же звезды, измеренным на негативах разных эпох, находят разности

$$\Delta x = x_2 - x_1 \quad (11)$$

и

$$\Delta y = y_2 - y_1, \quad (12)$$

которые по масштабу фотографии переводятся в $\Delta \alpha$ и $\Delta \delta$, и по ним вычисляются μ_α и μ_δ .

Направление собственного движения звезды определяется позиционным углом ψ , отсчитываемым против часовой стрелки от северного направления круга склонения звезды (см. рис. 71). В зависимости от изменения экваториальных координат звезды, позиционный угол ψ собственного движения может иметь значения от 0° до 360° и вычисляется по формулам:

$$\sin \psi = \frac{\mu_\alpha}{\mu} \quad (13)$$

и

$$\cos \psi = \frac{\mu_\delta}{\mu}, \quad (14)$$

с учетом знаков обеих функций.

Пространственная скорость V каждой звезды на протяжении многих столетий остается практически неизменной по величине и направлению. Поэтому, зная V и r звезды в настоящую эпоху, можно вычислить эпоху наибольшего сближения звезды с Солнцем и определить для нее наименьшее расстояние r_{\min} , параллакс, собственное движение, компоненты пространственной скорости и видимую звездную величину звезды. Вывод соответствующих формул по рис. 69 не представляет затруднений.

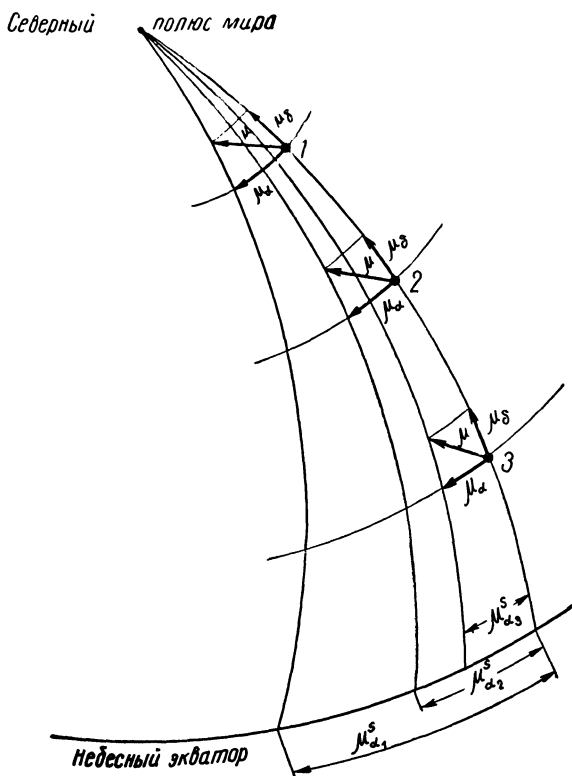


Рис. 72

ЗАДАНИЕ

1*. На карточке положений звезд, составленной на начало двух лет в координатной сетке эпохи 1950.0, измерить значения разности экваториальных координат сместившейся звезды и вычислить величину и

позиционный угол ее собственного движения, а также тангенциальную скорость.

2*. Вычислить тангенциальную скорость и экваториальные координаты (в координатной сетке 1950,0) двух звезд (см. табл. 7 на стр. 277):

- 1) Грумбридж 34А на 1960 г. и BD — 15°4041 на 2200 г.;
- 2) Струве 2398В на 1990 г. и звезды Каптейна на 2250 г.;
- 3) 61 Лебеда А на 1970 г. и ε Индейца на 2300 г.;
- 4) Лакайль 8760 на 2000 г. и σ^2 Эридана С на 2350 г.;
- 5) Лаланд 21185 на 1980 г. и Кордоба 32416 на 2400 г.;
- 6) Струве 2398 А на 1980 г. и Лакайль 9352 на 2250 г.;
- 7) Сириуса В на 1990 г. и σ^2 Эридана А на 2400 г.;
- 8) BD — 15°4042 на 1970 г. и Проциона В на 2200 г.

3. По данным наблюдений, исправленным за движение Земли вокруг Солнца, определить пространственную скорость двух звезд, предварительно исправив за прецессию их экваториальные координаты:

№ варианта	t	α		M_v	m_v	r св. года	$\lambda, \text{Å}$	$\Delta x, \text{мм}$	$D, \text{Å/мм}$
1)	1850,0	7 ^h 11 ^m 38 ^s c	—5° 28'04"	+2 ^m .64	+4 ^m .32	—	4861	+0,018	50
	1950,0	7 16 35	—5 38 14						
	1810,0	20 42 08	+46 16 37	—	—	32.49	3934	—0,015	40
	1960,0	20 47 28	+46 50 29						
2)	1760,0	1 ^h 55 ^m 12 ^s c	—10°31'22"	+5 ^m .71'	+5 ^m .21	—	5896	—0,020	20
	1960,0	2 05 15	—9 35 42						
	1850,0	16 08 26	+38 15 33	—	—	34.28	3970	+0,020	60
	1960,0	16 11 54	+37 59 37						
3)	1840,0	4 ^h 18 ^m 39 ^s c	—15°59'38"	+1 ^m .37	+3 ^m .41	—	4481	+0,010	50
	1940,0	4 24 18	—15 45 53						
	1810,0	18 57 05	+53 45 18	—	—	32.56	3835	—0,028	40
	1960,0	19 00 08	+53 56 47						
4)	1760,0	0 ^h 52 ^m 48 ^s c	+26°27'25"	+5 ^m .39	+4 ^m .62	—	4668	—0,015	30
	1960,0	1 03 46	+27 31 09						
	1830,0	10 36 01	—7 00 48	—	—	54.77	3750	+0,020	10
	1930,0	10 41 02	—7 31 54						
5)	1760,0	5 ^h 35 ^m 17 ^s c	—4° 14'52"	+3 ^m .57	+3 ^m .87	—	4405	+0,010	30
	1960,0	5 45 20	—4 07 46						
	1900,0	19 06 54	+47 01 12	—	—	45.64	4340	—0,020	20
	1950,0	19 08 13	+47 05 35						
6)	1810,0	2 ^h 46 ^m 28 ^s c	—13°44'33"	+4 ^m .78	+5 ^m .19	—	5896	—0,025	40
	1960,0	2 53 32	—13 08 14						
	1900,0	15 58 10	+50 30 54	—	—	13.37	3889	+0,015	60
	1950,0	15 59 34	+50 22 19						

№ варианта	t	α	δ	M_v	m_v	r св. года	$\lambda, \text{Å}$	$\Delta x, \text{мм}$	$D, \text{Å} / \text{мм}$
7)	1800,0	11 ^h 18 ^m 07 ^s c	+43°29'35"	+5 ^m .03	+5 ^m .18	—	4384	+0,015	70
	1950,0	11 26 25	+42 41 49						
	1850,0	17 51 20	— 9 16 12	—	—	35.53	3798	—0,030	10
	1900,0	17 54 04	— 9 16 36						
8)	1860,0	13 ^h 40 ^m 21 ^s c	+27°31'19"	+3 ^m .67	+4 ^m .27	—	4326	—0.050	20
	1960,0	13 45 08	+26 59 50						
	1810,0	23 27 13	— 2 46 05	—	—	25.75	4102	+0,040	15
	1960,0	23 35 00	— 1 57 07						

4*. Вычислить расстояние, параллакс, собственное движение, видимую звездную величину, лучевую и тангенциальную скорость в эпоху наибольшего сближения с Солнцем звезды: 1) Сириуса; 2) Веги; 3) Капеллы; 4) Арктура; 5) Ригеля; 6) Проциона; 7) Альтаира; 8) Поллукса.

5. Из анализа результатов пунктов 3 и 4 сформулировать вывод о величине пространственной скорости звезд в сравнении с пространственной скоростью Солнца.

Отчет о работе представить по самостоятельно разработанной форме.

ОБЩАЯ СТРУКТУРА ГАЛАКТИКИ

Цель работы. Изучение галактической концентрации звезд.

Пособия: Малый звездный атлас А. А. Михайлова; А. А. Михайлов, Звездный атлас (со звездами до 8.25 величины), Гостехиздат, М., 1952 и Наука, 1969 (или А. Бечварж, Звездный атлас 1950.0, изд-во Чехословацкой Академии наук, 1958*); таблицы тригонометрических функций; логарифмическая линейка или арифмометр.

Литература: [1], глава XI, § 132, 133, глава XIII, § 171—173, 181, 182; [2], глава XII, § 161—163, 166, 170.

Дополнительная: [15], глава XVIII, § 110, 111, 117, 131—134; [17], глава пятая, § 36, 37, 49; [19], стр. 23, 65, 67, 114, 133; [30], глава II; [34], глава первая, § 3.

Задачи: [3], № 1156—1159, 1162—1165, 1168, 1169.

Представление об общей структуре Галактики в первом приближении может быть получено по статистическому подсчету звезд в различных областях неба. Так как подавляющее большинство звезд Галактики расположено в Млечном Пути, то для изучения общей структуры Галактики, естественно, выбрать такую систему сферических координат, основной круг которой проходил бы примерно по средней линии Млечного Пути: этот большой круг (рис. 73) называется галактическим экватором (GG') и пересекается с небесным экватором (QQ') в двух диаметрально противоположных точках, называемых узлами галактического экватора на небесном экваторе. Узел, в котором галактический экватор переходит в северное небесное полушарие в направлении с запада к востоку, против часовой стрелки, называется восходящим узлом Ω . Диаметрально противоположный узел называется нисходящим узлом ϑ .

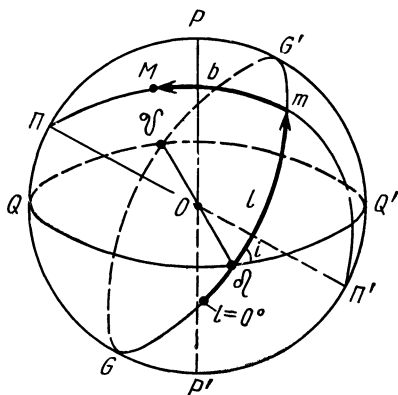


Рис. 73

Две точки небесной сферы, удаленные на 90° от любой точки галактического экватора, называются галактическими полюсами. Северный галактический полюс Π лежит в северном небесном полушарии, а южный галактический полюс Π' — в южном небесном полушарии. Соответственно и галактический экватор делит небесную сферу на северное и южное галактическое полушарие.

Галактический экватор пересекается с небесным экватором под углом i , называемым наклоном галактического экватора. Большие

* Полное название: Antonín Večvář, Atlas coeli 1950.0, Nakladatelství Akademie Věd, Praha, 1958.

круги, проходящие через галактические полюсы (например, $PMmP'$), называются кругами галактической широты. По ним отсчитывается галактическая широта b небесных объектов (M), т. е. угловое расстояние от галактического экватора, считаемое в северном галактическом полушарии положительным, а в южном галактическом полушарии — отрицательным. Очевидно, пределы измерения $b = \pm 90^\circ$.

Другая координата, называемая галактической долготой l , отсчитывается в пределах от 0° до 360° вдоль галактического экватора всегда в одном направлении против часовой стрелки (как и прямое восхождение α в экваториальной системе координат) и началом ее отсчета служит точка галактического экватора, соответствующая направлению на центр Галактики. Эта точка лежит на расстоянии $\Delta l = 33^\circ, 1$ к западу от восходящего узла Ω галактического экватора.

Галактическая долгота l и галактическая широта b измеряются всегда в градусах с точностью не более $0^\circ, 01$.

Положение обоих узлов галактического экватора и обоих галактических полюсов задается в системе экваториальных координат их прямым восхождением α и склонением δ . Приближенное положение узлов может быть установлено по картам звездного атласа, для чего достаточно вблизи пересечения Млечного Пути с небесным экватором провести среднюю линию Млечного Пути, изображающую галактический экватор, и отметить точку ее пересечения с небесным экватором, которая и является одним из узлов галактического экватора, а его название определяется по направлению счета α и l . Экваториальные координаты α и δ этого узла отсчитываются по координатной сетке карты, экваториальные координаты второго узла находятся из условия его расположения относительно первого узла, а галактические координаты l и b обоих узлов определяются по условиям построения галактической системы координат. Наклонение i галактического экватора измеряется на карте транспортиром.

Зная наклонение i галактического экватора и помня, что линия узлов $\Omega O \mathcal{U}$ (см. рис. 73) перпендикулярна к плоскости большого круга $PP'P'$, на котором лежат полюсы мира (P и P') и галактические полюсы (Π и Π'), нетрудно вычислить экваториальные координаты α и δ обоих галактических полюсов.

Одним из простейших методов изучения общей структуры Галактики является подсчет числа звезд до определенной видимой звездной величины в различных участках звездного неба. Обозначим через $A(m)$ число звезд видимой звездной величины m , через $N(m)$ — число звезд от самых ярких до видимой звездной величины m (включительно), а через S — площадь участка неба, на которой эти звезды расположены. Обычно значения m выбираются целыми, с интервалом в 1 звездную величину, и к ним относят все звезды со звездными величинами от $(m - 0^m, 5)$ до $(m + 0^m, 5)$. Поскольку изображения звезд на картах не могут быть градуированы с большой точностью, то не будет большой погрешностью, если звездами видимой звездной величины m считать не только их самих, но и звезды видимой звездной величины $(m + 0^m, 5)$. Другими словами, будем считать звездами 1 звездной величины звезды с $m = 1^m$ и $m = 1^m, 5$, звездами 2 звездной величины — звезды с

$m=2^m$ и $m=2^m,5$, звездами 5 звездной величины — звезды с $m=5^m$ и $m=5^m,5$ и т. д., а под $A(m)$ и $N(m)$ — подразумевать соответствующие числа звезд этих же звездных величин. Тогда

$$A(m) = N(m) - N(m-1). \quad (1)$$

Подсчитав в каждой площадке S числа звезд $A(m)$ в отдельности, вплоть до $m=7^m$ ($m=7^m$ и $7^m,5$), легко найти для тех же площадок значения $N(m)$ и затем вычислить звездную плотность, т. е. число звезд $N'(m)$, расположенных на площадке в 1 квадратный градус. Очевидно, звездная плотность

$$N'(m) = \frac{N(m)}{S}, \quad (2)$$

где S — в квадратных градусах.

Величина S площади вычисляется по координатной сетке карты, с учетом схождения кругов склонения к полюсу мира. Если площадка ограничена кругами склонения с прямым восхождением α_1 и α_2 и небесными параллелями со склонением δ_1 и δ_2 , то ее протяженность по этим координатам будет $(\alpha_2 - \alpha_1)$ и $(\delta_2 - \delta_1)$, а площадь в квадратных градусах

$$S = 15(\alpha_2 - \alpha_1)(\delta_2 - \delta_1) \cdot \cos \frac{\delta_1 + \delta_2}{2}, \quad (3)$$

где α_2 и α_1 выражены в часах (и их долях), δ_2 и δ_1 — в градусах, а коэффициент 15 служит для перевода часов в градусы.

Для определения галактической концентрации звезд, числа $N(m)$ подсчитываются в площадках, расположенных в поясе галактического экватора и вокруг галактических полюсов. Найдя звездную плотность $N'(m, 0^\circ)$ в районе галактического экватора и $N'(m, 90^\circ)$ в районе галактического полюса, можно вычислить галактическую концентрацию

$$G(m) = \frac{N'(m, 0^\circ)}{N'(m, 90^\circ)}, \quad (4)$$

показывающую, во сколько раз число звезд до данной звездной величины m (на 1 квадратном градусе) в районе галактического экватора больше аналогичного числа в районе галактического полюса.

Попутно полезно провести такую же статистику для областей, расположенных вдоль галактических параллелей $b = \pm 45^\circ$ и вычислить отношение

$$G'(m) = \frac{N'(m, 45^\circ)}{N'(m, 90^\circ)}. \quad (5)$$

Получив значения $G(m)$ и $G'(m)$ для предельной видимой звездной величины, изображенной на звездной карте, и приняв за единичный вектор звездную плотность $N'(m, 90^\circ)$ в районе галактического полюса, можно построить векторную диаграмму видимого

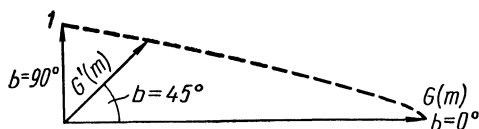


Рис. 74

распределения звезд в Галактике (рис. 74), наглядно показывающую сжатие нашей звездной системы.

При наличии подробных звездных карт можно обнаружить различные значения галактической концентрации $G(m)$ в разных участках Млечного Пути и выявить направление, в котором $G(m)$ максимальна. По этим данным также полезно построить круговую векторную диаграмму, на которой выявляется направление l_0 наибольшей галактической концентрации, соответствующее направлению на ядро Галактики. Значения l заимствуются из табл. 11 (см. стр. 280).

ЗАДАНИЕ

1*. С карт Малого звездного атласа А. А. Михайлова скопировать на кальку границы Млечного Пути в районах его пересечения с небесным экватором, дугу небесного экватора и дуги трех кругов склонения в этих же районах.

2*. Оцифровать на кальке круги склонения, провести на ней галактический экватор, измерить наклонение галактического экватора к небесному, определить экваториальные и галактические координаты узлов галактического экватора и написать названия созвездий, в которых лежат эти узлы.

3*. Вычислить экваториальные и галактические координаты галактических полюсов и указать названия созвездий, в которых эти полюсы расположены.

4*. С одной из карт Малого звездного атласа А. А. Михайлова скопировать на кальку 6—8 наиболее ярких звезд двух указанных ниже созвездий и нанести на нее положение одного из галактических полюсов, одну параллель с галактической широтой $+45^\circ$ (или -45°), две параллели с галактической широтой $\pm 5^\circ$, галактический экватор и границы Млечного Пути; созвездия: 1) Лебедя и Водолея; 2) Орла и Козерога; 3) Стрельца и Микроскопа; 4) Персея и Овна; 5) Скорпиона и Весов; 6) Возничего и Кита; 7) Близнецов и Эридана; 8) Большого Пса и Эридана.

5*. На той же кальке наметить три площадки размерами около $20^\circ \times 20^\circ$, расположенные: одна — вдоль галактического экватора, другая — вдоль галактической параллели 45° и третья — вокруг одного из галактических полюсов.

6*. Пользуясь Малым звездным атласом А. А. Михайлова, отождествить на картах Большого звездного атласа А. А. Михайлова или звездного атласа А. Бечваржа области и площадки, скопированные на кальку, и по картам этих больших атласов подсчитать в избранных площадках раздельно число звезд различной звездной величины, найти число звезд $N(m)$ (полагая последовательно m равным 4, 5, 6 и 7) и определить звездную плотность для каждой площадки.

7*. Вычислить галактическую концентрацию и отношение звездной плотности $N'(m, 45^\circ)$ в районе 45° галактической параллели к звездной плотности $N'(m, 90^\circ)$ в районе галактического полюса.

8*. Изобразив значения звездной плотности $N'(m)$ векторами в определенном масштабе, построить векторную диаграмму по трем направлениям ($b=0^\circ$, $b=\pm 45^\circ$ и $b=\pm 90^\circ$).

9*. По общим результатам пункта 7 построить аналогичную диаграмму галактической концентрации в различных областях Млечного Пути и найти приближенное значение галактической долготы той области, в которой галактическая концентрация максимальна.

10*. По результатам пунктов 7—9 сформулировать вывод об общей структуре Галактики.

Отчет о работе № 36

Дата выполнения работы:

1—3.	Точка	Созвездие	α	δ	l	b
	галактического экватора: восходящий узел нисходящий узел					
	северный галактический полюс южный галактический полюс					

Наклонение галактического экватора к небесному $i =$

Калька прилагается.

4—6.		Области		
		Созвездие ($b = \pm 5^\circ$)	Созвездие ($b = \pm 45^\circ$)	Созвездие ($b = \pm 90^\circ$)
	Площадка: $\Delta\alpha = \alpha_2 - \alpha_1$ $\Delta\delta = \delta_2 - \delta_1$ $\delta = \frac{\delta_2 + \delta_1}{2}$ $\cos \delta$ Площадь S			
	Число звезд $A(m)$ 1^m 2^m 3^m 4^m 5^m 6^m 7^m			
	Число звезд $N(m)$: до 4^m » 5^m » 6^m » 7^m			
	Звездная плотность $N'(m)$ до 4^m » 5^m » 6^m » 7^m			

Калька прилагается.

7.

Пределная m	$G(m)$	$G'(m)$
до 4^m		
» 5^m		
» 6^m		
» 7^m		

8. Диаграмма прилагается.

9.

Созвездие	Направление l	$G(m)$	Наибольшая галактическая концентрация в направлении на созвездие $l_0 = \dots$. Диаграмма прилагается.

10. Вывод:

ЗВЕЗДНЫЕ СИСТЕМЫ

Цель работы. Ознакомление с некоторыми методами изучения галактик.

Пособия: фотографические стандарты различных типов галактик (планшеты 69 и 70); фотографии галактик (планшеты 71—78); копии фотографий спектров галактик (планшет 79); Справочник любителя астрономии; таблицы логарифмов; логарифмическая линейка или арифмометр.

Литература: [1], глава XIII, § 184; [2], глава XII, § 171—173.

Д о п о л н и т е л ь н а я : [13], глава VII, § 30; [15], глава XXII, § 176, 177, 182; [18], глава III, глава IV; [30], глава III; [19], стр. 351, 376.

Задачи: [3], № 1171, 1174—1176; [4], № 325—327.

В настоящее время имеется несколько классификаций галактик, но самой простой и поэтому наиболее употребительной является классификация Хаббла. В этой классификации галактики подразделяются на неправильные (класс I), эллиптические (класс E) и спиральные (класс S). Каждый класс галактик содержит несколько подклассов или типов. Так, степень неправильной формы галактики отмечается либо буквами г и гг, либо цифрами I и II. У галактик типа Ig (или I I) центральная область выражена четко. Галактики типа Igg (или I II) таким свойством не обладают.

Степень сжатия эллиптических галактик оценивается целым числом

$$\varepsilon = 10 \frac{a-b}{a}, \quad (1)$$

где a и b — соответственно наибольший и наименьший угловой диаметр галактики. Таким образом, галактики круглой формы обозначаются символом E0, а наиболее сжатые эллиптические галактики — символом E7.

Спиральные галактики с ветвями, выходящими непосредственно из ядра, принадлежат к типам Sa, Sb и Sc — в зависимости от степени развития их ветвей. Спирали с большим ядром и со слабо развитыми или только намечающимися ветвями обозначаются символом Sa, а спирали с малым ядром и сильно разбросанными ветвями — символом Sc.

Спиральные галактики, ветви которых выходят не из ядра, а из концов перемычки, под прямым углом к ней, называются пересеченными и принадлежат к типам SBa, SBb и SBc, в той же зависимости от степени развития спиральных ветвей.

Сопоставляя фотографии изучаемых галактик с фотографиями их характерных представителей, по которым создана классификация, трудно определить типы галактик.

Если известно расстояние r до галактики или модуль расстояния ($m - M$), то по измеренным угловым размерам d' можно вычислить ее линейные размеры

$$d = r \cdot \sin d', \quad (2)$$

а так как видимые размеры галактик очень малы и не превышают нескольких десятков минут дуги, то, выражая d' в минутах дуги и помня, что 1 радиан = 3438', получим

$$d = r \frac{d'}{3438}, \quad (3)$$

причем d и r выражены в одних и тех же единицах измерения.

Однако расстояние r , вычисленное по модулю расстояния, будет завышенным, если не учитывать поглощения света в пространстве. Оно может быть найдено по избытку цвета

$$CE = C - C_0, \quad (4)$$

где C — видимый показатель цвета, а C_0 — истинный показатель цвета, определяемый по спектральному классу объекта (см. табл. 9).

Исправленная за поглощение света видимая звездная величина

$$m_0 = m - \gamma \cdot CE, \quad (5)$$

причем для визуальных лучей (при использовании m_v) $\gamma = 3,7$, а для фотографических лучей (при использовании m_{pg}) $\gamma = 4,7$.

Тогда абсолютная звездная величина объекта

$$M = m_0 + 5 - 5 \lg r$$

или

$$M = m - \gamma \cdot CE + 5 - 5 \lg r,$$

откуда исправленный за поглощение модуль расстояния

$$(m_0 - M) = (m - M) - \gamma \cdot CE \quad (6)$$

и

$$\lg r = 0,2(m_0 - M) + 1. \quad (7)$$

Формула (7) позволяет найти исправленное за поглощение расстояние r , которое затем используется в формуле (3).

Абсолютная звездная величина M объекта непосредственно определяется по видимой звездной величине m и неисправленному модулю расстояния $(m - M)$, а уже по M вычисляется светимость L объекта.

В спектрах далеких галактик линии смещены в сторону красного конца спектра (красное смещение). Используя длины волн спектра сравнения, можно построить дисперсионную кривую (см. работу № 22), по которой определить длину волны λ' смещенных линий в спектре галактики и, зная нормальную длину волны λ тех же линий, найти их смещение $\Delta\lambda = \lambda' - \lambda$, а затем и лучевую скорость удаления галактики

$$v_r = c \frac{\Delta\lambda}{\lambda}, \quad (8)$$

где $c = 3 \cdot 10^5$ км/сек.

По закону Хаббла

$$v_r = Hr \quad (9)$$

вычисляется расстояние r до галактики. В настоящее время принято считать постоянной Хаббла

$$H = 75 \frac{\text{км/сек}}{\text{Мпс}}$$

и поэтому r получается в мегапарсеках [1 мегапарсек (Mpc) = 10^6 парсеков (pc)].

Однако при больших скоростях, сопоставимых со скоростью света c , формула (8) становится неточной. Согласно специальной теории относительности лучевая скорость

$$v_r = c \frac{\left(\frac{\Delta\lambda}{\lambda} + 1\right)^2 - 1}{\left(\frac{\Delta\lambda}{\lambda} + 1\right)^2 + 1}, \quad (10)$$

что при больших смещениях линий $\Delta\lambda$ дает несколько иное значение v_r , а следовательно, и r в формуле (9).

Вычислив v_r по формулам (8) и (10), можно оценить критерий применимости обеих формул, и в случае необходимости пересмотреть вычисленное расстояние до галактики.

ЗАДАНИЕ

1*. Определить названия созвездий, в которых находятся звездные системы:

№ варианта	Номер звездной системы		Экваториальные координаты		Видимая звездная величина		Спектр Sp	Модуль расстояния ($m_{pg} - M_{pg}$)
	NGC	M	α	δ	m_v	m_{pg}		
1)	4486	87	12 ^h 28 ^m ,3	+12°40'	9 ^m .2	10 ^m .7	G5	+33 ^m .2
	4293	—	12 18 ,7	+18 40	—	11.7	—	—
	1097	—	2 44 ,3	-30 29	—	10.6	—	—
2)	5055	63	13 ^h 13 ^m ,5	+42°17'	9 ^m .5	10 ^m .5	F8	+30 ^m .0
	175	—	0 34 ,9	-20 21	—	12.8	—	—
	1156	—	2 56 ,7	+25 03	—	12.9	—	—
3)	5005	—	13 ^h 08 ^m ,5	+37°19'	9 ^m .8	11 ^m .3	G0	+32 ^m .9
	3672	—	11 22 ,5	-9 32	—	11.8	—	—
	7743	—	23 41 ,8	+9 39	—	12.8	—	—
4)	4826	64	12 ^h 54 ^m ,3	+21°47'	8 ^m .0	8 ^m .9	G7	+26 ^m .9
	3109	—	10 00 ,8	-25 55	—	11.2	—	—
	1073	—	2 41 ,2	+1 10	—	12.0	—	—
5)	3031	81	9 ^h 51 ^m ,5	+69°18'	7 ^m .9	8 ^m .9	G3	+28 ^m .2
	5383	—	13 55 ,0	+42 05	—	12.7	—	—
	3810	—	11 38 ,4	+11 45	—	11.8	—	—
6)	5194	51	13 ^h 27 ^m ,8	+47°27'	8 ^m .1	8 ^m .9	F8	+28 ^m .4
	2366	—	7 23 ,6	+69 08	—	12.6	—	—
	2525	—	8 03 ,3	-11 17	—	12.2	—	—
7)	5236	83	13 ^h 34 ^m ,3	-29°37'	7 ^m .6	8 ^m .0	F0	+28 ^m .2
	718	—	1 50 ,7	+3 57	—	12.7	—	—
	3504	—	11 00 ,5	+28 15	—	11.7	—	—
8)	4565	—	12 ^h 33 ^m ,9	+26°16'	10 ^m .2	10 ^m .7	G0	+30 ^m .3
	3359	—	10 43 ,4	+63 30	—	12.2	—	—
	524	—	1 22 ,1	+9 16	—	12.0	—	—

Примечание: NGC — «Новый общий каталог туманностей и звездных скоплений», составленный Дрейером и изданный в 1888 г.; M — «Каталог туманностей и звездных скоплений», составленный Мессье и изданный в 1771 г.

2*. Используя масштаб фотографии, определить угловые размеры звездной системы: 1) NGC 4486; 2) NGC 5055; 3) NGC 5005; 4) NGC 4826; 5) NGC 3031; 6) NGC 5194; 7) NGC 5236; 8) NGC 4565.

3*. По угловым размерам и модулю расстояния вычислить расстояние до той же звездной системы и ее линейные размеры.

4*. Найти видимый показатель цвета той же звездной системы, по ее спектру оценить истинный показатель цвета и определить избыток цвета, а также общее поглощение света звездной системы в пространстве.

5*. По найденному общему поглощению света исправить модуль расстояния и по нему снова вычислить расстояние до звездной системы и ее линейные размеры.

6*. Сравнить результаты вычислений, полученные в п. 3 и 5, и сделать вывод о необходимости учета поглощения света.

7*. По модулю расстояния, видимой звездной величине и истинному показателю цвета вычислить абсолютную визуальную и абсолютную фотографическую звездную величину той же звездной системы, ее светимость в визуальных и фотографических лучах и соотношение светимости в этих лучах.

8*. Сравнить линейные размеры и светимость той же звездной системы с такими же параметрами нашей Галактики.

9. Классифицировать в системе Хаббла звездные системы, указанные в п. 1.

10. По красному смещению линий H и K ионизованного кальция определить лучевую скорость и расстояние галактики, обозначенной номером варианта.

11. Вычислить те же величины с учетом релятивистского эффекта.

12. По общим результатам п. 10 и 11 сформулировать вывод об условии, требующем учета релятивистского эффекта при определении лучевой скорости и расстояний галактик.

Отчет представить по самостоятельно разработанной форме.

ЭЛЕМЕНТЫ РАДИОНАБЛЮДЕНИЙ

Цель работы. Ознакомление с принципами некоторых методов радиоастрономических исследований.

Пособия: регистрограммы радиоизлучения (планшеты 80—87); логарифмическая линейка или арифмометр.

Литература: [1], глава VII, § 66—68, 84; [2], глава VIII, § 110.

Дополнительная: [19], стр. 274, 282, 300, 310; [35], глава II; [36], глава 2, глава 3.

Радиотелескоп состоит из антенны и чувствительного радиоприемника. Улавливаемые антенной радиоволны создают в ней электрические колебания высокой частоты, которые поступают в радиоприемник и регистрируются либо в виде изображения на экране осциллографа, либо записываются самописцем на равномерно движущейся бумажной ленте.

Полученная на бумажной ленте запись радиосигналов называется регистрограммой. Одновременно на эту же ленту записываются в виде штрихов метки времени, т. е. показания хронометра, как правило, с интервалом в одну минуту.

Конструкции антенн существуют самые разнообразные — в виде сферических и параболических зеркал, прямоугольных и цилиндрических решеток, и т. д. Каждая антенна характеризуется углом направленности, определяющим разрешающую силу радиотелескопа. Мощность, воспринимаемая антенной, будет наибольшей (E_m) при расположении радиоисточника на электрической оси антенны, т. е. в направлении ее

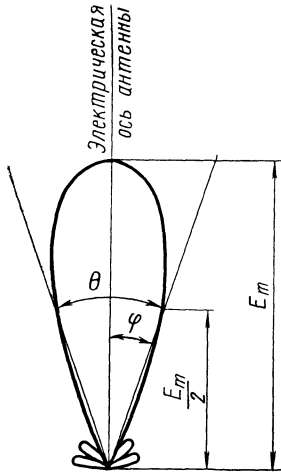


Рис. 75

наибольшей чувствительности. Электрическая ось близка по направлению к главной оптической оси сферической или параболической антенны и к перпендикуляру, восстановленному к плоскости прямоугольной решетчатой антенны; при отличной юстировке антенны обе ее оси совпадают.

При удалении источника радиоизлучения от электрической оси антенны на угол φ воспринимаемая антенной мощность будет уменьшаться и при некотором значении $\varphi = \theta/2$ станет равной $E_m/2$. Угол θ называется углом направленности антенны по половинной мощности.

Диаграмма, показывающая зависимость воспринимаемой мощности от угла φ , называется диаграммой направленности (рис. 75). Она имеет вид лепестка, именуемого главным лепестком, по обе стороны которого лежат боковые лепестки, вызванные диффракцией радиоволн, подобно тому, как образуются диффракционные кольца вокруг изображений звезд в фокальной плоскости оптического телескопа.

Значение угла направленности θ зависит от размеров антенны и от длины λ воспринимаемой ею радиоволны. Антенна в виде сферического или параболического зеркала диаметром D имеет

$$\theta = 140^\circ \cdot \frac{\lambda}{D} = 8400' \cdot \frac{\lambda}{D}, \quad (1)$$

где λ и D выражены в одинаковых линейных единицах измерения, а θ — в градусах ($^\circ$) или минутах дуги ($'$).

Разрешающая сила радиотелескопа определяется формулой

$$\theta' = \frac{\theta}{2} = 70^\circ \cdot \frac{\lambda}{D} = 4200' \cdot \frac{\lambda}{D}, \quad (2)$$

так как два радиоисточника, находящиеся на взаимном угловом расстоянии $d = \theta'$, не будут различимы в отдельности, а будут восприниматься как один. Совершенно очевидно, что чем меньше угол направленности антенны θ , тем более высокой разрешающей способностью обладает радиотелескоп. Современные большие радиотелескопы имеют разрешающую способность θ' около $30''$ и все же значительно меньшую разрешающей силы оптических телескопов, доходящей до $0'',03$.

Разрешающая сила оптических телескопов определяется в секундах дуги и вычисляется также по формуле (2), в которой диаметр D выражается в *см*, причем для визуальных телескопов принимают $\lambda = 5500 \text{ \AA} = 55,0 \cdot 10^{-6} \text{ см}$, а для фотографических — $\lambda = 4250 \text{ \AA} = 42,5 \cdot 10^{-6} \text{ см}$.

При наблюдениях небесных источников радиоизлучения радиотелескоп направляется на точку неба, расположенную несколько западнее радиоисточника. Вследствие суточного вращения небесного свода радиоисточник постепенно появляется в поле зрения радиотелескопа, и по мере его приближения к электрической оси антенны воспринимаемая антенной мощность радиоизлучения постепенно увеличивается, достигает максимального значения, а затем (при удалении радиоисточника от электрической оси антенны) снова постепенно уменьшается до нуля.

Если угловые размеры θ_0 источника радиоизлучения значительно меньше угла направленности антенны θ ($\theta_0 \ll \theta$), то для этой антенны источник будет точечным, и идеальная регистрограмма записи его воспринимаемой мощности будет иметь вид кривой Гаусса (рис. 76). Если же $\theta_0 \gg \theta$, то источник является протяженным и регистрограмма имеет вид ступени (рис. 77).

По регистрограмме воспринимаемой мощности радиоисточника можно определить его угловой диаметр θ_0 . Теория показывает, что для этой цели достаточно измерить на регистрограмме расстояние θ_n , соответствующее половине воспринимаемой наибольшей мощности (рис. 76). Это расстояние θ_n измеряется на регистрограмме в миллиметрах и затем по масштабу вдоль оси времени t (масштаб μ легко определить по меткам времени на той же регистрограмме) выражается

в единицах времени $\tau = \mu \theta_n$. Очевидно, τ показывает промежуток времени, в течение которого источник радиоизлучения пересекал бы диаметр поля зрения радиотелескопа, если бы воспринимаемая мощность была равна половине максимальной. Тогда, угловой диаметр радионисточника по половинной мощности

$$\theta_m = 15 \tau \cdot \cos \delta, \quad (3)$$

где δ — склонение радионисточника.

Если τ выражено в минутах времени, то θ_m получается в минутах дуги; если же τ выражено в секундах времени, то θ_m — в секундах дуги. Правильный выбор единиц измерения в формуле (3) тем более

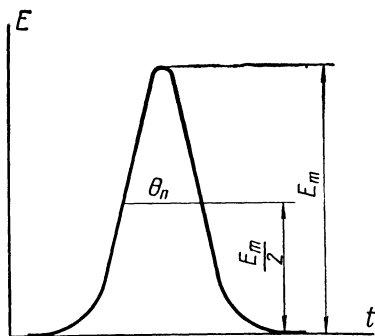


Рис. 76

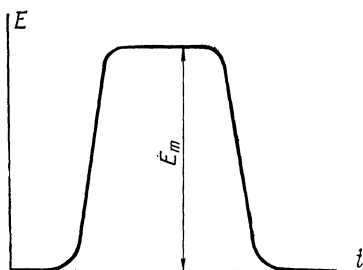


Рис. 77

необходим, что по значению θ_m вычисляется угловой диаметр источника радиоизлучения

$$\theta_0 = \sqrt{\theta_m^2 - \theta^2}, \quad (4)$$

где θ — угол направленности антенны, выраженный в тех же единицах измерения, что и θ_m .

В действительности регистрограмма не имеет вида плавной кривой, так как антенна воспринимает не только радиоизлучение наблюдаемого радионисточника, но и многочисленные естественные и промышленные радиопомехи (шумы), в том числе и собственные шумы радиоприемной аппаратуры. Вследствие наложения помех на излучение радионисточника регистрограмма получается в виде зазубренной кривой и называется шумовой дорожкой (рис. 78, а, запись излучения естественного радионисточника). Чтобы отделить помехи от радиоизлучения источника, нужно по средней линии регистрограммы провести плавную кривую, которая представит принятое радиоизлучение естественного источника.

Это радиоизлучение характеризуется спектральной плотностью потока энергии F_ν , т. е. количеством энергии, проходящей через единицу поверхности антенны за одну секунду, в единичном интервале

частот $\Delta\nu = 1$ герц (гц). Очевидно, единицей спектральной плотности потока энергии в системе СИ является

$$1 \frac{\text{дж}}{\text{сек} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{гц}} = 1 \frac{\text{вт}}{\text{гц} \cdot \text{м}^2}.$$

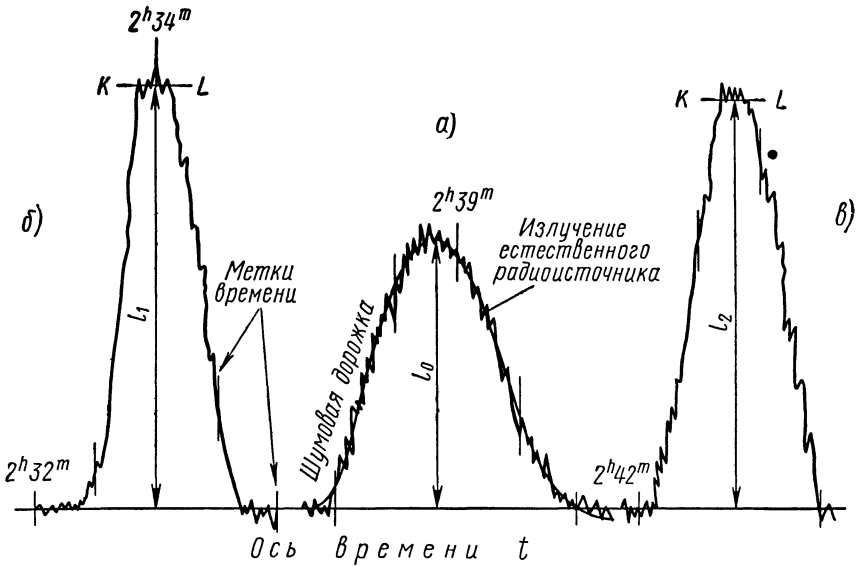


Рис. 78

Однако в практике радиоастрономических измерений применяется другая единица, называемая янским (в честь инженера К. Янского, впервые обнаружившего в 1932 г. космическое радиоизлучение)

$$1 \text{ян} = 10^{-26} \frac{\text{вт}}{\text{гц} \cdot \text{м}^2}.$$

Спектральная плотность потока энергии

$$F_\nu = \frac{2\kappa T_a}{A_3}, \quad (5)$$

где $\kappa = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{вт} \cdot \text{сек}}{\text{град}}$ (или $\frac{\text{вт}}{\text{гц} \cdot \text{град}}$) — постоянная Больцмана,

A_3 — эффективная площадь антенны и T_a — антенная температура источника.

Эффективная площадь антенны A_3 не равна ее геометрической площади и зависит от типа антенны и условий ее облучения. В частности, для параболической антенны

$$A_3 \approx \frac{A}{2}, \quad (6)$$

где A — геометрическая площадь антенны.

Антенная температура источника T_a — это такая температура, до которой необходимо нагреть согласованное сопротивление, подключенное к входу приемника вместо антенны, чтобы получить в приемнике шум такой же интенсивности, как и от естественного источника радиоизлучения.

Однако сигнал, регистрируемый на выходе радиоприемника, не позволяет непосредственно установить спектральной мощности P_ν космического радиоисточника, так как неизвестно соответствие между показанием прибора, записывающего принятое радиоизлучение, и мощностью самого излучения. Эта неопределенность исключается путем калибровки, т. е. записи радиоизлучения искусственного источника с известной температурой T_k , называемой антенной температурой калибровочного источника или, проще, калибровочной температурой. Ко входу радиоприемника подключается стандартный генератор шума; в частности, таким генератором может быть сопротивление, помещенное в кипящий гелий или азот, температура кипения T_k которых хорошо известна. Запись радиоизлучения генератора шума производится дважды — до и после наблюдений космического радиоисточника. Тогда на регистрограмме (см. рис. 78), помимо записи (а) радиоизлучения космического источника, получают калибровочные записи (б и в), называемые калибровочными ступеньками. Они также искажены посторонними шумами, для исключения которых проводят по их средним точкам прямую линию KL . Ординаты l_1 и l_2 калибровочных ступенек, хотя несколько и отличаются друг от друга вследствие неучтенных ошибок, но обе пропорциональны калибровочной температуре T_k , а ордината l_0 гауссовой кривой записи радиоизлучения космического источника пропорциональна его антенной температуре T_a . Поэтому, измерив на регистрограмме ординаты l_1 и l_2 в миллиметрах и зная значение T_k , найдем

$$l = \frac{l_1 + l_2}{2} \quad (7)$$

и

$$T_a = T_k \frac{l_0}{l}, \quad (8)$$

что позволяет по формуле (5) вычислить спектральную плотность потока радиоизлучения F_ν .

Чтобы определить спектральную интенсивность радиоизлучения I_ν космического источника, необходимо знать телесный угол Ω_0 , в котором это радиоизлучение распространяется.

Величины F_ν и I_ν связаны соотношением

$$F_\nu = I_\nu \Omega_0, \quad (9)$$

причем Ω_0 определяется по угловому диаметру θ_0 радиоисточника в предположении, что радиоисточник имеет вид диска. Тогда выраженный встерадианах

$$\Omega_0 = \frac{\pi}{4} \theta_0^2 = 0,785 \theta_0^2, \quad (10)$$

где θ_0 — в радианах.

Поскольку из наблюдений θ_0 получается в минутах дуги ($'$), то более удобной для вычислений является формула

$$\Omega_0 = \frac{0,785}{11,82 \cdot 10^6} \theta_0^2 = 6,64 \cdot 10^{-8} \theta_0^2, \quad (11)$$

в которой число $11,82 \cdot 10^6$ представляет число квадратных минут в 1 квадратном радиане, θ_0 — выражено из формулы (4) в минутах дуги, а Ω_0 — по-прежнему в стерадианах.

Зная спектральную интенсивность I_ν , легко вычислить спектральную мощность радиоизлучения источника во всех направлениях

$$P_\nu = 4\pi I_\nu, \quad (12)$$

причем P_ν , в зависимости от единиц измерения I_ν , выражено либо в $\left[\frac{\text{вт}}{\text{гц} \cdot \text{м}^2} \right]$, либо в янских.

Общая мощность радиоизлучения в интервале частот $\Delta\nu = \nu_2 - \nu_1$, очевидно, будет

$$P = \int_{\nu_1}^{\nu_2} P_\nu \cdot d\nu,$$

и, если P_ν для интервала частот $\Delta\nu$ одинакова, то

$$P = P_\nu \cdot \Delta\nu. \quad (13)$$

Яркостная температура источника космического радиоизлучения

$$T_b = T_a \frac{\Omega_0}{\Omega_a}, \quad (14)$$

где T_a — антенная температура источника, Ω_0 — его телесный угол и Ω_a — антенный телесный угол, вычисляемый по углам слежения γ и β , в направлении которых антенна может улавливать радиоизлучение. Если γ и β выражены в минутах дуги ($'$), то

$$\Omega_a = \frac{\gamma\beta}{11,82 \cdot 10^6} = 8,460 \cdot 10^{-8} \gamma\beta \text{ [стерадиан]}. \quad (15)$$

Любой радиоприемник характеризуется чувствительностью

$$\Delta T = \frac{\pi}{2} \frac{T_{\text{ш}}}{\sqrt{\tau_0 \cdot \Delta\nu}}, \quad (16)$$

где $T_{\text{ш}}$ — шумовая температура, τ_0 — постоянная времени, выраженная в секундах, и $\Delta\nu$ — полоса пропускания в герцах (гц).

Шумовая температура $T_{\text{ш}}$ характеризует величину собственного шума в приемнике, вызываемого работой радиоламп и сопротивлений самого приемника. Постоянная времени τ_0 характеризует промежуток времени, в течение которого происходит усреднение принимаемого сигнала, и определяется временем срабатывания записывающего

устройства. Таким образом, чувствительность ΔT определяет степень реагирования приемника на радиосигналы (уровень собственных радиосуммов).

ЗАДАНИЕ

1*. Скопировать на кальку регистрограмму радиоизлучения калибровочного радиоисточника и естественного радиоисточника:

- 1) A ($\alpha = 3^{\text{ч}} 16^{\text{м}} 09^{\text{с}}$, $\delta = + 16^{\circ} 17' 40''$);
- 2) B ($\alpha = 22^{\text{ч}} 30^{\text{м}} 08^{\text{с}}$, $\delta = + 11^{\circ} 28' 24''$);
- 3) C ($\alpha = 1^{\text{ч}} 34^{\text{м}} 50^{\text{с}}$, $\delta = + 32^{\circ} 54' 20''$);
- 4) D ($\alpha = 3^{\text{ч}} 16^{\text{м}} 09^{\text{с}}$, $\delta = + 16^{\circ} 17' 40''$);
- 5) E ($\alpha = 22^{\text{ч}} 30^{\text{м}} 08^{\text{с}}$, $\delta = + 11^{\circ} 28' 24''$);
- 6) F ($\alpha = 1^{\text{ч}} 34^{\text{м}} 50^{\text{с}}$, $\delta = + 32^{\circ} 54' 20''$);
- 7) G ($\alpha = 23^{\text{ч}} 21^{\text{м}} 12^{\text{с}}$, $\delta = + 58^{\circ} 32' 06''$);
- 8) H ($\alpha = 5^{\text{ч}} 26^{\text{м}} 00^{\text{с}}$, $\delta = - 66^{\circ} 06' 12''$).

2*. Отождествить на скопированной регистрограмме калибровочные ступеньки, шумовую дорожку, метки времени и определить продолжительность записи радиоизлучения калибровочного и естественного радиоисточников.

3*. Исключить из регистрограмм помехи и графически изобразить вероятную кривую записи радиоизлучения тех же радиоисточников.

4*. По регистрограмме радиоизлучения естественного радиоисточника определить его угловой диаметр по половинной мощности.

5*. Вычислить угол направленности антенны, считая ее параболической, с диаметром 50 м, и полагая длину волны принятого радиоизлучения равной:

- 1) 3,6 см; 2) 4,8 см; 3) 6,0 см; 4) 7,1 см; 5) 8,3 см; 6) 9,5 см;
- 7) 10,2 см; 8) 11,4 см.

6*. По полученным в пунктах 4 и 5 результатам вычислить угловой диаметр естественного радиоисточника.

7. Приняв антенную температуру калибровочного источника равной $5^{\circ},5\text{К}$, определить антенную температуру естественного радиоисточника.

8. Считая геометрическую площадь параболической антенны радиотелескопа равной 1600 м^2 , определить (в СИ и в янских) спектральную плотность потока радиоизлучения естественного радиоисточника.

9. По результатам пунктов 6 и 8 вычислить спектральную интенсивность радиоизлучения того же источника и его спектральную мощность радиоизлучения во всех направлениях.

10. Полагая спектральную мощность радиоизлучения естественного источника постоянной, определить общую мощность его радиоизлучения в интервале частот $\Delta\nu = 10^9 \text{ гц}$.

11. По результатам пункта 7 определить яркостную температуру естественного радиоисточника, полагая углы слежения антенны равными:

1) 1° и $8'$; 2) $1^\circ,5$ и $10'$; 3) 2° и $15'$; 4) 2° и $20'$; 5) 2° и $8'$; 6) $1^\circ,5$ и $20'$; 7) 1° и $15'$; 8) $1^\circ,5$ и $15'$.

12. Вычислить чувствительность приемника радиотелескопа по полосе пропускания $\Delta\nu$, постоянной времени τ_0 и шумовой температуре $T_{\text{ш}}$

1) $\Delta\nu = 10^7$ гц, $\tau_0 = 10$ сек, $T_{\text{ш}} = 250^\circ \text{K}$;

2) $\Delta\nu = 10^6$ гц, $\tau_0 = 20$ сек, $T_{\text{ш}} = 300^\circ \text{K}$;

3) $\Delta\nu = 10^8$ гц, $\tau_0 = 10$ сек, $T_{\text{ш}} = 270^\circ \text{K}$;

4) $\Delta\nu = 10^7$ гц, $\tau_0 = 20$ сек, $T_{\text{ш}} = 310^\circ \text{K}$;

5) $\Delta\nu = 10^6$ гц, $\tau_0 = 10$ сек, $T_{\text{ш}} = 280^\circ \text{K}$;

6) $\Delta\nu = 10^8$ гц, $\tau_0 = 20$ сек, $T_{\text{ш}} = 290^\circ \text{K}$;

7) $\Delta\nu = 10^7$ гц, $\tau_0 = 15$ сек, $T_{\text{ш}} = 260^\circ \text{K}$;

8) $\Delta\nu = 10^6$ гц, $\tau_0 = 15$ сек, $T_{\text{ш}} = 320^\circ \text{K}$.

13. Найти разрешающую силу Крымского фотографического рефлектора, диаметр зеркала которого равен $2,6$ м, и радиотелескопа диаметром D , работающего на волне длиной λ :

1) $D = 300$ м, $\lambda = 70$ см;

2) $D = 150$ м, $\lambda = 50$ см;

3) $D = 200$ м, $\lambda = 60$ см;

4) $D = 100$ м, $\lambda = 30$ см;

5) $D = 92$ м, $\lambda = 21$ см;

6) $D = 65$ м, $\lambda = 21$ см;

7) $D = 250$ м, $\lambda = 40$ см;

8) $D = 22$ м, $\lambda = 65$ см.

14. По результатам пункта 13 сформулировать вывод о разрешающей силе крупных радиотелескопов в сравнении с разрешающей силой мощных оптических телескопов.

Отчет представить по самостоятельно разработанной форме.

Краткие указания к наблюдениям

Из-за весьма ограниченного времени, отводимого студентам на учебные наблюдения, приходится удовлетворяться небольшим числом самостоятельных работ, основной целью которых является изучение звездного неба и приемов некоторых практических применений астрономии. Поэтому из одиннадцати рекомендуемых работ восемь отвечают основной цели, а две — помогают ознакомиться с физической природой небесных тел. Это ознакомление может быть значительно расширено демонстрацией студентам небесных тел в телескоп во время выполнения ими основных работ. Три первых работы рекомендуются к выполнению всеми студентами, а остальные — по усмотрению кафедры, которая утверждает перечень обязательных наблюдений.

О выполнении каждой работы студент представляет краткий письменный отчет в виде результатов измерений и вычислений.

ИЗУЧЕНИЕ СОЗВЕЗДИЙ И ИЗМЕРЕНИЕ УГЛОВЫХ РАССТОЯНИЙ МЕЖДУ ЗВЕЗДАМИ

Инструменты и пособия: угломерная линейка или циркульный угломер; универсальный инструмент или теодолит; подвижная карта звездного неба (планшет 9); Малый звездный атлас А. А. Михайлова.

Литература: [1], глава III, § 21; [2], глава VI, § 94, 95; лабораторные работы № 1, 2 и 13.

Дополнительная: [7], глава IV, § 22—30, 42; [31], глава I; [33], глава II; [34], глава первая.

Совершенно не нужно стремиться к изучению буквально всех созвездий, видимых в данном пункте Земли, или к запоминанию буквенных обозначений всех звезд в созвездиях. Достаточно знать созвездия, состоящие из сравнительно ярких звезд, и обозначения главных звезд созвездий, чтобы отождествить любую звезду неба, отмеченную на картах звездного атласа. Рекомендуется запомнить названия главных звезд и контуры созвездий Большой Медведицы, Малой Медведицы, Кассиопеи, Андромеды, Пегаса, Персея, Возничего, Тельца, Ориона, Близнецов, Большого Пса, Малого Пса, Льва, Девы, Волопаса, Скорпиона, Стрельца, Орла, Лиры и Лебедя. Для первой ориентировки необходимо поставить подвижную карту звездного неба на день и час наблюдений, встать лицом к известному всем созвездию Большой Медведицы и поднять карту над головой так, чтобы расположение этого созвездия на карте соответствовало его расположению на небесном своде. Тогда, ориентируясь в направлениях по карте, легко отыскать на небе те перечисленные основные созвездия, которые во время наблюдений находятся над горизонтом. После такой общей ориентировки необходимо изучать контуры созвездий по картам звездного атласа. Буквенные обозначения звезд в созвездиях проставлены на картах, а собственные имена главных звезд содержатся в одной из таблиц атласа, предшествующих картам.

Изучению созвездий во многом способствует приближенное измерение угловых расстояний между звездами, поскольку необходимость отождествления заданных звезд заставляет в первую очередь отыскивать созвездия по их контурам. Поэтому рекомендуется составить карточки индивидуальных заданий, которые содержали бы по три пары звезд с угловым расстоянием между ними в пределах от 4 до 25° с тем, чтобы каждый студент измерил эти расстояния. Так как работа не преследует цели точных измерений, то прибегать к помощи точных угловых инструментов нет необходимости, а вполне достаточно измерить угловые расстояния между звездами угломерной линейкой с точностью до $0^\circ,5$ — 1° . Угломерные линейки могут быть легко изго-

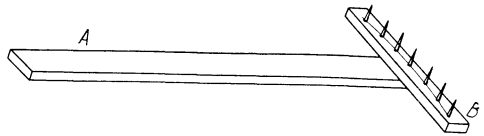


Рис. 79

товлены силами самих студентов в учебных мастерских. Линейка представляет собой две жестко скрепленных деревянных планки *A* и *B* (рис. 79), на меньшей из которых, по дуге, укреплены металлические колки (гвозди без шляпок) на равных расстояниях друг от друга. При длине продольной планки, равной 50 см, расстояние между колками должно быть 4,4 см, что соответствует угловому расстоянию между ними в 5° . Свободный конец продольной планки *A* приставляется к глазу, которым проводятся измерения угловых расстояний между звездами.

Еще лучше проводить простейшие измерения угловых расстояний между звездами циркульным угломером (рис. 80), состоящим из двух тонких планок *A* и *B* (свободно скрепленных винтом *C*) и алидады *D* с градусными делениями, изготовленной по образцу классного транспортира. Планка *A* наглухо скреплена с алидадой *D* а планка *B* может свободно поворачиваться вокруг винта *C* и закрепляться в любом положении винтом с гайкой-барашком *E*, движущимся в сквозной прорези *F* алидады. При измерениях вершина *C* планок приставляется к глазу, обе планки направляются на заданные звезды, затем планка *B* закрепляется, и по градусной шкале алидады измеряется угловое расстояние между звездами.

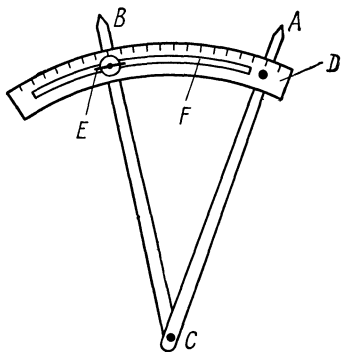


Рис. 80

Подобные измерения позволяют наглядно убедиться в суточном вращении небесного свода. Для этого угловые расстояния между выбранными звездами измеряются дважды, с интервалом около 30 мин. Попутно измеряются угловые расстояния между теми же звездами и каким-либо неподвижным земным предметом, а также между Полярной звездой и земным предметом (не обязательно тем же). Сравнение результатов измерений покажет, что Полярная звезда практически не меняет положения над горизонтом, расстояния других звезд от горизонта изменяются, а взаимные расстояния между звездами остаются неизменными.

Если же помимо элементарных наблюдений поставить перед студентами задачу приобретения начальных навыков в обращении с точными угломерными инструментами (универсальным инструментом или теодолитом), то данную работу следует несколько усложнить.

Предварительно студенты обязаны изучить конструкцию инструмента, описание которого дается в учебниках по астрономии, и определить цену делений его разделенных кругов. Перед началом работы универсальный инструмент устанавливается на столб или на треногу и нивелируется, т. е. выравнивается по уровням. Для этого инструмент поворачивается вокруг вертикальной оси так, чтобы накладной уровень проходил над одной из ножек инструмента, и вращением уравни-

нительного винта этой ножки приводят пузырек уровня на его середину. Повернув инструмент на 90° , снова приводят пузырек уровня на середину, вращая в разные стороны уравнивательные винты двух других ножек. При правильной установке инструмента пузырьки обоих его уровней должны находиться посередине трубок.

После нивелировки инструмента его зрительная труба наводится на произвольный земной предмет. Закрепив инструмент крепящими винтами, фокусируют изображения креста нитей инструмента и предмета, а затем поворотом микрометрических винтов приводят изображение предмета на центральный крест нитей. После этого снимают отсчет Z_{Π} по одному из верньеров вертикального круга инструмента, открепляют инструмент, поворачивают зрительную трубу вокруг вертикальной оси на 180° и снова наводят трубу на тот же предмет (предмет — на центральном кресте нитей). Закрепив инструмент, снова снимают по тому же верньеру отсчет Z_{Π} , а по одному из верньеров горизонтального круга отсчет A_0 . Тогда

$$Z_0 = \frac{Z_{\Pi} + Z_{\Pi}}{2} \quad (1)$$

даст отсчет на вертикальном круге, соответствующий направлению зрительной трубы в зенит и называемый местом зенита на вертикальном круге.

После этого наводят зрительную трубу на одну из звезд, быстро снимают отсчеты Z_1 по-прежнему верньеру вертикального круга и A_1 по-прежнему верньеру горизонтального круга и повторяют те же операции с другой звездой (отсчеты Z_2 и A_2). Требование быстрого проведения указанных операций вызывается тем, чтобы, за промежуток времени между двумя наведениями, звезды не успели бы заметно сместиться. Перемещение звезд в поле зрения инструмента наглядно показывает быстрое суточное вращение небесного свода.

Снятые с вертикального круга отсчеты Z_1 и Z_2 позволяют найти видимые зенитные расстояния звезд:

$$z_1 = Z_1 - Z_0 \quad \text{и} \quad z_2 = Z_2 - Z_0, \quad (2)$$

а отсчеты A_1 и A_2 горизонтального круга дают разность азимутов ($A_2 - A_1$) тех же звезд, а также разности их азимутов и земного предмета ($A_1 - A_0$) и ($A_2 - A_0$). Тогда искомое угловое расстояние d между звездами (рис. 81) вычисляется по формуле

$$\cos d = \cos z_1 \cdot \cos z_2 + \sin z_1 \cdot \sin z_2 \cdot \cos (A_2 - A_1), \quad (3)$$

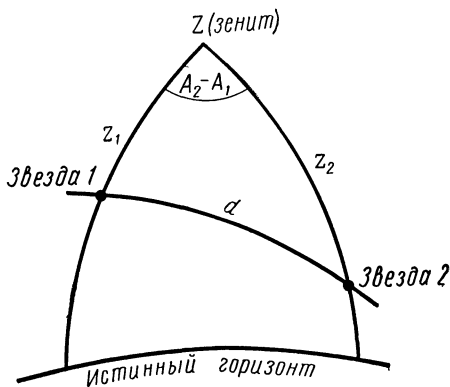


Рис. 81

а угловые расстояния d_0 между звездами и земным предметом по формуле

$$\cos d_0 = \cos z \cdot \cos \frac{Z_{\text{п}} - Z_{\text{л}}}{2} + \sin z \cdot \sin \frac{Z_{\text{п}} - Z_{\text{л}}}{2} \cdot \cos (A - A_0), \quad (4)$$

где z и A относятся к одной звезде.

При требуемой небольшой точности расстояния d и d_0 могут быть найдены по стереографической сетке (см. лабораторную работу № 13, пример 1).

Рекомендуется следующая последовательность выполнения данной работы:

1. Отождествление созвездий на небе по подвижной карте звездного неба.
2. Определение по Полярной звезде приближенного положения небесного меридиана.
3. Измерение угловых расстояний двух-трех звезд от земного предмета.
4. Измерение угловых расстояний между звездами.
5. Измерение углового расстояния Полярной звезды от земного предмета.
6. Изучение контуров созвездий по картам звездного атласа.
7. Повторение измерений, указанных в пунктах 3—5.
8. Сравнение и анализ полученных результатов.

Отчет о работе № 1н

Факультет _____

Отделение _____ курс _____ группа _____

Фамилия студента _____

Дата выполнения работы _____ время (от и до) _____

3—5 и 7.

T	Земной предмет	A ₀	Z _п	Z _л	Z ₀	$\frac{Z_{\text{п}} - Z_{\text{л}}}{2}$	$\cos \frac{Z_{\text{п}} - Z_{\text{л}}}{2}$	$\sin \frac{Z_{\text{п}} - Z_{\text{л}}}{2}$

T	Название звезды	Z	A	z	cos z	sin z	$\frac{A - A_0}{(A_2 - A_1)}$	$\frac{\cos (A - A_0)}{\cos (A_2 - A_1)}$	$\frac{\cos d_0}{(\cos d)}$	d ₀	d

8. Анализ и выводы:

НАБЛЮДЕНИЯ В МАЛЫЕ ТЕЛЕСКОПЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Инструменты и пособия: малый телескоп школьного типа; подвижная карта звездного неба (планшет 9); Малый звездный атлас А. А. Михайлова; карта видимого полушария Луны (планшет 28).

Литература: [1], глава VII, § 66—68; [2], глава VIII, § 110; [4], Телескопы; [38], стр. 1—12, 19—22, 56, 57.

Дополнительная: [24], глава II, § 6, глава IV, § 18—25; [26], глава II; [31], глава III, § 29, 31—35; [33], глава III.

Задачи: [3], № 736—746; 777, 779; [4], № 162—187.

Целью этой работы является изучение характеристик небольших телескопов и приобретение навыков в обращении с ними.

Часть работы удобнее выполнять в аудитории, где студенты должны ознакомиться с конструкцией телескопа, научиться закреплять и гидировать его вручную и определить его основные характеристики, для чего следует измерить диаметр D и фокусное расстояние F объектива телескопа.

Измерение диаметра объектива не вызывает затруднений. Что касается фокусного расстояния объектива, то способы его измерения зависят от типа телескопа и требуемой точности измерения. У менискового телескопа Максутова достаточно измерить длину L тубуса и длину l окулярной трубки при вдвинутом окуляре, и считать

$$F = 2L + \frac{l}{2} \text{ или, просто, } F \approx 2L.$$

У рефрактора следует удалить окуляр, вдвинуть кремальеру до упора и измерить длину L тубуса (без наростика) и длину l окулярной трубки. Тогда

$$F = L + \frac{l}{2} \text{ или } F \approx L.$$

Более точно фокусное расстояние объектива рефрактора измеряется следующим образом. Телескоп без окуляра наводится на светлый фон неба или на далекий предмет, а к окулярной трубке подносится листок кальки, плоскость которого перпендикулярна оптической оси телескопа. Листок медленно придвигается к окулярной трубке до тех пор, пока не появится наиболее яркое (и наименьшее по размерам) изображение объектива или резкое изображение удаленного предмета. Тогда измеренное расстояние L от объектива до листка кальки даст искомое фокусное расстояние F объектива.

Измерив D и F , следует вычислить относительное отверстие телескопа $A = D/F$, увеличение $W = F/f$ при различных окулярах с фокусными расстояниями f , наибольшее допустимое увеличение W_m , разрешающую силу телескопа P и его проникающую силу m_T по формулам:

$$W_m = 2D \text{ — (безразмерная величина),}$$

$$P = \frac{140''}{D} \text{ — (в секундах дуги),}$$

$$m_T = 2,10 + 5 \lg D \text{ — (в звездных величинах),}$$

причем в этих формулах D должно быть выражено в миллиметрах.

Полезно решить несколько задач на определение линейного диаметра d изображения светил в фокальной плоскости телескопа

$$d = F \cdot \operatorname{tg} d',$$

где d' — угловой диаметр светила.

Если d' не превышает 5° и выражено в минутах дуги ($'$), то

$$d = \frac{F}{3438'} d',$$

а если d' выражено в секундах дуги ($''$), то

$$d = \frac{F}{206\,265''} d''.$$

Для проведения наблюдений в телескоп каждому студенту должна быть выдана карточка с конкретным заданием, примерно следующего содержания:

1. Навести телескоп на определенную звезду и получить ее резкое изображение.
2. Определить диаметр поля зрения телескопа при двух окулярах и сравнить полученные его значения с вычисленными.
3. Проверить по заданным парам двойных звезд или по дискам Урана и Нептуна разрешающую силу телескопа.
4. Зарисовать экваториальные полосы Юпитера или фазу Венеры.
5. Зарисовать какой-либо участок лунной поверхности и отождествить его по карте Луны.
6. Навести телескоп на яркое звездное скопление и на яркую туманность.

Подбор объектов, упомянутых в пунктах 1, 3 и 6, осуществляется преподавателем заранее, при составлении карточек заданий.

Из всех пунктов задания разъяснений требует только пункт 2. Диаметр поля зрения N телескопа, выраженный в минутах дуги ($'$), может быть определен теоретически по формуле

$$N = \frac{2000}{W},$$

где W — применяемое увеличение.

Практически тот же диаметр N определяется по прохождению звезды в поле зрения неподвижного телескопа. Для этого звезда, с известным склонением δ , устанавливается на самый край поля зрения телескопа так, чтобы при неподвижном телескопе она прошла по всему диаметру поля зрения. Отметив по секундомеру (или по

часам с секундной стрелкой) моменты появления T_1 и исчезновения T_2 звезды в поле зрения телескопа, находят

$$N = \frac{T_2 - T_1}{4} \cdot \cos \delta,$$

где $T_2 - T_1$ выражено в секундах времени, а N — в минутах дуги.

Отчет о работе № 2н

Факультет _____

Отделение _____ курс _____ группа _____

Фамилия студента _____

Дата выполнения работы _____ время (от и до)

1. Телескоп (тип),

Объектив: $D =$ $F =$ $A =$
 $W_m =$ $P =$ $m_T =$

Окуляр	
f	W

Линейное изображение			
Объект	d'	$(\text{tg } d')$	d

2. Звезда

Моменты: $T_1 =$ $T_2 =$ $\delta =$ $\cos \delta =$
 $T_2 - T_1 =$

Поле зрения: теоретическое $N =$; фактическое $N =$

4. Рисунок прилагается.

5. Отождествлен участок лунной поверхности.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ НЕБЕСНОГО МЕРИДИАНА СПОСОБОМ РАВНЫХ ВЫСОТ

Инструменты и пособия: универсальный инструмент или теодолит; Малый звездный атлас А. А. Михайлова; подвижная карта звездного неба (планшет 9).

Литература: [1], глава III, § 21; [2], глава VI, § 88, 94, 95; работа № 1н.
Д о п о л н и т е л ь н а я : [7], глава четвертая, § 22—30, 42, 48, 56, 65.

Эта работа преследует цель обучения студентов обращению с точными угломерными инструментами — универсальным инструментом или теодолитом.

Перед началом работы необходимо установить и отnivelировать инструмент и точно отметить на площадке его положение с тем, чтобы впоследствии все работы с ним, требующие знания положения небесного меридиана, проводить с этого же места. Затем можно переходить к наблюдениям.

Наведя зрительную трубу универсального инструмента на Полярную звезду, поворачивают его на 180° , в направлении на юг, и несколько к востоку от этого направления выбирают звезду, на которую наводят зрительную трубу инструмента, закрепляют крепящий винт по высоте и микрометрическим ключом приводят изображение звезды на центральный крест поля зрения. После этого по двум верньерам горизонтального (азимутального) круга инструмента отсчитываются отсчеты $A_1^\circ B'_1$ и C'_1 , причем для основного отсчета $A_1^\circ B'_1$ записывается число градусов и минут, а для контрольного отсчета C'_1 — только число минут. Очевидно, что средний отсчет

$$A_1 = \frac{A_1^\circ B'_1 + A_1^\circ C'_1}{2} \quad (1)$$

определяет направление на звезду до ее верхней кульминации.

Затем, не открепляя инструмента по высоте, медленно поворачивают его вокруг вертикальной оси за звездой, которая перемещается суточным вращением небесного свода по своей небесной параллели. После верхней кульминации звезды, в момент пересечения ею горизонтальной нити поля зрения инструмента, с азимутального круга снимаются вторые отсчеты $A_2^\circ B'_2$ и C'_2 , а затем зрительная труба инструмента наводится на какой-либо четко выделяющийся земной предмет, направление на который отмечается на азимутальном круге отсчетами $A_3^\circ B'_3$ и C'_3 .

Средний отсчет

$$A_2 = \frac{A_2^\circ B'_2 + A_2^\circ C'_2}{2} \quad (2)$$

дает направление на звезду после ее верхней кульминации, а средний отсчет

$$A_3 = \frac{A_3^\circ B_3' + A_3^\circ C_3'}{2} \quad (3)$$

определяет направление на земной предмет.

Очевидно, что отсчеты A_1 и A_2 соответствуют одинаковой высоте h звезды до и после ее верхней кульминации, а следовательно, и одинаковому ее удалению к востоку и к западу от небесного меридиана. Отсюда следует, что направление на точку юга определяется на азимутальном круге инструмента отсчетом

$$A_s = \frac{A_1 + A_2}{2}, \quad (4)$$

который соответствует азимуту $A = 0^\circ$. Тогда азимут земного предмета

$$A_n = A_3 - A_s \quad (5)$$

позволяет в любой момент времени знать положение небесного меридиана, т. е. направление на точку юга с того места, откуда производились первоначальные измерения.

Отчет о работе представляется по следующей форме, в которой приведен пример записи и вычислений:

Отчет о работе № 3н

Определение положения небесного меридиана по равным высотам звезды

Факультет _____ курс _____ группа _____

Отделение _____

Фамилия студента _____

Дата выполнения работы _____ Время: _____

Отсчеты горизонтального круга	Верньер I	Верньер II	Среднее
Звезда до кульминации	349°05'	06'	349°06'
Звезда после кульминации	17°38'	38'	17°38'
	$A_1 + A_2 = 366^\circ 44' = 6^\circ 44'$		
Отсчет на точку юга			$A_s = 3^\circ 22'$
Земной предмет	41°24'	25'	$\begin{array}{r} 41^\circ 24' \\ - 3^\circ 22' \\ \hline \end{array}$
Азимут земного предмета			$A_n = 37^\circ 02'$

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОПРАВКИ ЧАСОВ ПО СОЛНЦУ И ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ДОЛГОТЫ

Инструменты и пособия: часы, универсальный инструмент или теодолит; Астрономический календарь — постоянная часть; Астрономический календарь-ежегодник на текущий год; таблицы тригонометрических функций; арифмометр.

Литература: [1], глава II, § 9, 17, глава III, § 21, 22; [2], глава I, § 28—30, глава VI, § 85, 88, 94, 95, 100; лабораторные работы № 11, 14; работа № 1н.

Д о п о л н и т е л ь н а я: [7], глава четвертая, § 22—30, 42, 48, 56; глава шестнадцатая, § 152, 156, 158.

Наблюдения Солнца в оптические инструменты должны проводиться с величайшей осторожностью, так как обильное солнечное излучение, сконцентрированное оптикой, может мгновенно сжечь глаза наблюдателя. Поэтому наблюдения Солнца проводятся либо с плотными темными светофильтрами, надеваемыми на объектив или на окуляр оптического инструмента, либо отбрасывают изображение Солнца на белый экран (лист бумаги), установленный на некотором расстоянии от окуляра. Второй способ более предпочтителен, так как гарантирует полную безопасность наблюдателя.

Установив и отnivelировав универсальный инструмент или теодолит (см. работу № 1н), направляют его зрительную трубу в положении «круг право» на какой-либо земной предмет, закрепляют инструмент и снимают отсчеты $Z''_п$ и $Z'_п$ по обоим верньерам вертикального круга инструмента. По одному из верньеров отмечается число градусов K_1 и число минут L_1 (например, $Z''_п = K_1 L_1$), а по другому верньеру — только число минут M_1 ($Z'_п = M_1$). Повернув инструмент вокруг вертикальной оси на 180° и переведя зрительную трубу через зенит, наводят ее в положение «круг лево» на тот же предмет, закрепляют инструмент и снова снимают по обоим верньерам вертикального круга отсчеты $Z'_л$ (число градусов K_2 и число минут L_2) и $Z''_л$ (число минут M_2). Средние значения этих отсчетов

$$Z_п = \frac{Z'_п + Z''_п}{2} = \frac{K_1 L_1 + K_1 M_1}{2}$$

и

$$Z_л = \frac{Z'_л + Z''_л}{2} = \frac{K_2 L_2 + K_2 M_2}{2} \quad (1)$$

позволяют вычислить место зенита на вертикальном круге, т. е. отсчет Z_0 , соответствующий направлению на зенит

$$Z_0 = \frac{Z_п + Z_л}{2}. \quad (2)$$

Затем зрительную трубу инструмента направляют на Солнце, закрепляют ее, микрометрическими винтами приводят изображение Солнца в центр поля зрения инструмента и сразу же отмечают показание $T_ч$ проверяемых часов, после чего снимают с вертикального круга отсчеты $Z'_с$ и $Z''_с$, по которым находят среднее значение

$$Z_c = \frac{Z'_c + Z''_c}{2}. \quad (3)$$

Тогда зенитное расстояние Солнца

$$z = Z_c - Z_0. \quad (4)$$

Выписав из Астрономического календаря-ежегодника значение склонения Солнца δ_0 на день наблюдения и величину $\Delta\delta$ часового изменения его склонения, находят склонение Солнца δ на момент наблюдения

$$\delta = \delta_0 + \Delta\delta (T_c - T_0), \quad (5)$$

где T_0 — момент времени, для которого дается δ_0 , причем T_c и T_0 должны быть выражены в одной и той же системе счета времени.

Зная склонение Солнца δ , его зенитное расстояние z и географическую широту φ места наблюдения, вычисляют по теореме косинусов часовой угол Солнца t и определяют истинное солнечное время T_{\odot} , а используя уравнение времени η , находят среднее время T_m в момент наблюдений, по которому уже легко вычисляется поправка часов u_m в средней системе счета времени (см. работу № 14).

Определив по приему радиосигналов точного времени поправку часов u_n или u_l , нетрудно вычислить географическую долготу λ места наблюдения. При низком положении Солнца над горизонтом следует учитывать рефракцию.

Отчет о работе № 4н

Определение поправки часов по Солнцу

Факультет _____

Отделение _____ курс _____ группа _____

Фамилия студента _____

Дата выполнения работы _____

Место наблюдения _____

Отсчеты вертикального круга	Верньер I	Верньер II	Среднее
Земной предмет «круг право»	$Z'_п$	$Z''_п$	$Z_п$
«круг лево»	$Z'_л$	$Z''_л$	$Z_л$
Место зенита на круге			$Z_п + Z_л$
Солнце «круг право» («круг лево»)	Z'_c	Z''_c	Z_0
Зенитное расстояние Солнца			Z_c
			$-Z_0$
			z

Часы (фирма)
 Показание часов
 Солнце δ_0

$T_q =$
 на момент $T_0 =$
 $\frac{T_q - T_0 =}{T_q - T_0 =}$

$\Delta \delta =$
 $\Delta \delta (T_q - T_0) =$
 $\delta =$

на момент наблюдений

$\sin \delta =$

$\sin \varphi =$

$\cos \delta =$

$\cos \varphi =$

$\cos z =$

$t =$

$\sin \delta \cdot \sin \varphi =$

$T_{\odot} =$

$\cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos t =$

$\eta =$

$\cos \delta \cdot \cos \varphi =$

$T_M =$

$\cos t =$

$T_q =$

$t =$

$u_M =$

$\sin \delta \cdot \sin \varphi =$

$\cos \delta \cdot \cos \varphi =$

$T_n (T_n) =$

$T_q =$

$u_n (u_n) =$

$u_n - u_M =$

$n =$

$\lambda =$

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ШИРОТЫ

Инструменты и пособия: универсальный инструмент или теодолит; хронометр или часы; Малый звездный атлас А. А. Михайлова; Астрономический ежегодник СССР на текущий год или Астрономический календарь — постоянная часть.

Литература: [1], глава II, § 8, 17, глава III, § 21—23; [2], глава I, § 12, 14, 28, 29, глава VI, § 86, 87, 94, 95, 100; лабораторная работа № 14; работы № 1н, 3н, 4н.

Дополнительная: [7], глава четвертая, § 22—30, 42, 48, 56, 65; глава шестая, § 78—80; Бюллетень ВАГО № 40, 1963.

Наиболее точные способы определения географической широты, предложенные Талькоттом, Певцовым, Каврайским и другими, требуют значительной затраты времени и подбора подходящих пар звезд. Поэтому в условиях студенческого лабораторного практикума приходится ограничиваться способами, менее точными по результатам, но вполне правильными по своей идее.

Географическая широта φ места наблюдения может быть определена из измерений зенитного расстояния звезды с известным склонением δ , находящейся в верхней кульминации (меридианные наблюдения), для чего необходимо знать положение небесного меридиана (см. работу № 3н). При меридианных наблюдениях используются, как правило, звезды, кульминирующие к югу от зенита.

Прежде всего необходимо правильно установить измерительный инструмент, направить его зрительную трубу на точку юга S и записать отсчет A_s на азимутальном лимбе, соответствующий этому направлению, а также определить место зенита Z_0 на вертикальном круге инструмента*. Затем следует выбрать звезду, находящуюся вблизи небесного меридиана, несколько восточнее него, по звездному атласу определить ее название и выписать ее склонение δ из Астрономического ежегодника, Астрономического календаря ВАГО или какого-либо иного источника. После этого зрительная труба инструмента наводится на звезду и медленно перемещается вслед за нею. Когда расстояние звезды от небесного меридиана сократится до 1° (что легко установить по отсчету азимутального круга), зрительная труба инструмента при той же ее высоте направляется на небесный меридиан (отсчет A_s) и закрепляется. При появлении звезды в поле зрения зрительной трубы изображение звезды приводится и все время удерживается (с помощью микрометрического винта по высоте) на горизонтальной нити (или между ними, если их две) поля зрения. В момент пересечения звездой центральной вертикальной нити гидирование инструмента прекращается, и по обоим верньерам вертикального круга инструмента отмечаются отсчеты Z' и Z'' , которые дают средний отсчет:

$$Z = \frac{Z' + Z''}{2}, \quad (1)$$

соответствующий видимому зенитному расстоянию звезды

* См. работы № 3н и № 4н.

$$z' = Z - Z_0. \quad (2)$$

Полученный результат (2) исправляется за рефракцию ρ , т. е.

$$z = z' + \rho,$$

и по нему вычисляется географическая широта

$$\varphi = z + \delta. \quad (3)$$

Другой приближенный способ определения географической широты, описанный Б. А. Волыньским (Бюллетень ВАГО № 40, 1963 г.), не требует знания точного положения небесного меридиана и состоит в измерении зенитного расстояния z звезды с известным склонением δ при двух ее приблизительно симметричных положениях вблизи небесного меридиана или в измерении зенитного расстояния z_1 и z_2 двух звезд, склонения которых приблизительно равны и которые расположены по обе стороны от небесного меридиана, в азимутах, не превышающих $\pm 7^\circ$. Точность результатов решения задачи повышается при выборе звезд со склонением в пределах $\pm 15^\circ$. Моменты измерения зенитного расстояния звезды (или двух звезд) отмечаются по хронометру с точностью до 1^c и должны быть разделены интервалом времени $\Delta t = 10^m - 15^m$.

Измерив видимые зенитные расстояния z'_1 и z'_2 звезды, находят разность

$$\Delta z = z'_1 - z'_2, \quad (4)$$

и по интервалу времени Δt , выраженному в единицах звездного времени ΔS , вычисляют параллактический угол q звезды:

$$\sin q = \sec \delta \cdot \frac{\Delta z}{15 \cdot \Delta S}. \quad (5)$$

Если наблюдаются две звезды, то в формуле (5)

$$\delta = \frac{\delta_1 + \delta_2}{2}. \quad (6)$$

Географическая широта φ вычисляется из равенства

$$\sin \varphi = \cos z \cdot \sin \delta + \sin z \cdot \cos \delta \cdot \cos q, \quad (7)$$

где

$$z = \frac{z'_1 + z'_2}{2},$$

так как влияние рефракции здесь не существенно.

Если в распоряжении наблюдателя имеются часы, показывающие звездное время S с точностью до $\pm 1^m$, то географическая широта φ , с точностью до $\pm 0',2$, может быть определена по измеренной высоте h Полярной звезды:

$$\varphi = h - (I + II + III),$$

где цифрами I, II и III обозначены поправки, учитывающие расположение Полярной звезды по высоте относительно полюса мира на разной географической широте φ , в различные моменты звездного времени.

Значения этих поправок даются в таблицах астрономических ежегодников, в частности, в Астрономическом календаре-ежегоднике ВАГО. Средняя рефракция включена в поправку II, и поэтому исправлять высоту h за рефракцию не нужно.

Установив и отnivelировав универсальный инструмент, направляют его зрительную трубу в положении «круг право» на Полярную звезду и отмечают время S_1 , отсчеты Z'_n и Z''_n по обоим верньерам вертикального круга*. Затем повторяют те же операции при положении трубы «круг лево» и получают отсчеты S_2 , Z'_n и Z''_n . Тогда для среднего момента времени

$$S = \frac{S_1 + S_2}{2}$$

получают средние значения отсчетов

$$Z_n = \frac{Z'_n + Z''_n}{2} \quad \text{и} \quad Z_n = \frac{Z'_n + Z''_n}{2}, \quad (8)$$

по которым находят высоту Полярной звезды

$$h = 90^\circ - \frac{Z_n - Z_n}{2}, \quad (9)$$

а по найденной высоте h , моменту S и дате наблюдений находят в таблицах необходимые поправки.

Если требуется оценить точность определения географической широты, то необходимо во всех случаях провести несколько наблюдений, по результатам которых вычислить среднюю квадратичную ошибку

$$\varepsilon_\varphi = \pm \sqrt{\frac{\sum (\Delta \varphi)^2}{n(n-1)}},$$

где n — число наблюдений, $\Delta \varphi$ — разности между частными и средним значениями вычисленной географической широты.

Следует иметь в виду, что склонения выбранных звезд должны быть отнесены к эпохе (началу года) наблюдений, и поэтому выписанные из каталога склонения δ_0 звезд необходимо исправить за прецессию, т. е.

$$\delta = \delta_0 + P_\delta (T - T_0),$$

где P_δ — годовая прецессия по склонению, T — год наблюдений и T_0 — эпоха каталога.

* См. работу № 4н.

Отчет о работе № 5н

Определение географической широты *

Факультет _____

Отделение _____ курс _____ группа _____

Фамилия студента _____

Дата выполнения работы _____

Пункт наблюдений _____

Инструменты _____

1. Звезда $\delta_0 =$ $T_0 =$

Прецессия $P_\delta =$

Разность эпох: $T - T_0 =$

Поправка за прецессию: $P_\delta (T - T_0) =$

Склонение $\delta =$

2. Направление на точку юга $A_s =$

3. Определение φ Верньер I Верньер II Среднее

Отсчет вертикального круга Z' Z'' $Z =$

Место зенита на круге $Z_0 =$

Видимое зенитное расстояние $z' =$

Поправка за рефракцию $\rho =$

Истинное зенитное расстояние $z =$

Склонение звезды $\delta =$

Географическая широта $\varphi =$

* Для первого способа. Аналогично составляется форма отчета для второго и третьего способа.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОПРАВКИ ЧАСОВ ПО НАБЛЮДЕНИЯМ ВЕРХНЕЙ КУЛЬМИНАЦИИ ЗВЕЗД

Инструменты и пособия: часы; секундомер; универсальный инструмент или теодолит; Астрономический календарь — постоянная часть; Астрономический ежегодник СССР или Астрономический календарь-ежегодник ВАГО на текущий год.

Литература: [1], глава II, § 11, 13, 17, глава III, § 21, 22; [2], глава I, § 18—22, 24, глава VI, § 86, 94, 95, 100; лабораторные работы № 10 и 14; работы № 3н и 5н.

Дополнительная: [7], глава четвертая, § 22—30, 42, 48, 56, 65; глава седьмая, § 88—91.

Сущность работы сводится к определению показания проверяемых часов в момент верхней кульминации звезды, которая наблюдается универсальным инструментом или теодолитом (см. работу № 5н), при известном положении небесного меридиана (см. работу № 3н). В момент пересечения звездой центральной вертикальной нити поля зрения инструмента пускают в ход секундомер, а затем отмечают показание часов, для чего в момент показания ими начала какой-либо минуты секундомер останавливают. Если в момент остановки секундомера показание проверяемых часов было $T'_ч$, а секундомер показал ΔT , то показание тех же часов в момент верхней кульминации звезды, очевидно, было

$$T_ч = T'_ч - \Delta T. \quad (1)$$

Но так как в момент верхней кульминации звезды с прямым восхождением α звездное время

$$S = \alpha, \quad (2)$$

то при проверке звездных часов их поправка

$$u_s = S - T_ч = \alpha - T_ч. \quad (3)$$

Если же проверялись средние часы, идущие по среднему, поясному или декретному времени, то, пользуясь географической долготой λ и номером часового пояса n пункта наблюдений, следует вычислить момент T в одной из этих систем счета времени, соответствующий моменту звездного времени

$$S = \alpha,$$

и затем найти поправку часов

$$u = T - T_ч. \quad (4)$$

Необходимо иметь в виду, что экваториальные координаты звезды следует выписывать из Астрономического ежегодника текущего года, а при его отсутствии — из любого другого источника, с обязательным последующим приведением координат к эпохе текущего года (учет прецессии).

Форма отчета аналогична указанному в работах № 4н и 5н.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКВАТОРИАЛЬНЫХ КООРДИНАТ СВЕТИЛА ПО ЕГО ГОРИЗОНТАЛЬНЫМ КООРДИНАТАМ

Инструменты и пособия: хронометр или часы; универсальный инструмент или теодолит; Астрономический календарь — постоянная часть; таблицы тригонометрических функций; арифмометр.

Литература: [1], глава II, § 6, 7, 9, 11, 13, 17, глава III, § 21, 22; [2], глава I, § 11, 14, 18, 19, 21, 28, 29, 30, глава VI, § 94, 95, 100; лабораторные работы № 10 и 11; работы № 3н и 4н.

Дополнительная: [7], глава IV, § 22, 23, 27, 28, 42, 56.

Для выполнения этой работы необходимо знать поправку часов и положение небесного меридиана или азимут земного предмета A_n . Поэтому универсальный инструмент (теодолит) должен быть установлен на том же месте, с которого определялся азимут земного предмета.

Установив и отnivelировав инструмент, направляют его зрительную трубу на земной предмет с известным азимутом A_n , сначала при положении «круг право», а затем при положении «круг лево», и, сняв при двух положениях инструмента отсчеты по обоим верньерам вертикального круга, находят на нем место зенита Z_0 .

Дальнейшие наблюдения проводятся при одном положении инструмента. По обоим верньерам горизонтального круга инструмента снимаются отсчеты A'_3 и A''_3 (см. работу № 3н). Тогда средний отсчет

$$A_3 = \frac{A'_3 + A''_3}{2} \quad (1)$$

будет соответствовать известному азимуту A_n земного предмета.

Затем зрительная труба инструмента направляется на светило и закрепляется винтами. В этот момент отмечается показание часов $T_ч$, после чего по обоим верньерам снимаются отсчеты Z' и Z'' с вертикального круга и A' и A'' с горизонтального круга.

По полученным данным находят средние отсчеты

$$Z_* = \frac{Z' + Z''}{2} \quad \text{и} \quad A_* = \frac{A' + A''}{2} \quad (2)$$

и по ним горизонтальные координаты светила:
азимут

$$A = A_n + (A_* - A_3) \quad (3)$$

и видимое зенитное расстояние

$$z' = Z_* - Z_0. \quad (4)$$

Взяв из астрономического справочника значение рефракции ρ для z' , находят истинное зенитное расстояние

$$z = z' + \rho. \quad (5)$$

Обе найденные координаты относятся к моменту времени $T = T_q + u$, где u — поправка часов.

Выразив этот момент в системе звездного времени, вычисляют по z и A экваториальные координаты светила α и δ .

Полученные значения α и δ дают видимое место светила, которое несколько отличается от среднего места, указываемого в звездных каталогах. Вычисление среднего места светила требует специальных астрономических знаний, и поэтому не может быть выполнено в рамках курса общей астрономии.

Форма отчета аналогична указанным в работах № 4н и 5н.

ФОТОГРАФИРОВАНИЕ ЛУНЫ

Инструменты и пособия: телескоп; голубой или желтый светофильтр; фотокамера; Астрономический календарь-ежегодник на текущий год; Справочник любителя астрономии; карта видимого полушария Луны (планшет 28).

Литература: [26], глава V, § 28—30; [33], глава IV; лабораторная работа № 27.

Дополнительная: [24], глава IV, § 27.

Для учебных фотографических наблюдений Луна является наиболее благоприятным объектом, так как значительная яркость ее поверхности позволяет применять короткие экспозиции 1—3^с в зависимости от светосилы инструмента, лунной фазы и чувствительности фотопластинок. Наиболее подходят для этой цели несенсибилизированные фотопластинки чувствительностью от 16 до 30 ГОСТ, которые можно обрабатывать при красном свете. Если применяются сенсibilизированные фотопластинки, то перед ними в фотокамере укрепляется светофильтр, отсекающий определенные лучи спектра и обеспечивающий фокусировку фотокамеры.

Фотографировать Луну следует в фокусе телескопа, для чего вместо окуляра на окулярную часть телескопа навинчивается фокальная фотокамера, представляющая собой по существу подкассетник, в который вставляется кассета с фотопластинкой размерами 6×9 см или 4,5×6 см. Продолжительность экспозиции подбирается опытным путем.

Предварительно необходимо отфокусировать фотокамеру, что осуществляется фотографированием яркой звезды при неподвижном телескопе. Звезда фотографируется на одну фотопластинку 8—10 раз с экспозициями около 10^с, при разных положениях кремальеры телескопа, которые записываются перед каждой экспозицией. Последняя экспозиция увеличивается до 15—20^с с тем, чтобы можно было сопоставить следы изображения звезды с положениями кремальеры. На проявленной, отфиксированной и высушенной фотопластинке, называемой негативом, будет несколько изображений звезд в виде небольших дуг различной ширины. Наиболее узкая и резкая дуга свидетельствует о наилучшей фокусировке фотокамеры, и по записям следует установить соответствующее ей положение кремальеры, которое и применять при всех последующих фотографированиях Луны.

Экспонированные фотопластинки можно проявлять в любом метологидрохиноновом проявителе, фиксировать в кислом фиксаже, обязательно промывать в проточной воде и тщательно высушивать. Обработка полученных негативов производится на астрометрическом измерительном приборе. Простейшая программа обработки описана в литературе [26]. Координатные сетки приложены к Справочнику любителя астрономии.

Полезно фотографировать Луну в разных фазах и составить ее небольшой фотографический атлас.

Форма журнала наблюдений

Факультет _____

Отделение _____ курс _____ группа _____

Наблюдатели _____

Инструмент (его характеристика) _____

Фотопластинки (их характеристика) _____

Часы _____, система счета времени _____

№ негатива	Дата и момент наблюдений	Поправка часов	Экспозиция	Фаза Луны	Примечание

НАБЛЮДЕНИЯ СОЛНЦА

Инструменты и пособия: универсальный инструмент или теодолит; темные светофильтры; секундомер; телескоп; солнечный экран; фотокамера; фотопластинки; астрономический измерительный прибор; Астрономический календарь-ежегодник на текущий год; Справочник любителя астрономии.

Литература: [1], глава IV, § 32; [2], глава I, § 31, глава III, § 63, 64; [31], глава VI, § 65—69; лабораторная работа № 28.

Д о п о л н и т е л ь н а я: [29], глава IV, глава V, § 32, 33, глава VI, § 35, 36; [33], глава IV.

Наблюдения Солнца могут иметь различные цели. Можно поставить задачу определения линейного диаметра Солнца по измерению его видимого углового диаметра универсальным инструментом или телескопом, в окуляре которого натянуты нити. В обоих случаях на окуляр надевается темный светофильтр для защиты глаза.

Поворотом окуляра располагают нити таким образом, чтобы при неподвижном инструменте суточное движение Солнца происходило вдоль одной из них. Тогда, отмечая по секундомеру моменты T_1 и T_2 касания вертикальной нити противоположными точками солнечного диска, найдем его угловой диаметр:

$$d' = \frac{T_2 - T_1}{4} \cdot \cos \delta, \quad (1)$$

где δ — склонение Солнца (берется из Астрономического календаря-ежегодника), $(T_2 - T_1)$ — выражено в секундах времени, d' — в минутах дуги ($'$). Аналогичным способом могут быть измерены угловые диаметры Луны и планет, или угловое расстояние между компонентами двойных звезд.

Зная солнечный горизонтальный экваториальный параллакс $p_0 = 8'',794$, можно вычислить линейный диаметр Солнца.

Ту же задачу можно решить методом фотографической астрономии, для чего следует в фокальной плоскости телескопа укрепить фотокасету и, закрыв объектив телескопа нейтральным фильтром типа НС-10, сфотографировать Солнце на диапозитивной пластинке. Экспозиции фотографирования подбираются экспериментально и обычно лежат в пределах от 1/100 до 1/500 сек. На негативе получается изображение Солнца, диаметр которого в мм измеряется на астрономическом измерительном приборе (например, на МИР-12).

Угловой диаметр Солнца в минутах дуги

$$d' = 3438 \frac{d}{F}, \quad (2)$$

где d — линейный диаметр фотографического изображения Солнца, а F — фокусное расстояние объектива телескопа, выраженные в одинаковых единицах измерения.

Наблюдения Солнца могут производиться с целью изучения его пятнообразовательной деятельности. В этом случае визуальные наблюдения проводятся на экране, прикрепленном к окулярной части

телескопа. К экрану прикалывается лист белой бумаги, на котором начерчена окружность диаметром 10 см. Фокусируя телескоп и слегка перемещая экран, добиваются такого его положения, при котором резкое изображение Солнца совпадает с нарисованной на бумаге окружностью. Затем, удерживая изображение Солнца совмещенным с окружностью, т. е. гидируя телескоп, либо подсчитывают число пятен и их групп, либо очерчивают на бумаге карандашом изображение пятен, а подсчетом занимаются уже после наблюдений по полученному рисунку.

Эта же работа может быть выполнена и по фотографиям Солнца, изображение которого на отпечатках также должно иметь диаметр 10 см с тем, чтобы при обработке использовать палетку солнечных пятен. Методы определения координат солнечных пятен описаны в литературе [29, 31], а координатные сетки приложены к Справочнику любителя астрономии.

Форма отчета о работе может быть произвольной.

НАБЛЮДЕНИЯ ПЕРЕМЕННЫХ ЗВЕЗД

Инструменты и пособия: призмный бинокль; Астрономический календарь— постоянная часть или Справочник любителя астрономии; Астрономический календарь-ежегодник или Школьный астрономический календарь на текущий год.

Литература: [31], глава VIII, § 95—103; [33], глава IV; лабораторная работа № 34.

Д о п о л н и т е л ь н а я: [32], глава VII.

Наиболее подходящими для учебных целей являются яркие переменные звезды, наблюдения которых доступны невооруженному глазу. К таким относятся затменные переменные звезды β Персея (Алголь), λ Тельца и β Лиры, классические цефеиды δ Цефея, ς Близнецов и η Орла и отчасти долгопериодические переменные — мириды \circ Кита (Мира), χ Лебеда и R Гидры, отчасти потому, что невооруженным глазом их можно видеть только вблизи максимума блеска, а наблюдения вблизи минимума требуют применения телескопа средней силы.

Необходимые для наблюдений сведения об этих переменных звездах содержатся в Астрономическом календаре-ежегоднике ВАГО и в Школьном астрономическом календаре, а программа и методы наблюдений и их обработки описаны в литературе [31] и [32].

Систематические наблюдения переменных звезд, безусловно, отнимают много времени, но для учебных целей достаточно провести несколько (пять-шесть) оценок их блеска в разные дни, чтобы воочию убедиться в изменении блеска этих звезд. Оценки блеска классических цефеид вблизи максимума и затменных переменных вблизи минимума блеска рекомендуется проводить 2—3 раза в вечер, а оценки блеска долгопериодических переменных звезд — один раз в 8—10 дней. Время наблюдений следует отмечать с точностью до одной минуты.

По мере приобретения навыков студенты могут перейти к наблюдениям в бинокль слабых и малоисследованных переменных звезд, выбрав изучение одной из них в качестве курсовой работы.

Форма журнала наблюдений

Факультет _____

Отделение _____ курс _____ группа _____

Фамилия студента _____

Часы _____ система счета времени _____

Звезды сравнения: _____

№	Дата	Момент наблюдений	Поправка часов	Оценка блеска	Примечание

НАБЛЮДЕНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ СПУТНИКОВ ЗЕМЛИ (ИСЗ)

Инструменты и пособия: хронометр или часы с секундной стрелкой; секундомер; бинокль; Астрономический календарь-ежегодник на текущий год; звездная карта крупного масштаба.

Литература: Астрономический календарь — постоянная часть, глава V, § 10; [31], глава IX, § 110, 111; лабораторная работа № 34; работа № 10н.

Д о п о л н и т е л ь н а я : [37], глава III, § 9—11.

Наблюдения ведутся с защищенной от постороннего света площадки, около которой имеется закрытое слабо освещенное помещение: в нем находится выверенный по радио хронометр (или часы с секундной стрелкой) и звездная карта. Предварительные сведения об области неба и времени появления искусственного спутника Земли следует получать от ближайшей станции наблюдений ИСЗ или от Астросовета АН СССР*.

Наблюдения рекомендуется вести группой в несколько наблюдателей, чтобы не пропустить появления ИСЗ. Заметив в бинокль ИСЗ, следят за его движением, и в момент его прохождения рядом с какой-нибудь заметной звездой, или между такими звездами, пускают в ход секундомер и запоминают положение спутника. Перейдя в освещенное помещение, наносят по памяти положение спутника на звездную карту, а затем отмечают показание хронометра (часов) $T_ч$, с точностью до секунды, и в этот же момент останавливают секундомер. Очевидно, момент времени T , в который зафиксировано положение искусственного спутника, определяется как

$$T = T_ч + u - \Delta T, \quad (1)$$

где u — поправка хронометра и ΔT — показание остановленного секундомера.

Момент времени T проставляется на карте, рядом с нанесенным положением искусственного спутника.

Наблюдения и записи неоднократно повторяются на всем протяжении видимости ИСЗ.

После наблюдений составляется таблица, в которую вносятся моменты наблюдений спутника и его экваториальные координаты α и δ , отсчитанные по координатной сетке звездной карты. Для последующей обработки наблюдений необходимо знать географические координаты места наблюдения с точностью до $0',1$.

Весьма полезны оценки блеска спутника в различные моменты времени визуальными методами наблюдений переменных звезд.

* 117312, Москва, В—312, ул. Вавилова, д. 34.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Список некоторых астероидов

Т а б л и ц а 1

Обозначения: в скобках указан номер астероида; m_0 — видимая звездная величина в противостоянии астероида на среднем расстоянии от Солнца; i — наклонение орбиты; Ω — долгота восходящего узла орбиты; ω — расстояние перигелия от восходящего узла; a — большая полуось орбиты в астрономических единицах (а. е.); e — эксцентриситет орбиты; t_0 — эпоха для средней аномалии M_0 на $O\gamma$ по всемирному времени.

№	Название астероида	m_0	i	Ω	ω	a	e	t_0	M_0
1	(16) Психея	9.6	3°.1	150°.6	225°.7	2.92	0.139	1947 VIII, 3	162°.5
2	(30) Урания	9.9	2.1	309.1	84.3	2.37	0.127	1942 XII, 11	34.2
3	(33) Полигимния	11.8	1.9	9.0	334.8	2.87	0.334	1939 II, 21	157.6
4	(37) Фидес	10.4	3.1	8.5	59.5	2.64	0.177	1900 I, 0	63.2
5	(40) Гармония	9.2	4.3	94.6	268.1	2.27	0.134	1934 I, 28	120.1
6	(49) Палес	11.0	3.2	288.6	105.2	3.08	0.233	1939 XI, 7	18.1
7	(52) Европа	10.3	7.5	129.1	340.3	3.10	0.111	1951 XII, 20	111.5
8	(74) Галатея	11.8	4.0	197.6	172.3	2.78	0.238	1950 I, 0	291.6
9	(164) Ева	11.5	24.4	77.5	282.6	2.64	0.345	1952 IV, 28	206.2
10	(171) Офелия	12.1	2.5	101.2	47.9	3.13	0.132	1951 XII, 20	156.6
11	(175) Андромаха	12.3	3.2	23.2	319.7	3.23	0.198	1951 XII, 20	290.8
12	(187) Ламберта	11.4	10.7	22.3	193.7	2.73	0.237	1952 X, 5	171.1
13	(251) София	13.6	10.5	156.8	284.1	3.10	0.096	1951 XI, 20	349.2
14	(372) Пальма	10.5	23.8	327.4	117.1	3.16	0.054	1951 XI, 20	69.6
15	(443) Фотографика	12.5	4.2	175.5	347.5	2.22	0.040	1925 I, 1	293.6
16	(748) Симеиза	13.5	2.3	266.2	184.6	3.93	0.181	1948 VIII, 7	248.6
17	(790) Прегория	12.7	20.7	252.8	39.9	3.39	0.165	1952 VII, 17	12.7
18	(857) Глазенапия	13.2	5.3	82.8	237.9	2.19	0.089	1941 VI, 19	172.4
19	(946) Поэзия	13.8	1.5	69.8	32.8	3.12	0.144	1948 VIII, 7	34.4
20	(1027) Эскулапия	14.8	1.3	295.8	134.9	3.17	0.111	1951 XI, 20	253.9
21	(1034) Моцартия	14.7	4.0	305.0	16.8	2.29	0.264	1924 X, 2	28.0
22	(1071) Брита	13.4	5.4	52.5	26.7	2.80	0.110	1954 VII, 7	250.5
23	(1094) Сибирия	13.6	13.9	149.2	305.8	2.55	0.141	1953 XII, 9	335.7
24	(1135) Колхида	13.6	4.6	351.5	2.2	2.67	0.115	1951 XI, 20	54.5
25	(1351) Узбекистания	13.6	9.7	11.0	47.4	3.18	0.092	1934 X, 1	320.8
26	(1566) Икар	12.0	23.0	87.8	30.9	1.08	0.827	1949 IV, 25	0.4
27	— Адонис	19	1.5	352.5	39.5	1.97	0.779	1936 II, 25	22.1
28	— Аполлон	17	6.4	36.1	284.9	1.49	0.566	1932 IV, 25	320.0
29	— Гермес	18	4.7	35.4	90.7	1.29	0.474	1937 XI, 6	327.0

Список некоторых комет

Обозначения: T_0 — момент прохождения перигелия в дату по всемирному времени; q — перигелийное расстояние в астрономических единицах (а. е.); T — период обращения в годах (отсутствие T означает параболическую орбиту); i — наклонение орбиты; Ω — долгота восходящего узла орбиты; ω — угловое расстояние перигелия от восходящего узла.

№	Обозначение кометы	T_0	q	T	i	Ω	ω
1	1702	III, 14.1	0.65	—	4°.4	189°.0	309°.8
2	1826 III	IV, 29.5	0.19	—	174.7	41.5	4.7
3	1833	IX, 10.9	0.46	—	7.3	323.5	260.9
4	1834	IV, 3.3	0.51	—	6.0	226.6	50.2
5	1835 I	III, 27.7	2.04	—	170.9	58.3	210.4
6	1855 II	V, 30.6	0.57	252	156.9	260.2	22.5
7	1862 II	VI, 22.5	0.98	—	172.1	326.6	27.2
8	1864 II	VIII, 16.1	0.91	3930	178.1	95.2	151.0
9	1866 I	I, 11.6	0.98	33.18	162.7	231.4	171.0
10	1905 IV	X, 18.2	3.34	—	4.3	342.3	158.6
11	1906 V Финлея	IX, 7.8	0.96	6.54	3.0	52.4	315.8
12	1910 II Галлея	IV, 20.2	0.59	76.03	162.2	57.3	111.7
13	1927 I Неуймина II	I, 16.2	1.34	5.43	10.6	328.0	193.7
14	1928 III	III, 26.8	0.99	6.35	1.4	196.8	345.2
15	1930 VII	VIII, 28.7	0.41	—	4.2	229.3	62.8
16	1931 IV	VIII, 25.9	0.07	—	169.3	101.5	168.2
17	1945 II	IV, 20.3	1.24	4.56	6.5	358.7	203.4
18	1949 III	X, 13.2	1.03	2.31	2.2	278.6	92.0

Таблица 3

Годичная прецессия по прямому восхождению (P_α)

$\delta \backslash \alpha$		δ											
		-40°	-30°	-20°	-10°	0°	+10°	+20°	+30°	+40°	+50°	+60°	+70°
0 ^h 00 ^m	12 ^h 00 ^m	3 ^s .1	3 ^s .1	3 ^s .1	3 ^s .1	3 ^s .1	3 ^s .1	3 ^s .1	3 ^s .1	3 ^s .1	3 ^s .1	3 ^s .1	3 ^s .1
0 30	11 30	2.9	3.0	3.0	3.0	3.1	3.1	3.1	3.2	3.2	3.3	3.4	3.6
1 00	11 00	2.8	2.9	2.9	3.0	3.1	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.7	4.0
1 30	10 30	2.6	2.8	2.9	3.0	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.7	4.0	4.5
2 00	10 00	2.5	2.7	2.8	3.0	3.1	3.2	3.3	3.5	3.6	3.9	4.2	4.9
2 30	9 30	2.4	2.6	2.8	2.9	3.1	3.2	3.4	3.5	3.8	4.0	4.5	5.3
3 00	9 00	2.3	2.5	2.7	2.9	3.1	3.2	3.4	3.6	3.9	4.2	4.7	5.7
3 30	8 30	2.2	2.5	2.7	2.9	3.1	3.3	3.4	3.7	4.0	4.3	4.9	6.0
4 00	8 00	2.1	2.4	2.7	2.9	3.1	3.3	3.5	3.7	4.0	4.4	5.1	6.2

α \backslash δ													
		-40°	-30°	-20°	-10°	0°	$+10^\circ$	$+20^\circ$	$+30^\circ$	$+40^\circ$	$+50^\circ$	$+60^\circ$	$+70^\circ$
4 30	7 30	2.0	2.4	2.6	2.9	3.1	3.3	3.5	3.8	4.1	4.5	5.2	6.4
5 00	7 00	2.0	2.3	2.6	2.8	3.1	3.3	3.5	3.8	4.2	4.6	5.3	6.6
5 30	6 30	2.0	2.3	2.6	2.8	3.1	3.3	3.6	3.8	4.2	4.6	5.4	6.7
6 ^h 00 ^m		2.0	2.3	2.6	2.8	3.1	3.3	3.6	3.8	4.2	4.7	5.4	6.7
12 ^h 30 ^m	23 ^h 30 ^m	3.2	3.2	3.1	3.1	3.1	3.0	3.0	3.0	2.9	2.9	2.8	2.6
13 00	23 00	3.4	3.3	3.2	3.1	3.1	3.0	3.0	2.9	2.8	2.7	2.5	2.1
13 30	22 30	3.5	3.4	3.3	3.2	3.1	3.0	2.9	2.8	2.6	2.4	2.2	1.7
14 00	22 00	3.6	3.5	3.3	3.2	3.1	3.0	2.8	2.7	2.5	2.3	1.9	1.2
14 30	21 30	3.8	3.5	3.4	3.2	3.1	2.9	2.8	2.6	2.4	2.1	1.7	0.8
15 00	21 00	3.9	3.6	3.4	3.2	3.1	2.9	2.7	2.5	2.3	2.0	1.4	0.5
15 30	20 30	4.0	3.7	3.5	3.3	3.1	2.9	2.7	2.5	2.2	1.8	1.2	0.2
16 00	20 00	4.0	3.7	3.5	3.3	3.1	2.9	2.7	2.4	2.1	1.7	1.1	-0.1
16 30	19 30	4.1	3.8	3.5	3.3	3.1	2.9	2.6	2.3	2.0	1.6	0.9	-0.3
17 00	19 00	4.2	3.8	3.5	3.3	3.1	2.8	2.6	2.3	2.0	1.5	0.8	-0.5
17 30	18 30	4.2	3.8	3.6	3.3	3.1	2.8	2.6	2.3	2.0	1.5	0.8	-0.6
18 ^h 00 ^m		4.2	3.8	3.6	3.3	3.1	2.8	2.6	2.3	2.0	1.5	0.8	-0.6

Таблица 4

Годичная прецессия по склонению (P_δ)

α	0 ^m	10 ^m	20 ^m	30 ^m	40 ^m	50 ^m	α	0 ^m	10 ^m	20 ^m	30 ^m	40 ^m	50 ^m
0 ^h	+20"	+20"	+20"	+20"	+20"	+20"	13	-19	-19	-19	-18	-18	-18
1	+19	+19	+19	+18	+18	+18	14	-17	-17	-16	-16	-15	-15
2	+17	+17	+16	+16	+15	+15	15	-14	-14	-13	-12	-12	-11
3	+14	+14	+13	+12	+12	+11	16	-10	-9	-8	-8	-7	-6
4	+10	+9	+8	+8	+7	+6	17	-5	-4	-3	-3	-2	-1
5	+5	+4	+4	+3	+2	+1	18	0	+1	+2	+3	+4	+4
6	0	-1	-2	-3	-4	-4	19	+5	+6	+7	+8	+8	+9
7	-5	-6	-7	-8	-8	-9	20	+10	+11	+11	+12	+13	+14
8	-10	-11	-12	-12	-13	-14	21	+14	+15	+15	+16	+16	+17
9	-14	-15	-15	-16	-16	-17	22	+17	+18	+18	+18	+19	+19
10	-17	-18	-18	-18	-19	-19	23	+19	+20	+20	+20	+20	+20
11	-19	-20	-20	-20	-20	-20							
12	-20	-20	-20	-20	-20	-20							

Собственные имена звезд

Акернар	α Эридана	Кастор	α Близнецов
Алголь	β Персея	Каф	β Кассиопей
Альбирео	β Лебеда	Менкар	α Кита
Альдебаран	α Тельца	Мира	α Кита
Алькор	g Большой Медведицы	Мирфак	α Персея
Альтаир	α Орла	Мицар	ζ Большой Медведицы
Альфард	α Гидры	Поллукс	β Близнецов
Альферац	α Андромеды	Полярная	α Малой Медведицы
Антарес	α Скорпиона	Процион	α Малого Пса
Арктур	α Волопаса	Регул	α Льва
Беллятрикс	γ Ориона	Ригель	β Ориона
Бетельгейзе	α Ориона	Сердце Карла	α Гончих Псов
Бенетнаш	γ Большой Медведицы	Сириус	α Большого Пса
Вега	α Лиры	Спика	α Девы
Гемма	α Северной Короны	Телемак (или Толи- ман)	α Центавра
Денеб	α Лебеда	Фомальгаут	α Южной Рыбы
Денебола	β Льва	Хамал	α Овна
Дубхе	α Большой Медведицы	Шеат	β Пегаса
Канопус	α Киля	Шедар	α Кассиопей
Капелла	α Возничего		

Таблица 6

Сведения о ярких звездах

Название звезды	Обозначение в созвездии	m	V	μ	π	V_r км/сек
Акернар	α Эридана	0 ^m ,63	0 ^m ,53	0",083	0",045	+19
Альдебаран	α Тельца	1,06	0,85	0,205	0,046	+54
Альтаир	α Орла	0,89	0,80	0,659	0,205	-26
Антарес	α Скорпиона	1,22	0,98	0,032	0,014	-3
Арктур	α Волопаса	0,24	-0,06	2,287	0,085	-5
Бетельгейзе	α Ориона	0,92	0,73	0,032	0,011	+21
Вега	α Лиры	0,14	0,04	0,348	0,121	-14
Денеб	α Лебеда	1,33	1,26	0,004	0,005	-3
Канопус	α Киля	-0,63	-0,73	0,022	0,014	+20
Капелла	α Возничего	0,21	0,09	0,439	0,071	+30
Кастор	α Близнецов	1,58	1,59	0,201	0,070	+6
Поллукс	β Близнецов	1,21	1,16	0,623	0,100	+3
Процион	α Малого Пса	0,48	0,37	1,242	0,291	-3
Регул	α Льва	1,34	1,36	0,244	0,042	+3
Ригель	β Ориона	0,34	0,15	0,005	0,006	+24
Сириус	α Большого Пса	-1,58	-1,43	1,315	0,373	-8
Спика	α Девы	1,25	1,00	0,051	0,017	+1
Телемак	α Центавра	0,12	0,06	3,682	0,756	-22
Фомальгаут	α Южной Рыбы	1,29	1,16	0,367	0,145	+6

Список некоторых слабых звезд
Эпоха 1950.0

Название звезды	α	δ	m	Sp	C	$B-V$	π	μ	ψ
Кордоба 32416	0 ^h 02 ^m 27 ^s .89	-37° 36' 11".5	8 ^m .57	M4	+1 ^m .70	+1 ^m .57	0".219	6".11	112°.4
Грумбридж 34А	0 15 30.95	+43 44 22.2	8.07	M1	+1.40	+1.44	0.284	2.90	82.1
σ^2 Эридана А	4 12 58.18	- 7 43 45.8	4.48	K1	+0.95	+0.89	0.220	4.08	213.1
σ^2 Эридана С	4 13 03.67	- 7 44 08.8	11.0	M5e	+1.80	+1.61	0.220	4.07	212.4
Звезда Каптейна	5 09 41.48	-44 59 53.4	8.85	M0	+1.30	+1.39	0.251	6.08	130.9
Сириус В	6 42 56.74	-16 38 45.9	8.40	A5	+0.00	+0.16	0.373	1.32	203.9
Процион В	7 36 41.13	+ 5 21 16.4	10.81	F5	+0.26	+0.45	0.291	1.25	214.4
Лалад 21185	11 00 36.62	+36 18 20.2	7.60	M2	+1.50	+1.48	0.398	4.78	186.8
Проксима (Ближайшая) Центавра	14 36 11.21	-60 37 49.1	10.68	M3	+1.60	+1.52	0.762	3.85	283.1
BD—15° 4041	15 07 28.34	-16 13 29.0	9.5	G5	+0.64	+0.70	0.040	3.68	196.2
BD—15° 4042	15 07 28.48	-16 08 27.4	9.2	K0	+0.89	+0.84	0.040	3.68	196.1
Струве 2398 А	18 42 13.24	+59 33 15.3	8.89	M4	+1.70	+1.57	0.280	2.29	324.6
Струве 2398 В	18 42 14.16	+59 32 58.3	9.69	M4	+1.70	+1.57	0.280	2.27	323.2
61 Лебеда А	21 04 39.84	+38 29 59.4	5.57	K5	+1.20	+1.11	0.292	5.20	48.5
Лакайль 8760	21 14 19.93	-39 03 42.6	6.65	M0	+1.30	+1.30	0.255	3.47	250.6
ϵ Индейца	21 59 33.02	-56 59 33.9	4.73	K5	+1.20	+1.11	0.285	4.69	123.0
Лакайль 9352	23 02 38.66	-36 08 30.2	7.28	M1	+1.40	+1.44	0.278	6.90	79.1

Таблица некоторых спектральных линий

Обозначение в спектре Солнца	Обозначение в спектре элемента	Длина волны	Обозначение в спектре Солнца	Длина волны	Длина волны	
		Å		Å	Å	
C F G' (f) h A a B α D ₁ D ₂ D ₃	Водород H		Железо Fe		Гелий He	
	H _α	6563	E	5270	7065	
	H _β	4861	b ₃	5169	6678	
	H _γ	4340	b ₄	5168	5876	
	H _δ	4102	c	4954	5048	
	H _ε	3970	d	4668	5016	
	H _ζ	3889	e	4384	4922	
	H _η	3835	G	4326	4713	
	H _θ	3798	G ₁	4308	4472	
	H _ι	3771		4046	4388	
	H _κ	3750	Магний Mg		4144	
	Кислород O				5711	4121
			7621	b ₁	5184	4026
		7185	b ₂	5173	3965	
		6870	b ₄	5167	Стронций ионизованный	
Натрий Na		6278	Кальций Ca		Sr ⁺	
	D ₁	5896	g	4308	4215	
	D ₂	5890	Кальций ионизо- ванный Ca ⁺	4227	4078	
D ₃	5876				Титан ионизо- ванный Ti ⁺	
			H	3968		
			K	3934	3759	

Таблица 9

Средние значения показателей цвета C , $(B - V)$
и болометрической поправки b

Спектраль- ный класс	Главная последовательность				Гиганты и сверхгиганты			Гиганты	Сверх- гиганты
	T°	C	(B-V)	b	T°	C	(B-V)	b	b
O5	35 000°	-0 ^m ,50	-0 ^m ,45	-4 ^m ,6	35 000°	—	-0 ^m ,45		
B0	21 000	-0,45	-0,31	-3,0	21 000	-0 ^m ,45	-0,31		
B5	15 500	-0,39	-0,17	-1,6	15 500	-0,39	-0,17		
A0	11 000	-0,15	0,00	-0,68	11 000	-0,15	0,00		
A5	9 800	0,00	+0,16	-0,30	9 800	0,00	+0,16		
F0	8 600	+0,12	+0,30	-0,10	8 600	+0,12	+0,30		
F5	7 500	+0,26	+0,45	0,00	7 500	+0,40	+0,45	-0 ^m ,05	-0 ^m ,08
G0	6 500	+0,42	+0,57	-0,03	5 700	+0,58	+0,65	-0,10	-0,30
G5	5 400	+0,64	+0,70	-0,10	5 000	+0,81	+0,84	-0,30	-0,60
K0	4 700	+0,89	+0,84	-0,20	4 300	+1,08	+1,06	-0,60	-1,0
K5	4 000	+1,20	+1,11	-0,58	3 600	+1,45	+1,40	-1,0	-1,6
M0	3 600	+1,3	+1,39	-1,2	3 400	+1,60	+1,65	-1,7	-2,5
M5	3 000	+1,8	+1,61	-2,1	2 800	+2,10	+1,85	-3,0	-4

Географические координаты некоторых пунктов зарубежных стран

Пункт	φ	λ	n
Аллегейни (США)	+40°29'	18°39'55 ^c	19
Бирмингэм (Англия)	+52 27	23 52 18	0
Виктория (Канада)	+48 31	15 46 20	16
Дублин (Эйре)	+53 23	23 34 39	0
Каракас (Венесуэла)	+10 30	19 32 17	(—4 ^ч 30 ^м)
Маунт Вилсон (США)	+37 20	15 53 25	16
Маунт Паломар (США)	+33 21	16 12 33	16
Фластагф (США)	+35 12	16 33 15	17

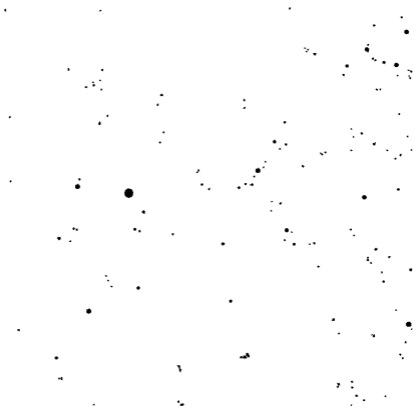
Координаты точек галактического экватора ($b = 0^\circ$) и четырех галактических параллелей

δ	$b = +45^\circ$		$b = +5^\circ$		$b = 0^\circ$		$b = -5^\circ$		$b = -45^\circ$		
	α	α	α	α	l	α	l	α	l	α	
+72° 24'	12 ^ч 48 ^м .9	12 ^ч 48 ^м .9	—	—	—	—	—	—	—	—	—
70 00	11 08.1	14 29.7	—	—	—	—	—	—	—	—	—
67 36	—	—	0 ^ч 48 ^м .9	0 ^ч 48 ^м .9	—	—	—	—	—	—	—
62 36	—	—	—	—	0 ^ч 48 ^м .9	123° 1	0 ^ч 48 ^м .9	123° 1	—	—	—
60 00	9 45.1	15 52.7	3 50.8	21 47.1	2 33.5	135.8	23 04.4	110.4	—	—	—
57 36	—	—	—	—	—	—	—	0 ^ч 48 ^м .9	0 ^ч 48 ^м .9	—	—
50 00	9 22.7	16 13.8	4 58.1	20 39.7	4 16.2	153.4	21 21.7	92.8	3 27.1	22 10.7	—
40 00	9 17.8	16 20.1	5 37.5	20 00.4	5 05.8	166.7	20 32.1	79.5	4 31.8	21 06.1	—
30 00	9 22.3	16 15.5	6 06.1	19 31.8	5 39.3	178.8	19 58.6	67.4	5 11.4	20 26.5	—
20 00	9 33.8	16 04.1	6 29.6	19 08.3	6 05.4	190.4	19 32.5	55.8	5 40.7	19 57.1	—
17 36	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0 ^ч 48 ^м .9
+10 00	9 52.3	15 45.6	6 50.9	18 47.0	6 25.9	201.6	19 11.9	44.6	6 04.9	19 33.0	1 43.3
0 00	10 20.1	15 17.7	7 11.5	18 26.4	6 48.9	213.1	18 48.9	33.1	6 26.4	19 11.5	2 28.8
-10 00	11 05.6	14 32.3	7 33.0	18 04.9	7 11.9	224.6	18 25.9	21.6	6 47.0	18 50.9	2 56.7
17 36	12 48.9	12 48.9	—	—	—	—	—	—	—	—	—
20 00	—	—	7 57.1	17 40.7	7 32.5	235.8	18 05.4	10.4	7 08.3	18 29.6	3 15.1
30 00	—	—	8 26.5	17 11.4	7 58.6	247.4	17 39.3	358.8	7 31.8	18 06.1	3 26.6
40 00	—	—	9 06.1	16 31.8	8 32.1	259.5	17 05.8	346.7	8 00.4	17 37.5	3 35.1
-50 00	—	—	10 10.7	15 27.1	9 21.7	272.8	16 16.2	333.4	8 39.8	16 58.1	3 26.2

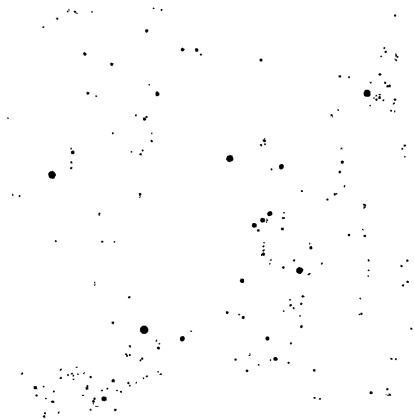
СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Указания к выполнению работ	5
Литература	7
Работа № 1. Малые звездные атласы	9
Работа № 2. Подвижная карта звездного неба	17
Работа № 3. Основные элементы небесной сферы	23
Работа № 4. Астрономические календари и справочники	28
Работа № 5. Кульминация светил. Вид звездного неба на разных географических широтах	34
Работа № 6. Видимое годовое движение Солнца	40
Работа № 7. Смена времен года	47
Работа № 8. Звездное время	55
Работа № 9. Среднее, поясное и декретное время.	61
Работа № 10. Вычисление часовых углов светил и моментов времени.	74
Работа № 11. Преобразование небесных сферических координат	81
Работа № 12. Вычисление моментов времени и азимутов точек восхода и захода Солнца	91
Работа № 13. Стереографическая сетка	94
Работа № 14. Некоторые задачи практической астрономии	104
Работа № 15. Законы Кеплера и конфигурации планет	110
Работа № 16. Движение планет и элементы орбит небесных тел	120
Работа № 17. Вычисление эфемериды малой планеты	130
Работа № 18. Закон всемирного тяготения и задача двух тел.	138
Работа № 19. Искусственные спутники и космические аппараты (КА).	145
Работа № 20. Движение и фазы Луны	161
Работа № 21. Солнечные и лунные затмения	165
Работа № 22. Качественный химический состав атмосферы Солнца.	170
Работа № 23. Лучевая скорость звезд	173
Работа № 24. Фотометрия звезд	177
Работа № 25. Определение некоторых физических характеристик больших планет	182
Работа № 26. Спектральное определение периодов вращения планет.	185
Работа № 27. Физическая природа Луны	187
Работа № 28. Солнечная активность и общее излучение Солнца.	193
Работа № 29. Спектр вспышки	196
Работа № 30. Спектры и светимость звезд	199
Работа № 31. Температура звезд	202
Работа № 32. Кратные звезды	209
Работа № 33. Массы, размеры и плотность звезд	213
Работа № 34. Кривые блеска переменных звезд	217
Работа № 35. Собственные движения и пространственные скорости звезд	222
Работа № 36. Общая структура Галактики	228
Работа № 37. Звездные системы	234
Работа № 38. Элементы радионаблюдений	238
Краткие указания к наблюдениям	246
Работа № 1н. Изучение созвездий и измерение угловых расстояний между звездами	247

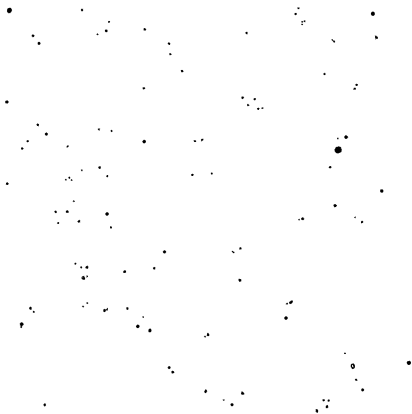
Работа № 2н. Наблюдения в малые телескопы и определение их характеристик	251
Работа № 3н. Определение положения небесного меридиана способом равных высот	254
Работа № 4н. Определение поправки часов по Солнцу и географической долготы	256
Работа № 5н. Определение географической широты	259
Работа № 6н. Определение поправки часов по наблюдениям верхней кульминации звезд	263
Работа № 7н. Определение экваториальных координат светила по его горизонтальным координатам	264
Работа № 8н. Фотографирование Луны	266
Работа № 9н. Наблюдения Солнца	268
Работа № 10н. Наблюдения переменных звезд	270
Работа № 11н. Наблюдения искусственных спутников Земли (ИСЗ).	271
Приложения	
Таблица 1. Список некоторых астероидов	273
Таблица 2. Список некоторых комет	274
Таблица 3. Годичная прецессия по прямому восхождению (P_{α})	274
Таблица 4. Годичная прецессия по склонению (P_{δ})	275
Таблица 5. Собственные имена звезд	276
Таблица 6. Сведения о ярких звездах	276
Таблица 7. Список некоторых слабых звезд	277
Таблица 8. Таблица некоторых спектральных линий	278
Таблица 9. Средние значения показателей цвета C , $(B-V)$ и болометрической поправки b	278
Таблица 10. Географические координаты некоторых пунктов зарубежных стран	279
Таблица 11. Координаты точек галактического экватора ($b=0^{\circ}$) и четырех галактических параллелей	280



Планшет 1



Планшет 2



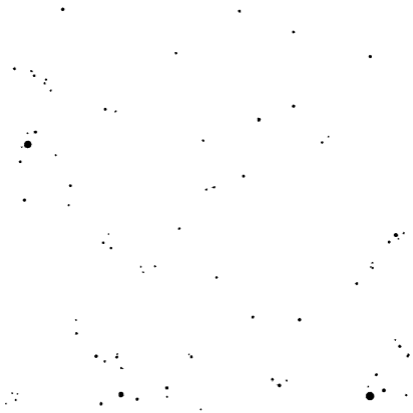
Планшет 3



Планшет 4



Планшет 5



Планшет 6



Планшет 7

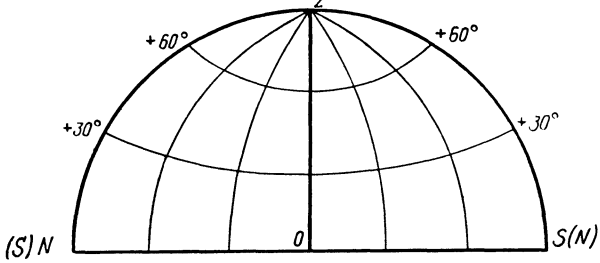


Планшет 8

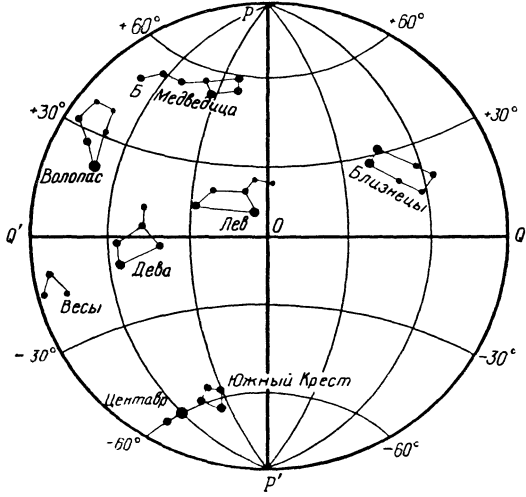
Планшет 10



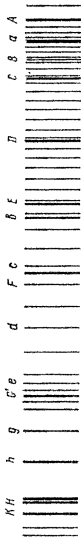
К планшету 10
Планисфера к географической карте



К планшету 10
Планисфера к географической карте



Скопировать на кальку



а) Солнце



б) Водород



в) Гелий

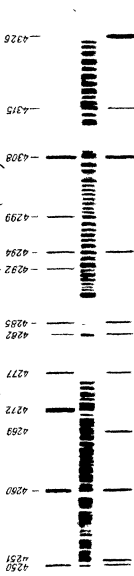


г) Натрий



д) Водород

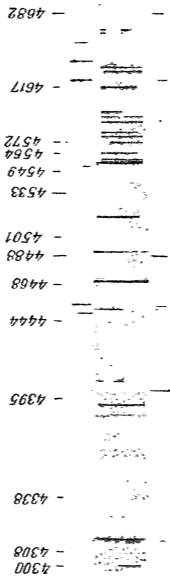
Спектрограмма звезды Прокцион (α CM)



Линии спектра сравнения прилагается железу

Планшет 14

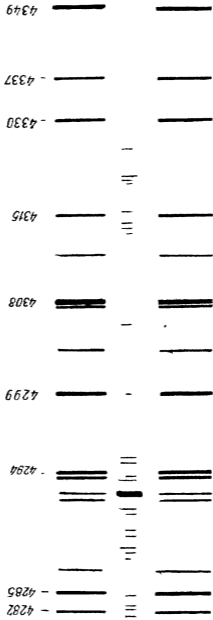
Спектрограмма звезды γ Льва (γ Leo)



Дата 17 апреля.
Линии спектра сравнения принадлежат титану

Пластик 15

Спектрограмма звезды Арктиура (α Boo)

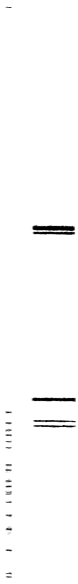


Линии спектра сравнения принадлежат железу
Дата 1 июля

Планшет 16

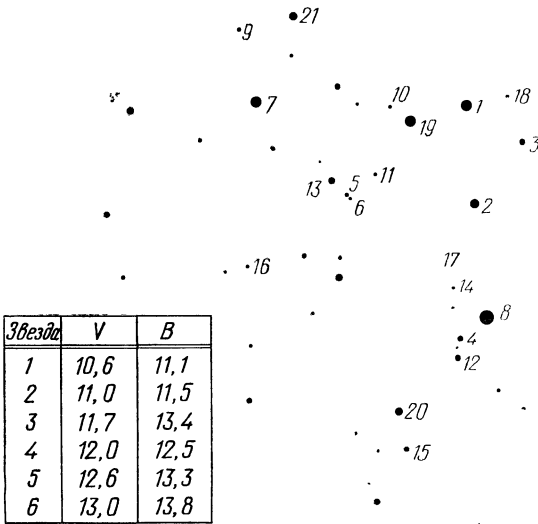
Спектрограмма звезды Арктура (α Boo)

4282 -
4285 -
4294 -
4299 -
4308 =
4315 -
4330 -
4337 -
4349 -

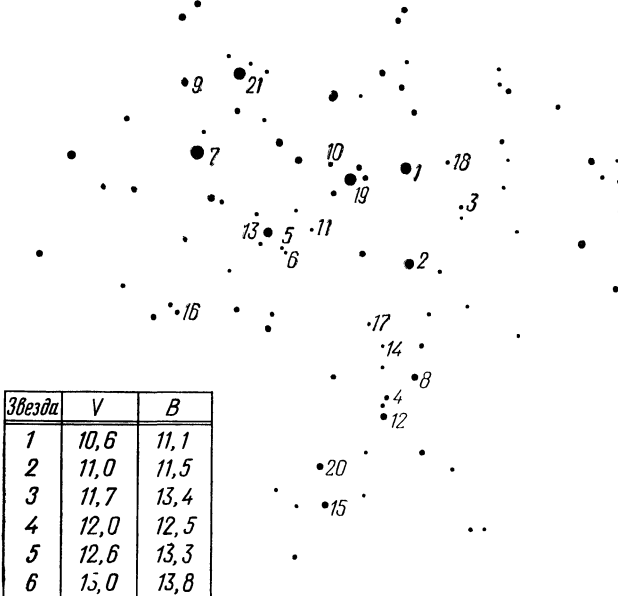


Дата 19 января
Линии спектра сравнения принадлежат железу

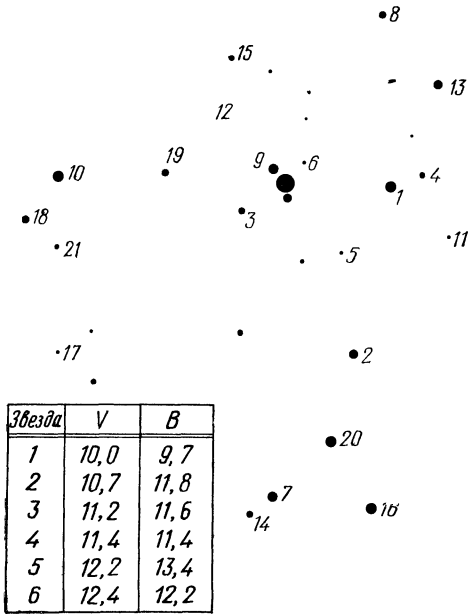
Область 1 (V-лучи)



Область 1 (B-лучи)

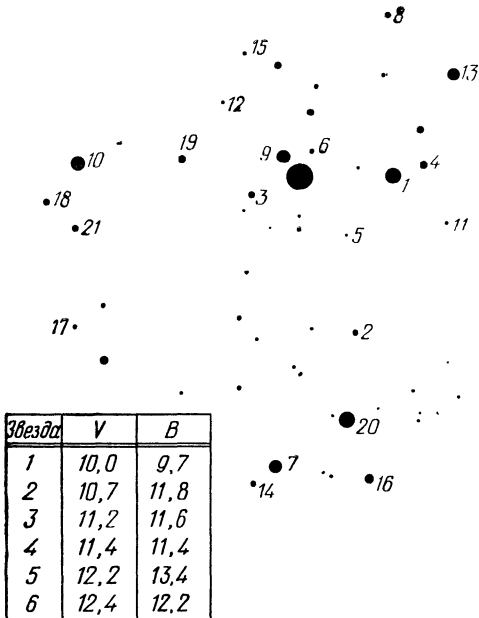


Планшет 19
Область 2 (V-лучи)



Планшет 20

Область 2 (B-лучи)



S

п, 7

24

1

W

E

Фотография Венеры

N

Масштаб: 1мм-1"

Планшет 23
Фотография Юпитера

$$T_1 = 22^{\text{h}} 05^{\text{m}}$$

$$T_2 = 22^{\text{h}} 38^{\text{m}}$$

Пластика 24

с

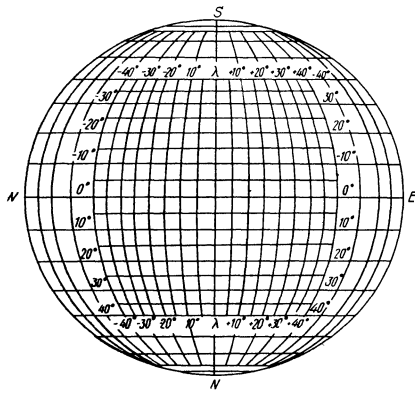


Масштаб 2 мм—1"

N

рисунки Сатурна

Планшет 23

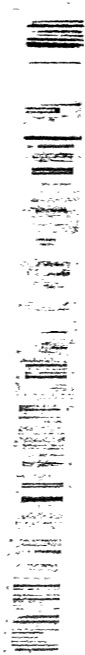


Скопировать на кальку

Планшет 26

Спектрограмма Юпитера

-4234
-4250
-4258
-4269
-4271
-4277
-4291
-4294
-4299
-4308
-4322
-4326
-4337
-4347
-4376
-4383
-4391
-4395
-4400
-4405
-4408



Линии спектра сравнения принадлежат железу

Спектральная таблица

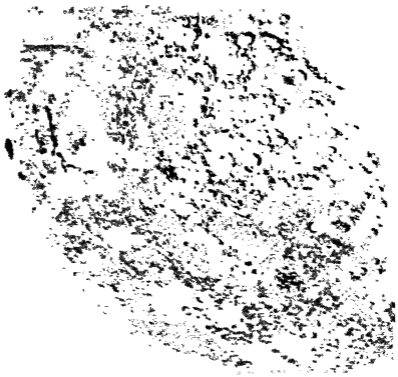
Планшет 27

Спектрограмма Сатурна и его колец

- 4299
- 4308
- 4315
- 4322
- 4326
- 4337
- 4347
- 4376
- 4383
- 4391
- 4395
- 4400
- 4405
- 4408
- 4415
- 4422
- 4435
- 4448
- 4454
- 4459
- 4466

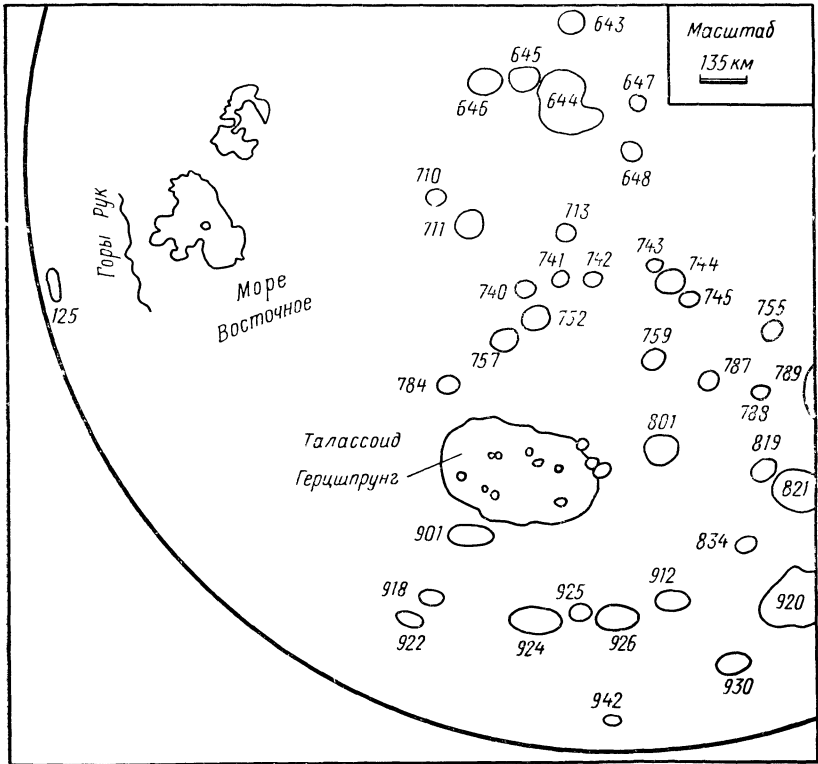


Линии спектра сравнения принадлежат железу



Юг

К планшету 23



Север

Скопировать на кальку

Список названий лунных морей

<i>Русское название</i>	<i>Международное название</i>
Океан Бурь	Oceanus Procellarum
Залив Центральный	Sinus Medium
Залив Зноя (Волнений)	Sinus Aestuum
Море Плодородия (Изобилия)	Mare Foecunditatis
Море Нектара	Mare Nectaris
Море Спокойствия	Mare Tranquillitatis
Море Кризисов (Опасностей)	Mare Crisium
Море Ясности	Mare Serenitatis
Море Холода	Mare Frigoris
Залив Росы	Sinus Roris
Море Дождей	Mare Imbrium
Залив Радуги	Sinus Iridum
Море Паров	Mare Vaporum
Море Облаков	Mare Nubium
Море Влажности	Mare Humorum
Море Смита	Mare Smythii
Море Краевое	Mare Marginis
Южное Море	Mare Australe
Море Москвы	Mare Mosquae
Залив Астронавтов	Sinus Astronautorum
Море Мечты	Mare Ingenii
Море Восточное	Mare Orientalis

Порядковый список лунных цирков и кратеров

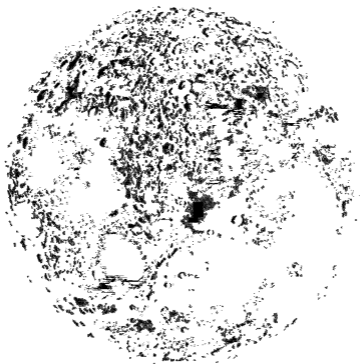
№	Русская транскрипция	Международная транскрипция	№	Русская транскрипция	Международная транскрипция
---	----------------------	----------------------------	---	----------------------	----------------------------

Видимое полушарие Луны

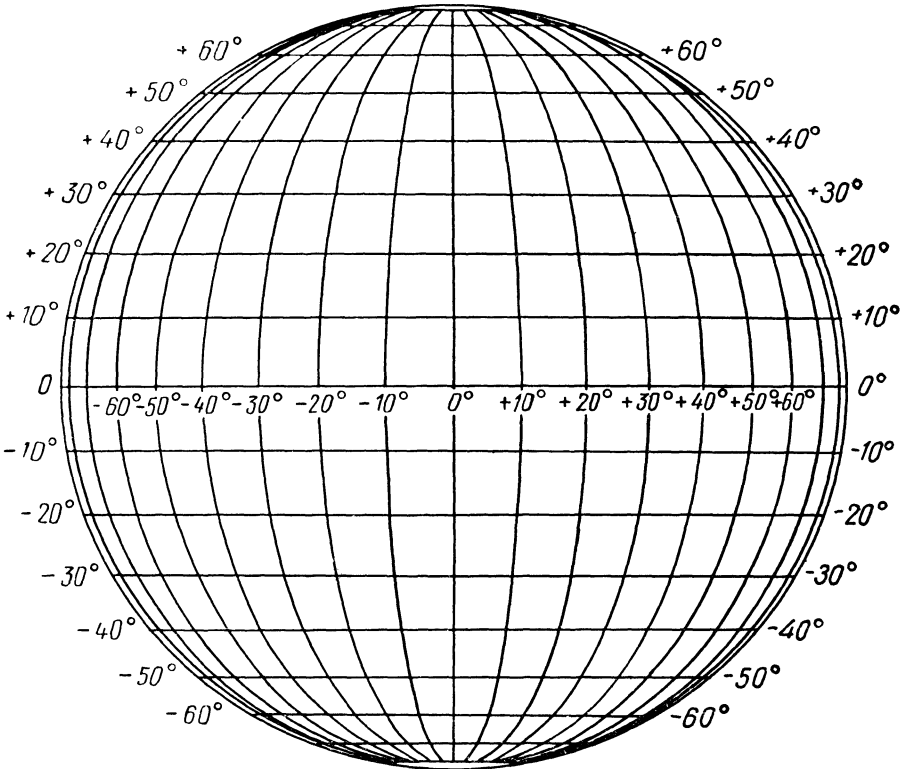
1	Ньютон	Newton	100	Лангрэн	Langrenus
4	Манзин	Manzinus	102	Гуттенберг	Guttenberg
12	Бланкан	Blancanus	107	Абульфед	Abulfeda
13	Клавиус	Clavius	109	Альбатегний	Albategnius
14	Шейнер	Scheiner	110	Альфонс	Alphonsus
18	Неарх	Nearchus	111	Птолемей	Ptolemaeus
22	Магин	Maginus	119	Гиппарх	Hipparchus
24	Шиллер	Schiller	125	Гримальди	Grimaldi
28	Шиккард	Schickard	127	Ландсберг	Landsberg
29	Вильгельм	Wilhelm	141	Гевелий	Hevelius
30	Тихо	Tycho	142	Риччиоли	Riccioli
32	Штефлер	Stoefler	146	Кеплер	Kepler
33	Мавролик	Maurolycus	147	Коперник	Copernicus
48	Вальтер	Walter	168	Эратосфен	Eratosthenes
52	Фурнерий	Furnerius	175	Геродот	Herodotes
53	Стевин	Stevinus	176	Аристарх	Aristarchus
55	Снеллий	Snellius	183	Клеомед	Cleomedes
69	Виета	Vieta	186	Посидоний	Posidonius
73	Пурбах	Purbach	189	Автолик	Autolycus
74	Лакайль	La-Caille	190	Аристилл	Aristillus
77	Сакробоско	Sacrabosco	191	Архимед	Archimedes
78	Фракастор	Fracastor	192	Тимохарис	Timocharis
80	Петавий	Petavius	193	Ламберт	Lambert
84	Арзахель	Arzachel	201	Гаусс	Gauss
86	Буллиальд	Bullialdus	208	Эвдокс	Eudoxus
88	Кэвендиш	Cavendish	209	Аристотель	Aristoteles
89	Мерсений	Mersenius	210	Платон	Plato
90	Гассенди	Gassendi	220	Пифагор	Pythagoras
95	Катарина	Catharina	228	Атлас	Atlas
96	Кирилл	Cyrillus	229	Геркулес	Hercules
97	Теофил	Theophilus			

Обратное полушарие Луны

643	Бюффон	Buffon	787	Сеченов	Sechenov
644	Чебышев	Chebyshev	788	Тимирязев	Timiryazev
645	Лангмуир	Langmuir	789	Королев	Korolev
646	Брауэр	Brouwer	801	Вавилов	Vavilov
647	Клейменов	Kleimenov	819	Кибальчич	Kibalchich
648	Мариотт	Mariotte	821	Цандер	Tsander
710	Эллерман	Ellerman	834	Артемьев	Artem'ev
711	Герасимович	Gerasimovich	901	Майкелсон	Michelson
740	Белопольский	Belopolsky	912	Кекуле	Kekule
752	Иоффе	Ioffe	920	Мах	Mach
755	Мечников	Metchnikoff	924	Ферсман	Fersman
757	Фридман	Fridman	926	Пойнтинг	Poynting
759	Ван Гу	Van Gu	930	Жюль	Joule
784	Лукреций	Lucretus			



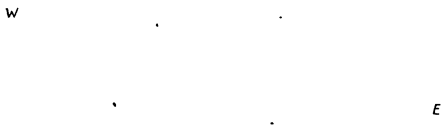
Планшет 32



Скопировать на кальку



Планшет 35



Дата 22 марта

Планшет 36



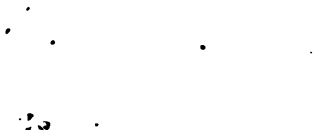
Дата 22 июня

Планшет 37

W



E



Дат 5 июля

—

W

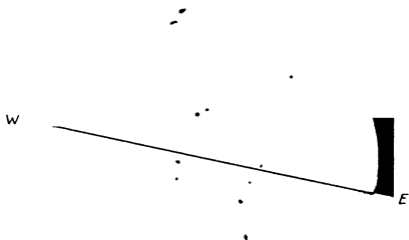
Планшет 38

E



Дата 20 июля

Планшет 39



Дата 24 августа

W



Планшет 40

E



Дата 2 ноября

Планшет 41

E

W

r.

.

.

Дата 22 ноября

Планшет 42

W

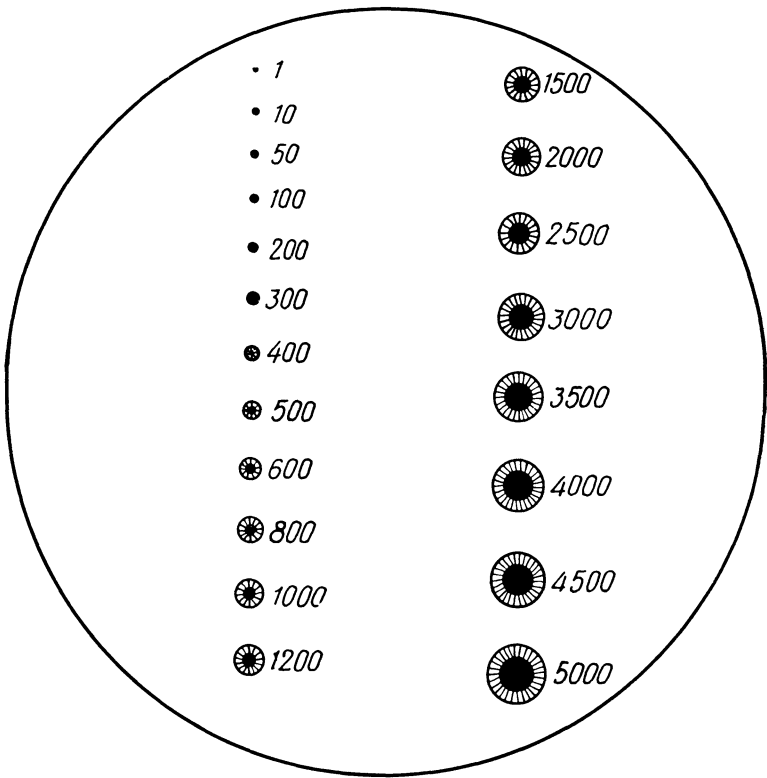


E

Дата 27 ноября

Планшет 43

Палетка солнечных пятен



Скопировать на кальку

Планшет 44

1) 3 июня 1949 г. 23 ^ч 05 ^м	2) 4 июня 1949 г. 0 ^ч 05 ^м	3) 4 июня 1949 г. 0 ^ч 25 ^м
--	---	---

4) 4 июня 1949 г. 1 ^ч 00 ^м	5) 4 июня 1949 г. 1 ^ч 30 ^м	6) 4 июня 1949 г. 2 ^ч 00 ^м
---	---	---

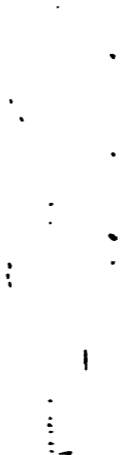
7) 19 ноября, 7 час 32 мин

9) 19 ноября, 9 час 03 мин

8) 19 ноября, 8 час 45 мин

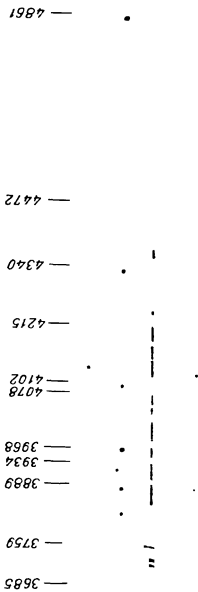
Спектр вспышки 29 июня 1927 года

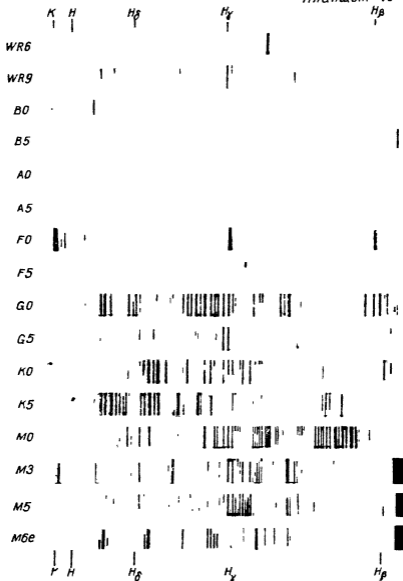
— 3685
— 3759
— 3889
— 3934
— 3968
— 4078
— 4102
— 4215
— 4340
— 4472
— 4861



Планшет 47

Спектр вспышки 30 июня 1954 г.



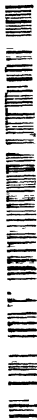




δ Ориона



ϵ Дельфина



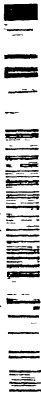
μ Большой
Пояса



β Ворона

Щелевые спектрограммы звезд

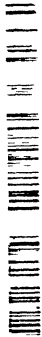
Планшет 50



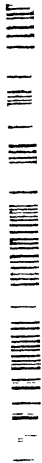
μ Близнецов



γ Бодолея



ξ Лепеда



η Ворона

Щелевые спектрограммы звезд

Пластика 51

а Змееносца.



б Волосса



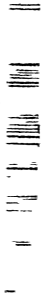
в Близнецов



г Ориона



ж Перкулеса



з Скорпиона



и Габры



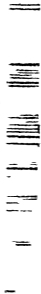
л Деды



Щелевые спектрограммы звезд

Пластика 53

ж Перкулеса



з Скорпиона



и Габры



л Деды

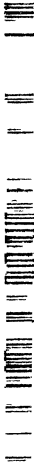




α Лирны



σ Корвы



ζ Геркулеса



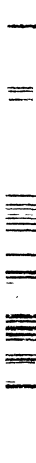
κ Дракона



τ^4 Эридыана

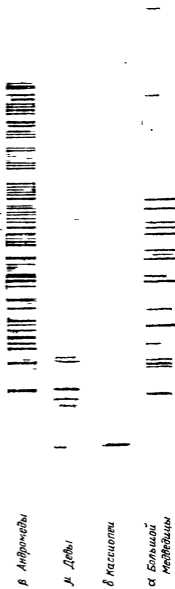


ϵ Большой Медведицы



β Близнецов

δ Персея

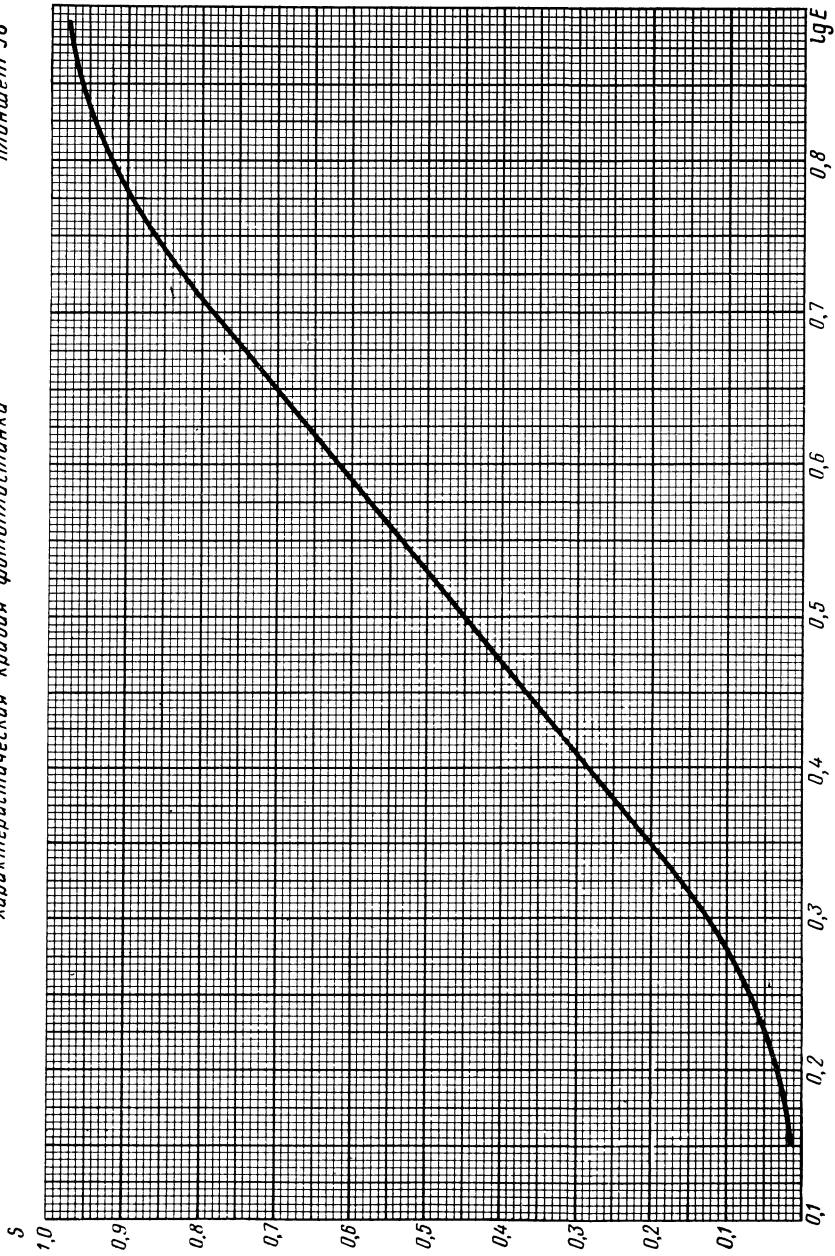




Handwritten scribble consisting of several irregular, connected lines.

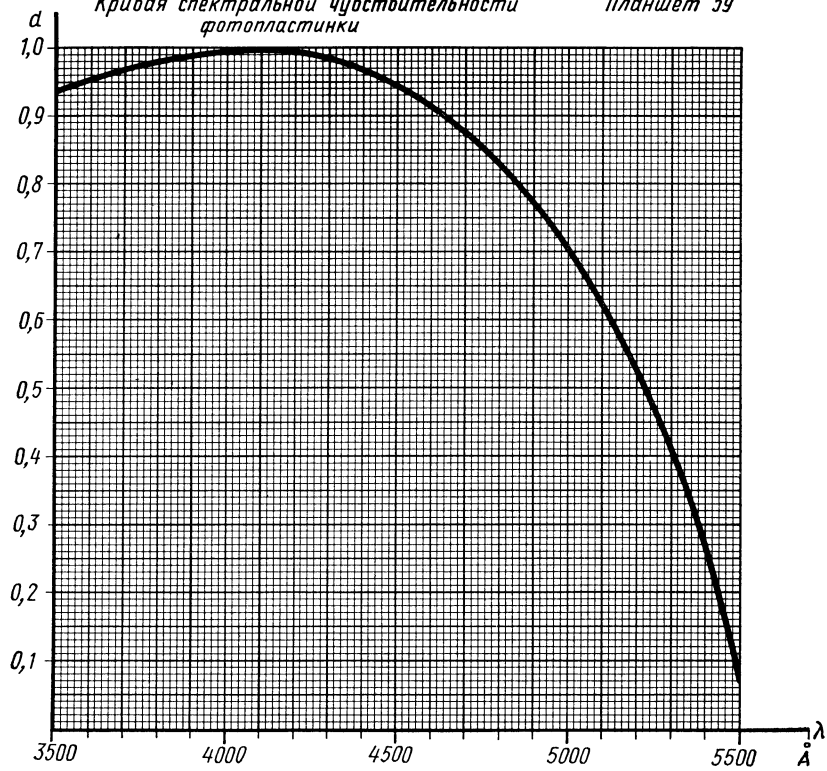


Handwritten scribble consisting of a few irregular, connected lines.



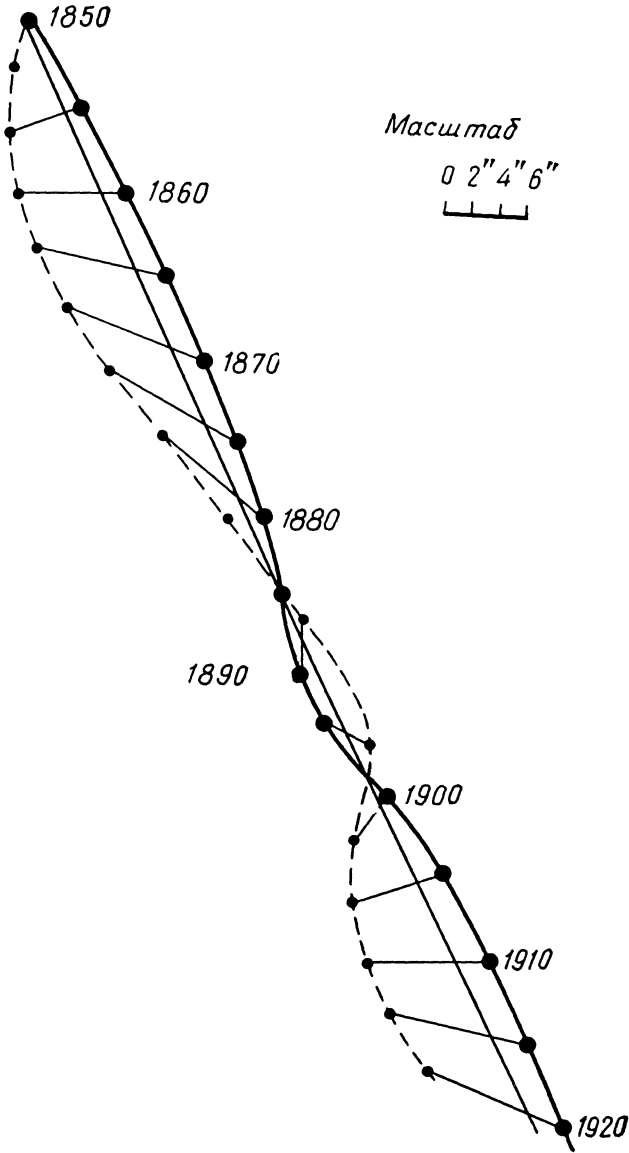
Кривая спектральной чувствительности
фотопластинки

Планшет 59

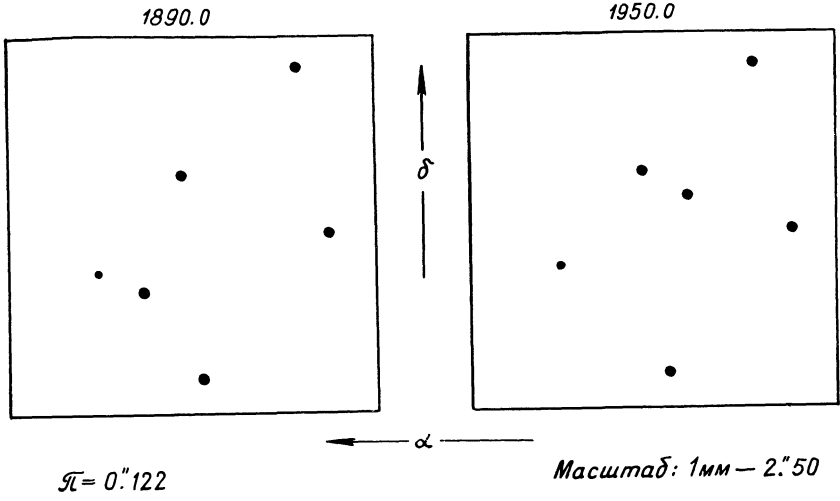


Планшет 60

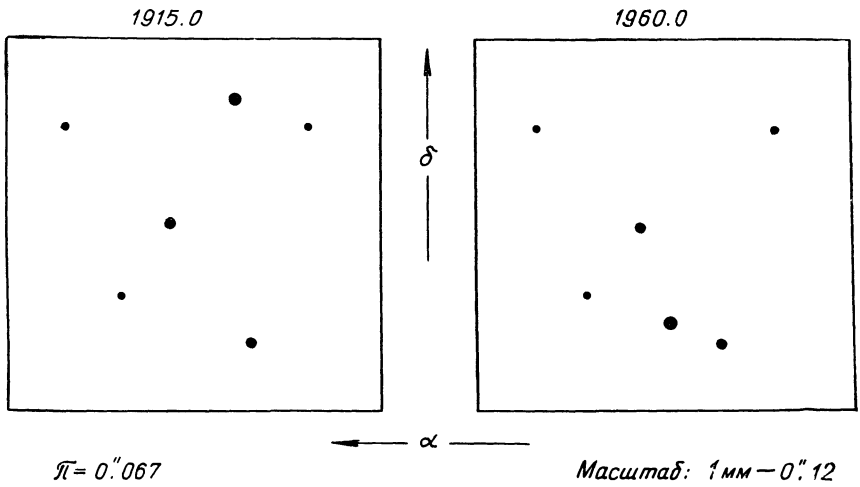
Масштаб
0 2" 4" 6"



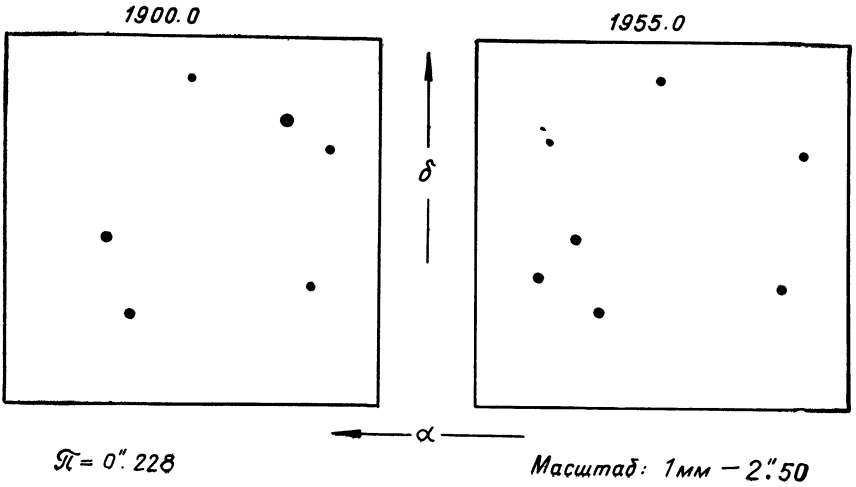
Планшет 61



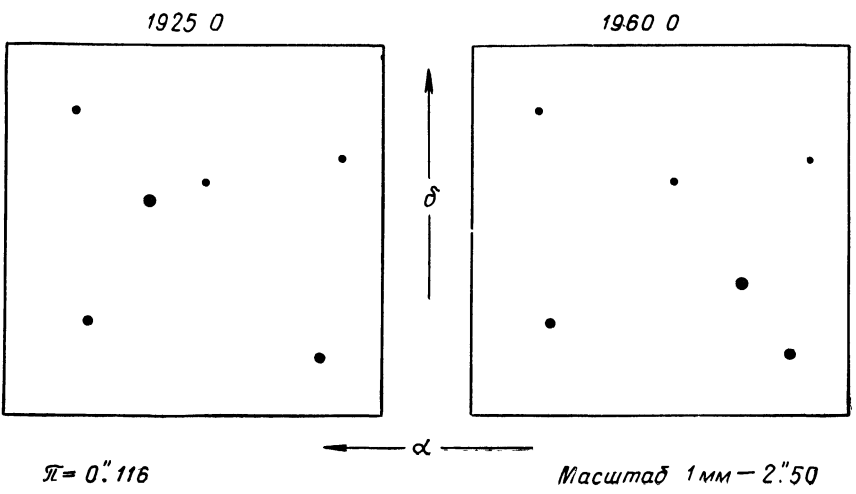
Планшет 62



Планшет 63



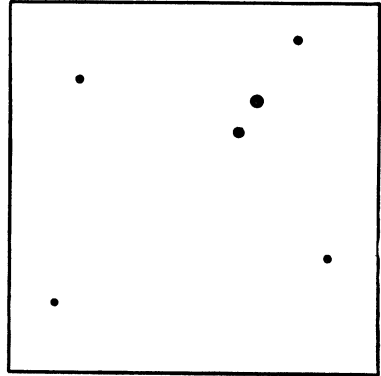
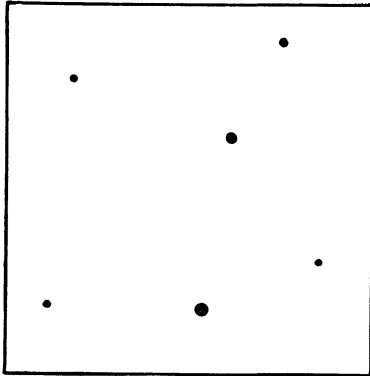
Планшет 64



Планшет 65

1905.0

1945.0



$\pi = 0'' 207$

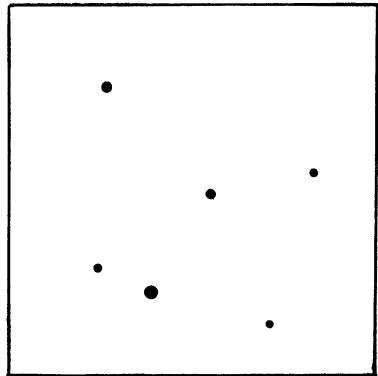
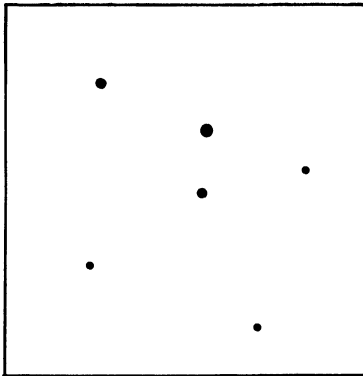
α

Масштаб: 1 мм — 1" 25

Планшет 66

1902.0

1962.0



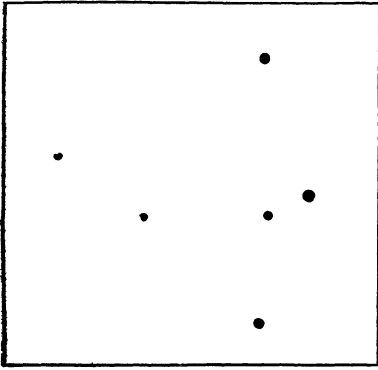
$\pi = 0'' 305$

α

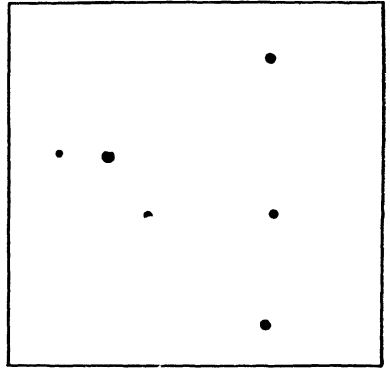
Масштаб: 1 мм — 0" 62

Планшет 67

1897.0



1947.0



δ

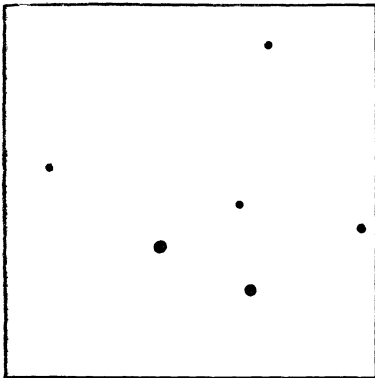
α

$\mu = 0''.074$

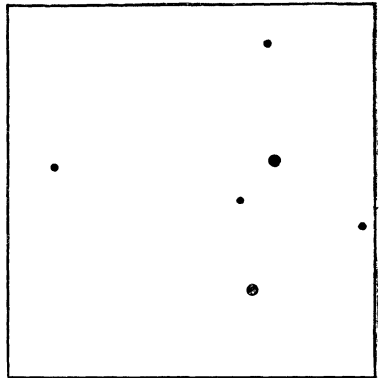
Масштаб: 1 мм — 1''.25

Планшет 68

1930.0



1960.0



δ

α

$\mu = 0''.327$

Масштаб: 1 мм — 2''.50

E0 NGC 3379

E2 NGC 221 (M32)

E5 NGC 4621 (M59)

E7 NGC 3115

Ir NGC 3034 (M82)

Irr NGC-4449

SBa N.

60

SBc NGC 7479

Sc NGC 5457 (M101)

Планшет 70

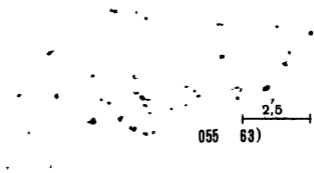
NGC 4293



The image is a star chart on a white background. It features several clusters of stars represented by black dots of varying sizes. The largest cluster is located in the lower-left quadrant. Other smaller clusters are scattered across the upper and middle sections. Three specific clusters are labeled with text: 'NGC 4293' in the upper right, 'NGC 1097' in the middle right, and 'NGC 4486 (M 87)' in the lower right. The stars are arranged in various patterns, including linear sequences and small groups.

NGC 1097

NGC 4486 (M 87)



NGC 175



N

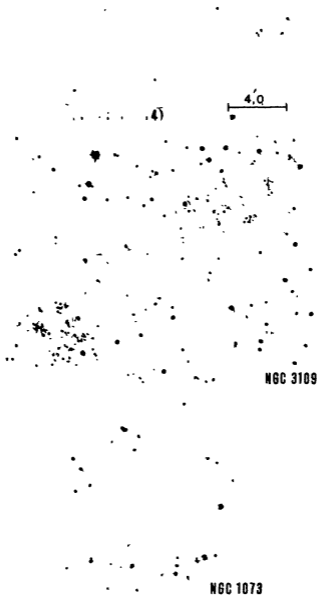
NGC 3672

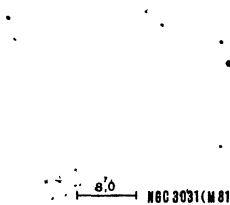
2.0

NGC 5005

NGC 774

Планшет 73





8.0 NGC 3031 (M 81)

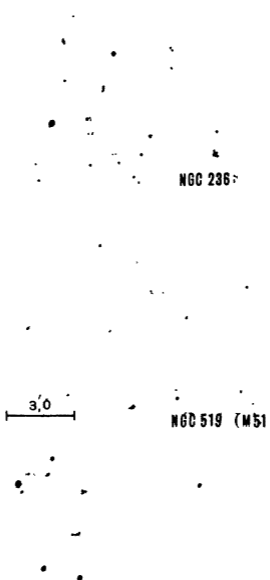


NGC 5383



NGC 3810

Планшет 75



NGC 236

3,0

NGC 519 (M51)

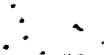
NGC 2525

NGC 718



40

NGC 523 (M83)

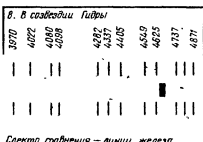
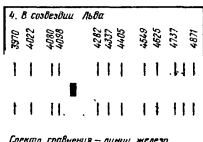
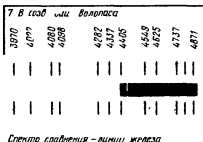
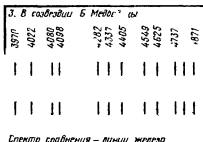
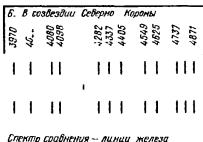
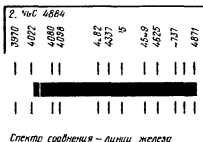
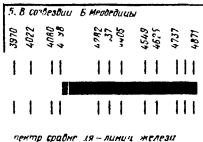
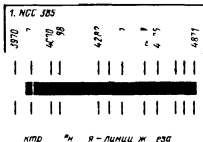


NGC 350

• W8C 52

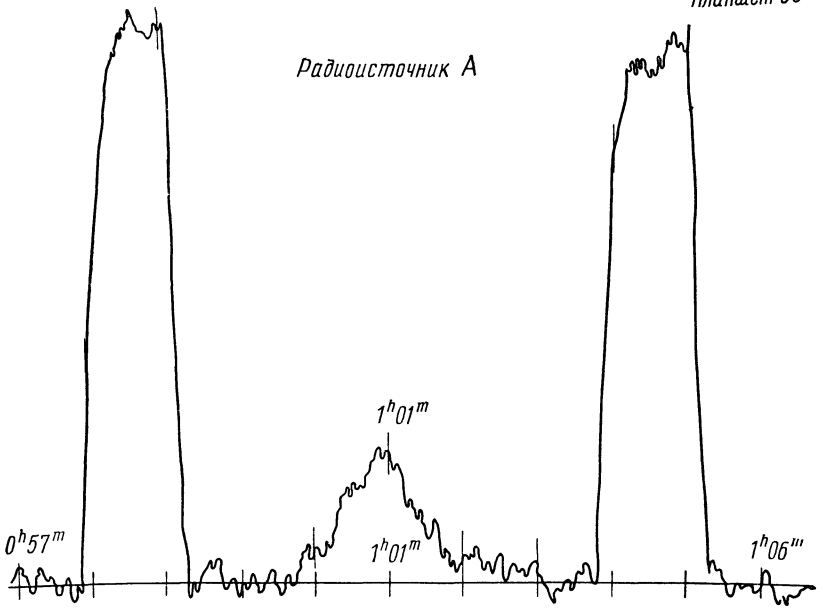
• 35:

4.0 — 5.



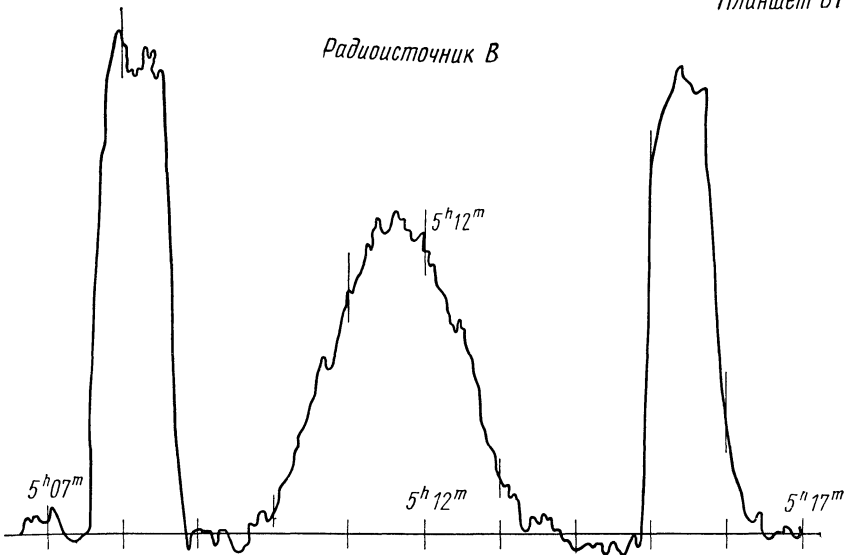
Планшет 80

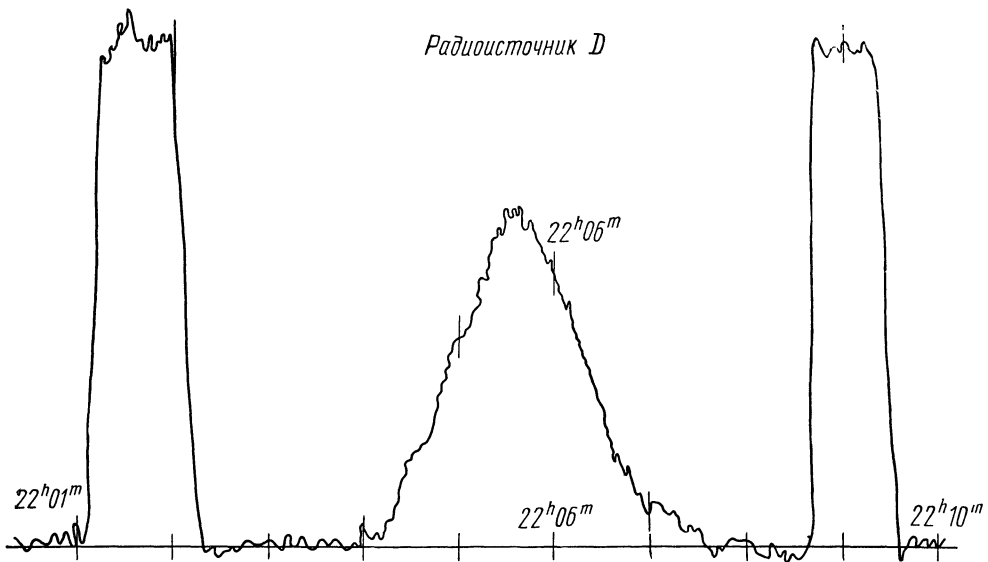
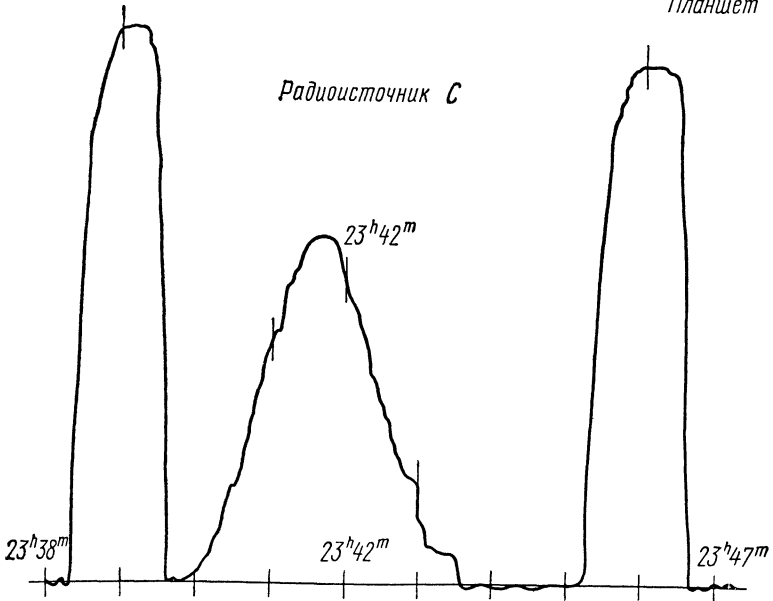
Радиосточник А



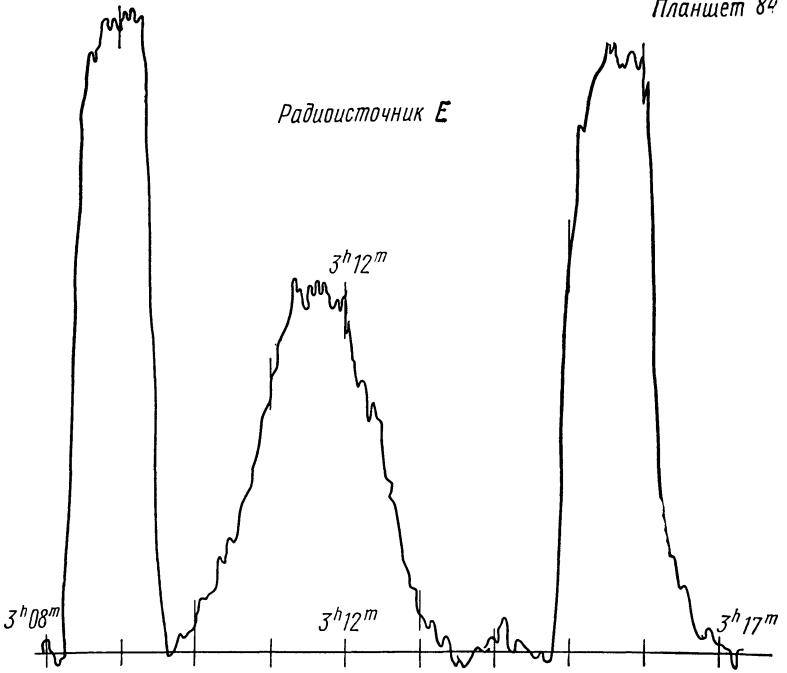
Планшет 81

Радиосточник В

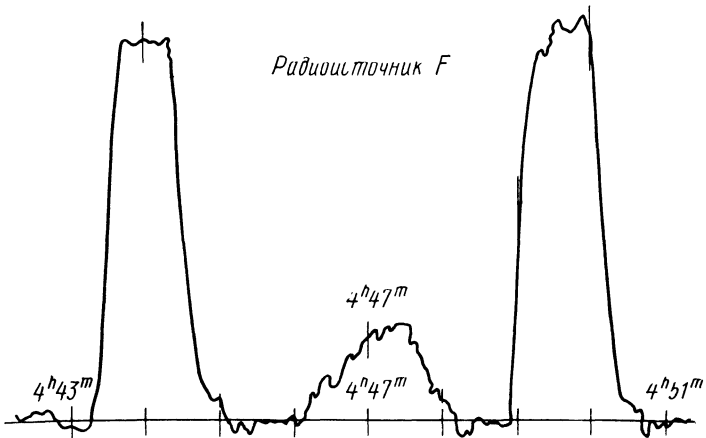




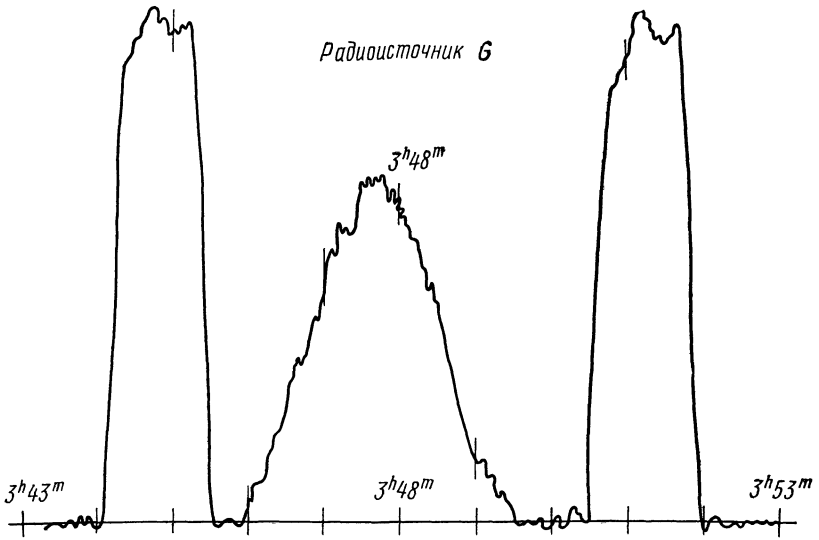
Радиосточник E



Радиосточник F



Радиоисточник Б



Радиоисточник Н

